

Grundlagen- und Deformationsnetz Felslabor Mont Terri

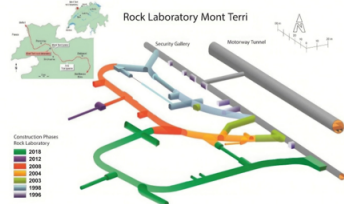


Abb. 1: Entwicklung des Felslabors (Quelle: www.mont-terri.ch/de/felslabor/innenansicht)

Ausgangslage

- Das Felslabor Mont Terri ist ein internationales Forschungslabor für die Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers
- Es liegt in einer Opalinuston-Schicht
- 22 Projektpartner weltweit
- Experimente:
 - 128 Abgeschlossen
 - 46 laufend
- Betreiber: swisstopo
- Long-Term Monitoring of Heaves and Displacement (MH-Experiment)

Netzgeometrie

- Ausdehnung**
Das Grundlagen- und Deformationsnetz Mont Terri erstreckt sich über ca. neun Kilometer (Nord-Süd-Ausdehnung). Der Tunnel ist ca. 4.5 Kilometer lang.
- Aussennetz**
Das Aussennetz umfasst sieben Fernziele (davon fungieren sechs als Festpunkte), drei Portalpunkte sowie die Referenzstation, welche ebenfalls als Festpunkt dient.
- Innennetz**
Das Innennetz umfasst ca. 70 Punkte im Jahr 2023 sind davon ca. 50 Punkte Teil der Messkampagne.

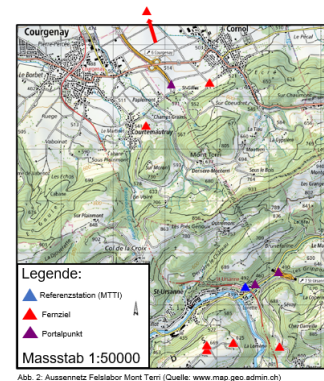


Abb. 2: Aussennetz Felslabor Mont Terri (Quelle: www.map.geo.admin.ch)



Abb. 5: Impression der Messkampagne in der Sicherheitsgalerie



Abb. 6: Aufbau GNSS-Station bei Punkt 201

Messkampagne

- Umsetzung: 13.03.2023 – 17.03.2023
- Für die Durchführung des Polygonzuges kam der Tachymeter Leica TS60 zum Einsatz. Pro definierten Standpunkt wurden zwei Stationierungen durchgeführt, bei welchen jeweils mehrere Satzmessungen getätigt wurden.
- Auf insgesamt zehn Aussennunkten, wurden mit Leica GS18 langstatische GNSS-Messungen (mind. 48 Stunden angestrebt) durchgeführt.
- Die tachymetrischen Messungen im Tunnel wurden durch Kreismessungen gestützt. Mit dem Kreiseltheodolit (Gyromat 2000) wurde eine Portal- und eine Tunnelstrecke gemessen.

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

Auswertung

Epochale Auswertung

Bei der Basislinienberechnung der GNSS-Sessions dient die GNSS-Antenne MTT1 als Referenzstation. In der epochalen Auswertung werden die systematischen Verschiebungen im Bereich der Galerien 04 und 18 untersucht. Bei Punkt 27 wird ein Durchschlagspunkt simuliert, bei welchem die Durchschlagsabweichung ermittelt und beurteilt wird.

Multiepochale Auswertung

Die multiepochale Auswertung dient zur Detektion signifikanter Verschiebungen im Bereich des Felslabors, welche aus dem Vergleich zwischen den Auswertung 2021 und 2023 hervorgehen. Zudem lassen sich durch den Einbezug mehrerer Epochen Verschiebungstrends ablesen, welche wiederum Prognosen für die Zukunft zulassen.



Abb. 7: Referenzstation MTT1

Resultate und Analyse

- Als Grund für die systematischen Verschiebungen in den Galerien 04 und 18 wird die vorherrschende Netzgeometrie unmittelbar nach dem «Genou» verantwortlich gemacht (Epochale Auswertung).
- Um einen effektiven Tunnel-Durchschlag zu simulieren, wurde der Punkt 27 als Durchschlagspunkt gewählt. Er befindet sich ungefähr in der Mitte der Sicherheitsgalerie (Epochale Auswertung).
- Im Bereich der gemessenen Galerien 04 und 18 des Felslabors existieren bei einigen Punkten signifikante Verschiebungen zwischen den Jahren 2021 und 2023 (Multiepochale Auswertung).



Abb. 8: Verschiebungsvektoren in den Galerien 04 und 18 (2019 – 2021 – 2023)

Fazit

- Der Einfluss der vorherrschenden Netzgeometrie wird für die systematischen Abweichungen im Felslabor verantwortlich gemacht.
- Detektion von sieben signifikanten Verschiebungen im Bereich der Galerien 04 und 18. Diese bestätigen die Messungen von 2021 nicht. Ob und in welche Richtung sich die beiden Galerien bewegen wird die nächste Folgemessung zeigen.
- Die ermittelte Durchschlagsabweichung bestätigt eine sehr hohe Genauigkeit des Netzes.
- Verschiebungstrends lassen sich durch längere Zeitreihen und korrespondierende Verschiebungsvektoren zuverlässiger bestimmen.
- Grosse Herausforderung und lehrreiche Erfahrung

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

25. September 2023: Patrick Brand / Michael Kuster, Examinatoren: Dipl. Ing. FH Peter Mahler / Prof. Dr. Dante Salvini, Experte: Geomatik-Ing. MSc Sebastian Condamin © IGEO FHNW

Ausgangslage

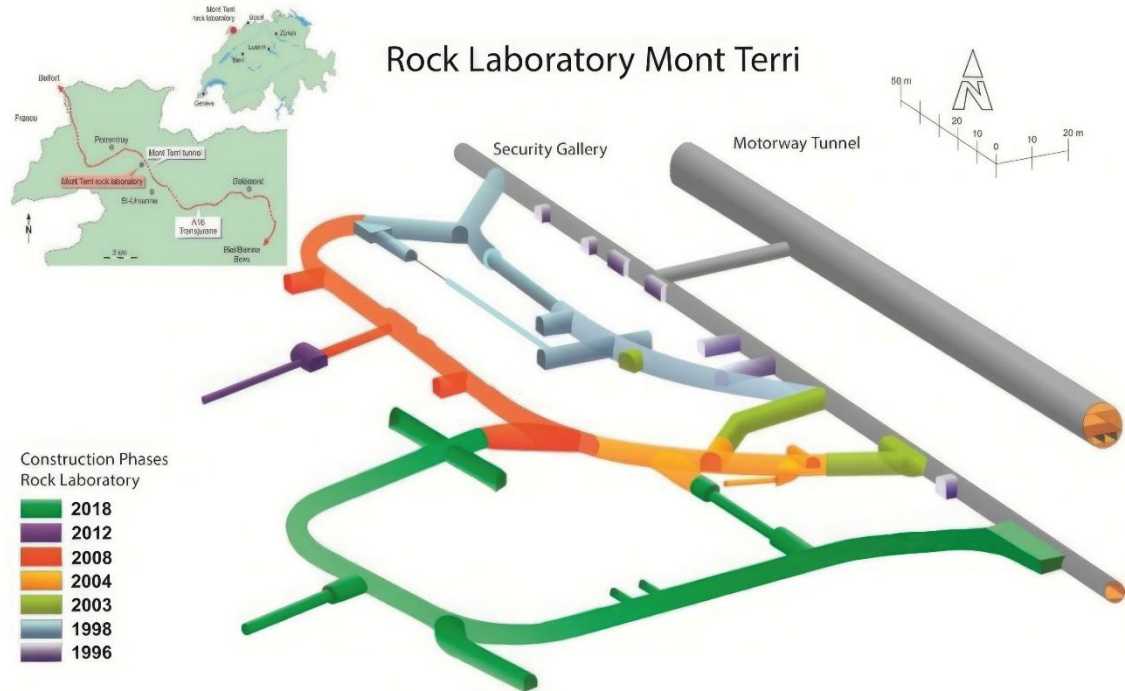


Abb. 1: Entwicklung des Felslabors (Quelle: www.mont-terri.ch/de/felslabor/innenansicht)

- Das Felslabor Mont Terri ist ein internationales Forschungslabor für die Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers
- Es liegt in einer Opalinuston-Schicht
- 22 Projektpartner weltweit
- Experimente:
 - 128 Abgeschlossen
 - 46 laufend
- Betreiber: swisstopo
- Long-Term **M**onitoring of **H**eaves and **D**isplacement (MH-Experiment)

Netzgeometrie

- Ausdehnung

Das Grundlagen- und Deformationsnetz Mont Terri erstreckt sich über ca. neun Kilometer (Nord-Süd-Ausdehnung). Der Tunnel ist ca. 4.5 Kilometer lang.

- Aussennetz

Das Aussennetz umfasst sieben Fernziele (davon fungieren sechs als Festpunkte), drei Portalpunkte sowie die Referenzstation, welche ebenfalls als Festpunkt dient.

- Innennetz

Das Innennetz umfasst ca. 70 Punkte im Jahr 2023 sind davon ca. 50 Punkte Teil der Messkampagne.

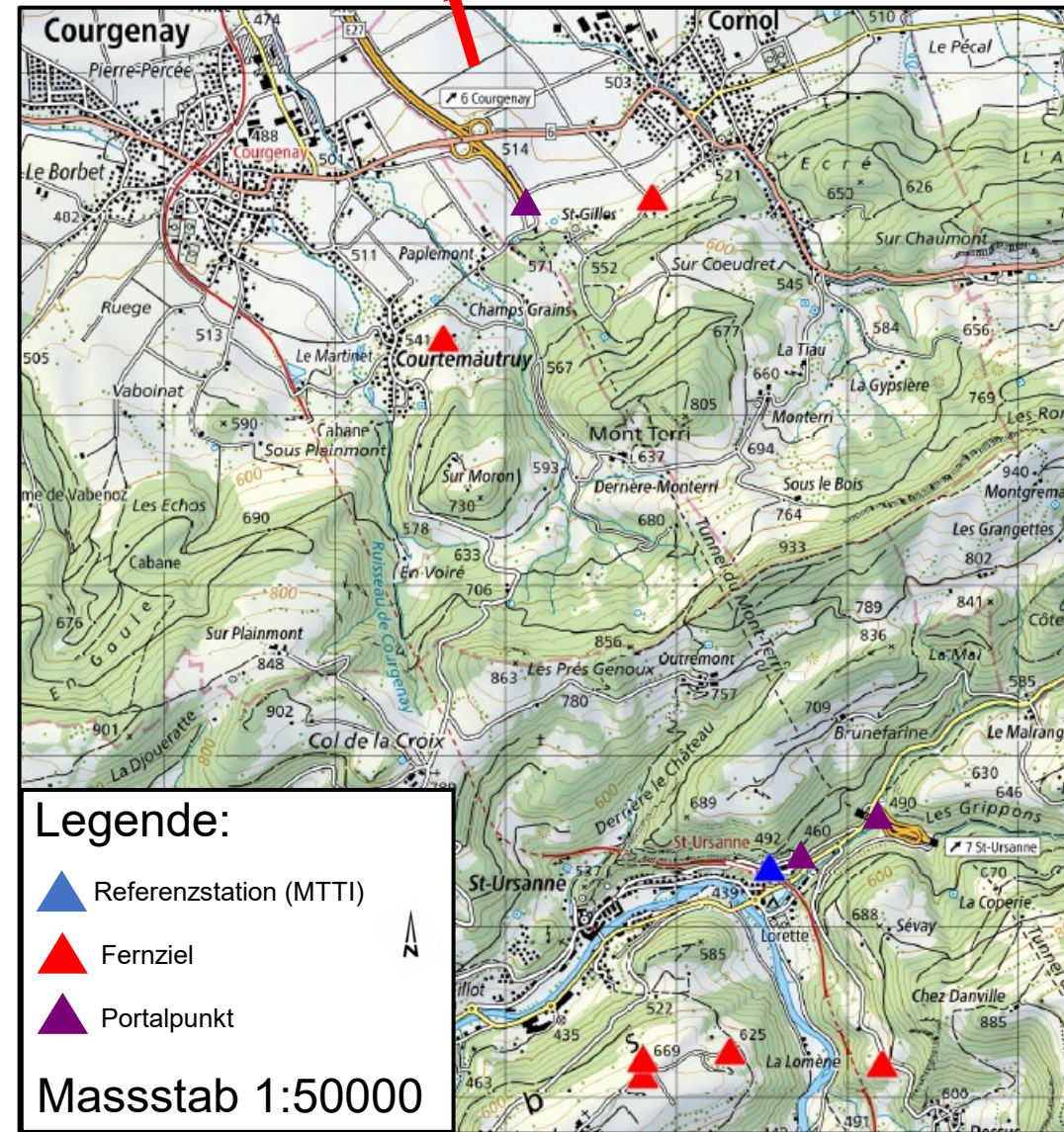


Abb. 2: Aussennetz Felslabor Mont Terri (Quelle: www.map.geo.admin.ch)

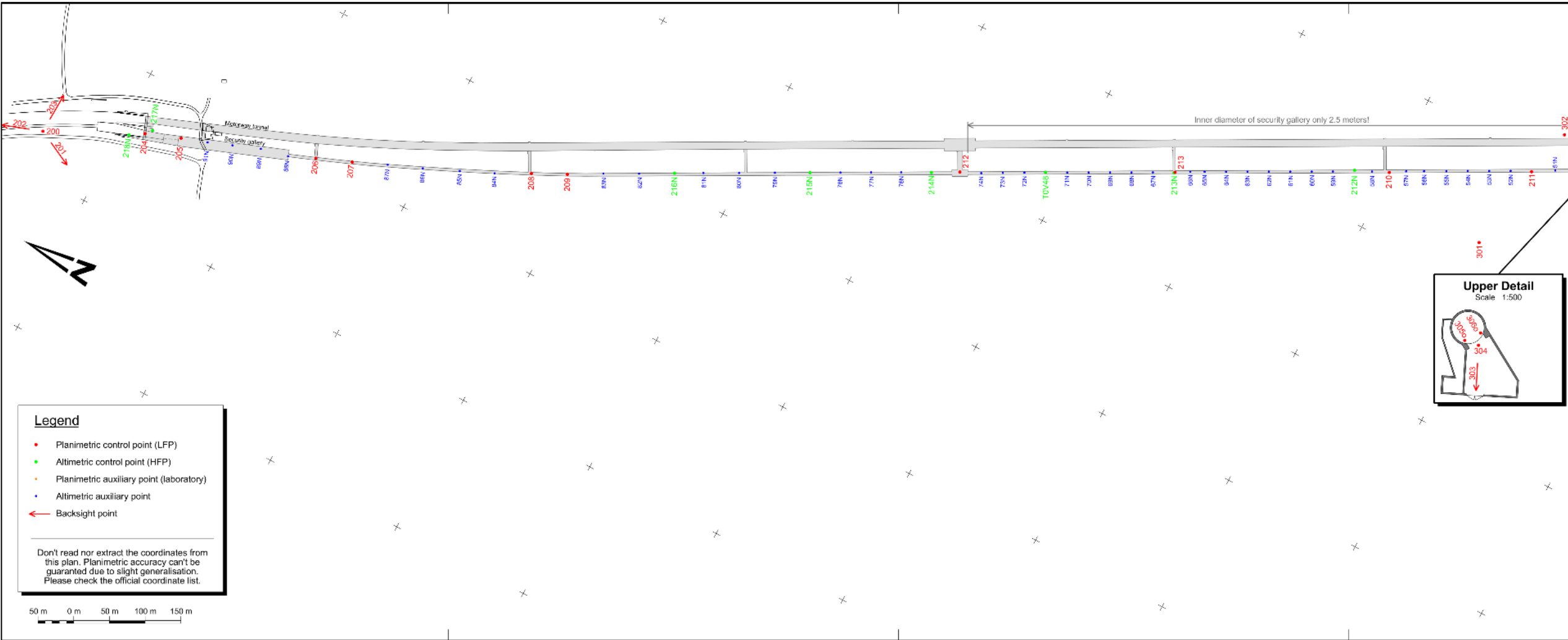


Abb 3: Übersicht Grundlagen- und Deformationsnetz (Quelle: swisstopo)

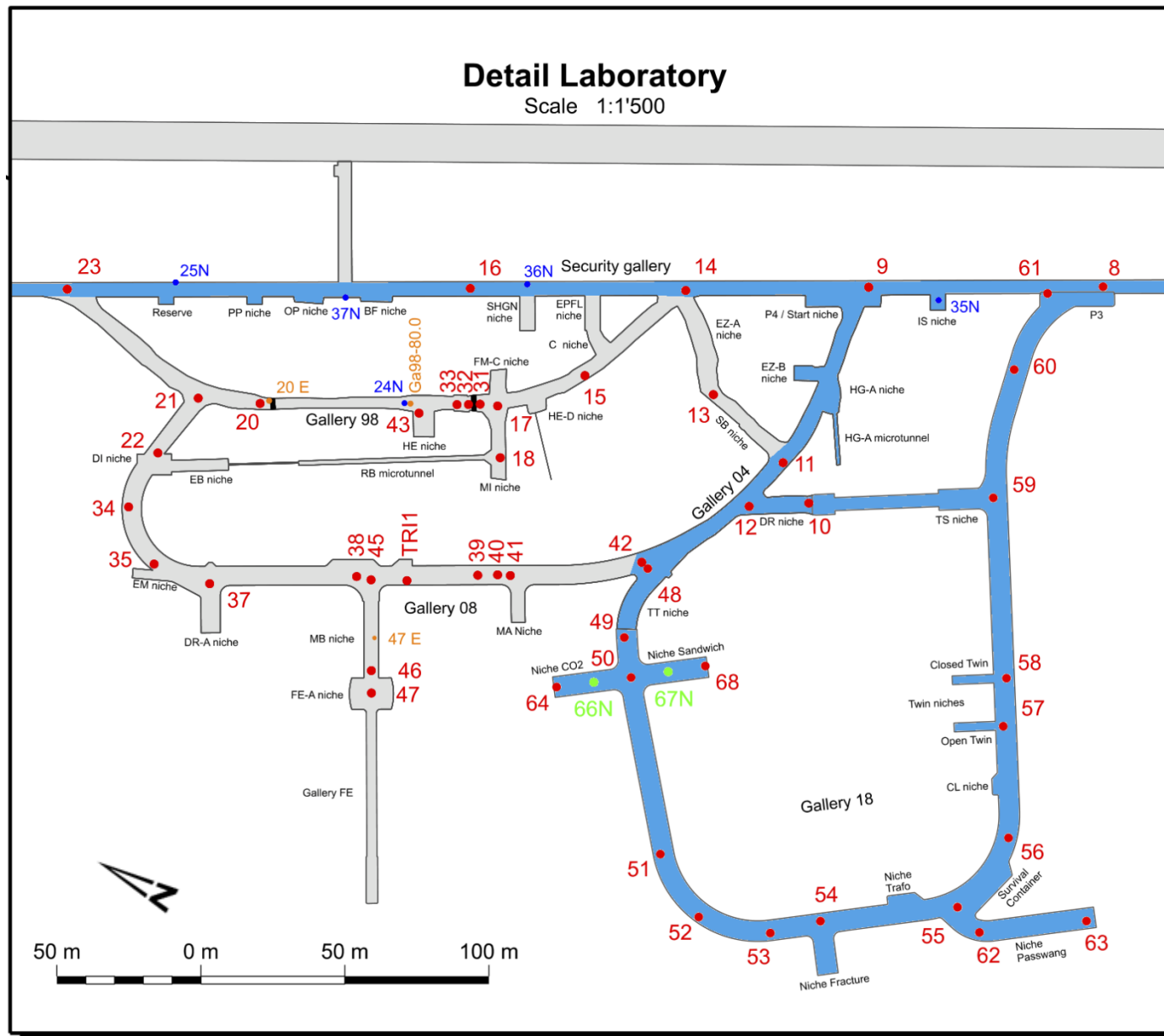


Abb. 4: Übersicht Felslabor mit gemessenem Bereich 2023 (Galerie 04 und 18, hellblau) (Quelle: swisstopo)



Abb. 5: Impression der Messkampagne in der Sicherheitsgalerie



Abb. 6: Aufbau GNSS-Station bei Punkt 201

Messkampagne

- Umsetzung: 13.03.2023 – 17.03.2023
- Für die Durchführung des Polygonzuges kam der Tachymeter Leica TS60 zum Einsatz. Pro definierten Standpunkt wurden zwei Stationierungen durchgeführt, bei welchen jeweils mehrere Satzmessungen getätigt wurden.
- Auf insgesamt zehn Aussenpunkten, wurden mit Leica GS18I langstatische GNSS-Messungen (mind. 48 Stunden angestrebt) durchgeführt.
- Die tachymetrischen Messungen im Tunnel wurden durch Kreismessungen gestützt. Mit dem Kreiseltheodolit (Gyromat 2000) wurde eine Portal- und eine Tunnelstrecke gemessen.

Auswertung

- Epochale Auswertung

Bei der Basislinienberechnung der GNSS-Sessionen dient die GNSS-Antenne MTTI als Referenzstation. In der epochalen Ausgleichung werden die systematischen Verschiebungen im Bereich der Galerien 04 und 18 untersucht.

Bei Punkt 27 wird ein Durchschlagspunkt simuliert, bei welchem die Durchschlagsabweichung ermittelt und beurteilt wird.

- Multiepochale Auswertung

Die multiepochale Auswertung dient zur Detektion signifikanter Verschiebungen im Bereich des Felslabors, welche aus dem Vergleich zwischen den Auswertung 2021 und 2023 hervorgehen. Zudem lassen sich durch den Einbezug mehrerer Epochen Verschiebungstrends ablesen, welche wiederum Prognosen für die Zukunft zulassen.



Abb. 7: Referenzstation MTTI

Resultate und Analyse

- Als Grund für die systematischen Verschiebungen in den Galerien 04 und 18 wird die vorherrschende Netzgeometrie unmittelbar nach dem «Genou» verantwortlich gemacht (Epochale Auswertung).
- Um einen effektiven Tunnel-Durchschlag zu simulieren, wurde der Punkt 27 als Durchschlagspunkt gewählt. Er befindet sich ungefähr in der Mitte der Sicherheitsgalerie (Epochale Auswertung).
- Im Bereich der gemessenen Galerien 04 und 18 des Felslabor existieren bei einigen Punkten signifikante Verschiebungen zwischen den Jahren 2021 und 2023 (Multiepochale Auswertung).

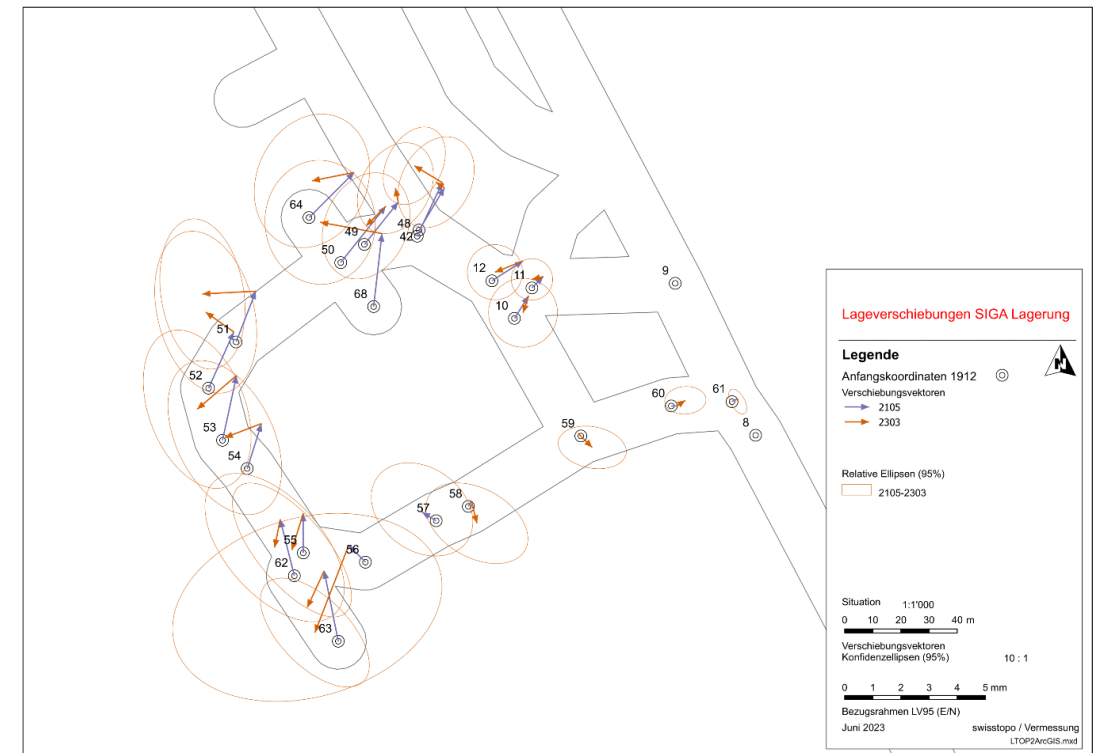


Abb. 8: Verschiebungsvektoren in den Galerien 04 und 18 (2019 – 2021 – 2023)

Epochale Auswertung

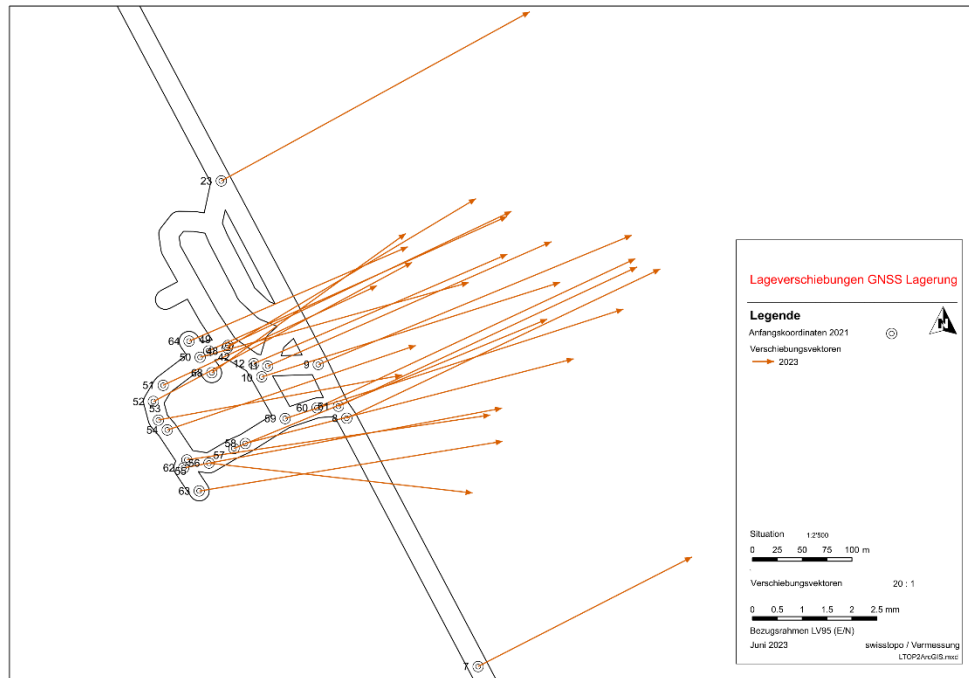


Abb. 9: systematische Abweichungen im Felslabor (Galerie 04 und 18)

Bei der GNSS-Lagerung deuten die Verschiebungsvektoren im Bereich des Felslabors auf einen systematischen Einfluss hin. Die Netzgeometrie, Seitenrefraktion und eine allfällige stark divergierende Richtungsübertragung durch die beiden Südportale sind mögliche Ursachen.

Die Resultate der Untersuchung schliessen den Einfluss der Seitenrefraktion und divergierende Richtungsübertragungen aus. Für die systematischen Verschiebungen wird die Netzgeometrie bei Punkt 109 und 5 hauptverantwortlich gemacht, da dort eine lange Richtungsübertragung über den Punkt 4 nicht möglich ist.

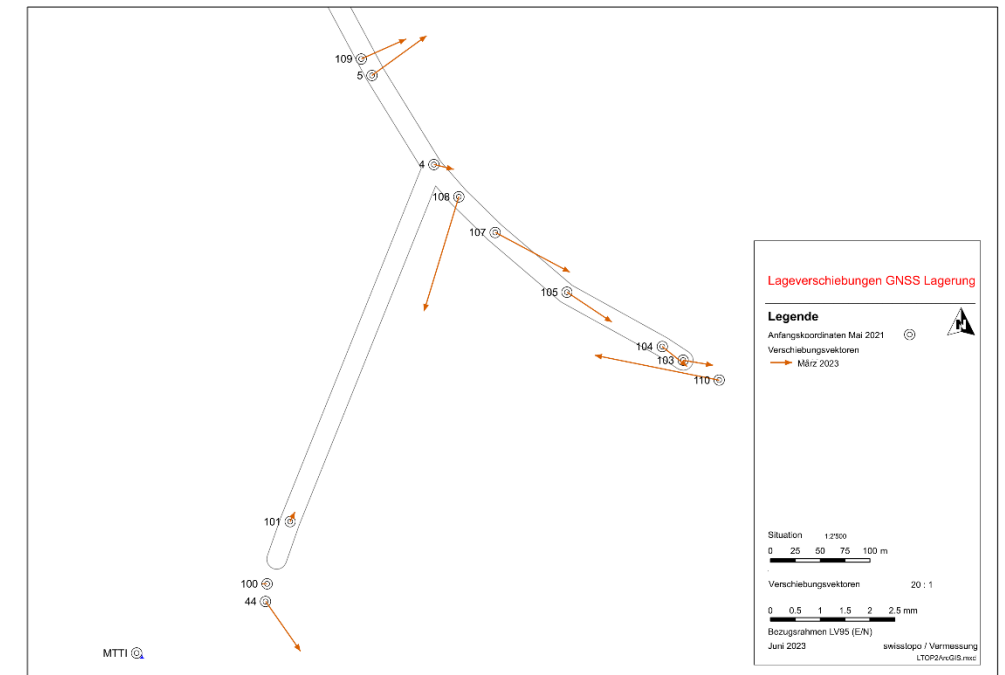


Abb. 10: Situation der beiden Südportale und dem «Genou» (Punkt 4)

Berechnung Durchschlagsabweichung

Für die Berechnung der Durchschlagsabweichung wird das Deformationsnetz geteilt. Die Koordinatenbestimmung des Punktes 27N erfolgt lediglich durch die Messungen aus Richtung des Nordportals. Beim Punkt 27S geschieht Selbiges durch die Messungen aus Richtung des Südportals. Dadurch wird gewährleistet, dass die beiden Punkte komplett unabhängig voneinander bestimmt werden.

Es resultieren Durchschlagsabweichungen von 3 mm quer bzw. 0.3 mm längs zur Tunnelachse. Die beiden Teilnetze passen somit sehr gut zueinander. Die sehr kleinen Durchschlagsabweichungen zeugen von einer sehr hohen Genauigkeit im Netz.

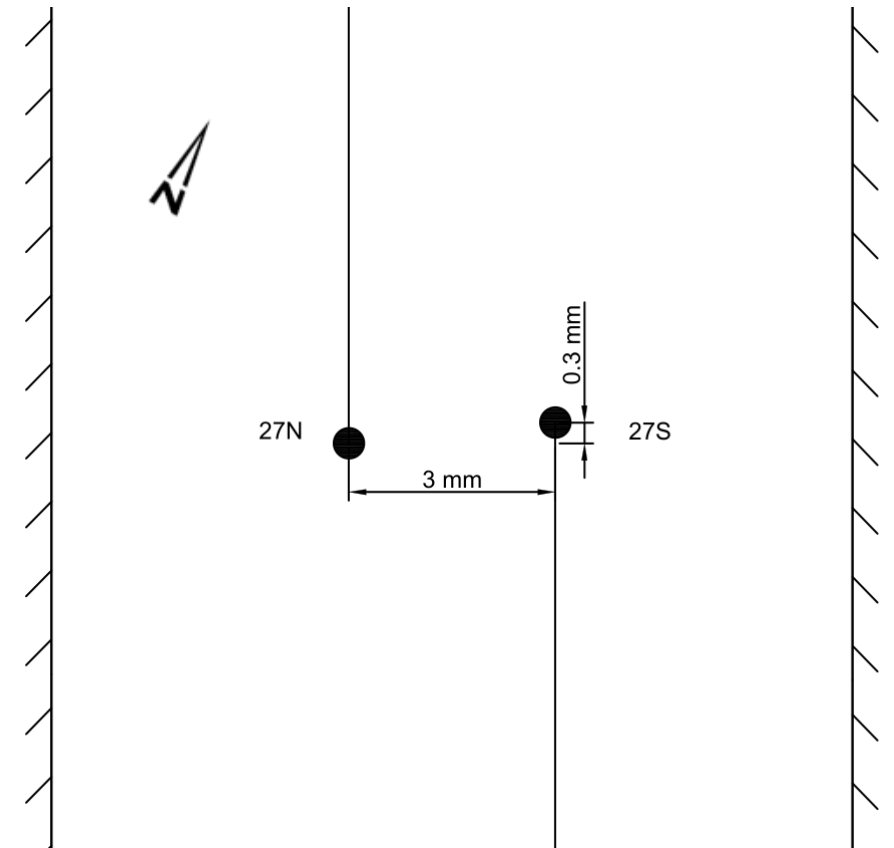


Abb. 11: Durchschlagsabweichung längs und quer zur Tunnelachse

Multiepochale Auswertung

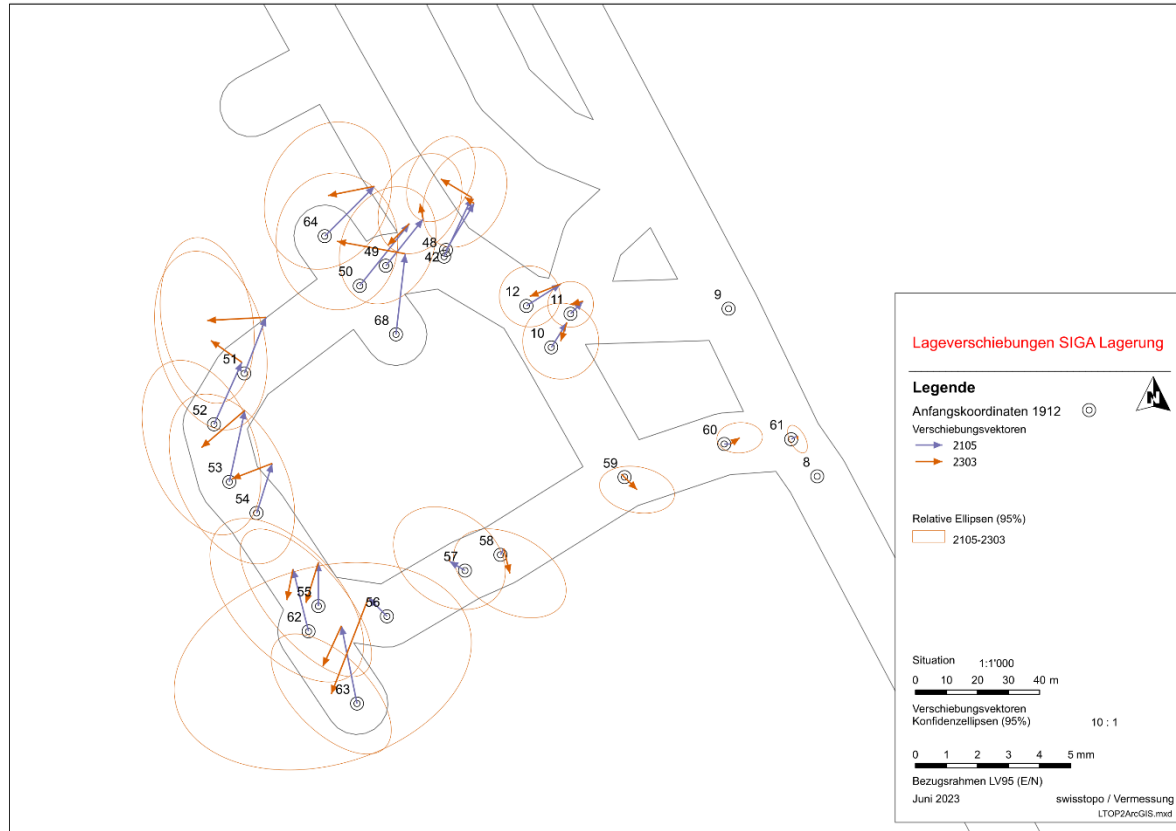


Abb. 12: Verschiebungsvektoren mit den relativen Konfidenzellipsen in den gemessenen Galerien

Um die systematischen Einflüsse im Bereich des Felslabors zu eliminieren, wird das Netz für die Detektion der Verschiebungen im Felslabor auf Punkten in der Sicherheitsgalerie gelagert (SIGA-Lagerung).

In den Galerien 04 und 18 resultieren im Vergleich zu 2021 bei sieben Punkten signifikante Verschiebungen (Konfidenzniveau 95 %). Die Verschiebungen liegen bei maximal 3.3 mm (Punkt 56).

Die Punktkoordinaten dieses Jahres passen besser zu jenen der Nullmessung (2019) als zu jenen vom Jahr 2021.

Dies deutet weniger auf Verschiebungen in diesem Bereich des Felslabors als vielmehr auf Diskrepanzen zwischen der Messkampagne 2021 und den beiden Messungen in den Jahren 2019 und 2023 hin.

Die Resultate der nächsten Folgemessung werden zeigen, ob die Stabilität in diesem Bereich des Labors gewährleistet ist (Bestätigung der Messkampagnen 2019 und 2023) oder ob die Galerien 04 und 18 signifikante Verschiebungen erfahren (Bestätigung der Messkampagne 2021).

Fazit

- Der Einfluss der vorherrschenden Netzgeometrie wird für die systematischen Abweichungen im Felslabor verantwortlich gemacht.
- Detektion von sieben signifikanten Verschiebungen im Bereich der Galerien 04 und 18. Diese bestätigen die Messungen von 2021 nicht. Ob und in welche Richtung sich die beiden Galerien bewegen wird die nächste Folgemessung zeigen.
- Die ermittelte Durchschlagsabweichung bestätigt eine sehr hohe Genauigkeit des Netzes.
- Verschiebungstrends lassen sich durch längere Zeitreihen und korrespondierende Verschiebungsvektoren zuverlässiger bestimmen.
- Grosse Herausforderung und lehrreiche Erfahrung