



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

armasuisse
Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Bereich Geodäsie



Rezente Hebungsraten der Nordschweiz **(aus Präzisionsnivellements der Landesvermessung)**

Symposium Neotektonik-Erdbeben Nordschweiz
5. Mai 2009 ETH Zürich

Andreas Schlatter swisstopo



Einleitung / Zielsetzung

„..., dass in diesen beiden Triangulationen die durch zahlreiche Erdbebenstösse entstandenen dauernden Verschiebungen erkennbar sind.

So hat sich beispielsweise die Läger der Rigi und dem Napf im Zeitraum von 30 Jahren um ca. 1 m genähert...”

aus Prof. Alb. Heim: Zur Prophezeiung von Erdbeben, in der Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 32. Jahrgang 1887



Einleitung / Zielsetzung

- **Aufgabe**
 - Hebungs- und Senkungsraten in der Schweiz und im speziellen in der Nordschweiz darlegen
- **Zielsetzung**
 - die Methode Präzisionsnivellement erläutern
 - Voraussetzungen für die Bestimmung von Hebungsraten aufzeigen
 - auf die Möglichkeiten und Grenzen der Methode hinweisen und vor Fehlinterpretationen warnen

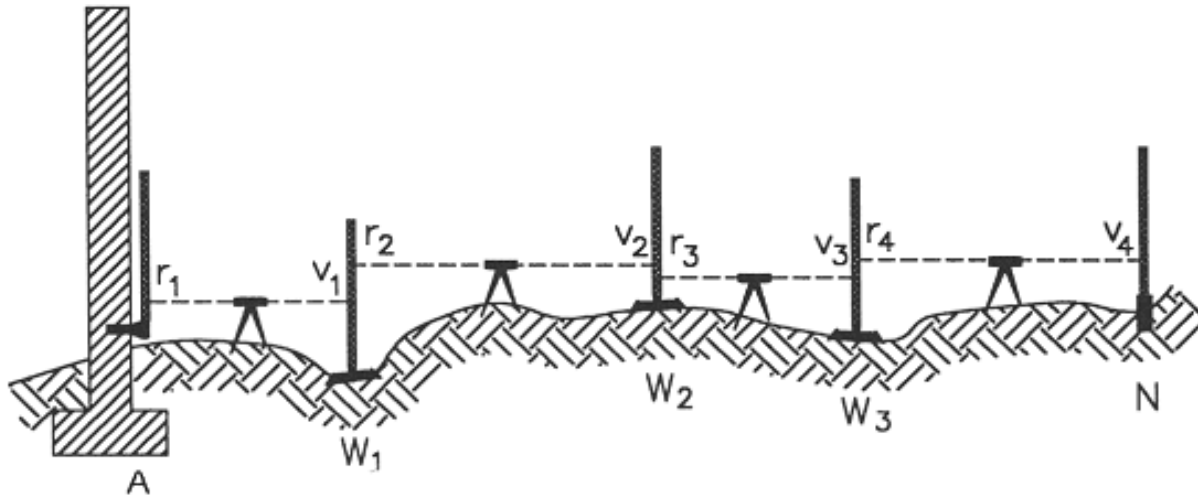


Agenda

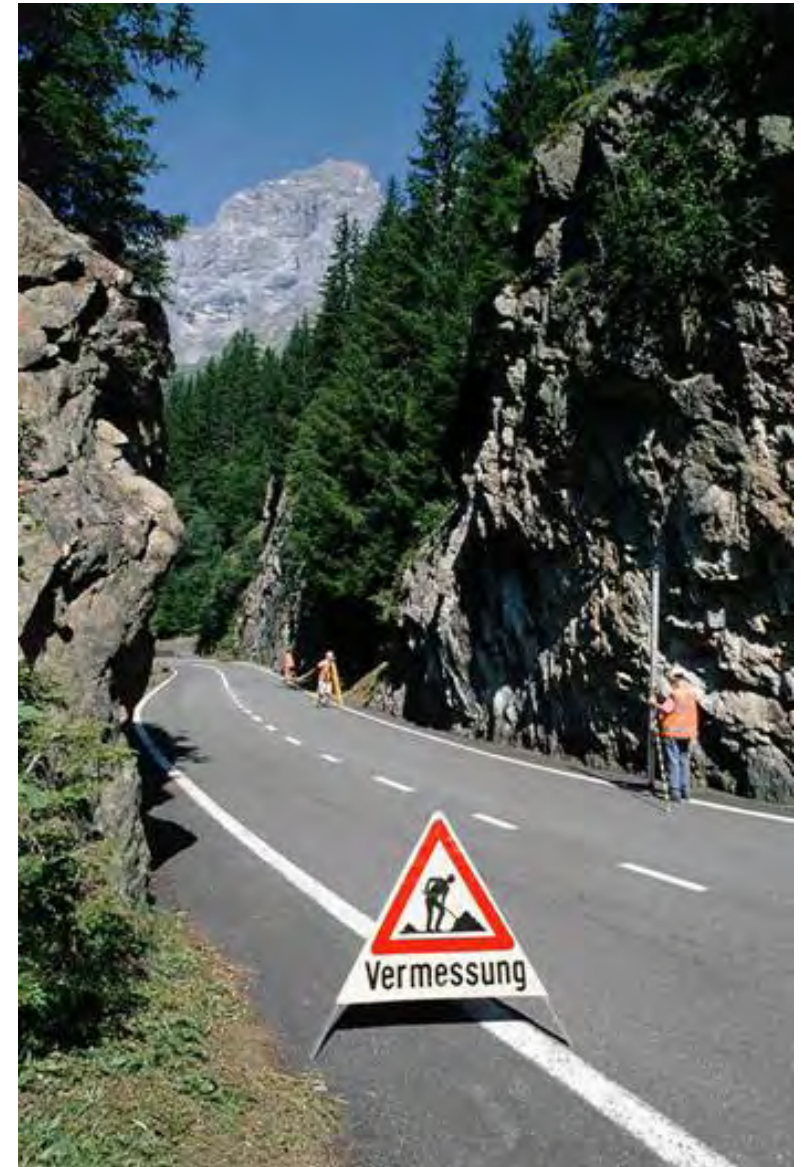
- **Einleitung / Zielsetzung**
- **Landesnivellement**
Methode und Genauigkeit, Umfang, Punkte
- **Landesnivellement und Hebungsraten**
historischer Rückblick, Methode, Genauigkeit, aktueller Stand
- **Hinweise zur Interpretation**
Probleme & Gefahren, Grenzen der Methode
- **Hebungsraten in der Nordschweiz**
Resultate aus den Studien für die NAGRA
- **Ausblick**



Landesnivellement: Methode

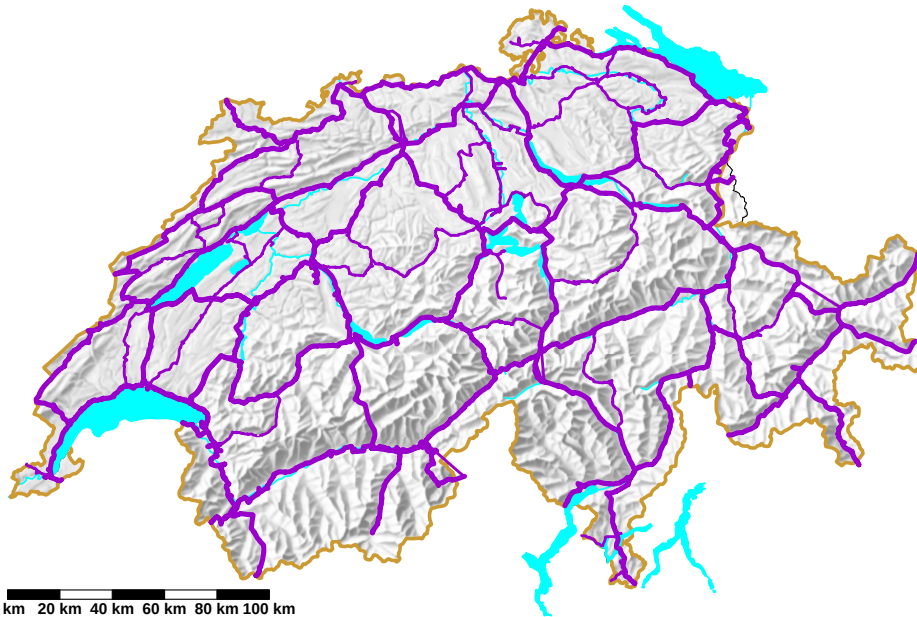


- Genauigkeit ca. 0.6 – 0.8 mm/km; Abhängig:
 - vom Nivellier-Instrument (Festlegung der Horizontalebene)
 - von der Nivellierlatte (legt den „Meter“ fest)
 - von der Arbeit der Messequipe und den äusseren Bedingungen (Temperatur, Refraktion, Bodeneigenschaften etc.)
- Schlechte Methode bezüglich der Fehlerfortpflanzung und der Kontrolle systematischer Fehler



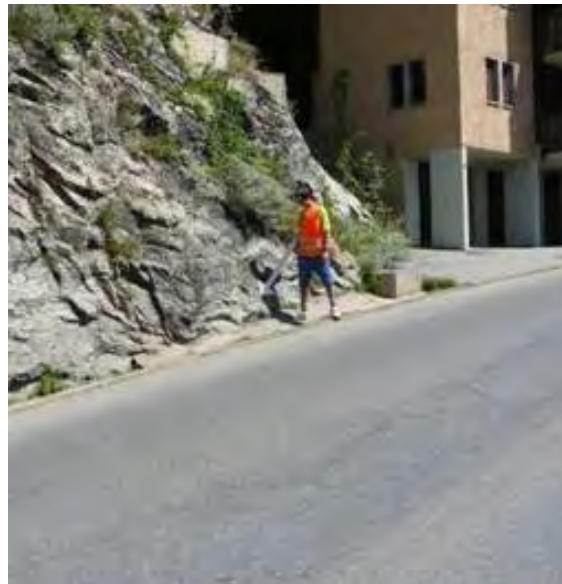


Landesnivellement: Umfang und Punkte



- Das Höhengrundlagennetz der Schweiz mit Anschluss an die Nachbarländer
Verdichtung durch Triangulations- und GPS-Messungen, kantonale/lokale Nivellements, amtliche Vermessung etc.
- Netzumfang ca. 4'000 km
Entlang den Hauptverkehrsachsen zu Beginn des 20. Jahrhunderts
- Punktumfang aktuell ca. 8'000
(ca. 2 Punkte / km)

- Höhenfixpunkte primär an Gebäuden und anderen festen Bauten
- In seltenen Fällen im anstehenden Fels





Landesnivellement: Qualität der Punkte

Stabilität der Punkte

- 9 cm / 30 a

- 1 cm / 100 a

± 0 cm / 5 a

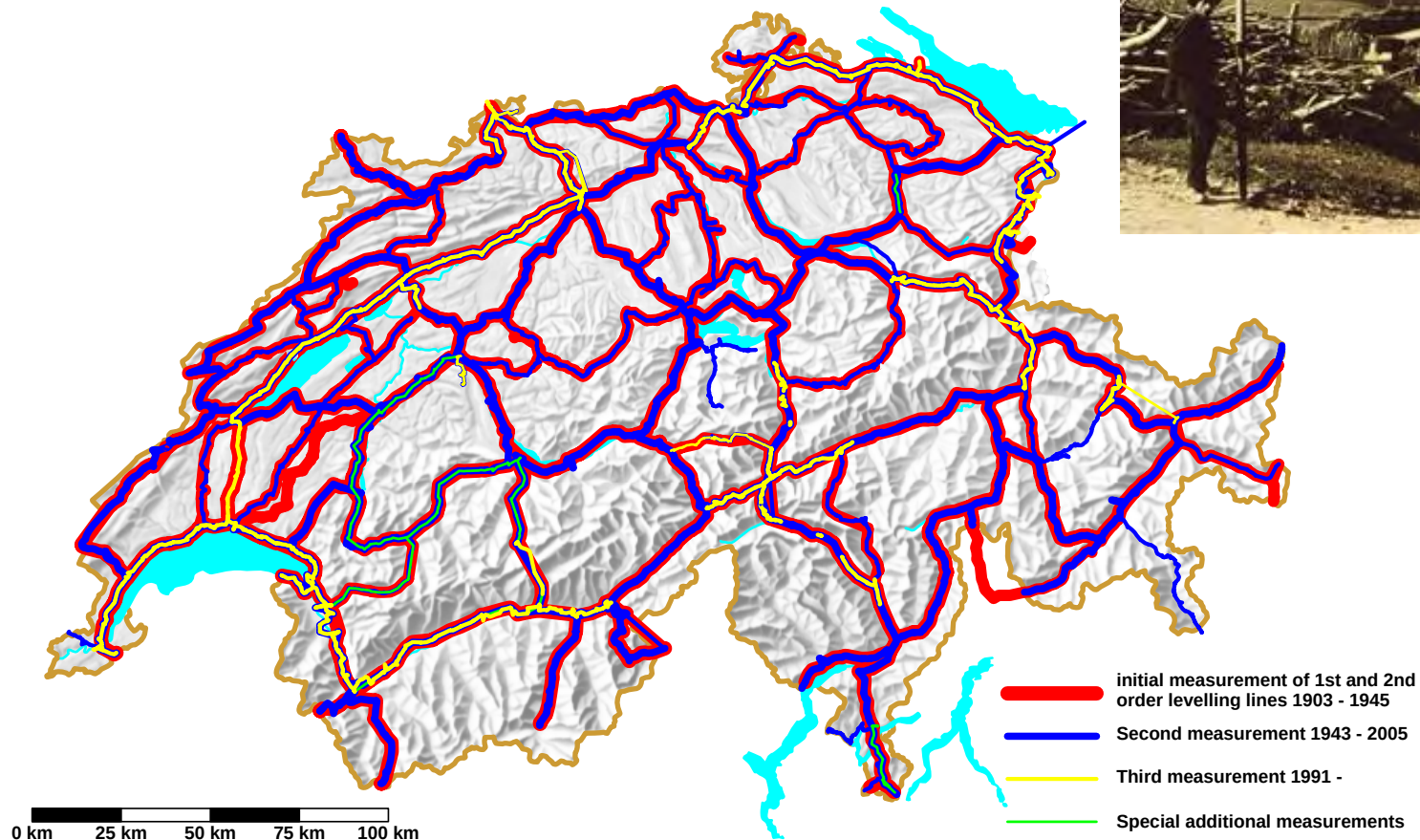
± 0 cm / 60 a



Landesnivellement und Hebungsraten

Grundvoraussetzung:

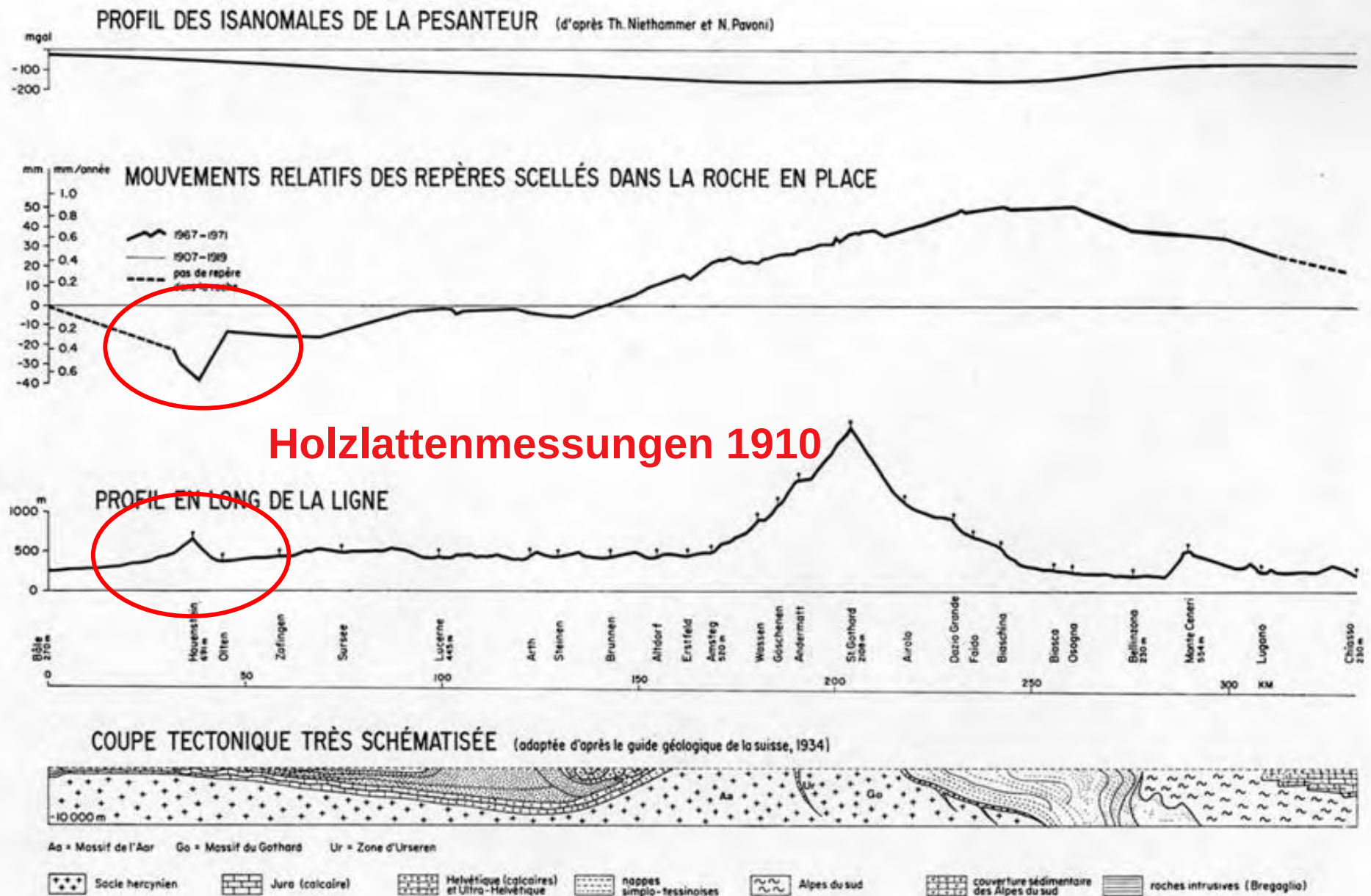
- **wiederholte Messungen**
mit möglichst grossem zeitlichen Abstand
- **auf identischen Punkten**





Landesnivellement und Hebungsraten

Erste Darstellung der Alpenhebungen aufgrund des Landesnivellements
[F. Jeanrichard 1973]





Landesnivellement und Hebungsraten

funktionales Modell [nach Dr. E. Gubler] ab 1976 bis heute

$$\Delta H_{i,j}^k + e_{i,j}^k = H_j^0 - H_i^0 + (t^k - t^0) \left(\frac{dH_j}{dt} - \frac{dH_i}{dt} \right)$$

$\Delta H_{i,j}^k$	Höhendifferenz zwischen den Punkten i und j zur Messzeit t^k
$e_{i,j}^k$	Verbesserung der gemessenen Höhendifferenz
H_i^0, H_j^0	Unbekannte Höhen der Punkte i und j zur Referenzzeit t^0
$\frac{dH_i}{dt}, \frac{dH_j}{dt}$	Unbekannte zeitliche Höhenänderungen der Punkte i und j
t^0	Referenzzeit, auf welche sich die berechneten Koten beziehen
t^k	Zeitpunkt k der betreffenden Messung

Für eine freie Lagerung sind 2 Grössen notwendig:

- Referenzhöhe**
(beliebiger Horizont)
- Referenzgeschwindigkeit**
(Aarburg 0.0 mm/a)

stochastisches Modell

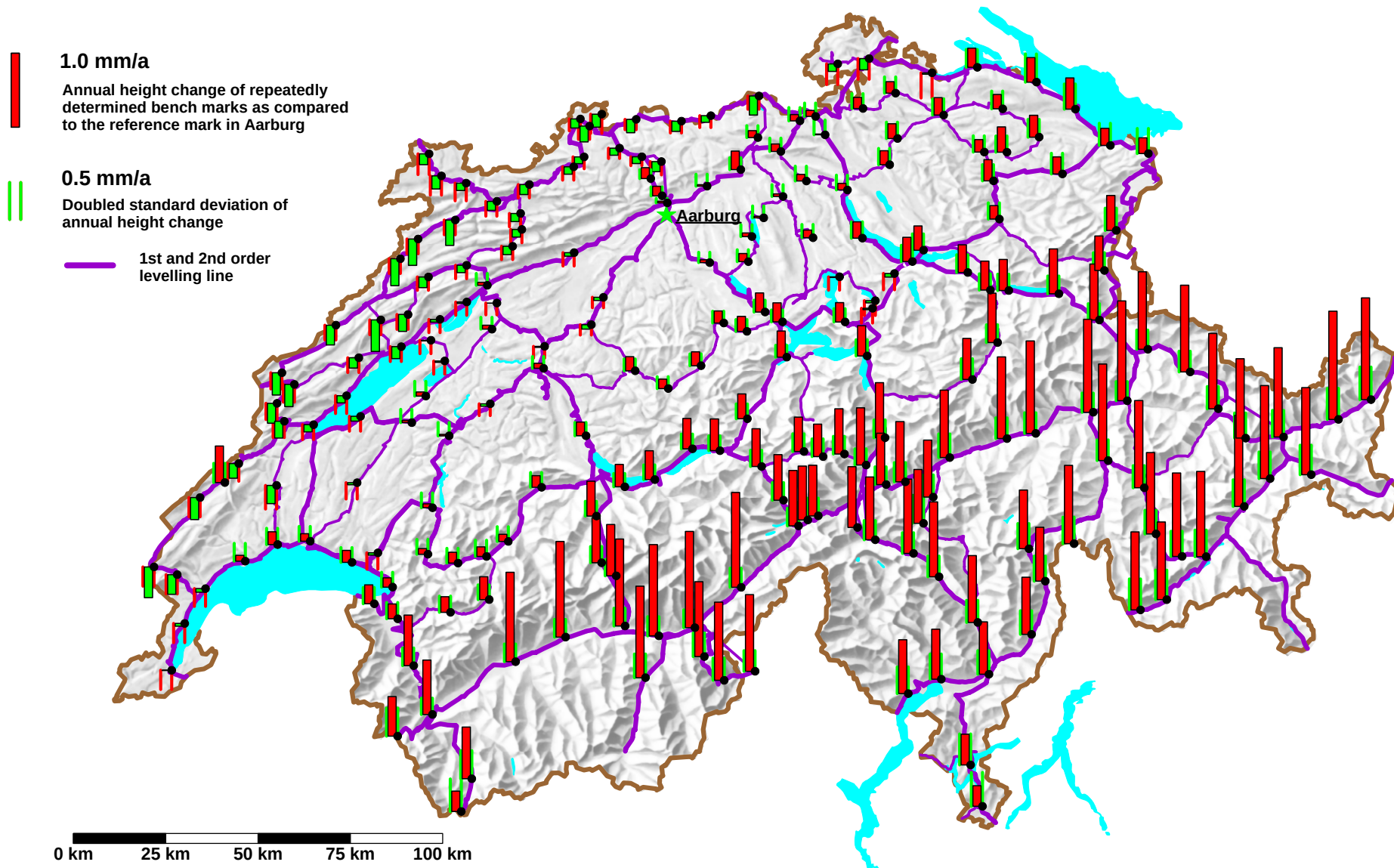
$$\frac{1}{p_i} = (A + B \cdot \sqrt{s} + C \cdot s + D \cdot \Delta H)^2$$

- A: Unsicherheit der Aufstellung auf dem Fixpunkt (sog. Punkunruhe oder -rauschen)
 B: Zufälliger (streckenabhängiger) Messfehler des Nivellements
 C: Systematischer (streckenabhängiger) Fehleranteil des Nivellements (für die vorliegenden Berechnungen nicht verwendet)
 D: Massstabsunsicherheit des Nivellements
 s: Streckenlänge [km]
 ΔH : Höhendifferenz [m]





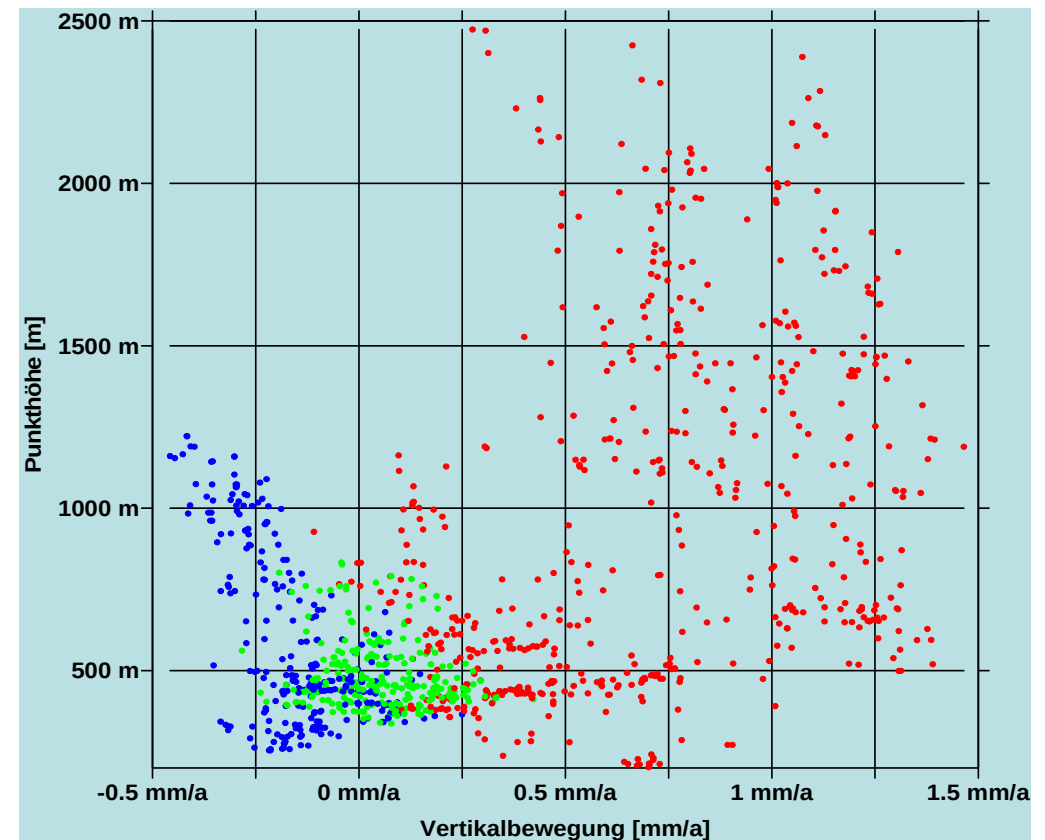
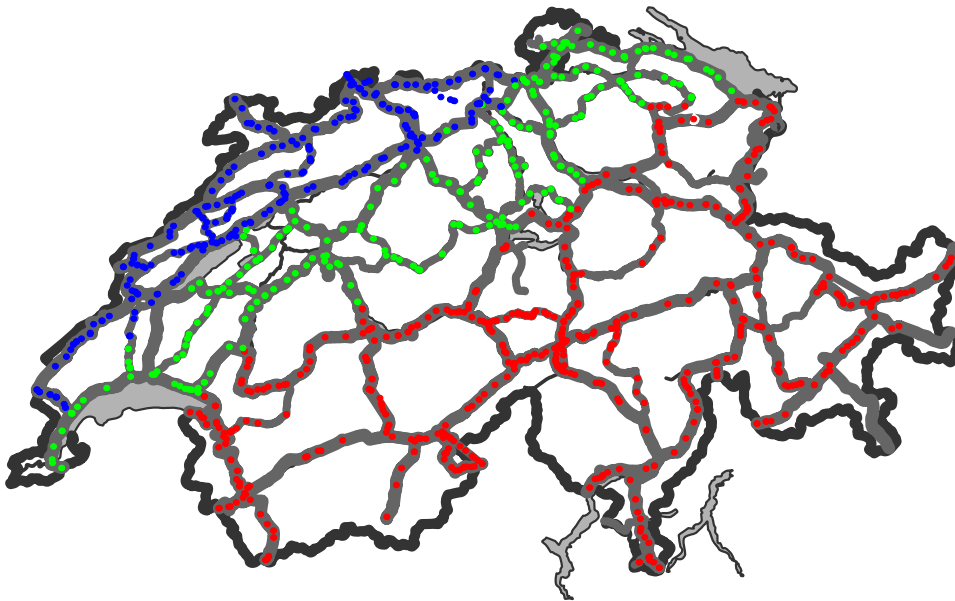
Landesnivellement und Hebungsraten





Landesnivellement und Hebungsraten

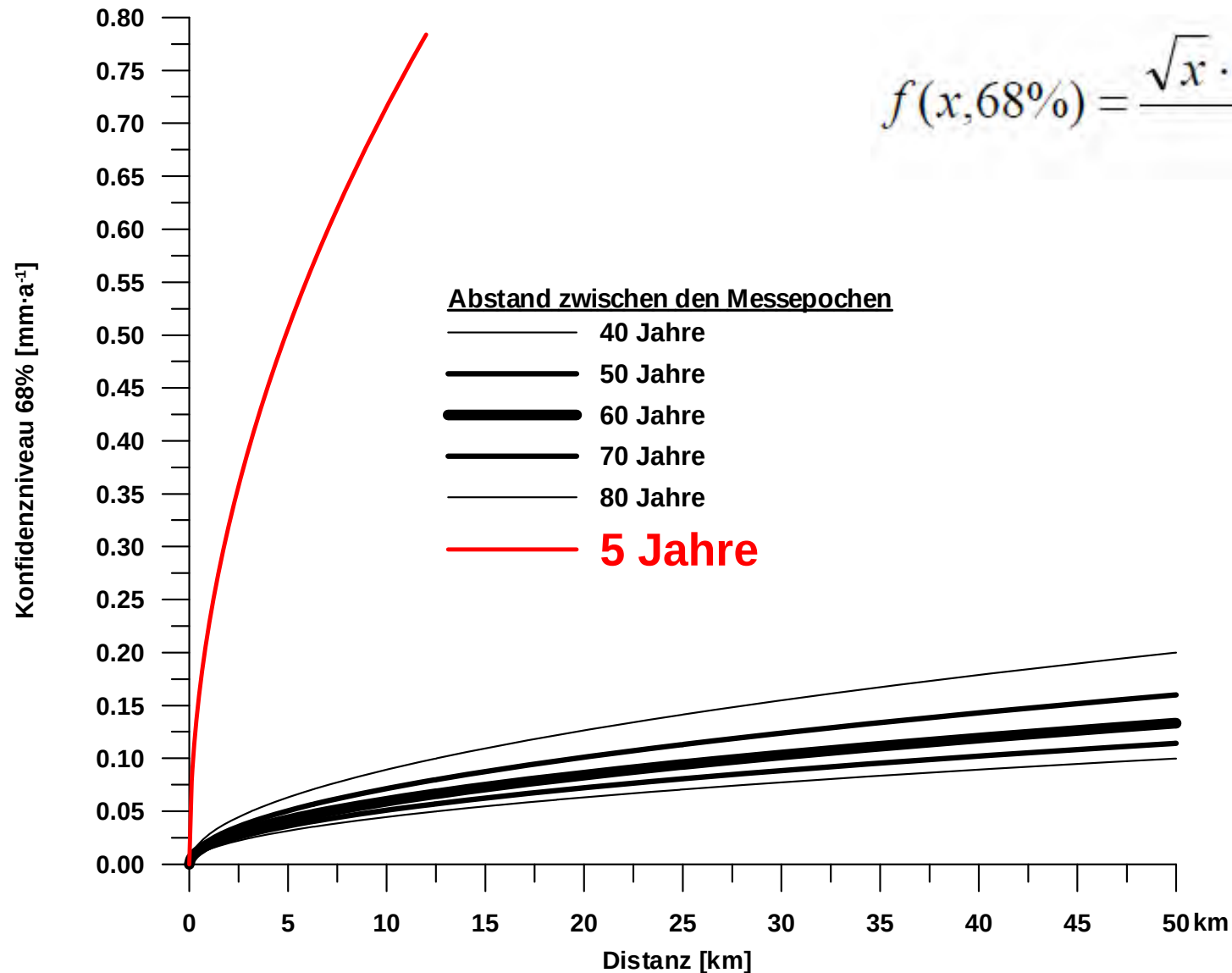
Korrelation mit der Höhe:
Probleme mit Holzlatten,
unterschiedliche Massstäbe?
⇒ eher unwahrscheinlich





Landesnivellement und Hebungsraten

Signifikanz der Resultate



$$f(x, 68\%) = \frac{\sqrt{x} \cdot 0.8 \text{ mm / km} \cdot \sqrt{2}}{\Delta t}$$



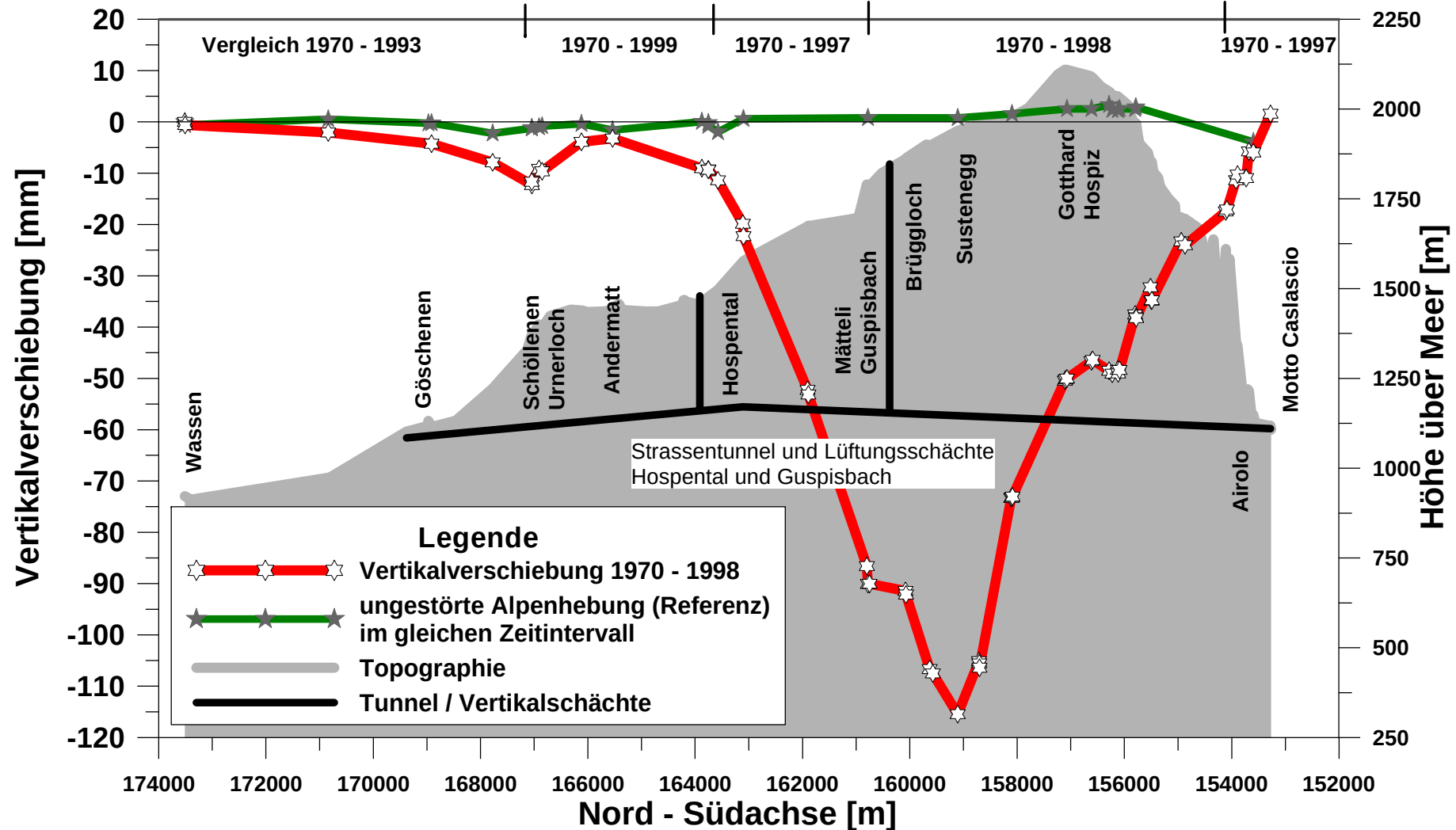
Hinweise zur Interpretation

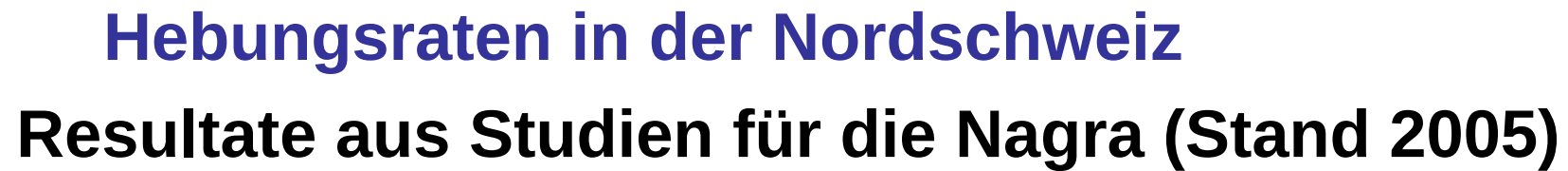
- **kein Resultat ohne Angabe der Signifikanz**
keine Interpretation ohne Berücksichtigung der Signifikanz
- **die Messungen und Punkte „kennen“**
mögliche systematische Fehler, Begehung der Punkte, geologische Beurteilung, Klassierung
- **Messung diskreter Zustände über max. 100 Jahre**
Vorsicht mit Extrapolationen
- **Vertikalbewegungen** aus Nivellements repräsentieren
Hebungen/Senkungen $\neq$ **Freilegungen/Versenkungen**
- **Ursachen:**
rezente Tektonik, isostatische Ausgleichsbewegung, postglaziale Ausgleichsbewegungen, Kompaktion der Quartärgeologie, Permafrost, Grundwasserschwankungen etc. ...
und zunehmend anthropogene Ursachen



Landesnivellement und Hebungsraten

Gotthard Strassentunnel: Beispiel eines anthropogenen Einflusses

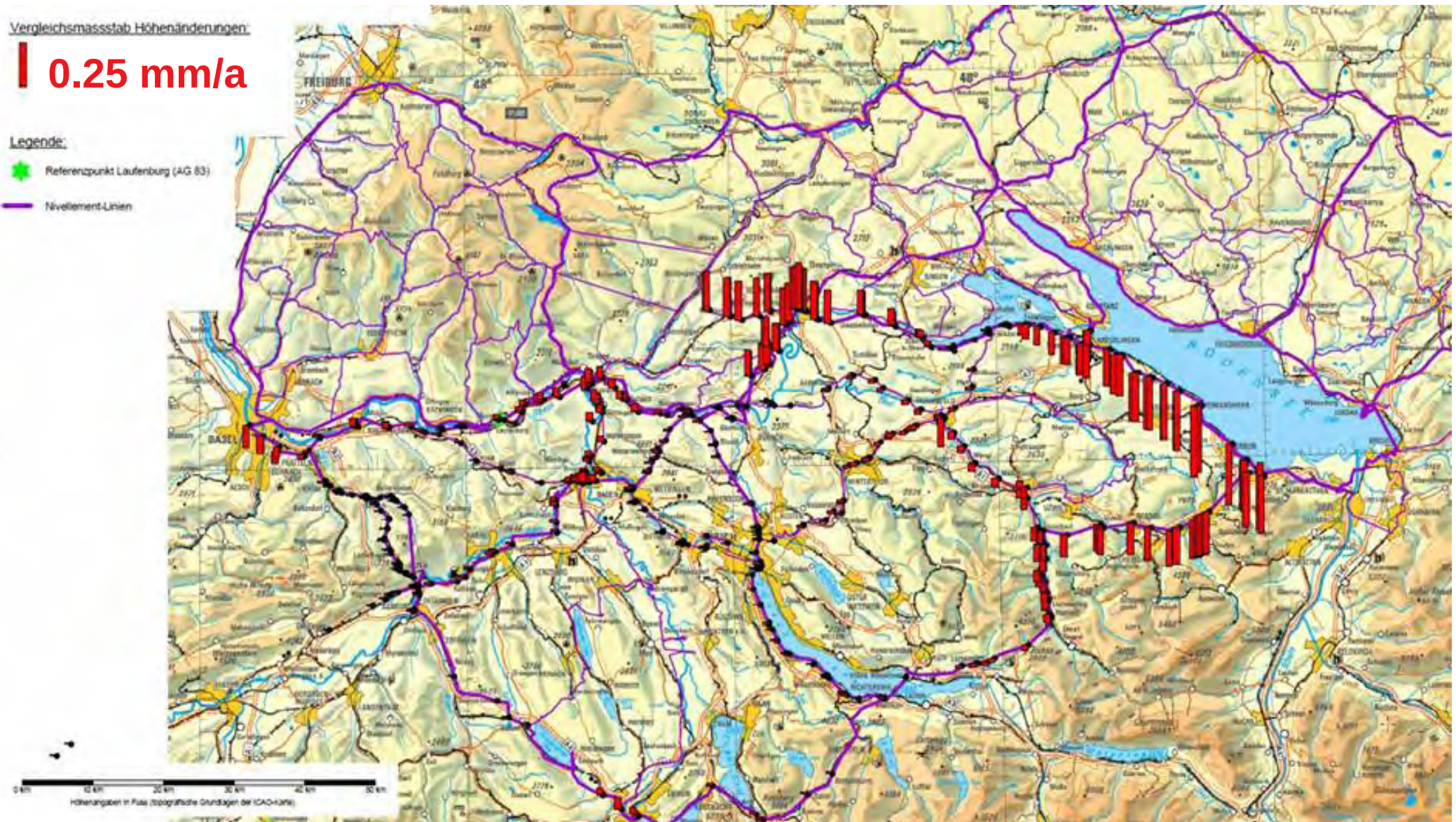






Hebungsraten in der Nordschweiz

Vergleiche mit Berechnungen ohne Deutsche Daten (Stand 1998)





Schlussbemerkungen und Ausblick

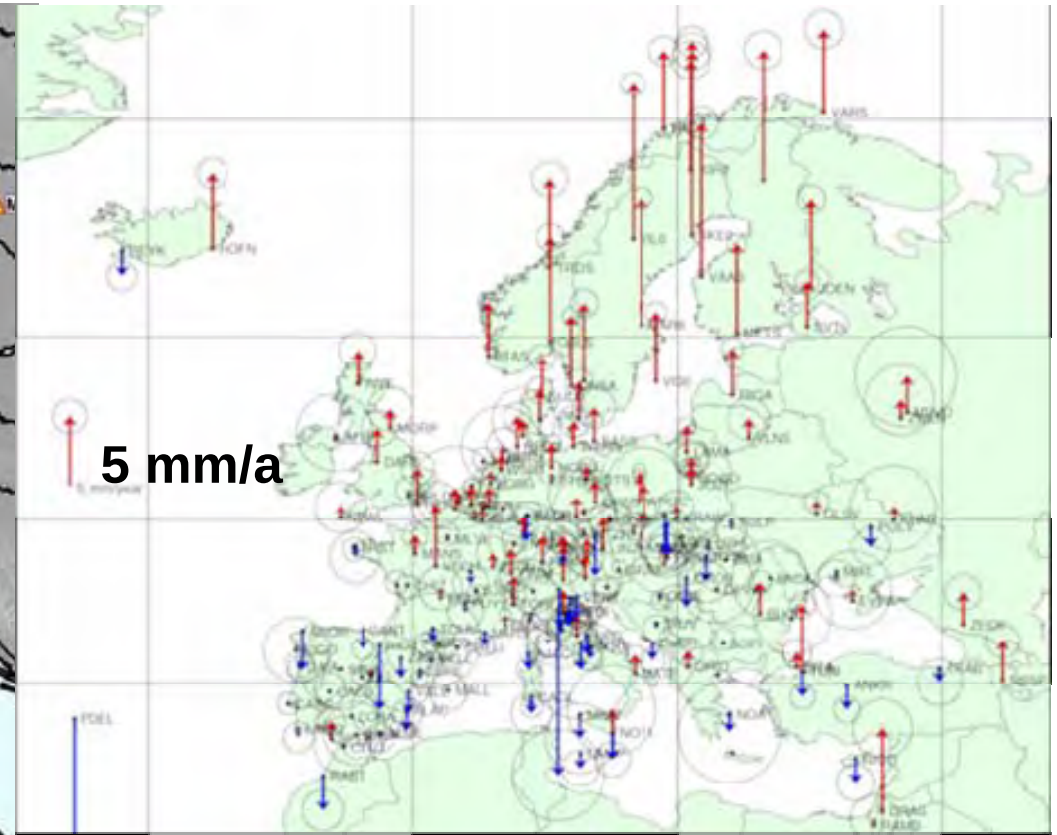
- **Nordschweiz: Hebungen kratzen an der Signifikanzgrenze**
- **Man muss mit Änderungen innerhalb der Signifikanz rechnen (und leben können)**
 - Bestätigung evtl. mit Neumessungen ab 2006
- **Einflussfaktoren für Resultatschwankungen:**
 - Neue Messungen (Einfluss auf Messungen auf 1910/43) +
 - Mathematisches und stochastisches Modell –
- **Linienmessungen erzeugen grosse Korrelationen zwischen den Resultaten**
 - Keine „Einzelpunktmessungen“
- **Neumessungen lohnen sich bei grossem zeitlichen Abstand zur letzten Messung**
- **Keine Interpretation ohne „geologische Beurteilung“ der Punkte**
- **Zukunft der Präzisionsnivellements?**



Auswertungen swisstopo AGNES

1 mm/a

Besten Dank für di



Besten Dank für die Aufmerksamkeit