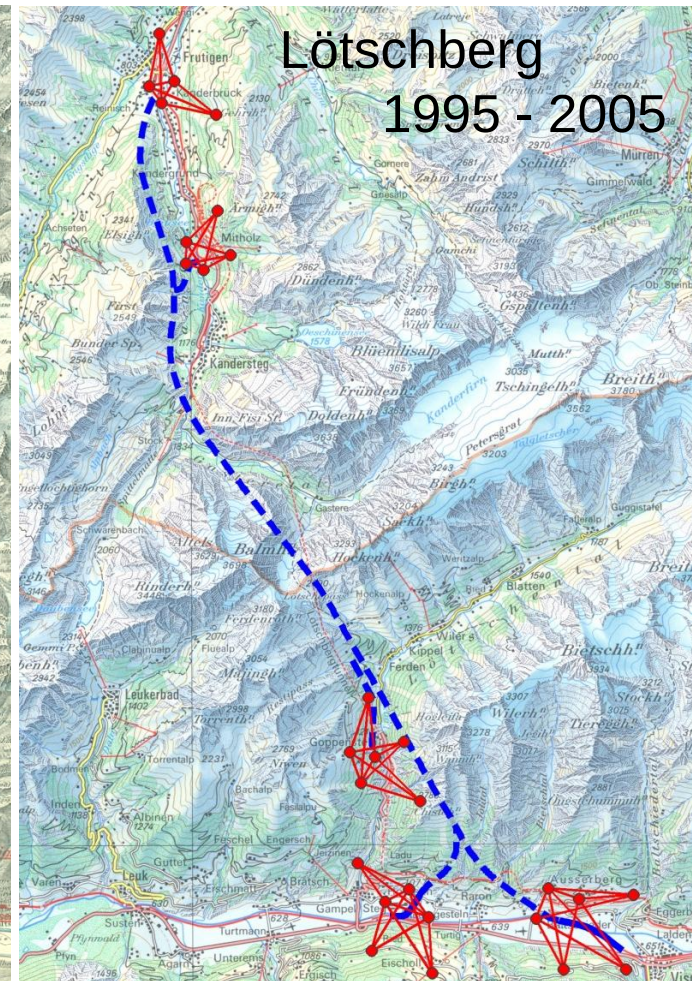
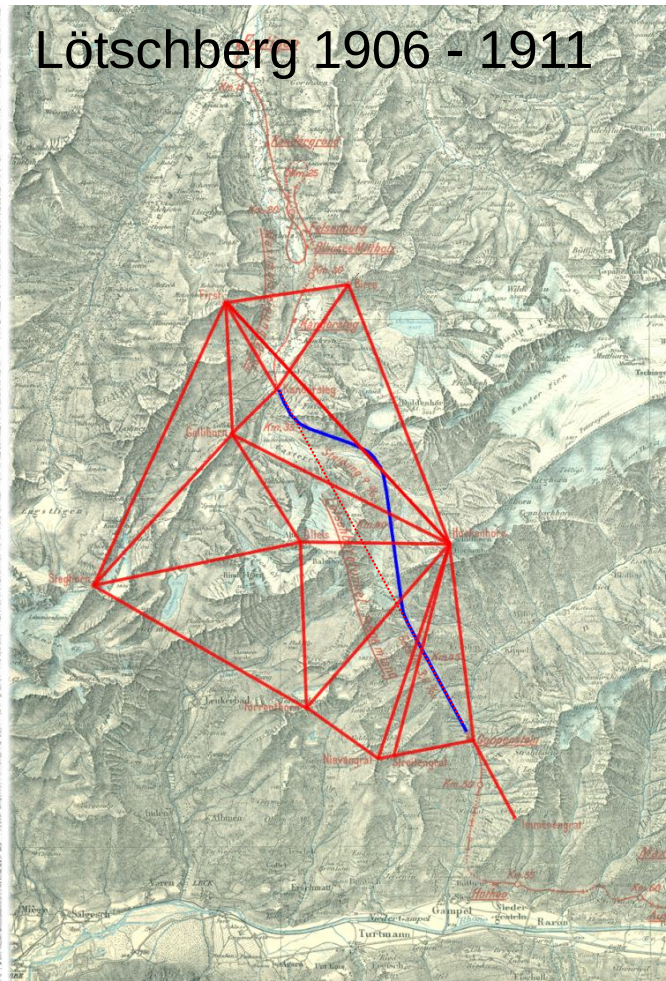
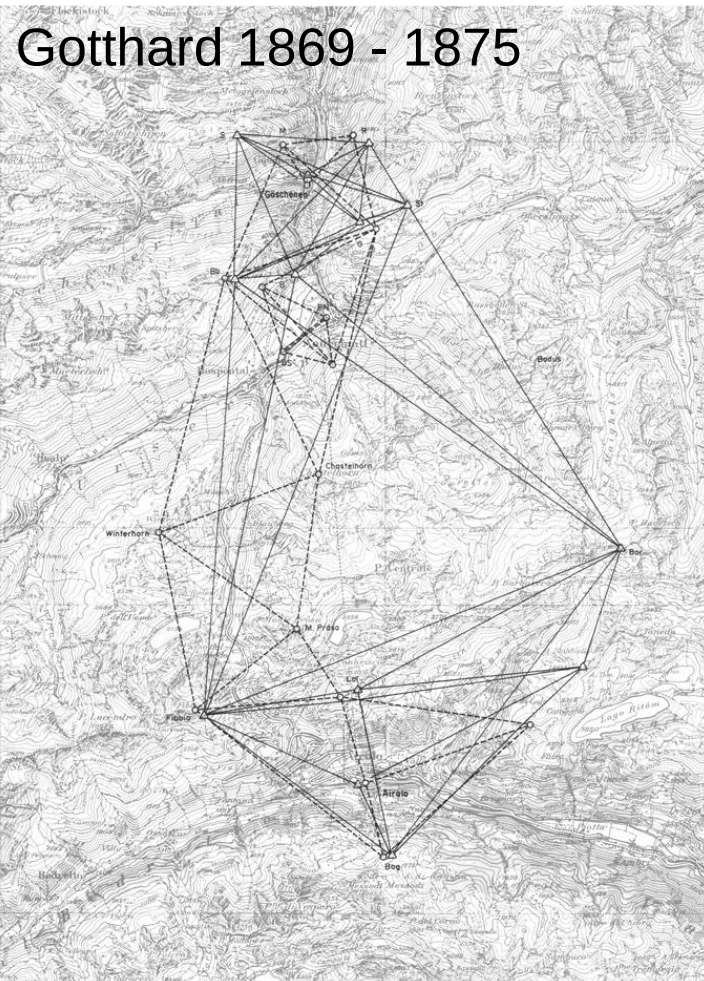


Eisenbahn - Tunnelvermessungen

Grundlagennetze und Absteckungen in den Jahren 1869 bis 1911
sowie 1995 bis 2015



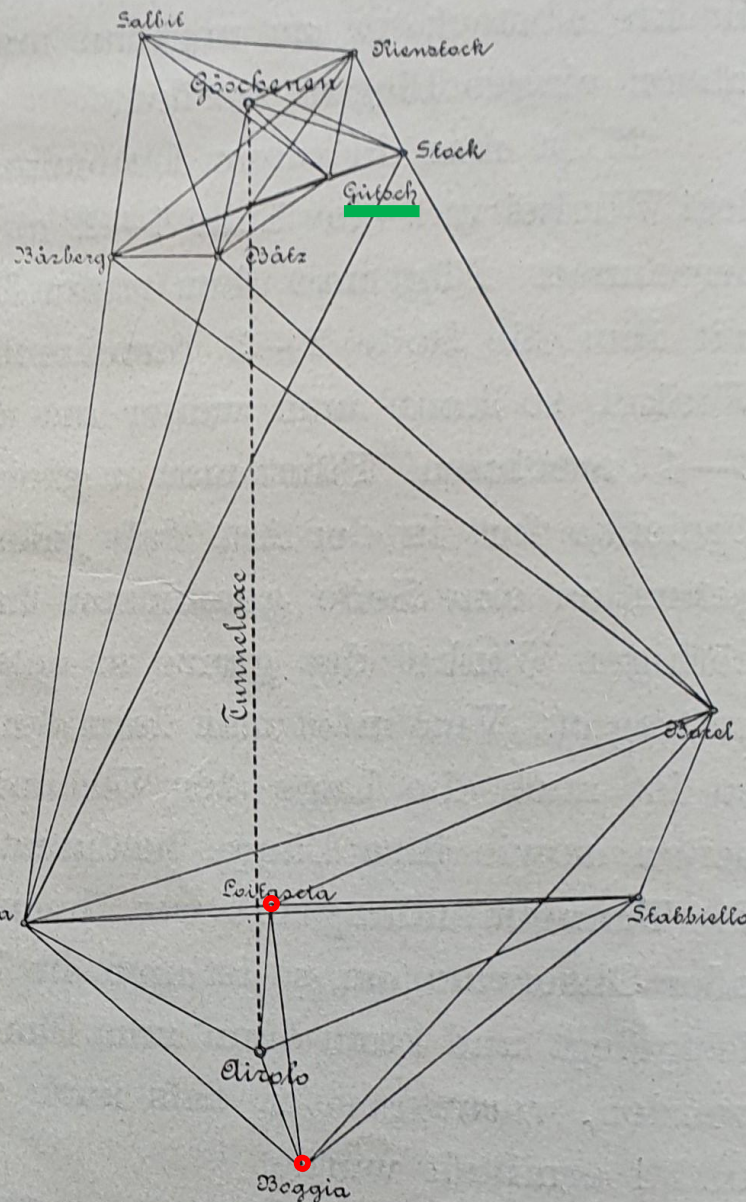
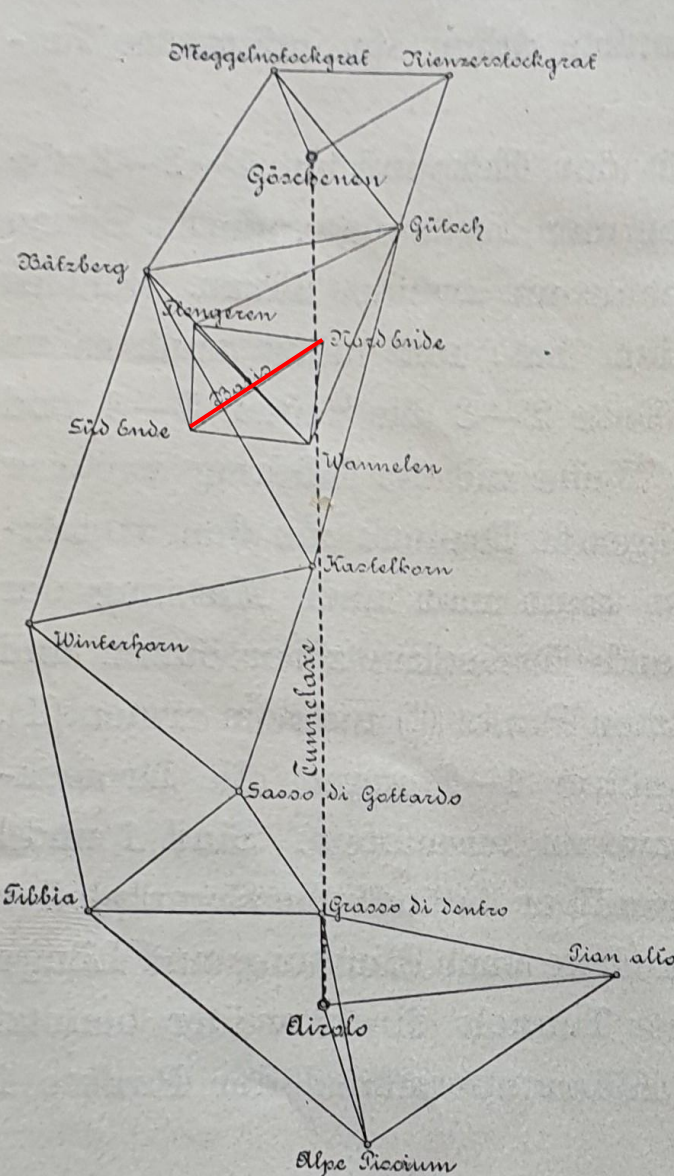
Agenda

1. Grundlagentetze (Triangulation) Gotthard 1869 bis 1875
2. Tunnelabsteckung Gotthard
3. Grundlagentetz (Triangulation) Lötschberg 1906
4. Oberirdische Tunnelabsteckung Lötschberg 1906
5. Grundlagentetze der Basistunnel Lötschberg und Gotthard 1995 – 2010
6. Erreichte Durchschlagsabweichungen 1880 - 2016
7. Tunnelabsteckung und Qualitätskontrolle heute
8. Literatur

Triangulation

Gelpke

Koppe



Triangulationsnetze Gotthard

1869 Otto Gelpke

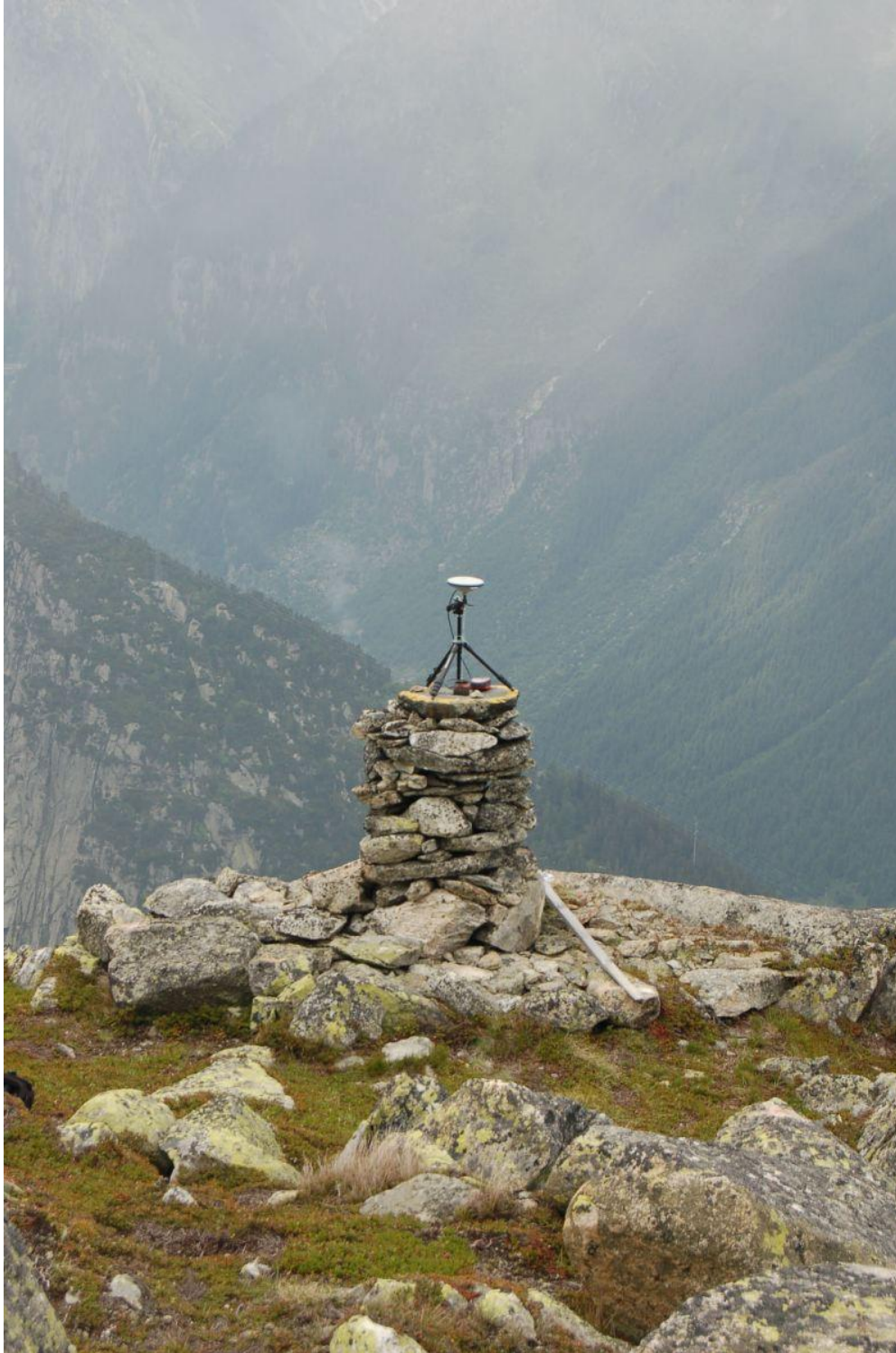
1874 Carl Koppe

Netzmassstab («Grösse»):

1869: aus Basismessung,
1'450.44 m lang

1874: 2 Lagerungspunkte
aus dem Netz Gelpke

(Koppe 1894, S. 22)



Punktversicherung

Messpfeiler Gütsch

von Carl Koppe, 1874

© David Mauro, 2007



Richtungsmarken in Göschenen

genau in der Tunnelachse

weit oben an einer Felswand, beleuchtbar



© David Mauro, 2009



Punktversicherung

Messpfeiler + Observatorium Göschenen

von

Otto Gelpke, 1869 und
Carl Koppe, 1874

Pläne: © SBB Historic

Granitsteine: © swisstopo, 1938

Gefahren und systematische Abweichungen

Bauliche

- Firststollen-, Gewölbe- und Wassereinbrüche, Explosionen, durch Kipploren eingeklemmt, Hitze, miserable sanitärische Verhältnisse und Unterkunft

Geodätische

- Systematische Instrumentenabweichungen → Instrumente kalibrieren und akklimatisieren, Messmethode, Messverfahren, REDUNDANZ
- Refraktion («Flimmern») → gute Stollenbelüftung und in der Stollenmitte messen
- «Messung auf der Kugel» → sphärischer Exzess berücksichtigen
- Projektionsverzerrungen und Höhenreduktion → rechnerisch berücksichtigen
- Schwerefeldstörungen → Schwere, Lotabweichungen, Geoidundulationen rechnerisch berücksichtigen
- Weitere Abweichungen → unabhängige Messmethoden

Konsequenzen einer Nichtberücksichtigung: der Tunnelvortrieb weicht (in Lage + Höhe) rasch von der Soll-Achse ab.



Starke 1869 (Gelpke)

9" (23cm) Repetitionstheodolit

1837 von Oberst-Quartiermeister
Guillaume Henri Dufour in Wien bestellt

1837 – 1877 als Triangulationstheodolit
in der Landesvermessung verwendet

je 2 Nonien zur Ablesung des Teilkreises

© swisstopo, 2012



Kern 1874 (Koppe)

8" (22cm) Präzisionstheodolit

«dieser Theodolith war eigens nach den speciellen Angaben des Hr. Bergingenieur Gelpke von Hr. Kern construiert worden, und ist der erste in dieser Art, der aus Hr. Kerns Etablissement hervorging» (O. Gelpke 1875)

4 Ablese - Nonien

direkte Ablesung von 10 Sekunden

30-fache Fernrohrvergrößerung

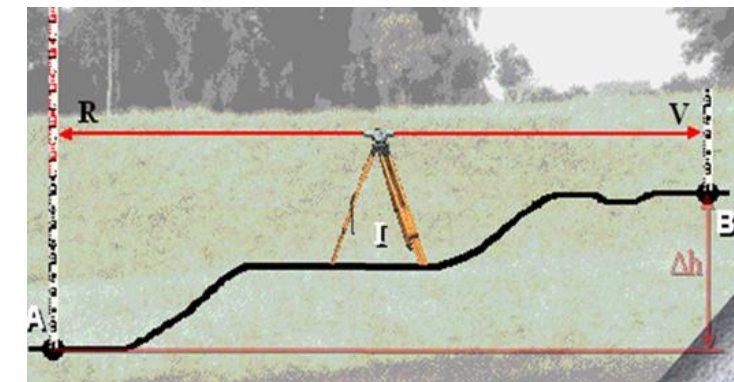
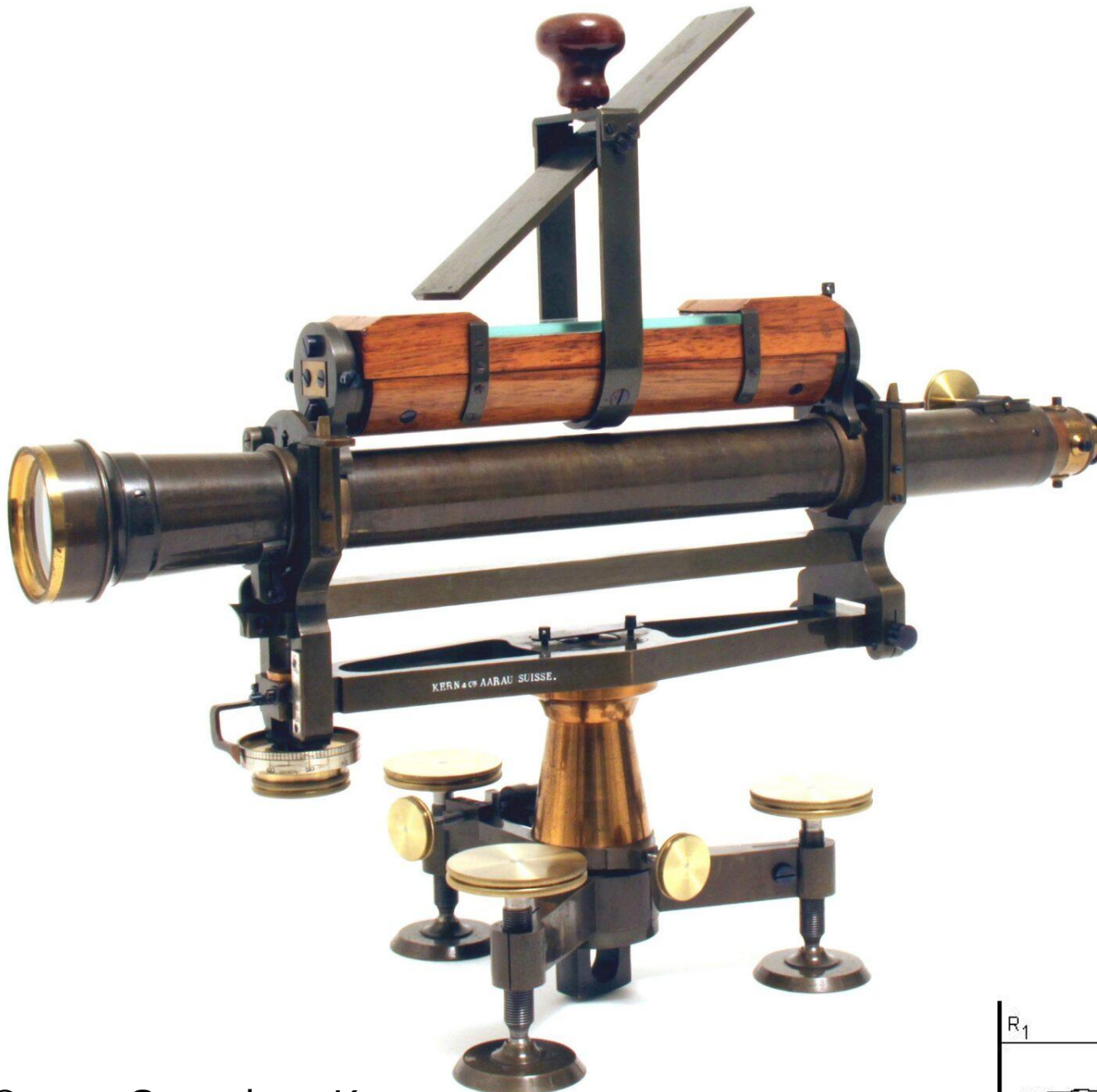
© swisstopo, 2013

Höhenmessung

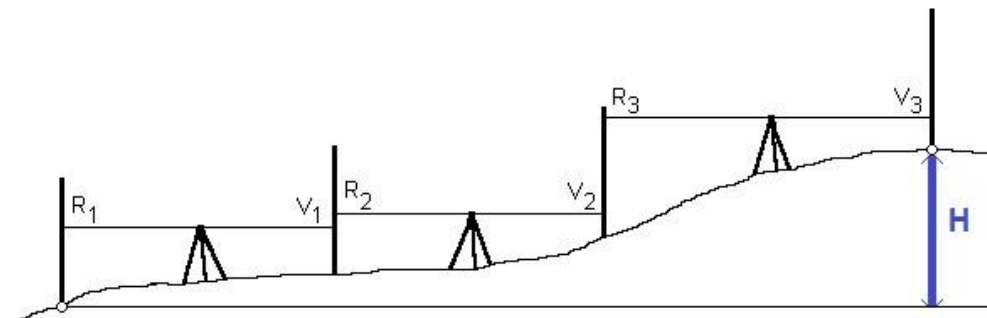
Doppelt unabhängig:

2. **trigonometrisch** (Höhenwinkel und Distanz),
zur Kontrolle

1. **Präzisionsnivellement** mit
Kern Nivellier 1867



$$H = \sum \Delta h_i = \sum (R - V)$$



© sma, Sammlung Kern



Gotthard 1875 - 1880

Grosses Passageinstrument für die Achsabsteckung

um 1857 für die Absteckung des Mont Cenis Tunnels gefertigt, anschliessend von der Gotthardbahn-Gesellschaft übernommen, von H. Kern in Aarau optisch-mechanisch erweitert und beim Bau des «Grossen Tunnels» verwendet.

64 cm langes Fernrohr

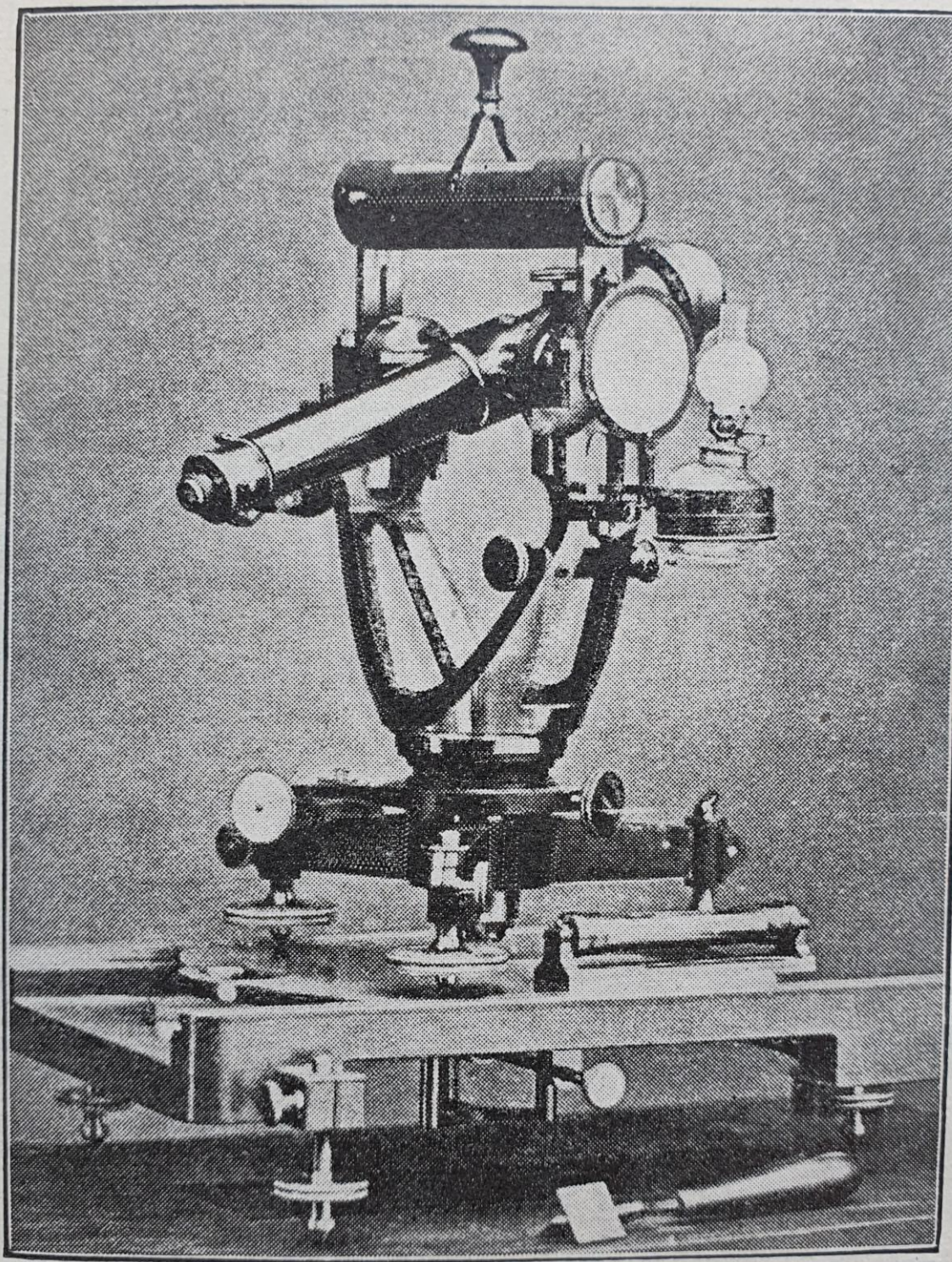
24 cm Horizontalkreis

29 cm breit

63 cm hoch

31 kg schwer

© Stadtmuseum Aarau, Sammlung Kern



Gotthard 1875 - 1880

Kleines Passageinstrument
für die Achsabsteckung im
Tunnel

auf Stativplatte

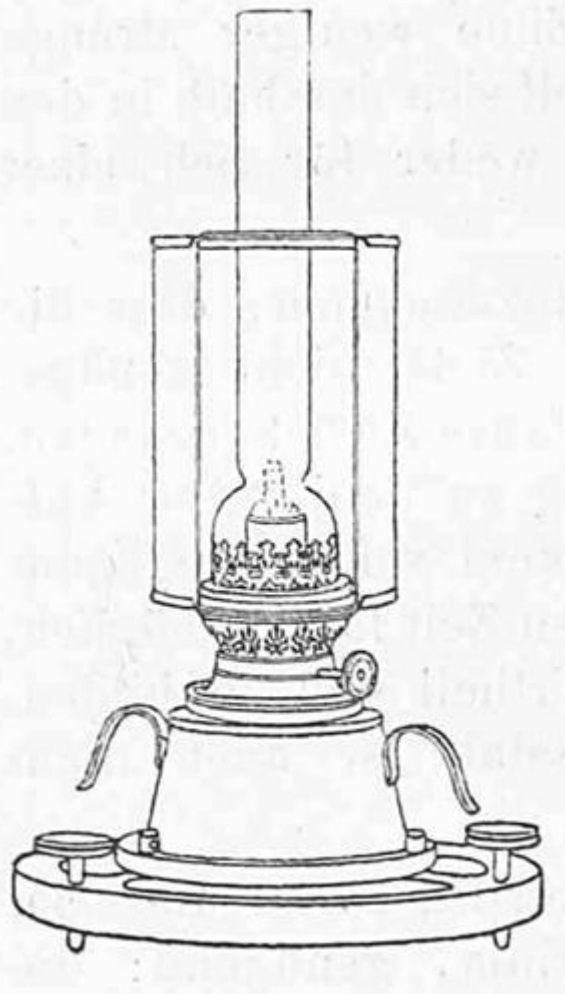
ging nach Abschluss der Bauarbeiten
an den Arlbergtunnel

der heutige Standort ist unbekannt

(Koppe 1894, S. 43)

Universalstatis für die Richtungsangabe im Gotthardtunnel.

Grundriss der Statistplatte.



Gotthard 1875 - 1880

Absteckungsgeräte für die Achsabsteckung im Tunnel:

- 1 grosses Passageinstrument im Observatorium
- 3 Universalstative
- 1 kleines Passageinstrument
- 3 Petroleumlampen mit Brillantbrenner
- 2 Morse-Telegrafiegeräte

(Koppe 1880a, S. 44)

Vermessungsequipe der letzten Hauptabsteckung (1879 Gö, 1880 Ai)



10 Ingenieure + Geometer, 4 Telegraphisten, 5 ständige Messgehülfen © SBB Historic, F 111_00006_057

Ablauf einer Hauptabsteckung

Grundsatz: 1855 bis 24.7.1908 werden lange Tunnel nur schnurgerade abgesteckt !

1. Grosses Passageinstrument im Observatorium aufstellen
2. Mit Lampe hinterleuchtete Richtungsmarken Süd und Nord anzielen
3. Maximal 1.05 / 0.6 km (Gö / Ai) weit in den Tunnel hineinzielen und Petroleumlampe auf Stativ oder aus Moëllons aufgebauten Pfeiler einfluchten, 4- bis 8-mal wiederholen, bis die einzelnen Absteckungspunkte innerhalb weniger mm
4. In der Decke eine Eisenklammer einbetonieren, den gemittelten Zentrumspunkt vom Stativ/Pfeiler hinaufloten und eingravieren (für spätere Kontrollen)
5. Kleines Passageinstrument anstelle Petroleumlampe auf Stativ zentrieren
6. Im Observatorium aufgestellte Petroleumlampe anzielen, Fernrohr durchschlagen und nächsten Hauptpunkt im Tunnel abstecken, wie in Punkt 3 beschrieben; usw.
7. Eine zweite Equipe nivelliert die Höhen der abgesteckten Punkte

Gesamtdauer: 48 bis 72 Stunden (ohne Unterbruch!), mindestens einmal pro Jahr, sehr zum Ärger des Bauunternehmers Louis Favre

Agenda

1. Grundlagentetze (Triangulation) Gotthard 1869 bis 1875
2. Tunnelabsteckung Gotthard
3. Grundlagentetz (Triangulation) Lötschberg 1906
4. Oberirdische Tunnelabsteckung Lötschberg 1906
5. Grundlagentetze der Basistunnel Lötschberg und Gotthard 1995 – 2010
6. Erreichte Durchschlagsabweichungen 1880 - 2016
7. Tunnelabsteckung und Qualitätskontrolle heute
8. Literatur

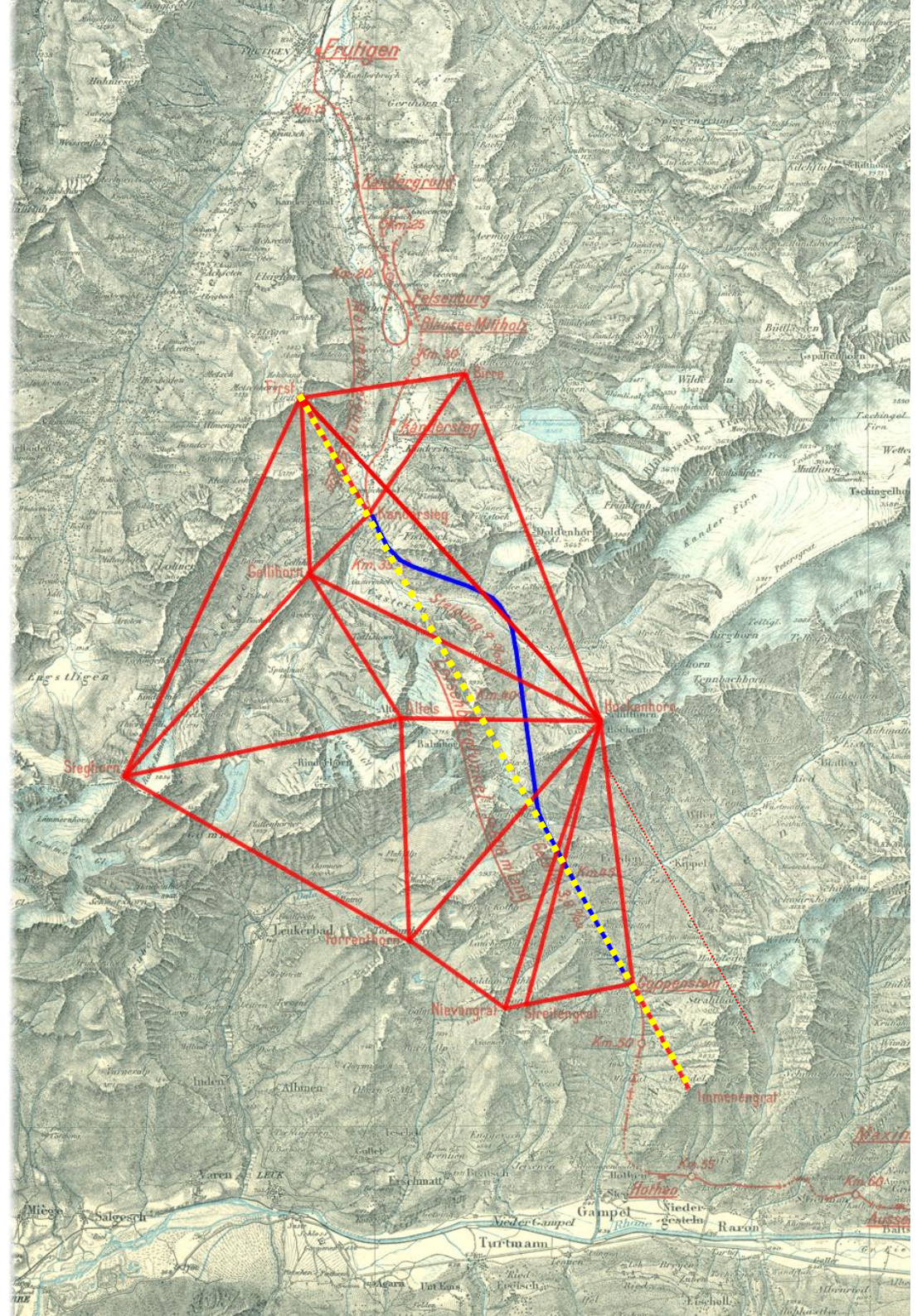
Kennzahlen Lötschberg Scheiteltunnel

geplante Länge (Gerade):	14'136 m
gebaute Länge (mit 3 Kurven von je 1'100 m Radius):	14'612 m
Baubeginn der Tunnel auf der Nordrampe:	1910
Auftragserteilung Vermessung:	14. Juli 1906
Baubeginn des Scheiteltunnels:	2.11. (N) / 28.10. (S) 1906
Durchschlag	31. März 1911 03:55
Bauzeit:	5 ½ Jahre
Eröffnung:	15. Juli 1913
Elektrifizierung des Tunnels	15. Juli 1913
Gesamtkosten:	52.6 Mio Fr.
hochgerechnet per Ende August 2025 (1109.0%):	583.334 Mio Fr.

Grundlagennetz

“erste Absteckung eines grossen gekrümmten Alpentunnels“

(F. Baeschlin, 1911)



Rückblick: Tunnelvermessung vor 120 Jahren

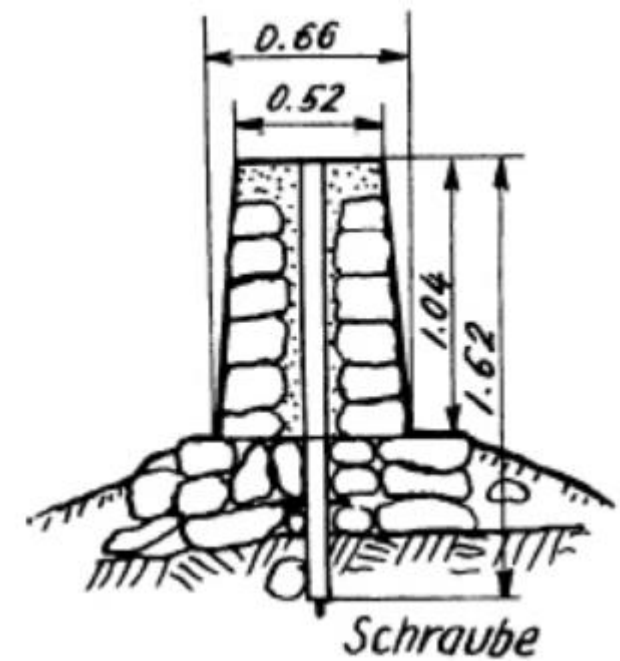
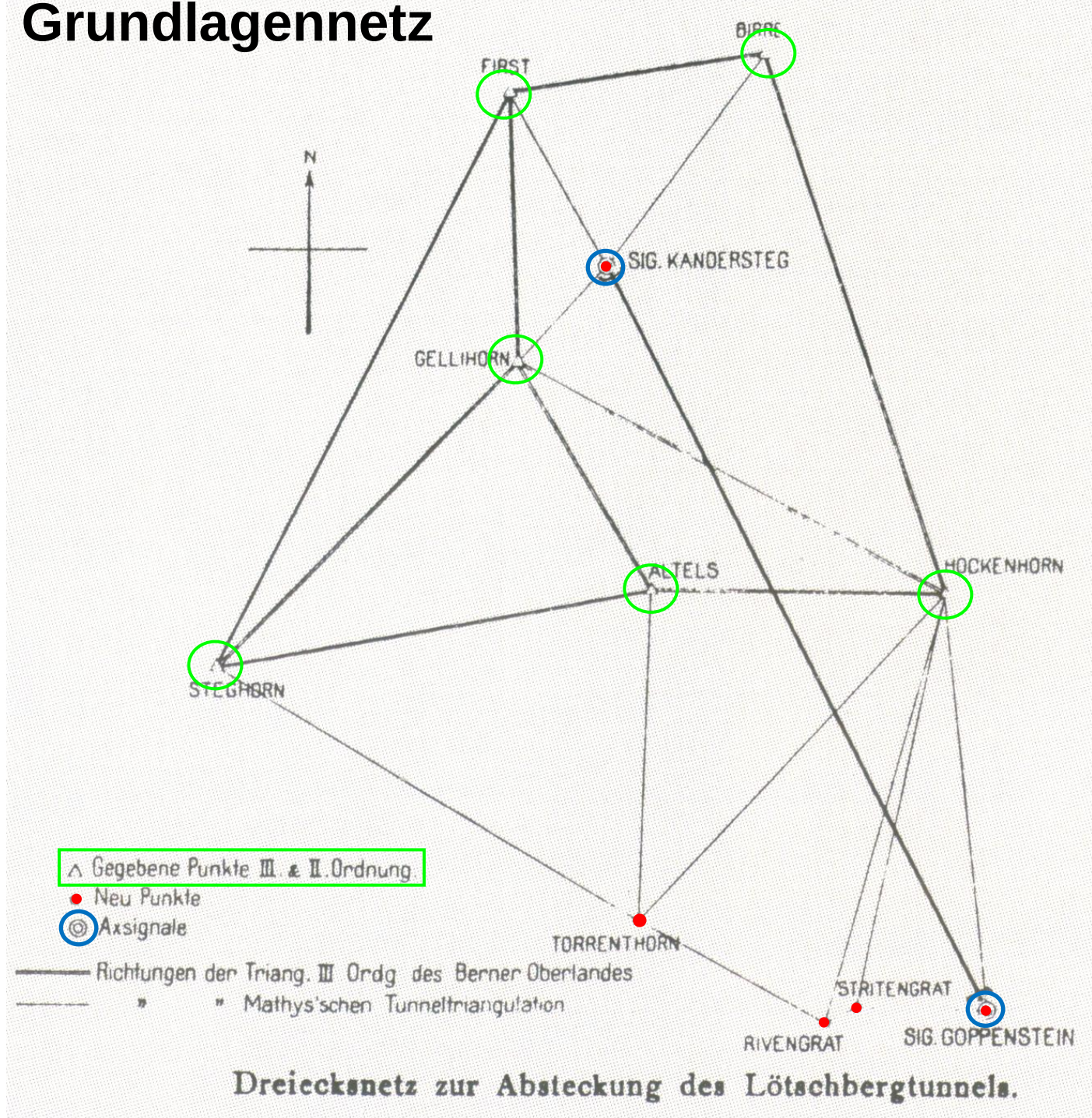


- keine elektrooptische Distanzmessung
- keine Messungen mit Vermessungskreisel
- Berücksichtigung von Lotabweichungen!
- lange Bahntunnel wurden bis am 24. Juli 1908 (Gasterntal-Einbruch) schnurgerade ausgeführt
- Längsabweichung im Durchschlag meist gross, aber unproblematisch

Signal der Tunnelabsteckung in Ferden

Aus swisstopo Kolloquium «Der Hauptdurchschlag des Lötschberg-Basistunnels» von A. Schlatter, A. Wiget und H.U. Riesen am 27.1.2006

Grundlagentnetz



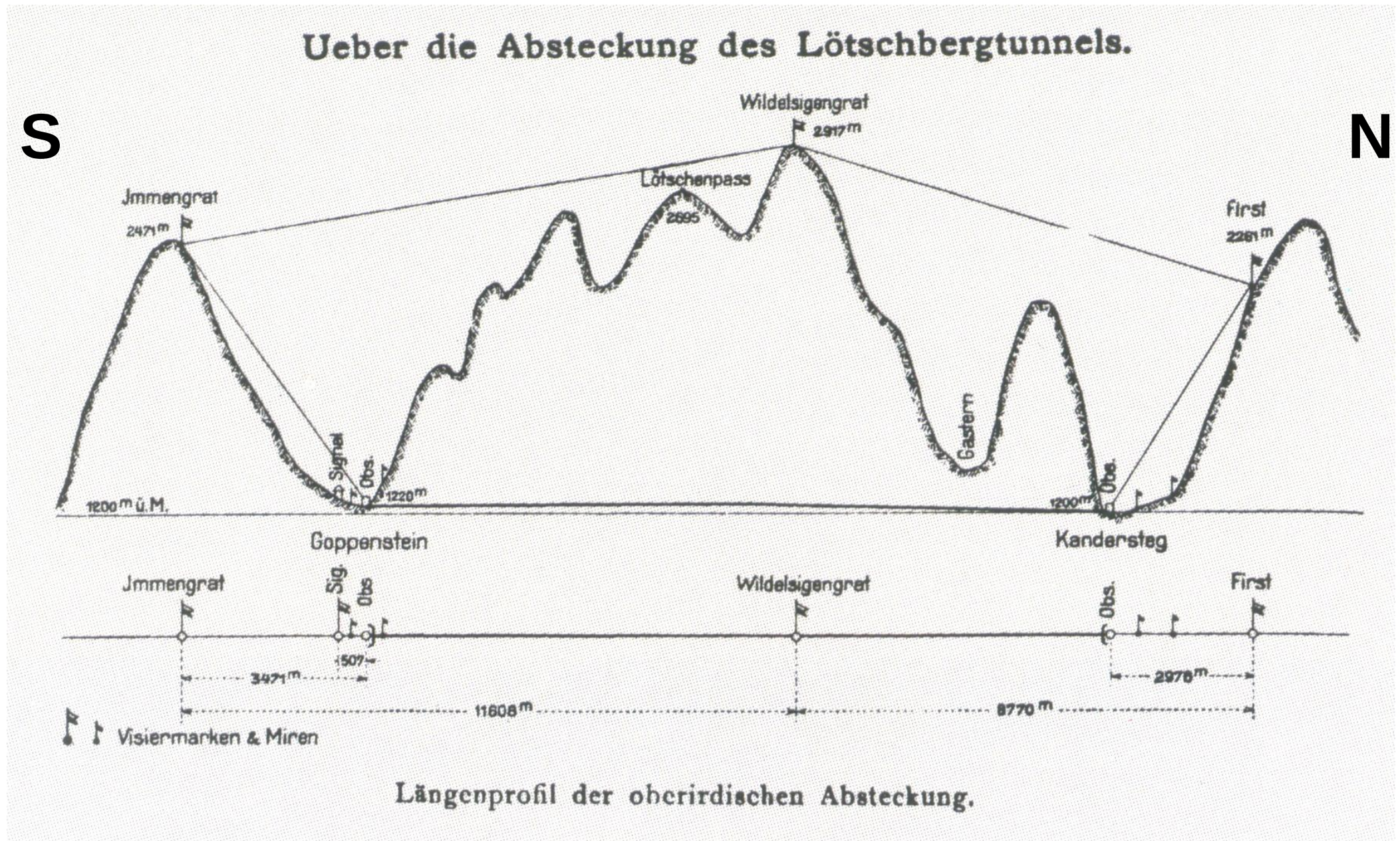
Signal Gellihorn

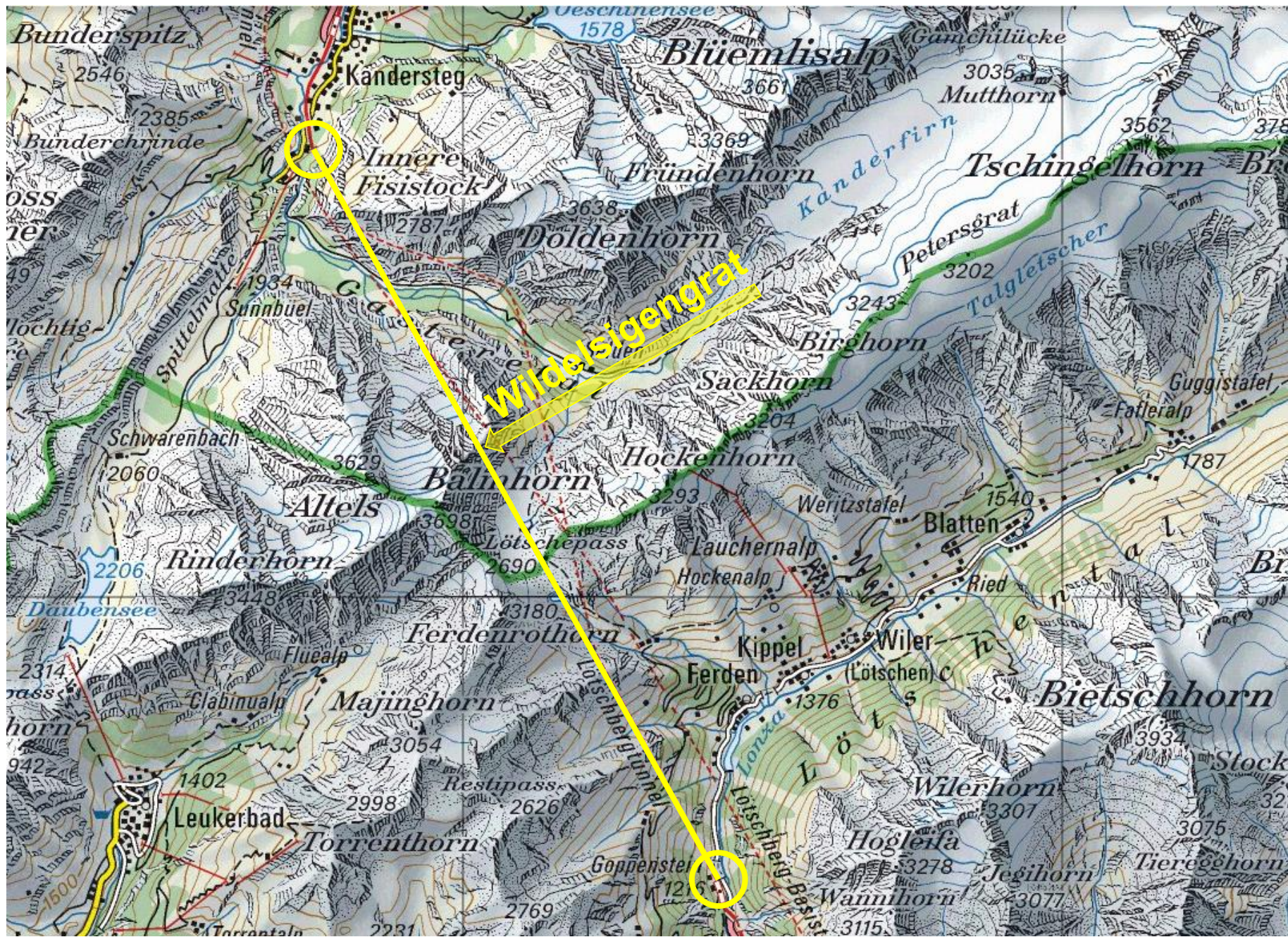
Pfeiler erbaut 1906

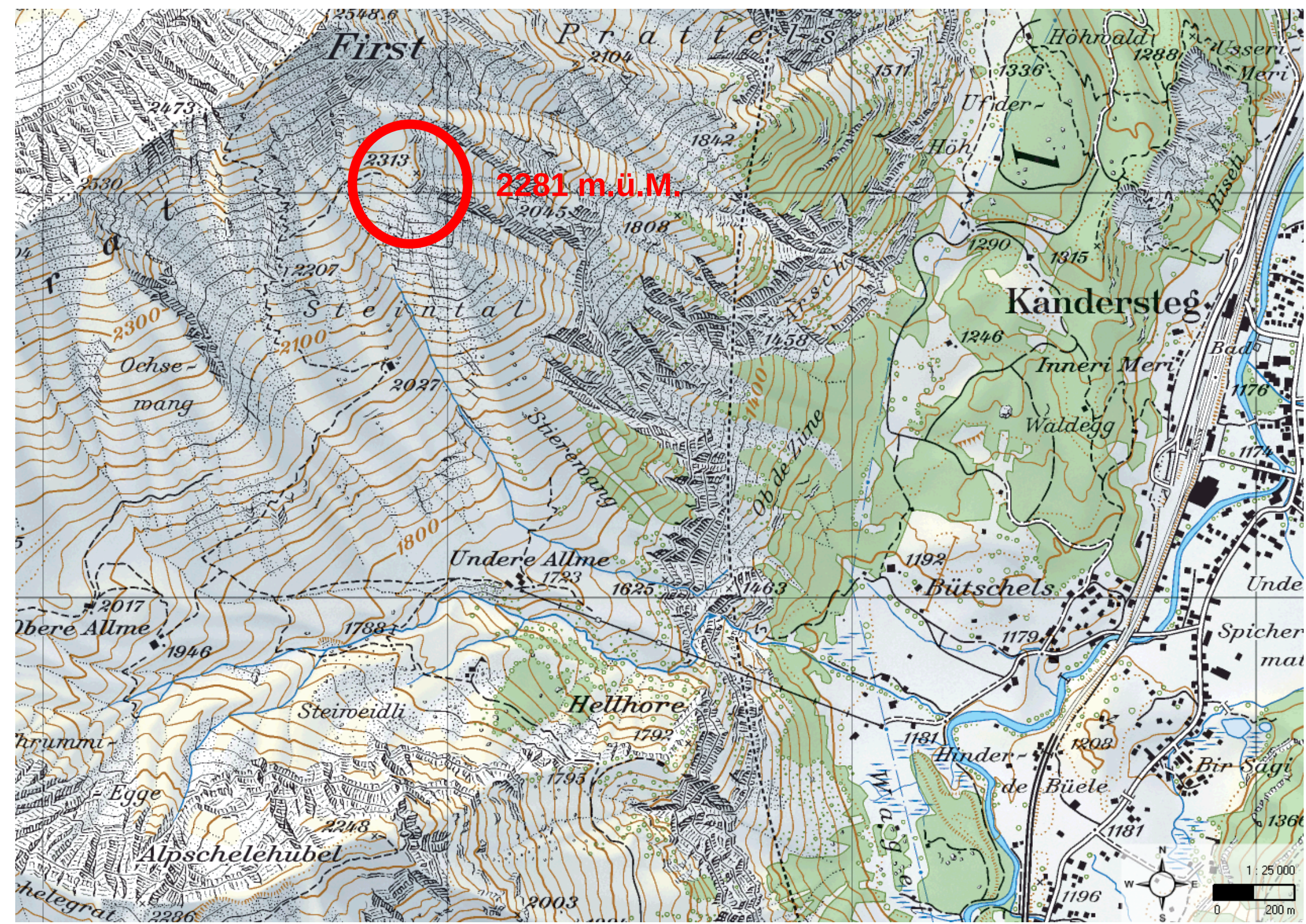
2020 noch in Gebrauch

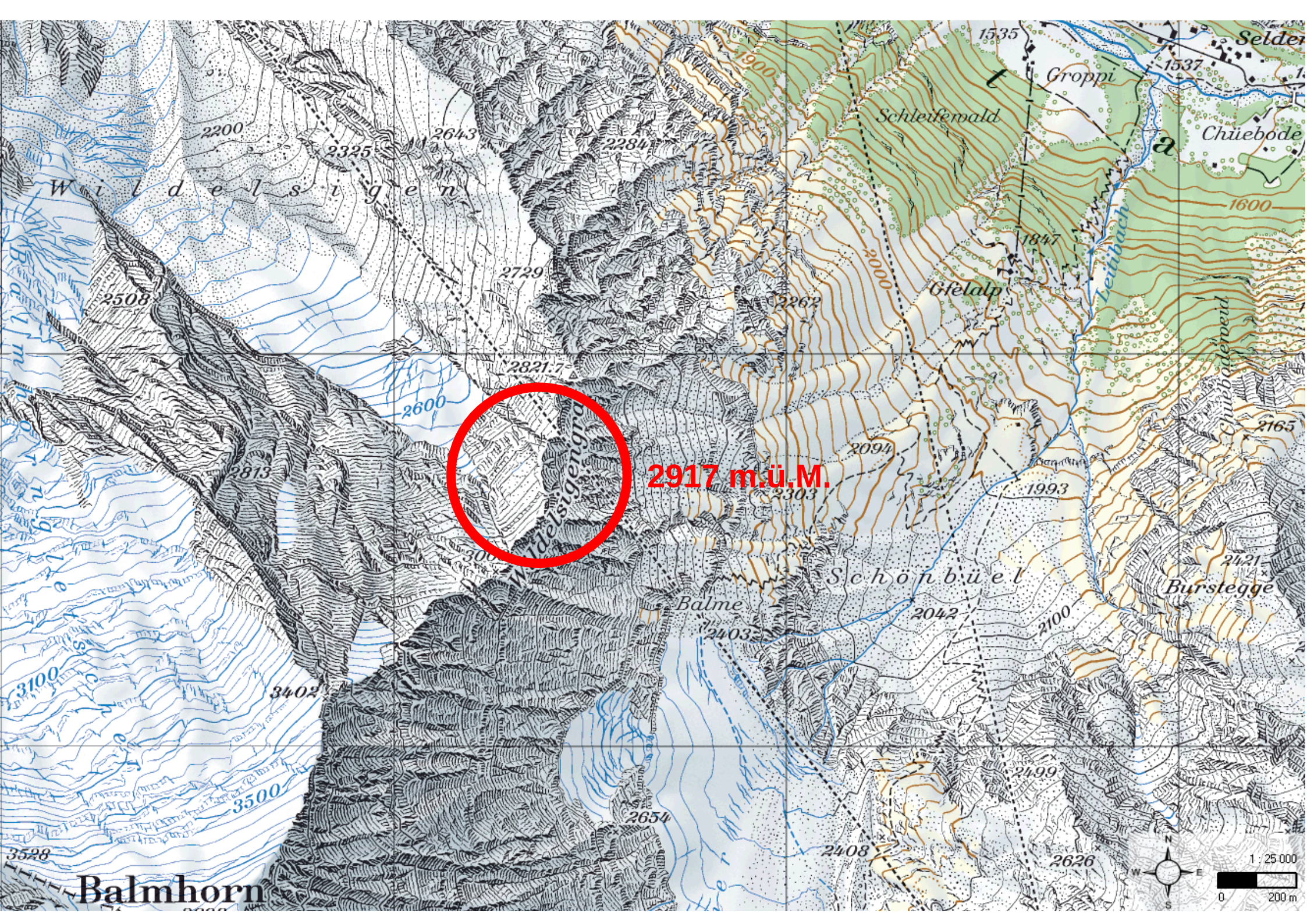


Lötschberg: oberirdische Absteckung





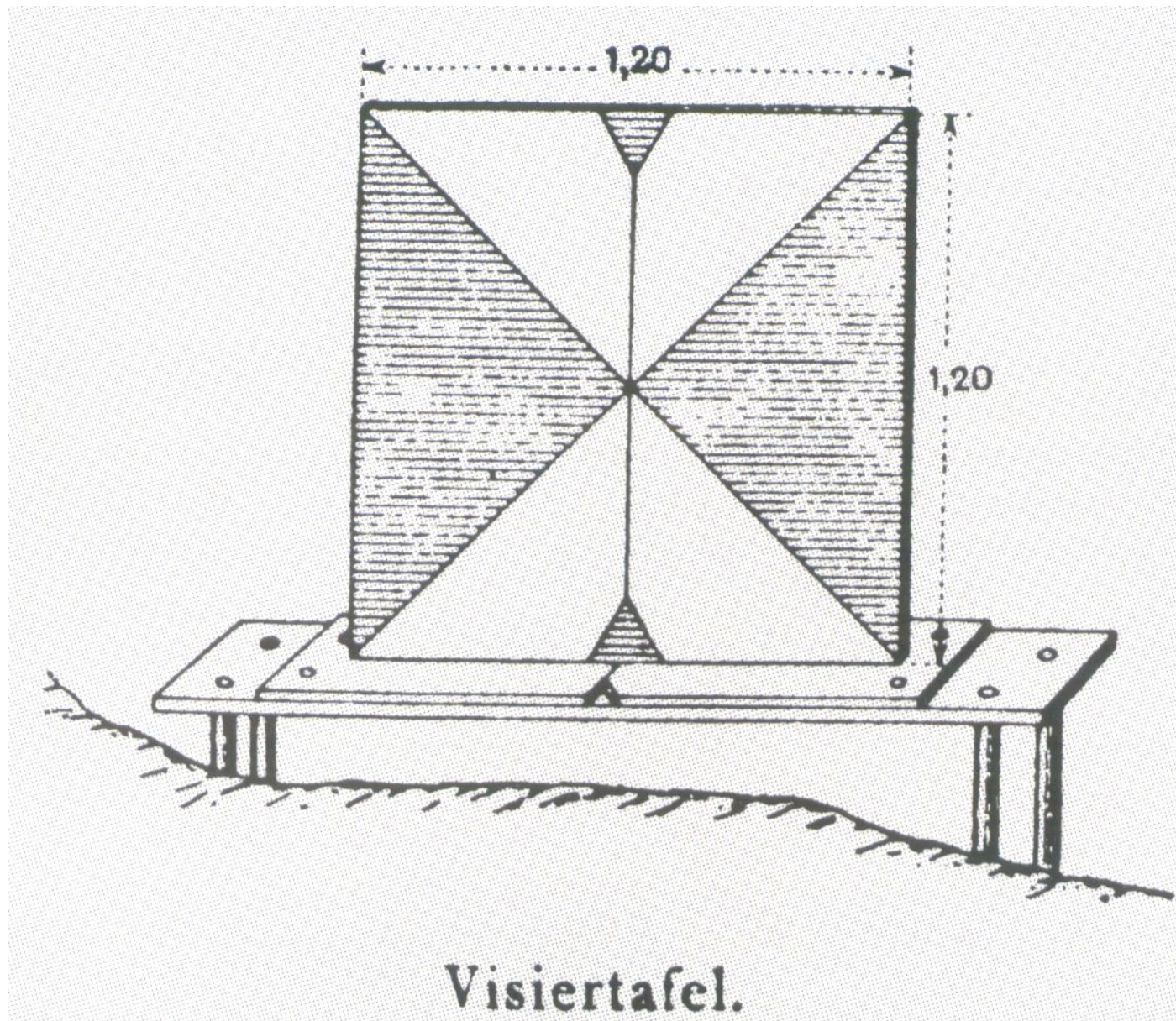


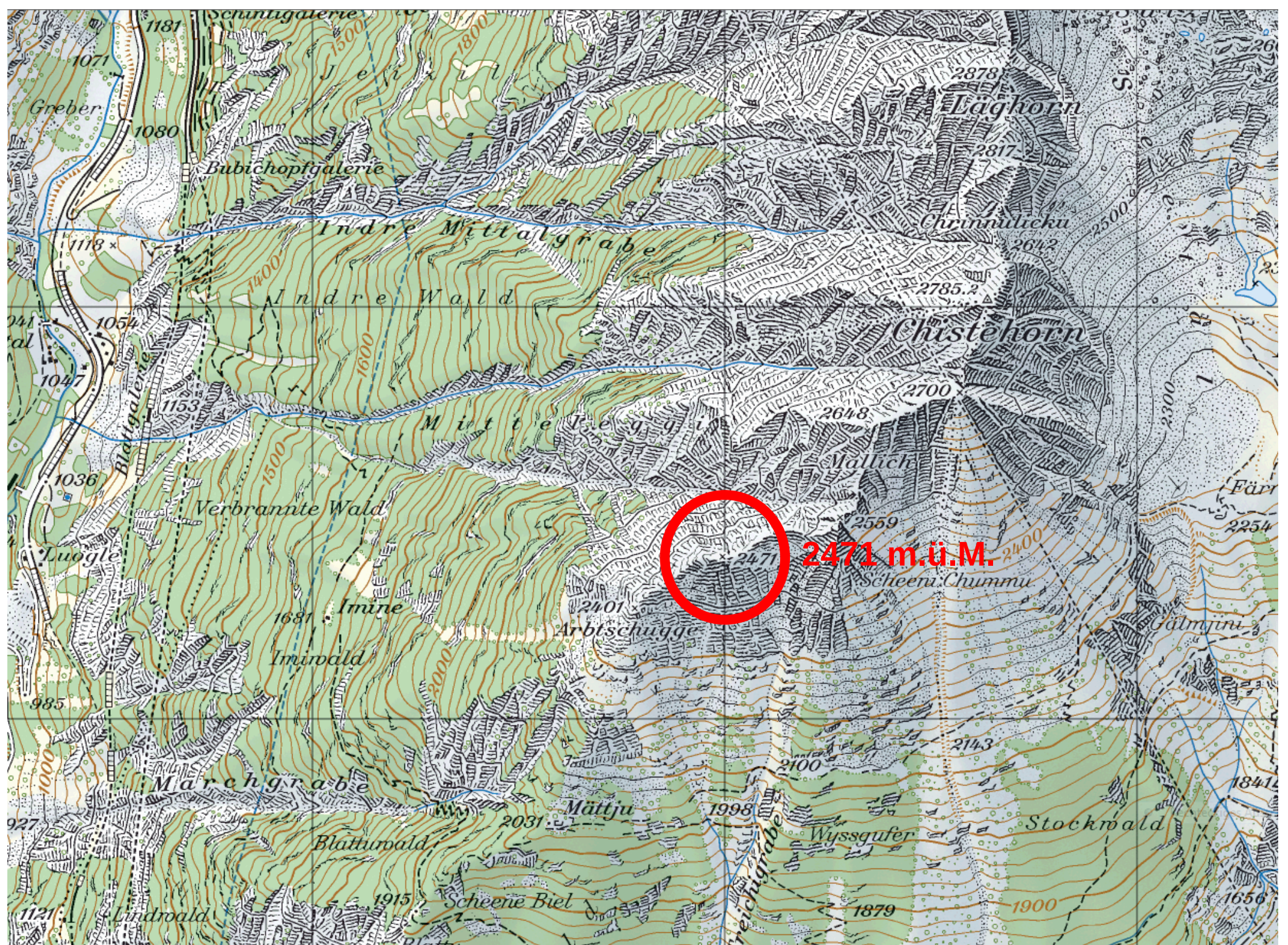


2917 m.ü.M.

Balmhorn

Lötschberg: Visiertafel zur oberirdischen Absteckung





Lötschberg: Hildebrand 21cm Einachser Theodolit (F. Baeschlin)



Lötschberg: Repetitionstheodolit zur Achsabsteckung



Lötschberg: Visierlampen von Pfister & Streit, Bern

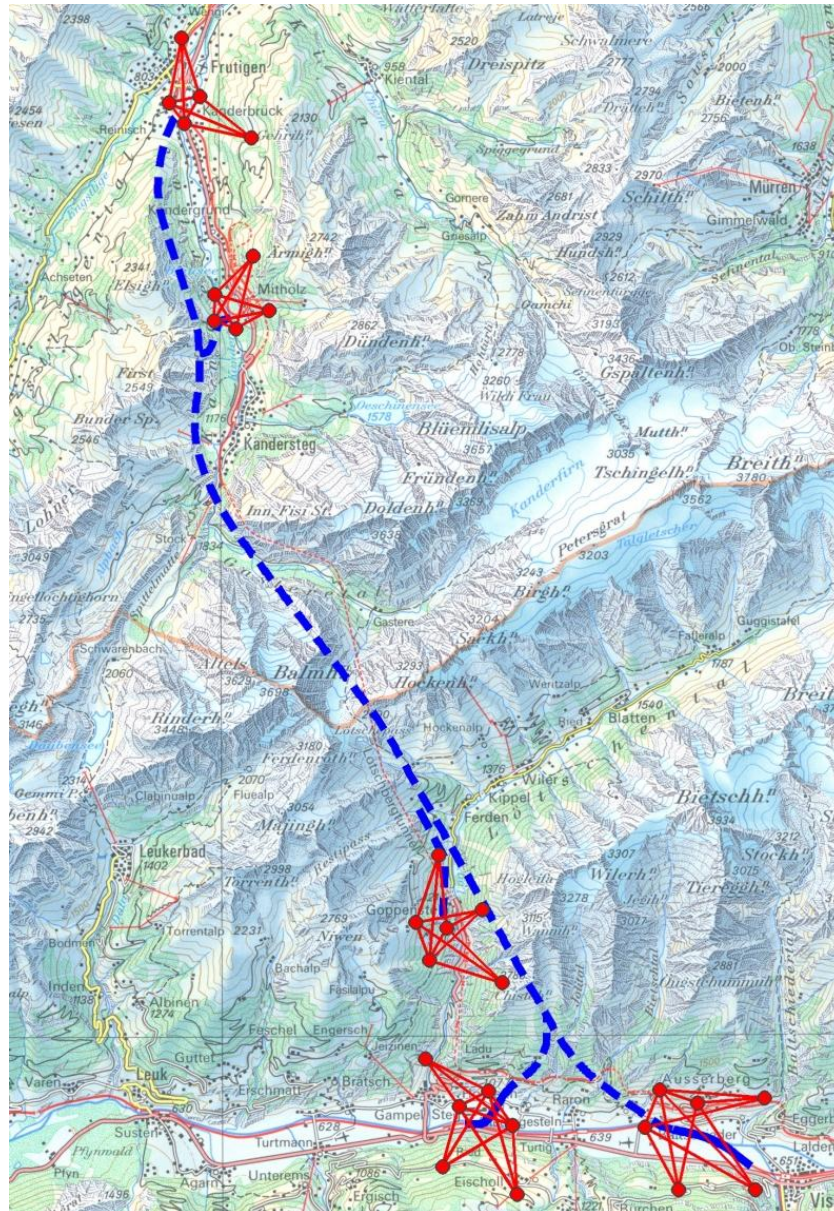


Agenda

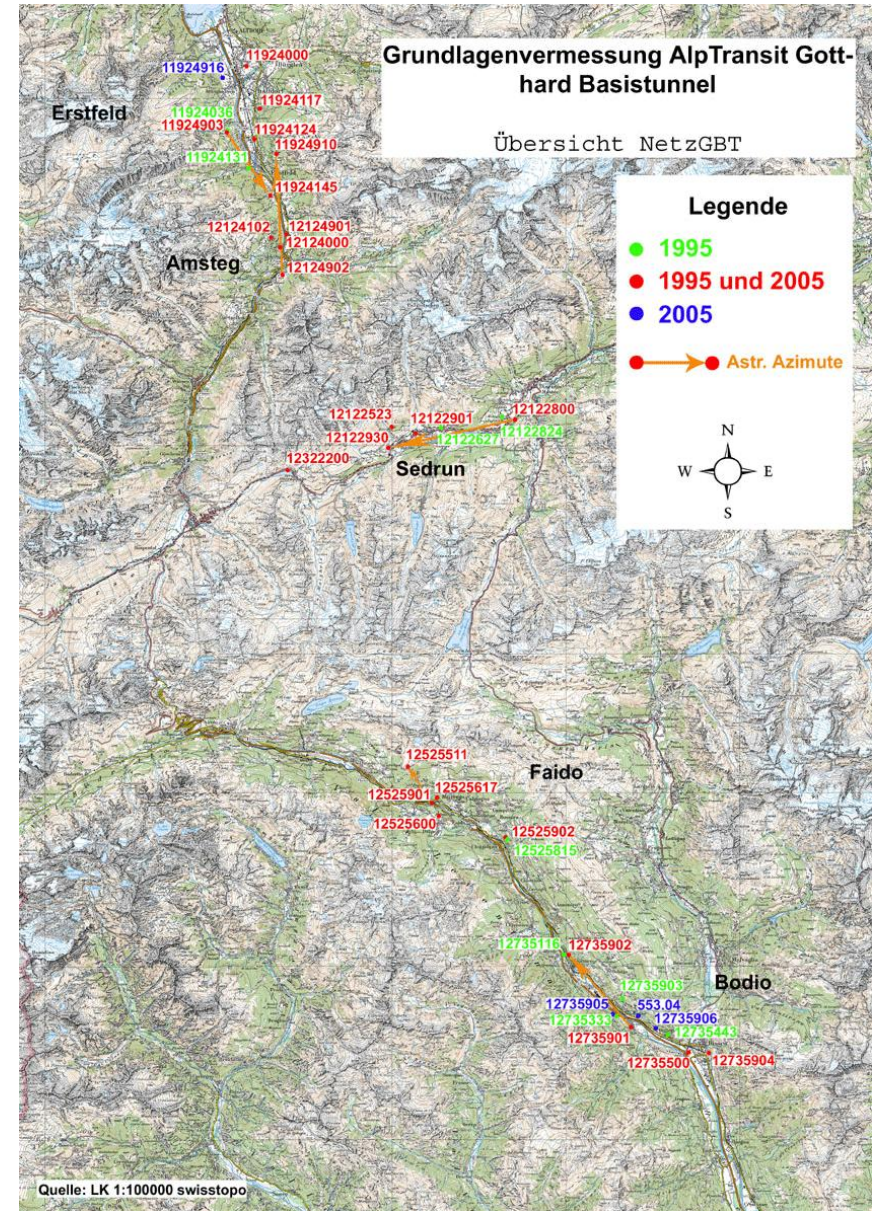
1. Grundlagentetze (Triangulation) Gotthard 1869 bis 1875
2. Tunnelabsteckung Gotthard
3. Grundlagentetz (Triangulation) Lötschberg 1906
4. Oberirdische Tunnelabsteckung Lötschberg 1906
5. Grundlagentetze der Basistunnel Lötschberg und Gotthard 1995 – 2010
6. Erreichte Durchschlagsabweichungen 1880 - 2016
7. Tunnelabsteckung und Qualitätskontrolle heute
8. Literatur

Grundlagenternetze heute

Lötschberg BT 1999 - 2007



Gotthard BT 1995 - 2010



Grundlagennetz LBT

Präanalyse ↔ Ergebnis

GNSS Koordinaten

Lage: 2 – 3 mm

Höhe: 15 mm

Portalnetze:

Richtungen: 0.25 mgon (2.5^{cc})

Distanzen: 0.5 mm + 1 ppm

Höhen LHN95: < 1mm/km

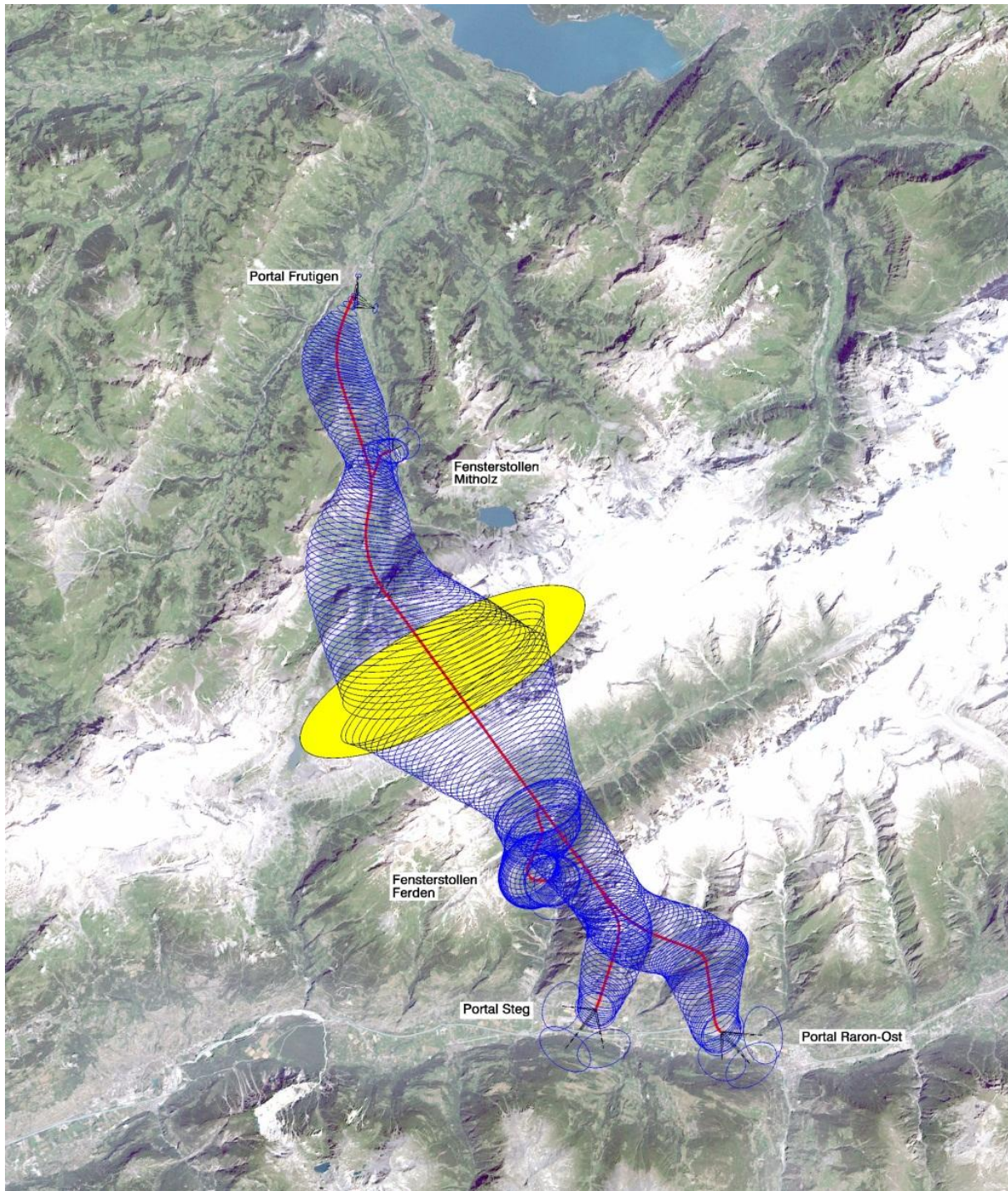
Portal Raron relativ zu

Portal Frutigen: ± 6 mm

(a posteriori)

Durchschlag 28.4.2005

Fehler	Effektiv [cm]	Toleranz 99% [cm]	Ausnützung der Toleranz
quer	13.4	25.0	54 %
Höhe	0.4	12.5	3 %
längs	10.3		



Tunnelvermessung vor 145 Jahren: ... und heute erreichte Durchschlagsfehler

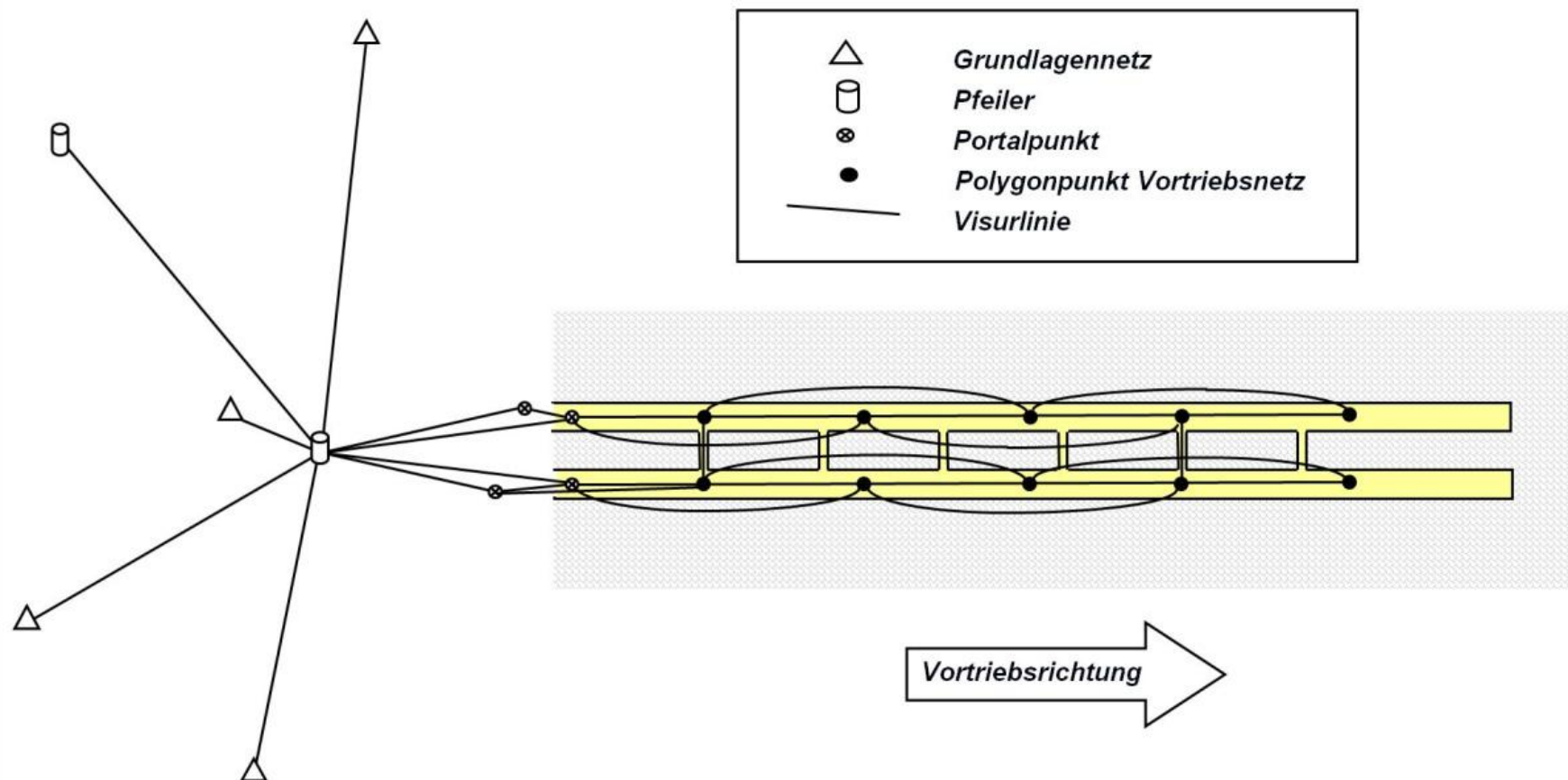
Jahr	Tunnel	Länge [km]	Durchschlagsfehler [m]			Grundlage	Verantwortliche
			Quer	Längs	Höhe		
1880	Gotthard	15.0	0.33	7.1	0.05	2 Basismessungen 2 unabhängige Triangulationen	Gelpke, Koppe
1902	Albula	5.8	0.05	1.15	0.05	Anschluss an Forsttriangulation III. Ord., Nivellement de Précision	Graf
1905	Simplon	20.1	0.20	0.79	0.09	unabhängige Triangulation Nivellement de Précision	Rosenmund
1906	Weissenstein	3.7	0.05	0.66	0.01	Anschluss Triangulation III.Ord. Landesnivellement	Mathys
1911	Lötschberg	14.5	0.26	0.41	0.10	Anschluss Forsttriang. II./III. O. Nivellement de Précision, VN	Mathys, Baeschlin, Zölly
2005	LötschbergBT	34.6	0.134	0.103	0.004	Landesvermessung 1995	IG BeWa
2010	Gotthard BT	23.4	0.081	0.136	0.011	NetzGBT_Lage 1995 / 2005	VI-GBT
2016	Ceneri BT	15.4	0.023	0.062	0.009	Grundlagennetz CBT vor 2007	COGESUD

Agenda

1. Grundlagentetze (Triangulation) Gotthard 1869 bis 1875
2. Tunnelabsteckung Gotthard
3. Grundlagentetz (Triangulation) Lötschberg 1906
4. Oberirdische Tunnelabsteckung Lötschberg 1906
5. Grundlagentetze der Basistunnel Lötschberg und Gotthard 1995 – 2010
6. Erreichte Durchschlagsabweichungen 1880 - 2016
7. Tunnelabsteckung und Qualitätskontrolle heute
8. Literatur

Tunnelabsteckung heute: Vortriebsnetz

Gotthard Basistunnel



Tunnelabsteckung heute: Satellitennavigation



Tunnelabsteckung heute: Präzisionsnivelement



Tunnelabsteckung heute: Tachymetrie



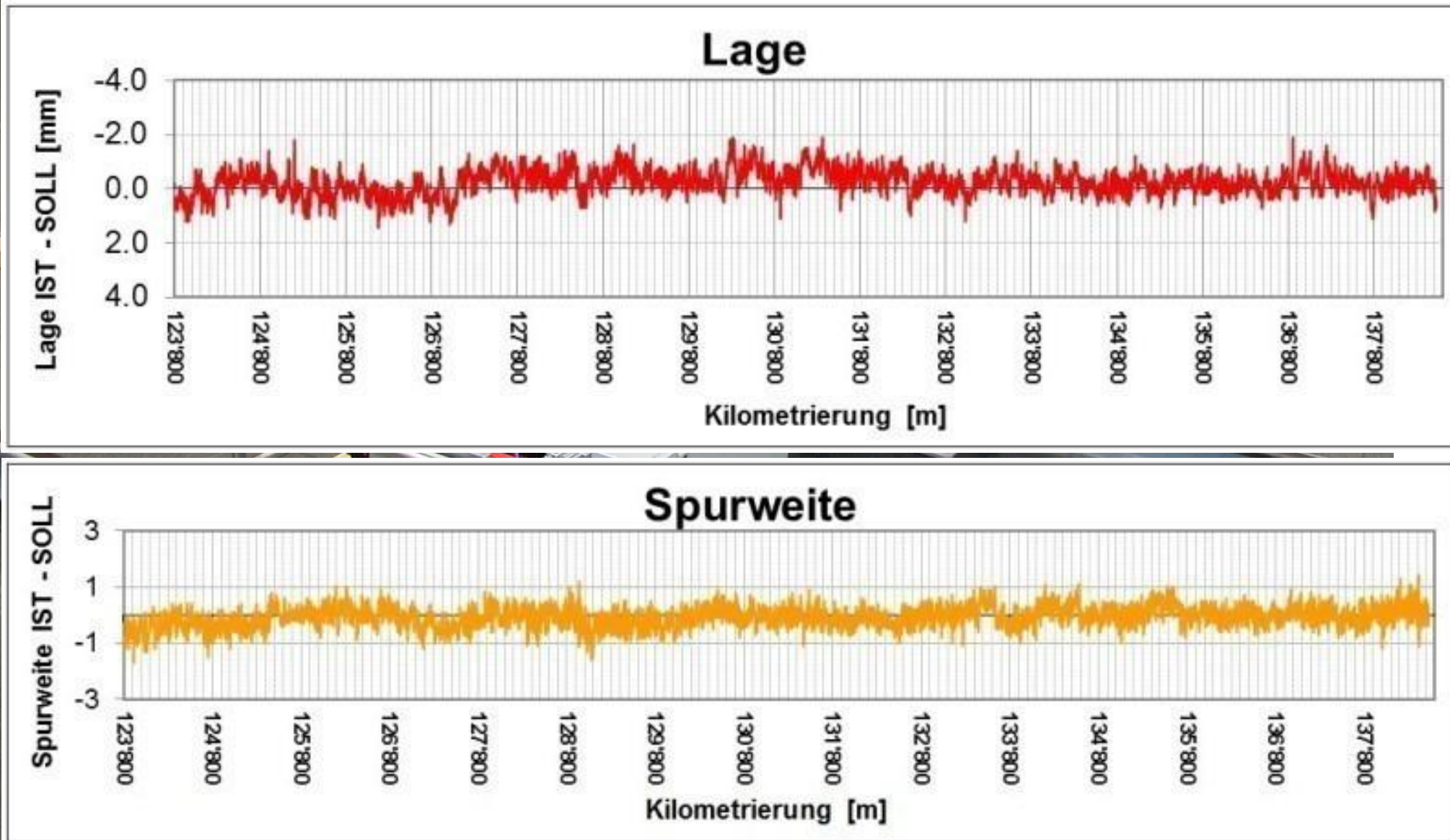
Tunnelabsteckung heute: Vermessungskreisel



Tunnelabsteckung heute: Lotung



Tunnelabsteckung + Kontrolle heute: TLS und Gleisvermessung



Literatur

- AlpTransit Gotthard AG Geomatik + Konsortium VI-GBT (2017): **Gotthard-Basistunnel: Vermessung – Schlussbericht**. Luzern.
- Koppe, Carl (1880): „Die **Absteckung der Axe im Gotthardtunnel**“. In: *Die Eisenbahn*, 12 (1880), 8, S. 43–48.
Online im Internet: DOI: <http://doi.org/10.5169/seals-8519>
- Koppe, Carl (1894): *Die Vorarbeiten für den Bau der Gotthardbahn: **Absteckung und Durchschlag des Gotthard-Tunnels***. Berlin: Hermann Paetel (= Sammlung populärer Schriften Nr. 31).
- Kovári Kalman, Fechtig Robert (1997): ***Historische Alpendurchstiche in der Schweiz***; 2. Auflage. Zürich: Gesellschaft für Ingenieurbaukunst.
- Riesen, Hans-Ulrich et al. (2008): „Tunnelvermessung des BLS-AlpTransit **Lötschberg-Basistunnels**“. In: *Geomatik Schweiz*, 103 (2005), 11, S. 608-612. DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236268>
- Riesen, Hans-Ulrich (2008): **Schlussbericht Vermessungsarbeiten** beim Bau des **Lötschberg-Basistunnels**. Bern: BLS AlpTransit AG.
- Sonderheft „**AlpTransit Gotthard**“. In: *Geomatik Schweiz*, 108 (2010), 12, S. 529-646.
URL <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=geo-007:2010:108::1479#575> [Zugriff 14.9.2025]
- Volmar, Friedrich August (1949): «Vom **Lötschbergtunnel**». In: *Geographica Helvetica* 4:6-7.
URL: <https://doi.org/10.5169/seals-34090>
- Gesellschaft für die Geschichte der Geodäsie in der Schweiz **GGGS: Tunnelvermessungen**.
URL: <https://tunnel.cms.gggs.ch> [Zugriff 14.9.2025]
- Historische Eisenbahntransversalen in den Alpen**. Technik – Geschichte – Emotionen: <http://www.alpentunnel.de>

Fragen



jetzt ?

oder später an sievers-frey@bluewin.ch

siehe auch <https://tunnel.cms.gggs.ch> (noch in Entwicklung)



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !