

# Hangüberwachung Saaserberg GR

## Ausgangslage

Der Saaserberg ist ein Rutschhang oberhalb des Dorfes Saas im Prättigau (GR). Es sind Rutschungen von bis zu 25 cm pro Jahr bekannt. In den Jahren 1931 und 1999 kam es zu Hangrutschen mit grösseren Sachschäden. Diese Bachelor-Thesis basiert auf folgenden Fixpunktmessungen:

### 1989/1989: Erstermessung amtliche Vermessung (AV)

- Mit vereinfachter Parzellarvermessung (VPV)
- Photogrammetrische Aufnahmen

### 2004/2005: Katastererneuerung

- Feststellung von Bewegungen bei den Fixpunkten (LFP3) von bis zu 25 cm pro Jahr
- Ausscheidung von Gebiet mit dauernden Bodenverschiebungen (siehe Abb. 1)

### 2023/2024: Feldkurs IGEO und Messkampagne BTh

- Folgemessungen von GNSS-messtauglichen Fixpunkten

Abb. 1: Messgebiet inklusive angrenzenden Gebiet mit dauerliche Bodenverschiebungen (grün) (Quelle: Geoportal der kantonalen Verwaltg. mit geo.ch)



7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW



## Messkampagne

Folgende drei Messmethoden wurden in den Messkampagnen 2023 & 2024 verwendet:

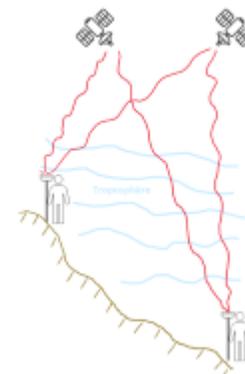
- Trigonometrische Höhenbestimmung (THB)
- Langstatische GNSS-Messungen (STS)
- Fixpunktmessungen mit GNSS-RTK

Die STS-Messungen zeichnen GNSS-Rohdaten simultan zu den RTK-Messungen auf und dienen zur Berechnung und Anbringung des GNSS-Höhenmassstabes an den Fixpunktmessungen mit GNSS-RTK. Dabei wurden je zwei STS-Stationen im Tal und auf dem Berg eingerichtet. Die Höhendifferenz zwischen diesen Stationen muss genau bekannt sein, dazu wurde eine gegenseitige und gleichzeitige THB durchgeführt (siehe Abb. 2).

Die Fixpunkte wurden mit mindestens drei GNSS-RTK Sessionen bestimmt.

Abb. 2: Trigonometrische Höhenbestimmung (THB) mit Leica TS10 (Bm Station Sidler)

7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW



## GNSS-Höhenmassstab

### Entstehung:

- GNSS-Signal durchquert die Troposphäre
- Troposphäre bewirkt Laufzeitverzögerung der Signale
- Es entstehen systematische Abweichungen in der Höhenmessung, besonders bei grossen Höhendifferenzen.

### Problem:

- Feuchter Anteil in Troposphäre variiert räumlich und zeitlich.
- Effekt sehr schwierig zu modellieren!

### Lösungsansatz:

- Berechnung einer Massstabskorrektur anhand von bekannten Ausgangshöhen.
- Ausgangshöhen mittels trigonometrischer Höhenbestimmung exakt festlegen
- Mittels Höhenretransformation: Massstabsunbekannte bestimmen → GNSS-Höhenmassstab (GHM)

Abb. 3: Einfluss der Troposphäre auf das GNSS-Signal bei grossen Höhendifferenzen

7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW

## Auswertungen

Die Auswertung der Messdaten erfolgte in drei Abschnitten:

- Messungen 2004/2005
- Messungen 2023
- Messungen 2024

Die Messungen aus den Jahren 2004 (tachymetrisch) und 2005 (GPS) wurden in einer sogenannten Diagnoseausgleichung neu beurteilt und ausgewertet (siehe Tabelle 1).

Da die beiden Messkampagnen 2023 & 2024 in ähnlicher Weise erfolgten, wurde deren Auswertung identisch durchgeführt. Siehe folgende Folien.

### Messungen 2004/2005 (Diagnoseausgleichung)

Mit der Analyse der alten Messdaten und anschließenden Diagnoseausgleichung wurden folgende Herausforderungen behandelt:

- Teilweise instabile Lagerungspunkte
- Reduzierte Messgenauigkeit durch Refraktionseinflüsse bei den sehr langen tachymetrische Visuren (> 3 km) und Nichtberücksichtigung vom Höhenmassstab bei den GPS-Messungen
- Tiefe Überbestimmung & Zuverlässigkeit
- Bezugsrahmenwechsel (LV03 → LV95)

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichsart	hybrid (2004 & 2005 gemeinsam)	
Lagerung	genügend gelagert	
Anzahl Lagerungspunkte	9	8
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	148 / 25	89 / 18
Empirische Genauigkeit der Punkte (σ <sub>1 max</sub> ) [cm]	5.7 / 11.0	3.2 / 5.7

Tabelle 1: Wichtigste Eigenschaften der Diagnoseausgleichung der Messungen 2004/2005

7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW

## Resultate

### THB und GHM

- THB:
  - Die Refraktion verändert sich deutlich über die Zeit (siehe Abb. 7).
- GHM:
  - Es wurden Höhenmassstäbe zwischen 185 und 334 ppm berechnet (min/max beider Messkampagnen).
  - In der Nacht stieg der GHM an (siehe Abb. 8).

### Verschiebungen

- Die folgende Folie zeigt die Werte der Verschiebungen, welche aus allen Auswertungen bestimmt wurden (Abb. 9 und Tabelle 4)
- Die Ausscheidung der Gebiete mit dauernden Bodenverschiebungen (Abb. 1) wurde bestätigt
- Es resultiert eine maximale Rutschung zwischen 1989 und 2023 von > 7 m (ca. 21 cm pro Jahr)



Abb. 7: Resultate der Refraktionsberechnung von der automatisierten THB 2024

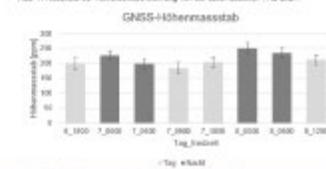


Abb. 8: GNSS-Höhenmassstäbe der Gruppe 0 im Februar 2023

7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW

## Fazit & Praxisempfehlungen

### GNSS-Höhenmassstab

- Bestimmung des GNSS-Höhenmassstabes mit STS aufwändig
- Wichtig: Effekt berücksichtigen (bis zu 334 ppm!)
- GNSS-RTK-Messungen ausreichend für Bestimmung GHM
- Stabiles Rahmennetz für Netzlagerung und Bestimmung GHM

### Diagnoseausgleichung und Bezugsrahmenwechsel

- Datenorganisation und -aufbereitung sehr zeitaufwändig
- Nützlich bei Kombinationen mit neuen Messungen/Methoden
- Einflüsse Bezugsrahmenwechsel auf berechnete Punkterverschiebungen unbedeutend

### Hangüberwachung Saaserberg

- Bekannte Hangrutschungen bestätigt
- Weitere Überwachungsmaßnahmen empfehlenswert
- GNSS-RTK als wirtschaftliches Verfahren
- Berücksichtigung GNSS-Höhenmassstab notwendig

Abb. 9: GNSS-RTK-Messungen mit Leica GS15 (Bm Fredrik Lennström)



7. Juni 2024 Autoren: Fredrik Lennström und Stefan Sidler, Betreuer: Dipl. Ing. FH Peter Mahler, Experte: Ing. BSc FHNW Jean-Sébastien Hertzog © IGEO FHNW

# Ausgangslage

Der Saaserberg ist ein Rutschhang oberhalb des Dorfes Saas im Prättigau (GR). Es sind Rutschungen von bis zu 25 cm pro Jahr bekannt. In den Jahren 1931 und 1999 kam es zu Hangmuren mit grösseren Sachschäden. Diese Bachelor-Thesis basiert auf folgenden Fixpunktmessungen:

## 1988/1989: Erstvermessung amtliche Vermessung (AV)

- Mit vereinfachter Parzellarvermessung (VPV)
- Photogrammetrische Aufnahmen

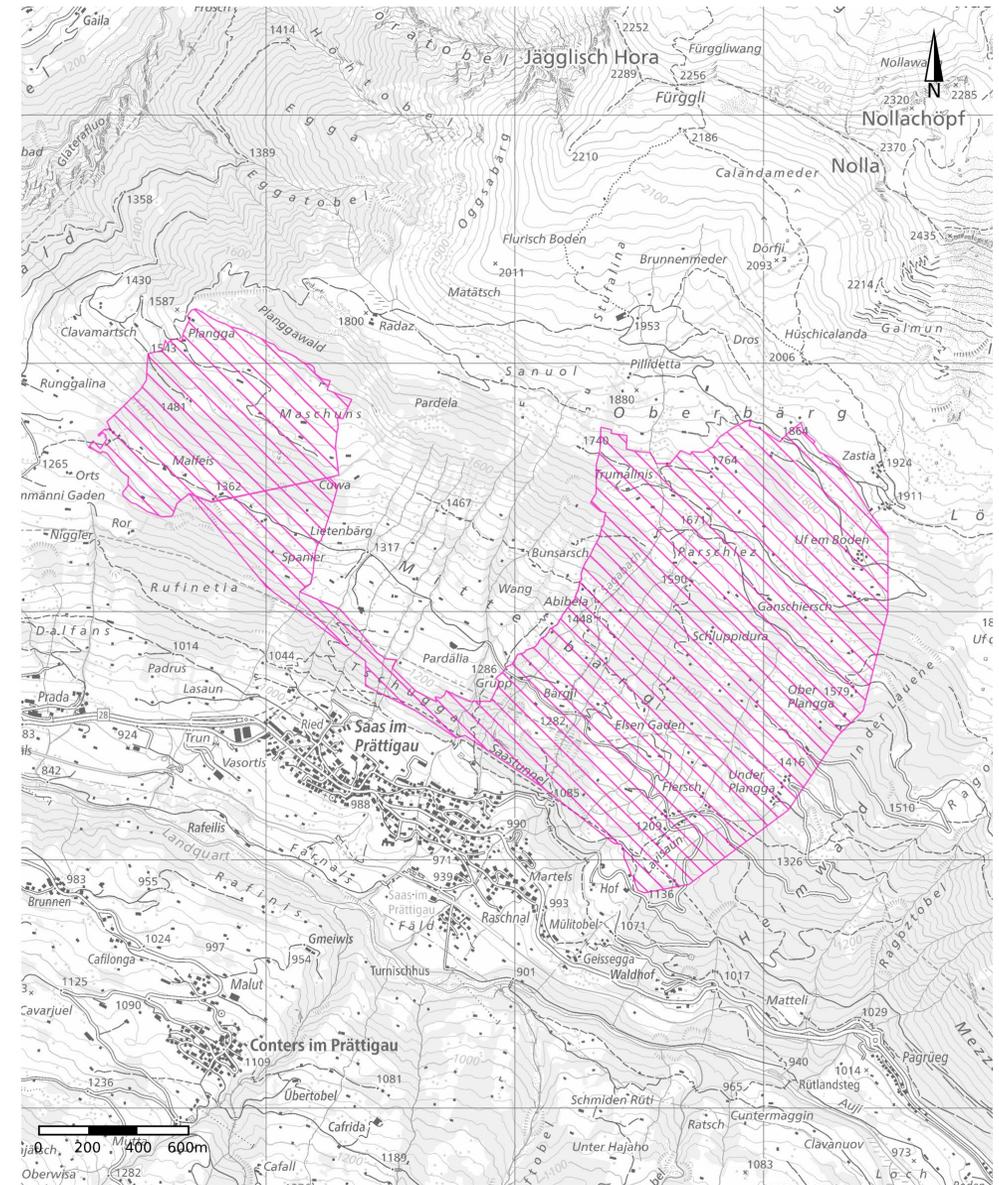
## 2004/2005: Katastererneuerung

- Feststellung von Bewegungen bei den Fixpunkten (LFP3) von bis zu 25 cm pro Jahr
- Ausscheidung von Gebiet mit dauernden Bodenverschiebungen (siehe Abb. 1)

## 2023/2024: Feldkurs IGEO und Messkampagne BTh

- Folgemessungen von GNSS-messtauglichen Fixpunkten

Abb. 1: Messgebiet inklusive ausgeschiedenen Gebiet mit dauernden Bodenverschiebungen (pink) (Bildquelle: Geoportal der kantonalen Verwaltung, edit.geo.gr.ch)





# Messkampagne

Folgende drei Messmethoden wurden in den Messkampagnen 2023 & 2024 verwendet:

- Trigonometrische Höhenbestimmung (THB)
- Langstatische GNSS-Messungen (STS)
- Fixpunktmessungen mit GNSS-RTK

Die STS-Messungen zeichnen GNSS-Rohdaten simultan zu den RTK-Messungen auf und dienen zur Berechnung und Anbringung des GNSS-Höhenmassstabes an den Fixpunktmessungen mit GNSS-RTK. Dabei wurden je zwei STS-Stationen im Tal und auf dem Berg eingerichtet. Die Höhendifferenz zwischen diesen Stationen muss genau bekannt sein, dazu wurde eine gegenseitige und gleichzeitige THB durchgeführt (siehe Abb. 2).

Die Fixpunkte wurden mit mindestens drei GNSS-RTK Sess ionen bestimmt.

Abb. 2: Trigonometrische Höhenbestimmung (THB) mit Leica TS60 (Bild: Stefan Sidler)

# Vorgehen Messkampagne

## Erstellung Messkonzept

- Geplante Messungen
  - Auswahl der zu messende Fixpunkte
  - Fokus auf GNSS-messtauglichen Punkten
  - Planung der Standorte STS / THB (unten auf best. Fixpunkten, oben neue Punkte gemäss Sichtbarkeitsanalyse)
- Präanalyse
- Zeitplanung

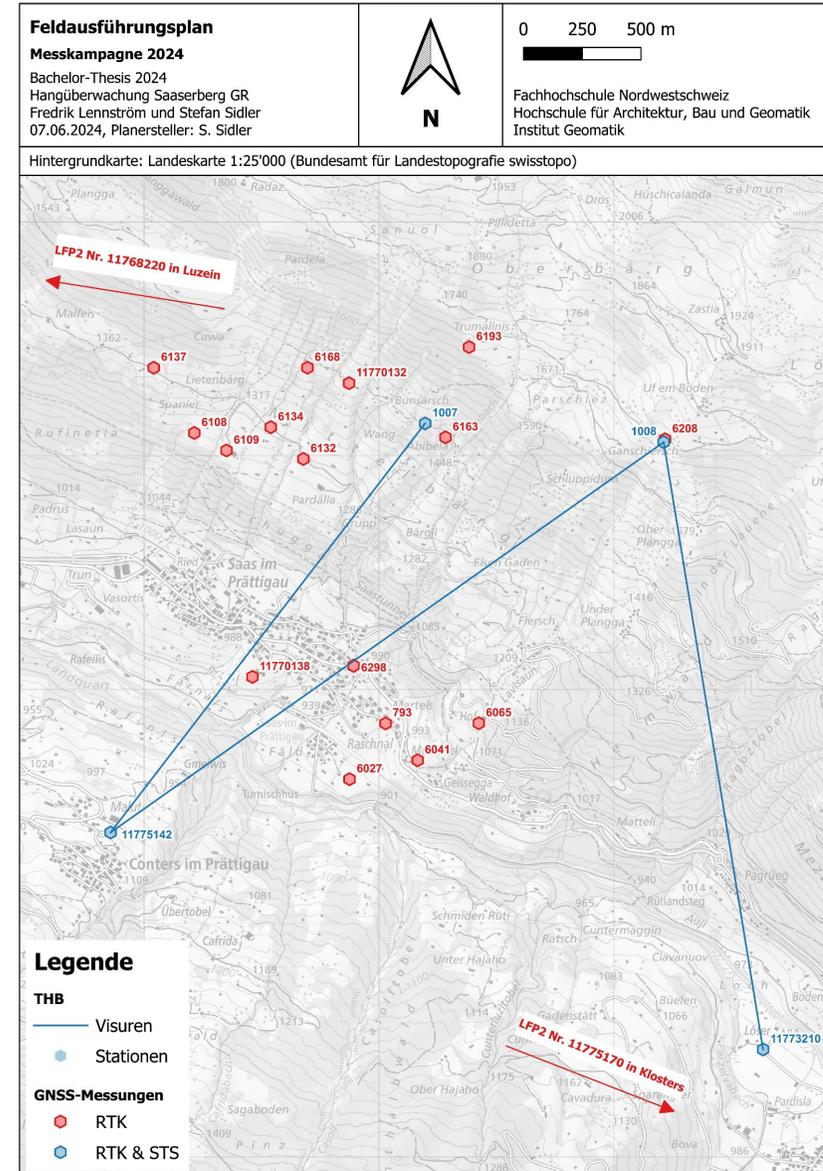
## Vorbereitungsarbeiten

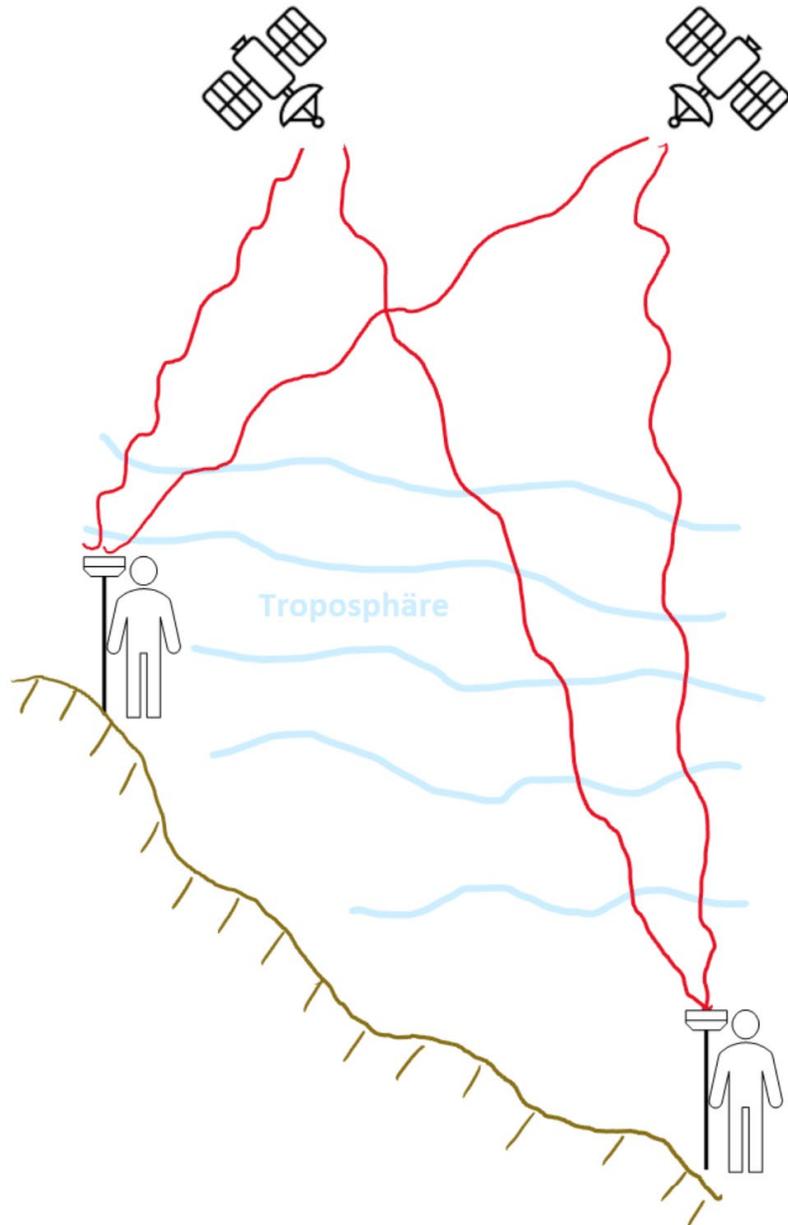
- Feldvorbereitung (u.a. Feldpläne)
- Prüfen und justieren der Messausrüstung

## Messkampagne

- 3 Messtage (08. – 12. Mai 2024)
- 2 Messequipes à je 2 Personen (Team «oben» & «unten»)

Abb. 3: Ausgeführte Messungen in der Messkampagne 2024





# GNSS-Höhenmassstab

## Entstehung:

- GNSS-Signal durchquert die Troposphäre
- Troposphäre bewirkt Laufzeitverzögerung der Signale
- Es entstehen systematische Abweichungen in der Höhenmessung, besonders bei grossen Höhendifferenzen.

## Problem:

- Feuchter Anteil in Troposphäre variiert räumlich und zeitlich.  
→ *Effekt sehr schwierig zu modellieren!*

## Lösungsansatz:

- Berechnung einer Massstabskorrektur anhand von bekannten Ausgangshöhen.
- Ausgangshöhen mittels trigonometrischer Höhenbestimmung exakt festlegen.
- Mittels Höhentransformation Massstabsunbekannte bestimmen → *GNSS-Höhenmassstab (GHM)*

Abb. 4: Einfluss der Troposphäre auf das GNSS-Signal bei grossen Höhendifferenzen

# Trigonometrische Höhenbestimmung (THB)

## Wieso trigonometrisch?

- Bei grossen Höhendifferenzen benötigt geometrisches Nivellement sehr viel Zeit bedingt durch sehr viele Umstellpunkte.

## Problem:

- Refraktion verursacht starken Einfluss auf die Genauigkeit.
- Standardwert für Refraktionskoeffizient ( $0.13 \pm 0.06$ ) stimmt selten mit der Wirklichkeit überein.

## Lösungsansatz:

- gegenseitig & gleichzeitige trigonometrische Höhenbestimmung
- Bei (fast) gleichzeitiger Höhenbestimmung, lässt sich der Einfluss der Refraktion stark vermindern.
- So kann auch der geltende Refraktionskoeffizient berechnet werden.



Abb. 5: Gegenseitig & gleichzeitige trigonometrische Höhenbestimmung von der Kirche Conters zur Alp «Boden». (Bild: Peter Mahler und Stefan Sidler)

# Auswertungen

Die Auswertung der Messdaten erfolgte in drei Abschnitten:

- Messungen 2004/2005
- Messungen 2023
- Messungen 2024

Die Messungen aus den Jahren 2004 (tachymetrisch) und 2005 (GPS) wurden in einer sogenannten Diagnoseausgleichung neu beurteilt und ausgewertet (siehe Tabelle 1).

Da die beiden Messkampagnen 2023 & 2024 in ähnlicher Weise erfolgten, wurde deren Auswertung identisch durchgeführt. Siehe folgende Folien.

## Messungen 2004/2005 (Diagnoseausgleichung)

Mit der Analyse der alten Messdaten und anschließenden Diagnoseausgleichung wurden folgende Herausforderungen behandelt:

- Teilweise instabile Lagerungspunkte
- Reduzierte Messgenauigkeit durch Refraktionseinflüsse bei den sehr langen tachymetrische Visuren (> 3 km) und Nichtberücksichtigung vom Höhenmassstab bei den GPS-Messungen
- Tiefe Überbestimmung & Zuverlässigkeit
- Bezugsrahmenwechsel (LV03 → LV95)

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichungsart	hybrid (2004 & 2005 gemeinsam)	
Lagerung	gezwängt gelagert	
Anzahl Lagerungspunkte	9	8
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	140 / 35	69 / 16
Empirische Genauigkeit der Punkte (Ø / max) [cm]	5.7 / 11.0	3.2 / 5.7

Tabelle 1: Wichtigste Eigenschaften der Diagnoseausgleichung der Messungen 2004/2005

# Auswertungen 2023 & 2024

## Auswertungsschritte

1. Berechnung THB  
→ Ausgangshöhen für den GNSS-Höhenmassstab (GHM)
2. Basislinienberechnung der STS-Messungen  
→ GNSS-Höhen für den GHM
3. Berechnung und Anbringen vom GHM mittels Höhentransformation
4. Netzausgleich:

**Netzausgleiche 2023 & 2024**

**2023**

- Lagerung auf stabile LFP2
- Lagerungspunkt der Höhe wurde im Feldkurs 2023 von HFP1 aus nivelliert.

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichsort	nur GNSS	
Lagerung	gezweigt	frei
Anzahl Lagerungspunkte	3	1
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	110 / 42	57 / 23
Empirische Genauigkeit der Punkte (D / max) [cm]	0.5 / 0.6	1.7 / 1.9

Tabelle 2: Wichtige Eigenschaften des Netzausgleichs der Messungen 2023

**2024**

- 2 zusätzliche Lagerungspunkte im Dorfgebiet Saas (LFP3)
- Gleicher Lagerungspunkt für die Höhe

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichsort	nur GNSS	
Lagerung	gezweigt	frei
Anzahl Lagerungspunkte	5	1
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	130 / 42	99 / 25
Empirische Genauigkeit der Punkte (D / max) [cm]	0.6 / 0.7	1.6 / 1.8

Tabelle 3: Wichtige Eigenschaften des Netzausgleichs der Messungen 2024

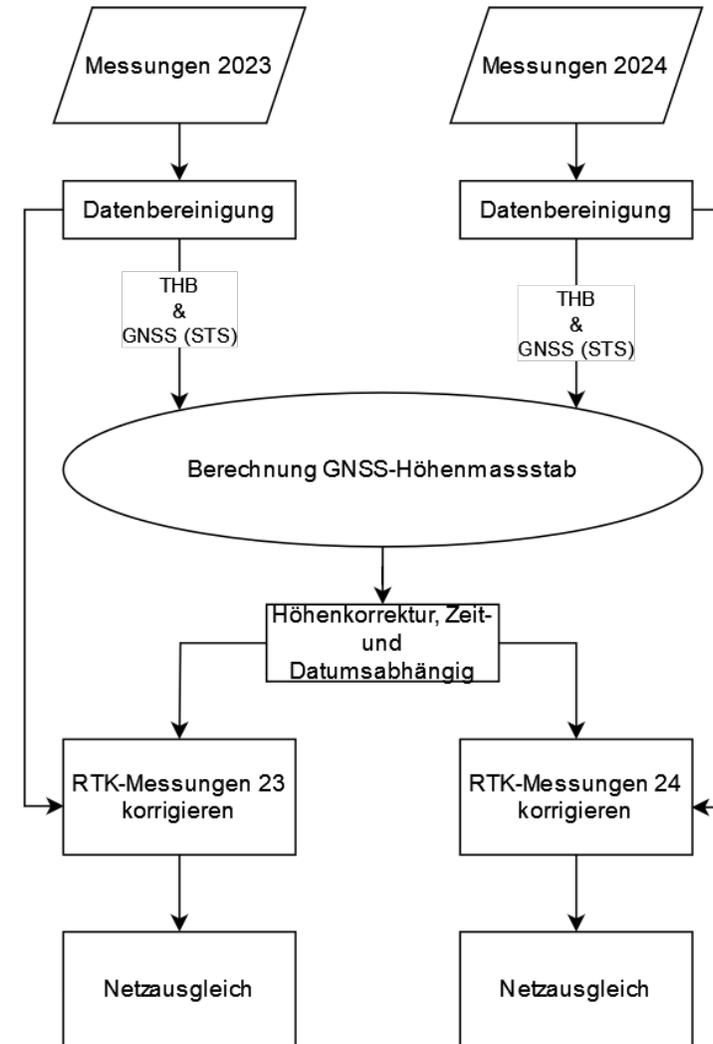


Abb. 6: Ablaufdiagramm der Auswertungen 2023 & 2024, gemäss Auswertekonzept.

# Netzausgleiche 2023 & 2024

## 2023

- Lagerung auf stabile LFP2
- Lagerungspunkt der Höhe wurde im Feldkurs 2023 von HFP1 aus nivelliert.

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichungsart	nur GNSS	
Lagerung	gezwängt	frei
Anzahl Lagerungspunkte	3	1
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	116 / 42	57 / 23
Empirische Genauigkeit der Punkte (Ø / max) [cm]	0.5 / 0.6	1.7 / 1.9

Tabelle 2: Wichtigste Eigenschaften des Netzausgleichs der Messungen 2023

## 2024

- 2 zusätzliche Lagerungspunkte im Dorfgebiet Saas (LFP3)
- Gleicher Lagerungspunkt für die Höhe

Eigenschaft	Lage	Höhe
Ausgleichungsart	nur GNSS	
Lagerung	gezwängt	frei
Anzahl Lagerungspunkte	5	1
Anzahl Beobachtungen / Überbestimmung	136 / 42	69 / 25
Empirische Genauigkeit der Punkte (Ø / max) [cm]	0.6 / 0.7	1.6 / 1.8

Tabelle 3: Wichtigste Eigenschaften des Netzausgleichs der Messungen 2024

# Resultate

## THB und GHM

- THB:
  - Die Refraktion verändert sich deutlich über die Zeit (siehe Abb. 7).
- GHM:
  - Es wurden Höhenmassstäbe zwischen 185 und 334 ppm berechnet (min/max beider Messkampagnen).
  - In der Nacht stieg der GHM an (siehe Abb. 8).

## Verschiebungen

- Die folgende Folie zeigt die Werte der Verschiebungen, welche aus allen Auswertungen bestimmt wurden (Abb. 9 und Tabelle 4)
- Die Ausscheidung der Gebiete mit dauernden Bodenverschiebungen (Abb. 1) wurde bestätigt
- Es resultiert eine maximale Rutschung zwischen 1989 und 2023 von > 7 m (ca. 21 cm pro Jahr)

Refraktionskoeffizient

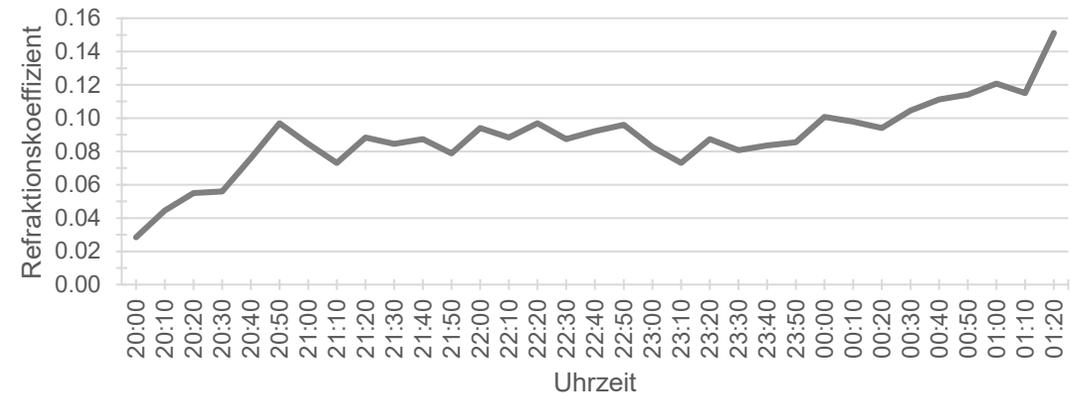


Abb. 7: Resultate der Refraktionsberechnung von der automatischen THB 2024.

GNSS-Höhenmassstab

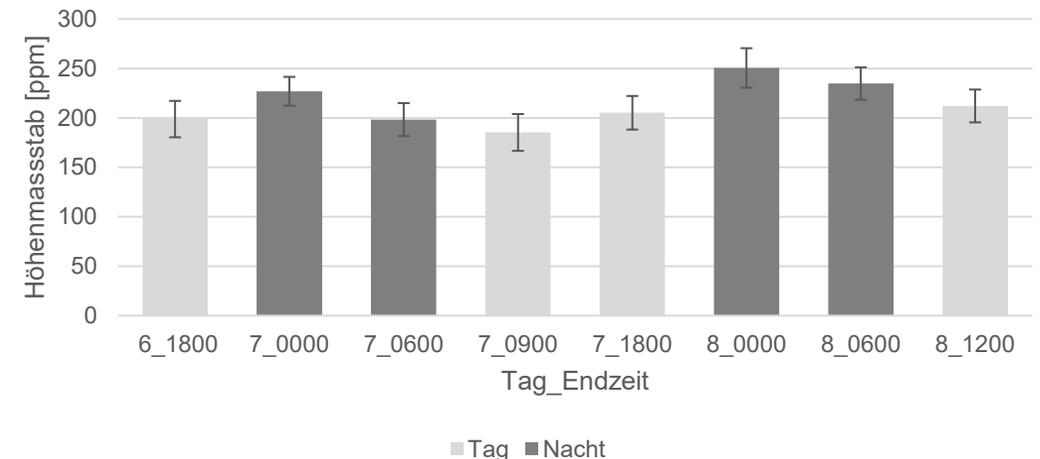
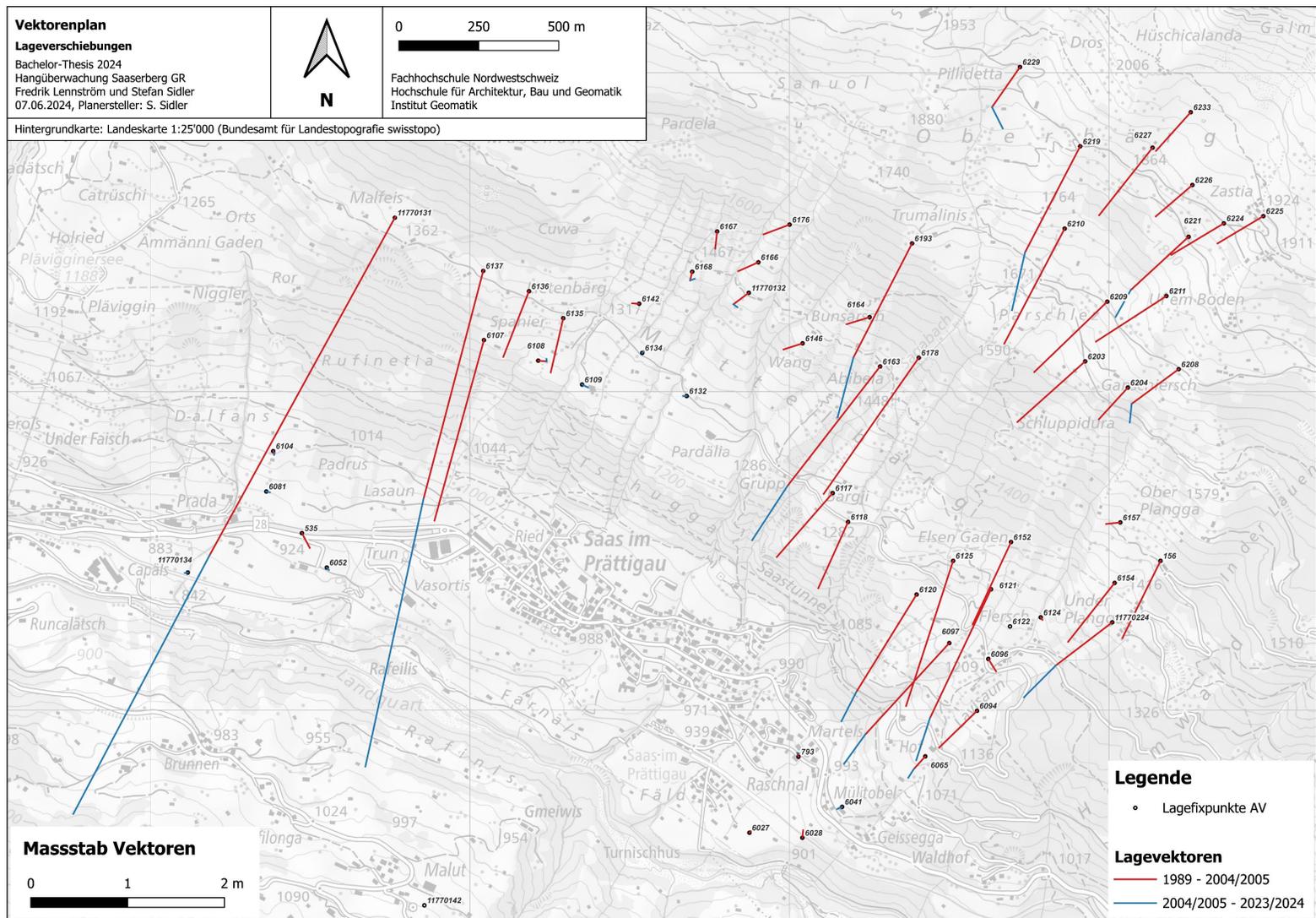


Abb. 8: GNSS-Höhenmassstäbe der Gruppe B im Feldkurs 2023.



1988/89 – 2004/05	Lage	Höhe
Ø [m]	0.66	- 0.25
Max [m]	4.03	- 1.00
2004/05 – 2023/24	Lage	Höhe
Ø [m]	0.18	- 0.13
Max [m]	3.04	- 0.94

Tabelle 4: Die durchschnittlichen und maximalen Punktverschiebungen zwischen jeweils zwei Zeitständen.

Abb. 9: Vektorenplan (Lage) der Überwachungspunkte am Saaserberg

# Fazit & Praxisempfehlungen

## GNSS-Höhenmassstab

- Bestimmung des GNSS-Höhenmassstabes mit STS aufwändig
- Wichtig: Effekt berücksichtigen (bis zu 334 ppm!)
- GNSS-RTK-Messungen ausreichend für Bestimmung GHM
- Stabiles Rahmennetz für Netzlagerung und Bestimmung GHM

## Diagnoseausgleichung und Bezugsrahmenwechsel

- Datenorganisation und –aufbereitung sehr zeitaufwändig
- Nützlich bei Kombinationen mit neuen Messungen/Methoden
- Einflüsse Bezugsrahmenwechsel auf berechnete Punktverschiebungen unbedeutend

## Hangüberwachung Saaserberg

- Bekannte Hangrutschungen bestätigt
- Weitere Überwachungsmessungen empfehlenswert
- GNSS-RTK als wirtschaftlichstes Verfahren
- Berücksichtigung GNSS-Höhenmassstab notwendig

Abb. 10: GNSS-RTK-Messungen mit Leica GS18 I (Bild: Fredrik Lennström )

