



**BLS-AlpTransit  
Lötschberg-Basistunnel**

**07-09  
B**

August 2007     Adrian Wiget

Die Grundlagenvermessung und weitere  
Beiträge des Bundesamtes für  
Landestopografie zur Vermessung des  
Lötschberg-Basistunnels



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Landestopografie swisstopo  
Office fédéral de topographie swisstopo  
Ufficio federale di topografia swisstopo  
Uffizi federal da topografia swisstopo**

[www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)  
SQS-Zertifikat ISO 9001:2000





## **BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel**

**07-09 B**

Adrian Wiget

Die Grundlagenvermessung und  
weitere Beiträge des Bundes-  
amtes für Landestopografie zur  
Vermessung des Lötschberg-  
Basistunnels

August 2007

### **Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zeitlicher Ablauf und Organisation</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagenvermessung für den Sondierstollen</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagenvermessung für den Basistunnel</b>	<b>5</b>
4.1	Konzept	5
4.2	Präanalyse	7
4.3	Grundlagennetz und GPS-Messungen 1997	7
4.4	Höhengrundlagen und Anschlüsse ans Landesnivellement	9
4.5	Gesamtausgleichung des Grundlagennetzes	12
<b>5</b>	<b>Erweiterungen und weitere Beiträge von swisstopo</b>	<b>14</b>
5.1	Grundlagennetz-Ergänzungen	14
5.2	Berechnung von Lotabweichungen, Geoidundulationen und orthometrischen Korrekturen	14
5.3	Beitrag zu den Kreismessungen	14
<b>6</b>	<b>Durchschlag und nachträgliche Kontrollen</b>	<b>15</b>
6.1	Durchschlagsgenauigkeiten (Projektvermesser)	15
6.2	Messungen nach dem Durchschlag	15
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>
7.1	Technische Berichte (swisstopo Reports)	17
7.2	Publikationen	20

© 2007 **swisstopo**  
Bundesamt für Landestopografie  
Office fédéral de topographie  
Ufficio federale di topografia  
Uffizi federal da topografia  
Federal Office of Topography

Redaktion: A. Wiget  
Seftigenstrasse 264  
CH-3084 Wabern  
Tel: +41 31 963 24 69  
Fax: +41 31 963 24 59  
E-mail: adrian.wiget@swisstopo.ch

---

**swisstopo Report** ist die Nachfolgeserie der Reihe "Technische Berichte" in welcher über die wichtigen Arbeiten aus den Bereichen von swisstopo berichtet wird.

**swisstopo Report** est la suite de la série "Rapports techniques", qui décrivent les projets et activités les plus importants de swisstopo.

**swisstopo Report** is the follow-up of the series "Technical Report" in which important projects and activities of swisstopo are described.

- Report (A):** **Öffentliche Berichte** (public domain) von swisstopo: Keine Einschränkungen. Weitergabe und Reproduktion mit Quellenangabe erwünscht.  
**Rapports officiels** du swisstopo (domaine public): Sans restrictions. Diffusion et reproduction souhaitée.  
**Public domain** of swisstopo: no restrictions. Duplication and distribution with reference to source.
- Report (B):** **Berichte eigener Arbeiten von swisstopo:** Alle Rechte vorbehalten. Das Copyright bleibt bei der swisstopo. Reproduktion nur mit schriftlicher Bewilligung der swisstopo.  
**Rapports sur les travaux internes du swisstopo:** Les droits de reproduction (copyright) restent au swisstopo. Reproduction seulement avec l'autorisation écrite du swisstopo.  
**Reports on internal activities:** All rights reserved. The copyright remains with swisstopo. Reproduction requires the written permission by swisstopo.
- Report (C):** **Berichte von Arbeiten für Dritte** (Werkvertrag): Alle Rechte vorbehalten. Das Copyright geht an den Auftraggeber über. Jede Weitergabe, vollständige oder teilweise Reproduktion oder Speicherung in elektronischen Medien nur mit schriftlichem Einverständnis des Auftraggebers möglich.  
**Rapports sur les travaux mandatés par des tiers:** Les droits de reproduction appartiennent au mandataire. Toute diffusion ou reproduction (même partielle possible uniquement avec l'autorisation écrite du mandataire).  
**Reports commissioned by third parties:** All rights reserved. The copyright remains with the client. Duplication, reproduction and storage on electronic media of any or all parts of the report require written permission by the client.
- Report (D):** **Interne Berichte der Bereiche.** Alle Rechte vorbehalten. Nur für internen Gebrauch.  
**Rapport interne des domaines.** Les droits de reproduction (copyright) restent au swisstopo. Exclusivement à usage interne.  
**Internal reports.** All rights reserved. Only for internal use.

## 1 Einleitung

Ende der 1980er-Jahre war der Bereich Geodäsie des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo) an verschiedenen Grundlagenvermessungen für Tunnelneubauten der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) beteiligt: Grauholztunnel, Wisenberg- und Adlertunnel, Brüttenertunnel. Ausschlaggebend waren die frühzeitigen und intensiven Erfahrungen, welche swisstopo mit der satellitengestützten Messmethode des Global Positioning Systems GPS in der Landesvermessung sowie bei Ingenieurvermessungen sammeln konnte (Testnetze Thun und Turtmann, GPS-Netz "Neotektonik Nordschweiz", GPS-Landesnetz LV95, GPS-Netze für Staumauer-Deformationsmessungen). Zudem verfügten die Ingenieure von swisstopo über jahrzehntelange Erfahrungen in den klassischen geodätischen Messmethoden, im Landesnivellement sowie in den Grundlagen der physikalischen Geodäsie (Gravimetrie, Geoidbestimmung). Bei der Absteckung der neuen, alpenquerenden Basistunnels der NEAT am Lötschberg und am Gotthard war es sinnvoll, Synergien mit der Landesvermessung, insbesondere der neuen Landesvermessung LV95 (GPS-Landesnetz LV95 und Landeshöhennetz LHN95), zu nutzen.

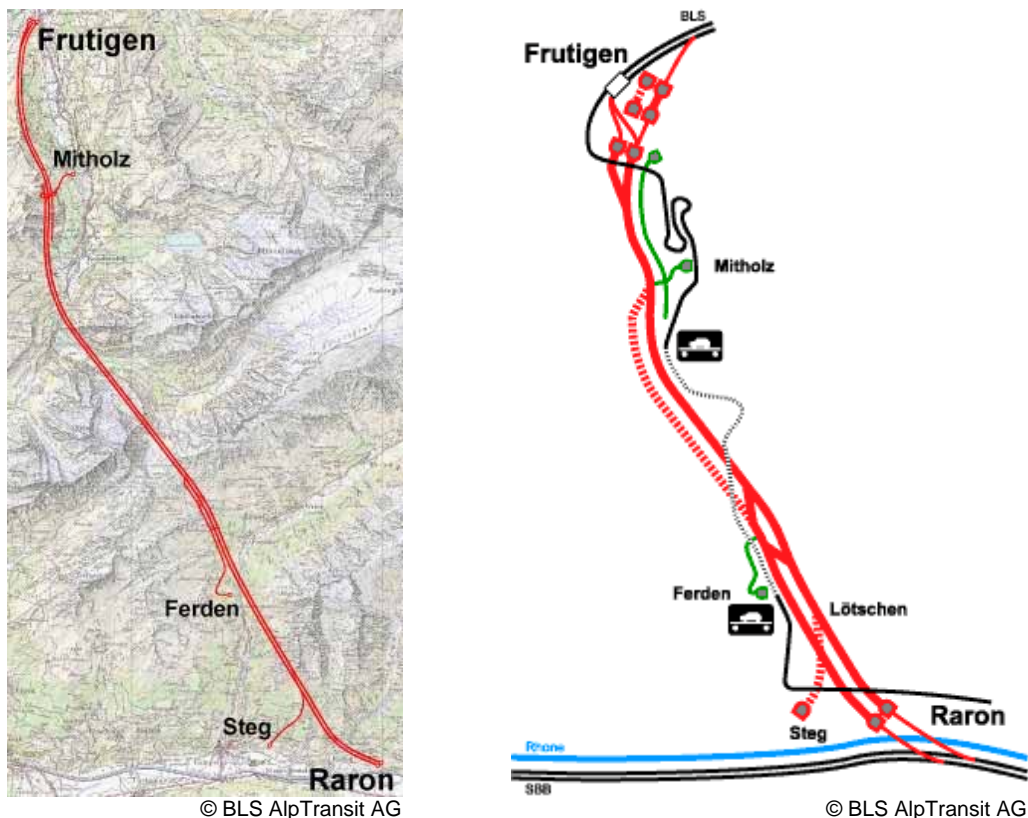
swisstopo hatte also die Kompetenzen für die Beratung und Ausführung von grossräumigen Vermessungen in Lage und Höhe, für die Durchführung von anspruchsvollen Ingenieurvermessungen mit höchster Genauigkeit und Zuverlässigkeit und konnte die langjährige Kontinuität gewährleisten. Dies machte swisstopo zu einem willkommenen Partner für die geodätische Absteckung langer Tunnels.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die Beiträge von swisstopo zur Absteckung des Lötschberg-Basistunnels. swisstopo stellte insbesondere die geodätischen Bezugsrahmen und Modelle bereit und realisierte in enger Zusammenarbeit mit dem Projektvermesser die oberirdische Grundlagenvermessung für die unterirdische Absteckung, mit dem Ziel eines lage- und höhenmässig hochgenauen Durchstiches. Im April 2005 konnte die BLS-AlpTransit AG den Hauptdurchschlag dieses 34.6 km langen Eisenbahntunnels zwischen dem Berneroberrand und dem Wallis feiern. Im Juni 2007 wurde der Tunnel von der BLS AG in Betrieb genommen.

swisstopo dankt den Auftraggebern für ihr Vertrauen und allen Partnern und Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.

## 2 Zeitlicher Ablauf und Organisation

Für die Projektierung der vermessungstechnischen Absteckung des Lötschberg-Basistunnels kontaktierte die BLS Lötschbergbahn AG (heute BLS AG) swisstopo schon in der Planungsphase. In einer Studie mit einem Projekt- und Terminvorschlag zur "Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels" (Technischer Bericht 93-02) schlug swisstopo 1993 vor, die Grundlagenvermessung so weit wie möglich auf die damals im Aufbau befindliche neue Landesvermessung 1995 (LV95) abzustützen. Der Bereich Geodäsie bekundete die Bereitschaft, die Verantwortung für die oberirdische Grundlagenvermessung (in Lage und Höhe) zu übernehmen und dabei eng mit dem für die unterirdische Vortriebsvermessung verantwortlichen Vermessungsbüro zusammen zu arbeiten.



**Abb. 2-1:** Projektüberblick Lötschberg-Basistunnel mit Kartengrundlage und schematischer Darstellung des Projektes mit den fünf Portalen. Der Sondierstollen zwischen Frutigen und Mitholz sowie der Zubringerstollen in Ferden sind grün eingetragen.

In Absprache mit Herrn B. Schweizer (BLS AG, Infrastruktur – Anlagen – Vermessung IAV) und im Kontakt mit der Firma Grunder Ingenieure AG, Hasle-Rüegsau, welche inzwischen von der BLS AlpTransit AG mit der unterirdischen Absteckung des Sondierstollens Frutigen – Mitholz – Kandersteg beauftragt worden war, erstellte swisstopo im Januar 1994 basierend auf den Grundlagen der Ingenieurgesellschaft Lötschberg-Basistunnel einen Konzeptbericht (Technischer Bericht 94-03). Dieser enthielt den Netzentwurf für ein GPS-Grundlagennetz gestützt auf das GPS-Landesnetz LV95 sowie das Höhengrundlagennetz gestützt auf das Landeshöhennetz LHN95 (Landesnivellement). In allen Portalen zum Vortrieb des Tunnels sollten in direktem Anschluss an die Landesvermessung genügend Referenzpunkte in Lage und Höhe mit ausreichender Genauigkeit und Zuverlässigkeit erstellt werden (vgl. Abb. 4-1). Diese sog. Portalnetze ermöglichten den Übergang vom oberirdischen geodätischen Grundlagennetz zum Vortriebsnetz der unterirdischen Absteckung. swisstopo machte auch Vorschläge für die geodätischen Präanalysen des Sondierstollens sowie des Basistunnels und unterbreitete einen Kostenvoranschlag für die eigenen Arbeiten. Bereits Anfangs Februar 1994 lieferte swisstopo einen detaillierten Rekognoszierungsbericht für das GPS-Grundlagennetz ab.

Mit dem Vertrag Nr. 94.40.21.001 erteilte die BLS AlpTransit AG dem Bereich Geodäsie des Bundesamtes für Landestopografie am 16. Aug. 1994 den Auftrag, die Präanalyse für den Sondierstollen zu rechnen, dessen Grundlagenvermessung (in Lage und Höhe) zu planen und auszuführen sowie, im Hinblick auf die Realisierung des Gesamtprojektes des Lötschberg-Basistunnels, eine Grob-Präanalyse

und einen Vorschlag für das Höhengrundlagennetz für den Bau des Lötschberg-Basistunnels zu erstellen. Diese Arbeiten wurden von swisstopo bereits vorgängig im Frühjahr 1994 durchgeführt (vgl. Kapitel 3). Die Feldmessungen für das Grundlagennetz erfolgten teilweise in Zusammenarbeit mit der Firma Grunder Ingenieure AG. Im November 1996 fand der Durchschlag zwischen dem Sondierstollen Frutigen und dem Fensterstollen Mitholz statt; der Sondierstollen wurde im Februar 1997 fertig gestellt.

Die Arbeiten für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels wurden 1995 von der BLS AlpTransit AG neu ausgeschrieben und vergeben. Sie beauftragte die Ingenieurgemeinschaft IG *BeWa* (c/o Riesen & Stettler AG) unter der Projektleitung von Herrn Hans-Ueli Riesen als Projektvermesser des Basistunnels. Die IG *BeWa* wiederum wollte die oberirdische Grundlagenvermessung in enger Zusammenarbeit mit swisstopo planen und ausführen. Im September 1997 entschied die BLS AlpTransit AG, dass swisstopo ihre Leistungen als Vertragspartner der IG *BeWa* erbringen sollte. Gestützt auf eine Offerte beauftragte die IG *BeWa* swisstopo am 2. Okt. 1997 mit der Ausführung der Grundlagenvermessung für den Lötschberg-Basistunnel (Lage- und Höhennetz) gemäss den von swisstopo ausgearbeiteten Konzeptvorschlägen. Die Arbeiten umfassten insbesondere die Rekognoszierung, Messung und Auswertung des GPS-Grundlagennetzes sowie die zusätzlichen Anschlüsse an die Hauptlinie des Landesnivellements in Ferden/Goppenstein, Steg/Niedergesteln und Raron (vgl. Kapitel 4). Gleichzeitig stand swisstopo der IG *BeWa* beim Gesamtkonzept sowie für grundlegende geodätische Fragestellungen als Berater bei.

Die GPS-Messkampagne im Grundlagennetz für den Basistunnel fand im November 1997 statt, wobei der nördliche Netzteil vom GPS-Netz des Sondierstollens übernommen worden war und vorerst primär das Portalnetz Ferden für den dortigen Fensterstollen bereitgestellt werden musste. Im November 1998 führte die IG *BeWa* in Zusammenarbeit mit swisstopo weitere GPS-Messungen im Raum Raron und im Raum Frutigen durch, als Grundlage für Anschlüsse an lokale Fixpunkte der Bahnvermessung. Die Nivellement-Anschlüsse an das Landesnivellement in Ferden/Goppenstein, Steg/Niedergesteln und Raron wurden von swisstopo, in Zusammenarbeit mit der IG *BeWa*, ebenfalls im November 1997 gemessen. Die Arbeiten der Grundlagenvermessung 1997 für den Lötschberg-Basistunnel sind im Technischen Bericht 97-31 dokumentiert. Das Höhengrundlagennetz basierend auf dem Landeshöhennetz LHN95 und die Berechnung von orthometrischen Höhen sind im Technischen Bericht 98-22 ausführlich dargelegt.

Der Lötschberg-Basistunnel wurde über fünf Portale (Frutigen und Raron sowie Zwischenangriffe in Mitholz, Ferden und Steg) abgesteckt resp. vorgetrieben (vgl. Abb. 2-2). Am 28. April 2005 erfolgte der Hauptdurchschlag im Tunnelstück zwischen Mitholz und Ferden (vgl. Kapitel 6). Die guten Resultate, welche die vom Bauherrn geforderten Toleranzvorgaben erfüllten, bestätigten indirekt auch die gute Qualität der Grundlagenvermessung.



**Abb. 2-2: Vortriebskonzept und Längen der Tunnelabschnitte**

### 3 Grundlagenvermessung für den Sondierstollen

Die Grundlagenvermessung für die Absteckung des Sondierstollens Frutigen – Mitholz – Kandersteg (sog. 1. Etappe, ca. 9.6 km) sowie des Fensterstollens Mitholz wurde so projektiert und ausgeführt, dass diese dereinst zum Grundlagennetz für den gesamten Lötschberg-Basistunnel erweitert werden konnte. swisstopo erstellte im April resp. Mai 1994 detaillierte Präanalysen für die Absteckung des Sondierstollens Frutigen – Kandersteg sowie des gesamten Basistunnels Frutigen – Steg – Mundbach (Technische Berichte 94-01 und 94-02), wobei verschiedene Varianten studiert wurden. Die Messungen für das Grundlagennetz des Sondierstollens und deren Auswertungen sind im Technischen Bericht 94-05 vom Juni 1994 dokumentiert.

Für die Lageabsteckung des Sondierstollens wurde von swisstopo ein GPS-Netz mit optimalem Anschluss an die neue Landesvermessung LV95 rekognosziert, erstellt und gemessen. Dies mit dem Ziel, einen homogenen, unverzerrten und konsistenten geodätischen Bezugsrahmen zu errichten. Insgesamt wurden acht LV95-Punkte ins Grundlagennetz integriert. In Frutigen, von wo aus der Vortrieb des Sondierstollens erfolgte, wurde ein gut überbestimmtes Portalnetz mit vier GPS-Stationen (G1-G4) und einer zusätzlichen terrestrischen Station (T1) errichtet. Beim Fenster-Portal Mitholz, von wo aus der Sondierstollen in ca. 1.5 km erreicht und somit der Durchschlag kontrolliert werden konnte, wurden drei GPS-Stationen (G5-G7) und zwei terrestrische Stationen (T2 und T3) gebaut. Das GPS-Netz mit insgesamt 15 Stationen wurde von swisstopo mit 12 geodätischen Zweifrequenzen-Empfängern in vier Sessionen vom 21. bis 25. März 1994 gemessen. Zur Bestimmung der Anschlusszwänge an die bestehenden Vermessungswerke bei allen Zwischenangriffstellen des Basistunnels und bei "Zwangspunkten" im Wallis wurden 12 zusätzliche GPS-Punkte mittels sog. "fast static" Messungen während der GPS-Messkampagne für das Grundlagennetz des Sondierstollens bestimmt. Die GPS-Messungen wurden von swisstopo mit der Bernese GPS Software (Version 3.5) unter Beachtung höchster Genauigkeitsstandards ausgewertet.

Die Portalnetze in Frutigen und Mitholz wurden von swisstopo und unabhängig auch von der Firma Grunder Ingenieure AG terrestrisch (Richtungen, Distanzen, Höhenwinkel) mit Präzisionsinstrumenten eingemessen. Die Portalnetze ermöglichen denn auch den Übergang vom oberirdischen geodätischen Grundlagennetz zum Vortriebsnetz der unterirdischen Absteckung.

Die Höhengrundlage stützte sich vollständig auf das eidgenössische Landesnivellement ab (Zweitmessung aus den Jahren 1982/83). Sowohl in Frutigen wie in Mitholz wurden mehrere Portalpunkte mittels doppelten Präzisionsnivellements an mehrere Fixpunktgruppen des Landesnivellements angeschlossen.

Die Koordinatensätze aus der GPS-Auswertung wurden zusammen mit allen terrestrischen Messungen unter Berücksichtigung des Geoidmodelles im Ausgleichs-Programm LTOP einer Gesamtausgleichung unterzogen. Für die Lagerung des zwangsfreien kombinierten Netzes wurde der Punkt G1 (1227.752 *Tellenburg*) als Festpunkt in der Lage und ein Landesnivellement-Fixpunkt unterhalb der Tellenburg als Höhenfestpunkt gewählt. Die innere Geometrie des Grundlagennetzes sowie der Netzmassstab wurde praktisch durch die GPS-Messungen festgelegt (ionosphärenfreie Linearkombination L3). Die Koordinaten der Triangulationspunkte im Kandertal sowie der übrigen "Zwangspunkte" im Wallis wurden als Beobachtungen mit einem mittleren Fehler in die Ausgleichung eingeführt. Die Orientierungen der GPS-Koordinatensätze wurden aus dem Festpunkt G1 und den Zwangspunkten im Wallis geschätzt. Diese Ausgleichung und Lagerung galt grundsätzlich nur für die Absteckung des Sondierstollens (Werkkoordinaten). Die (relative) Lage-Genauigkeit (Halbachsen der mittleren Fehlerellipse der Werkkoordinaten) der Punkte im Portal Frutigen gegenüber dem Festpunkt G1 war besser als 1 mm, diejenige der Punkte im Portal Mitholz besser als 2 mm. Der relative mittlere Höhenfehler zwischen den nivellistisch angeschlossen Portalpunkten in Frutigen und Mitholz war ebenfalls kleiner als 2 mm.

Weitere Details und Übersichten können dem Technischen Bericht 94-05 entnommen werden.

## 4 Grundlagenvermessung für den Basistunnel

### 4.1 Konzept

Das Konzept für die oberirdische Grundlagenvermessung des Lötschberg-Basistunnels wurde von swisstopo erarbeitet. In Absprache mit der BLS AlpTransit AG sowie dem Projektvermesser, der Ingenieurgemeinschaft IG *BeWa*, wurden das Konzept und der grundsätzliche Netzdesign, welche von swisstopo für den Sondierstollen ausgearbeitet worden waren, auch für den gesamten Basistunnel übernommen. Die Lage- und Höhenabsteckung stützten sich grundsätzlich auf die Landesvermessung LV95 (GPS) resp. das Landeshöhennetz LHN95 (Nivellement) ab. Die **Grundsätze** waren:

- Hochgenaues GPS-Netz für die relative Positionierung und Azimutübertragung zwischen allen Portalen der Haupt- und Zwischenangriffe mit mindestens drei GPS-Punkten pro Portal (vgl. Abb. 4-1 und Abb. 4-2). Für die fünf Portale wurden insgesamt 18 GPS-Punkte mit Anschluss an die neue Landesvermessung LV95 bestimmt. Auswertung der GPS-Messungen mit der Bernese GPS Software unter Verwendung von präzisen IGS-Satellitenbahnen und optimaler Modellierung der systematischen Fehlereinflüsse.
- Präzisions-Richtungs- und Distanzmessungen in den Netzen der Hauptportale und Zwischenangriffe mit Verknüpfung der GPS-Punkte zur gegenseitigen Verbesserung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit.
- Bereitstellen von Referenzstrecken in den Portalnetzen mit bekannten Azimuten im Bezugsrahmen LV95 (Bezugssystem CH1903+) für die oberirdischen Referenzmessungen mit dem Vermessungskreisell.
- Ausgleichung aller Messungen in einem kombinierten Netz und gelagert im Bezugsrahmen LV95. Der Netzmassstab (entspricht der Meterdefinition) und die Orientierung des Werkkoordinatenrahmens stimmen daher mit dem Referenzsystem CH1903+ überein.
- Bestimmung der Anschlusszwänge zu den lokalen Vermessungswerken in LV03 in allen Portalnetzen.
- Für die Höhenbestimmung werden alle Portalnetze mit Präzisionsnivellements an die Linie des Landeshöhennetzes (LHN) Spiezwiler – Frutigen – Lötschberg-Scheiteltunnel – Gampel – Visp angeschlossen. Die Grundlage der Tunnelabsteckung bildet das orthometrische Höhensystem des neuen Landeshöhennetzes LHN95, welches auf einer kinematischen Neuausgleichung des Landesnivellements (Einfluss von Hebungen / Senkungen aufgrund wiederholter Messungen) und der Berücksichtigung des Schwerefeldeinflusses beruht.
- Die Lotabweichungen und Geoidundulationen werden aus dem damals aktuellen Geoidmodell der Schweiz (CHGeo98) berechnet.

Die **Vorteile** der Ausgleichung und Lagerung in LV95/LHN95 waren:

- Die Werkkoordinaten sind zwangsfrei und stimmen mit denjenigen der neuen Landesvermessung LV95 überein; zusätzliche neue Messungen, z.B. mit GPS, sind ohne lokale Transformationen direkt kombinierbar.
- Der Koordinatenrahmen ist im Massstab und in der Orientierung kompatibel mit den globalen Referenzsystemen der Satellitengeodäsie; es sind keine Massstabs- und Orientierungskorrekturen an GPS- und EDM-Messungen in Folge der Lagerung notwendig.
- Mit der Höhenlagerung in LHN95 liegt ein potentialtheoretisch strenges, orthometrisches Höhensystem vor, welches unter Verwendung der Undulationen des neuen cm-Geoides der Schweiz (damals CHGeo98) mit den ellipsoidischen GPS-Höhen im LV95 kompatibel ist und eine gegenseitige Kontrolle zwischen GPS und Nivellement ermöglicht.

Als **Nachteile** dieser Lagerung wurden erkannt:

- Konstante Translation (Y: 12.7 cm, X: 19.3 cm) und kleine Verdrehung um 2.9cc gegenüber dem alten Netz des Sondierstollens.
- Im Berner Oberland und vor allem im Wallis waren Koordinaten- und Höhendifferenzen im Dezimeterbereich gegenüber den offiziellen Vermessungswerken der amtlichen Vermessung zu erwarten. Dieser Nachteil wurde im Grundlagennetz für den Sondierstollen noch leicht vermindert,

indem die Orientierung ab dem Festpunkt G1 (Tellenburg) durch die Minimierung der Restklaffen in den "Zwangspunkten" im Wallis optimiert wurde.

- Bei allen Präzisionsnivelements, insbesondere in den Vortrieben, muss der Einfluss des Schwerefeldes in Form von orthometrischen Korrekturen berücksichtigt werden.

Diese Definition des Werkkoordinatensystems resp. des geodätischen Bezugsrahmens wurde vorgängig intensiv mit dem Projektvermesser (IG *BeWa*) sowie der BLS AlpTransit AG und deren Projekt-ingenieuren besprochen. **Alternativen** wären gewesen:

- Lagerung des verzerrungsfreien Grundlagnetzes (LV95, LHN95) durch "optimale" Anpassung an bestehende Vermessungen und Projektierungsunterlagen in den Portalbereichen mittels horizontaler Translation und Rotation sowie vertikalem Höhenoffset und evtl. einer Kippung; Verzängung der Restklaffen in begrenzten Übergangszonen.
- Streng getrennte Koordinaten- und Höhensysteme für das Grundlagnetz der Tunnelabsteckung (LV95, LHN95) einerseits und den aussenliegenden Gebieten (LV03, LN02) andererseits mit fixen, bekannten Offsets; die Punkte des Grundlagnetzes in den Portalbereichen erhalten Doppelkoordinaten.

Am 24. Feb. 1999 entschieden die BLS AlpTransit AG und der Projektvermesser auf Rat von swisstopo, für das Grundlagnetz gemäss obiger Beschreibung das Bezugssystem CH1903+ resp. den Bezugsrahmen LV95/LHN95 zu wählen und die Projektkoordinaten der Linienführungen in den Anschlussbereichen vor der Ausführung an die bestehenden Stammlinien anzupassen.



© Riesen & Stettler AG

**Abb. 4-1: Grundsätzliches Konzept der Grundlagenvermessung: Kombinierte, mit GPS und terrestrischen Methoden gemessene Portalnetze und lokale Höhenanschlüsse an das Landesnivellement.** Auf ein übergreifendes Triangulationsnetz für die Richtungsübertragung und die Verknüpfung der Portalnetze wurde verzichtet (vgl. auch Abb. 4-2).

## 4.2 Präanalyse

Eine Grob-Präanalyse für die Absteckung des Basistunnels wurde von swisstopo bereits 1994 berechnet (Technischer Bericht 94-01). Gestützt auf dieses Konzept hat der Projektvermesser anlässlich der Submissionsabgabe eine weitere a priori Berechnung durchgeführt und damit den Nachweis erbracht, dass mit dem vorgeschlagenen Vermessungskonzept die verlangten Qualitätsanforderungen des Bauherrn in Bezug auf Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Es ist zu beachten, dass für diese Berechnungen der Anteil des oberirdischen Grundlagennetzes nicht den genauigkeitsbestimmenden Faktor bildet. Entscheidend sind die Messkonzepte, Beobachtungsprogramme und Messgenauigkeiten der unterirdischen Absteckung. Dennoch sind natürlich die Vorgaben aus dem Grundlagennetz von entscheidender Bedeutung, da die unterirdischen Vortriebsmessungen vollkommen darauf abgestützt werden. Unter Beachtung des Messkonzeptes (funktionales Modell) sowie der erwarteten Messgenauigkeiten der unterschiedlichen Beobachtungsgrössen (stochastisches Modell) ergab die a priori Berechnung die in der Tab. 4-1 angegebenen Resultate für den Hauptdurchschlag. Die Querkomponente der relativen Fehlerellipse entspricht dem a priori mittleren Durchschlagsfehler unter der Voraussetzung, dass systematische Fehler durch das Messkonzept vermieden werden.

Abweichung	Durchschlagsfehler ( $1\sigma$ )	Konfidenzniveau 99%
Quer	6.6 cm	20.1 cm
Höhe	1.6 cm	4.1 cm

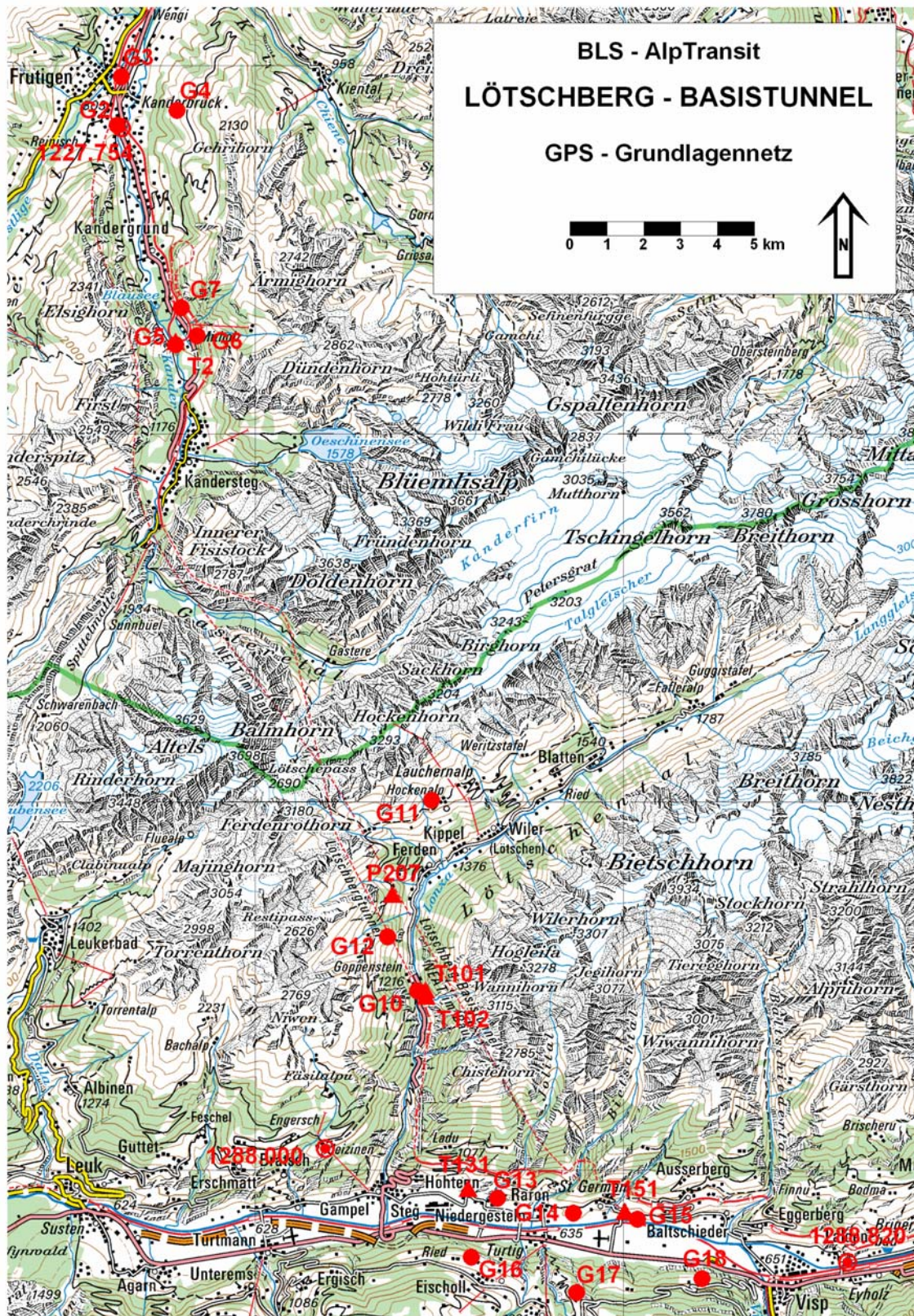
Tab. 4-1: A priori Durchschlagsgenauigkeiten aus der Präanalyse von swisstopo

## 4.3 Grundlagennetz und GPS-Messungen 1997

Die Schnittstelle zum Projektvermesser waren die Rekognoszierung und die Messung der Portalnetze. Die Portalnetze in Frutigen und Mitholz wurden vom Sondierstollen übernommen. Dagegen wurden die Portalnetze Ferden/Goppenstein, Steg/Niedergesteln und Raron auf der Walliser Seite im September 1997 von swisstopo zusammen mit dem Büro BSAP, Brig, einer Partnerfirma in der IG *BeWa*, rekognosziert. Die Verantwortung für die Materialisierung und Dokumentation lag bei BSAP.

Im Portal Ferden/Goppenstein wurden drei GPS-Stationen (G10-G12) und zwei terrestrische Stationen (T101 und T102) errichtet. In den Portalen Steg/Niedergesteln und Raron, welche auch über terrestrische Messungen miteinander verbunden sind, wurden sechs GPS-Stationen (G13-G18) sowie zwei terrestrische Stationen (T131 und T151) bestimmt (vgl. Abb. 4-2).

Die GPS-Messkampagne 1997 hatte das Ziel, die bereits 1994 gemessenen Portalnetze Frutigen und Mitholz optimal mit diesen neuen Portalnetzen im Wallis zu verbinden. Die Messungen wurden von swisstopo mit 14 geodätischen Zweifrequenzen-Empfängern in zwei Nachtsessionen vom 18. bis 20. November 1997 gemessen. Zusätzlich zu den GPS-Stationen in den Portalnetzen wurden für die Verbindung zum GPS-Landesnetz die LV95-Punkte Zimmerwald, Jeizinen, Tellenburg (= G1) und Lalden mitbeobachtet. Die GPS-Messungen wurden von swisstopo mit der Bernese GPS Software (Version 4.1) unter Beachtung höchster Genauigkeitsstandards ausgewertet. Details zu den Stationen, den Messungen und den Auswertungen sind im Technischen Bericht 97-31 dokumentiert.



© swisstopo

**Abb. 4-2: Geodätisches Netz der oberirdischen Grundlagenvermessung:**  
 Mit GPS- (G, ●) und terrestrisch (T, ▲) gemessene Stationen in den Portalnetzen  
 sowie ein Teil der LV95-Anschlusspunkte (⊙)

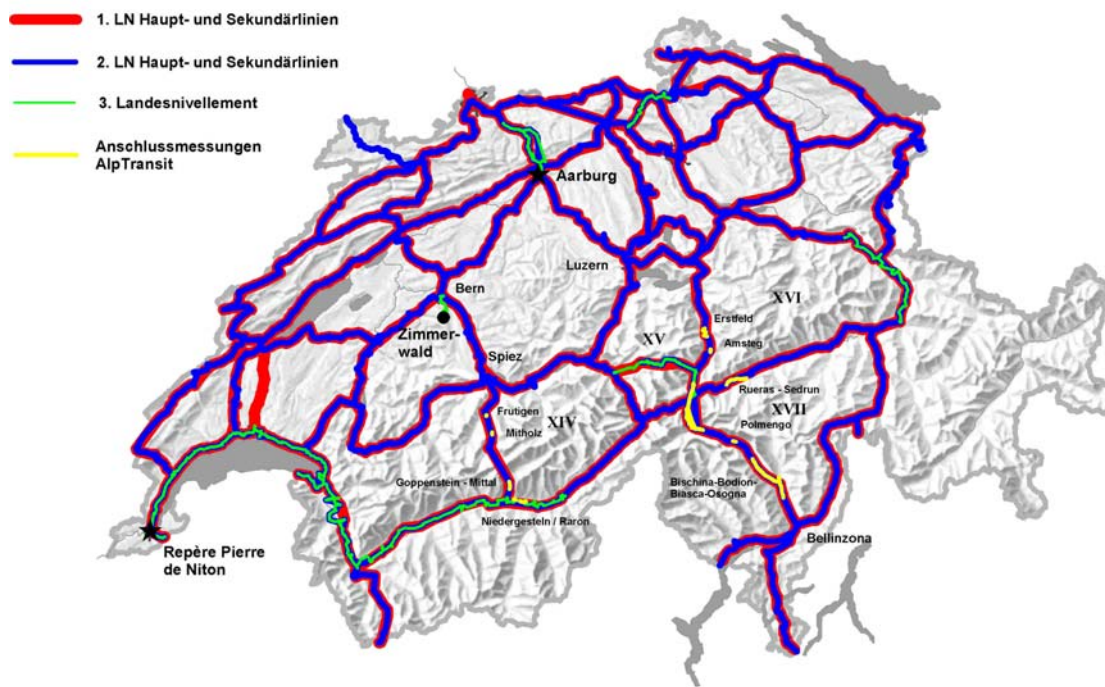
#### 4.4 Höhengrundlagen und Anschlüsse ans Landesnivellement

Als Basis des Höhengrundlagennetzes für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels wurde gemäss Beschluss der Projektleitung das neue, potentialtheoretisch strenge (orthometrische) Landeshöhennetz LHN95 der Schweiz verwendet. Dieses Höhennetz beruht auf einer Neuausgleichung sämtlicher verfügbaren Landesnivellementmessungen seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts mit Berücksichtigung der Schweremessungen entlang der Linien und der Schätzung individueller Vertikalbewegungen für die Höhenfixpunkte.

Das erste Landesnivellement der Linie Spiez – Lötschberg-Scheiteltunnel – Gampel – Visp über Kandersteg wurde 1913/16 (mit Nachmessungen 1925) ausgeführt, die zweite Messung erfolgte im Jahre 1983. Auf der Linie Gampel – Brig liegen zudem Messungen aus 1948 und 1996 vor. Auch der Lötschberg-Scheiteltunnel wurde zusätzlich 1996 (teilweise) und 1999 (vollständig) für spezielle neotektonische Untersuchungen nivelliert. swisstopo hatte 1997 einen Vorschlag für die Neu- und Anschlussmessungen auf der Basis des Landesnivellements im Bereich der geplanten Portale ausgearbeitet. Die Linienvorbereitungen und die Messungen der speziellen Nivellementanschlüsse der Portalnetze in Ferden/Goppenstein, Steg/Niedergesteln und Raron wurden 1997 unter der Leitung von swisstopo in Zusammenarbeit mit dem Büro BSAP durchgeführt. Für die Auswertung der Messungen zeichnete swisstopo verantwortlich (Technischer Bericht 97-31).

Im Auftrag der BLS-Alptransit AG (und in Absprache mit der Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel) führte swisstopo auch diverse Studien der lokalen Neotektonik (Analyse von Vertikalbewegungen) durch, gestützt auf kinematische Untersuchungen der Landesnivellementdaten aus mehreren Epochen im Gebiet des Lötschberg-Scheiteltunnels sowie im unteren Lötschentale (Goppenstein/Steg) (vgl. Technische Berichte 95-28, 96-08, 99-16 und 99-37). Im Technischen Bericht 01-17 wurden zudem, basierend auf gemeinsamen Testmessungen mit der IG *BeWa*, die systematischen Fehlereinflüsse auf Grund mangelhafter Lattenbeleuchtungen für die Nivellements mit Digitalnivellieren (1999) abgeschätzt und die Deformationsanalyse des Lötschberg-Scheiteltunnels neu berechnet. Unter anderem gestützt auf diese Untersuchungen wurden von der IG *BeWa* neue Lattenbeleuchtungen mit homogen verteilten Leuchtdioden entwickelt und in den Vortriebsmessungen im Basistunnel erfolgreich eingesetzt (vgl. *Riesen et al., 2005*).

Prov. Orthometrische Höhen LHN95 für AlpTransit  
Linienübersicht der verwendeten Messungen



© swisstopo

Abb. 4-3: Übersicht über die verwendeten Landesnivellementlinien für die Berechnung der provisorischen orthometrischen Höhen LHN95 für AlpTransit

Erst mit der vollständigen Neuberechnung des AlpTransit-Höhengrundlagennetzes, basierend auf dem neuen Landeshöhennetz LHN95 mit Berücksichtigung der Kinematik und der Schwermessungen, standen unverzängte Höhen für das Projekt Lötschberg-Basistunnel zur Verfügung. Das Höhengrundlagennetz, gestützt auf die damals noch provisorische Lösung des Landeshöhennetzes LHN95 (Abb. 4-3), sowie die Berechnung und Herausgabe provisorischer orthometrischer Höhen LHN95 (Januar 1999) sind im Technischen Bericht 98-22 ausführlich beschrieben. Infolge der Systemunterschiede zwischen orthometrischen Höhen (LHN95) und Gebrauchshöhen (LN02), der Berücksichtigung der Hebungsdaten sowie der strengen Ausgleichung ergab sich ein Unterschied in der Höhendifferenz zwischen dem Nordportal (Frutigen) und dem Südportal (Niedergesteln/Raron) von ca. 13 cm.

Ausgehend von den LHN95-Höhen in den Portalbereichen wurde auch in den unterirdischen Vortriebsnetzen mit orthometrischen Höhen gearbeitet. Hierzu wurden die beobachteten (nivellierten) Höhendifferenzen mit fortschreitendem Vortrieb der einzelnen Tunnelstrecken nachträglich mittels Schwerereduktionen orthometrisch reduziert. Zur Untersuchung der Grössenordnung der zu erwartenden Korrekturen und für Empfehlungen zum praktischen Vorgehen bei den Vortriebskontrollen beauftragte die Ingenieurgesellschaft IG *BeWa* swisstopo am 21. Dez. 1998, anhand einer Simulationsrechnung im Lötschberg-Scheiteltunnel die Grössenordnung der Abweichungen zwischen den orthometrischen LHN95-Höhen und den beobachteten Nivellementhöhen (sog. orthometrische Korrekturen) entlang dem Tunnelprofil abzuschätzen (Technischer Bericht 99-17). Ausgehend von orthometrischen Portalhöhen in Kandersteg und Goppenstein und dem nivellierten Höhenvortrieb hat sich gezeigt, dass ohne Berücksichtigung der orthometrischen Korrektur der systematische Durchschlagsfehler in der Tunnelmitte 5 cm beträgt und im Verlauf des Tunnels mit Abweichungen bis zu 11 cm gerechnet werden muss. Mit Hilfe der Schweredaten der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission konnten die orthometrischen Korrekturen unabhängig von den Messungen im Scheiteltunnel präzisiert werden. Die maximalen Abweichungen zu den "gemessenen Korrekturen" betragen nur 5 mm. Trotzdem wurde damals empfohlen, im Lötschberg-Basistunnel während des Vortriebs aus Zuverlässigkeitsgründen Schwermessungen durchzuführen (vgl. auch Kapitel 5.2).

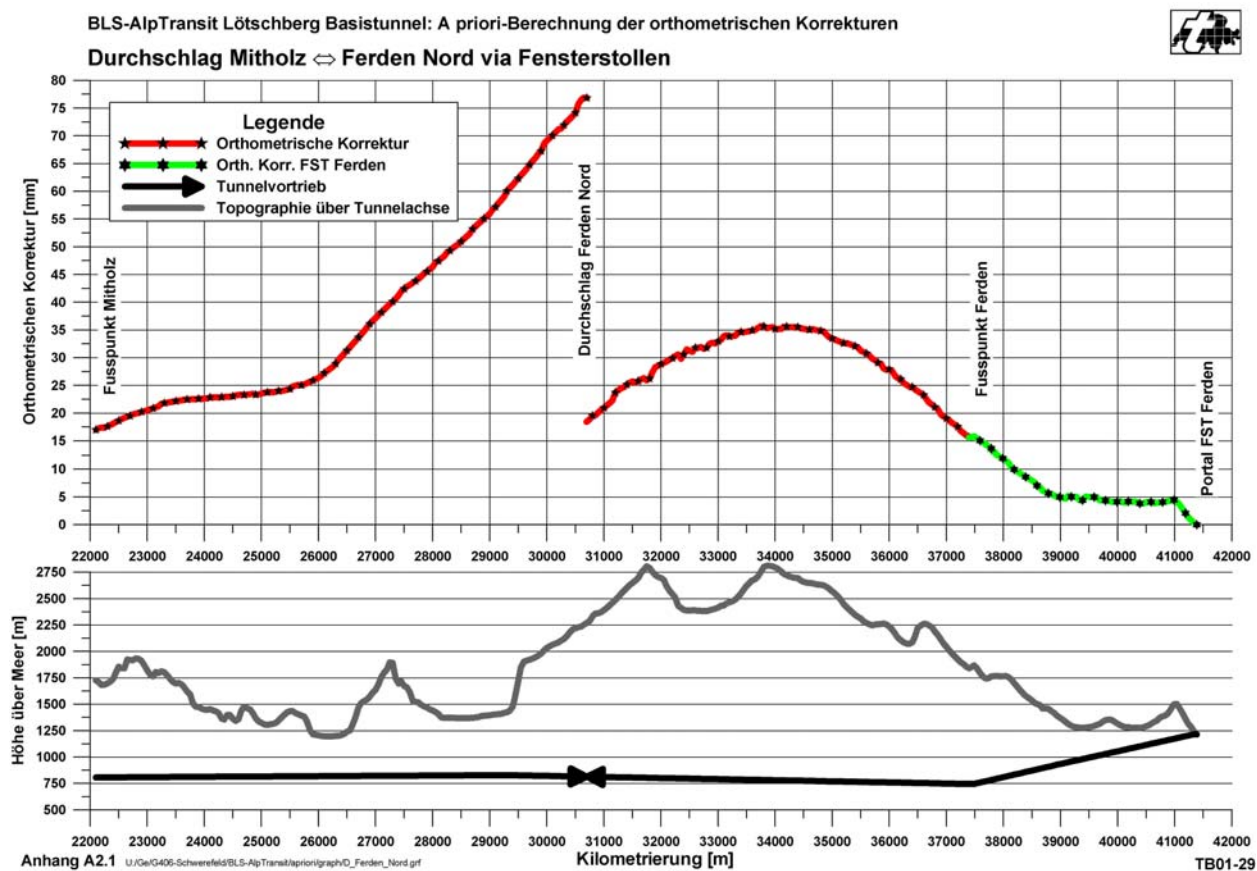


Abb. 4-4: A-priori Berechnung der orthometrischen Korrekturen für den Lötschberg-Basistunnel zwischen Mitholz und Ferden

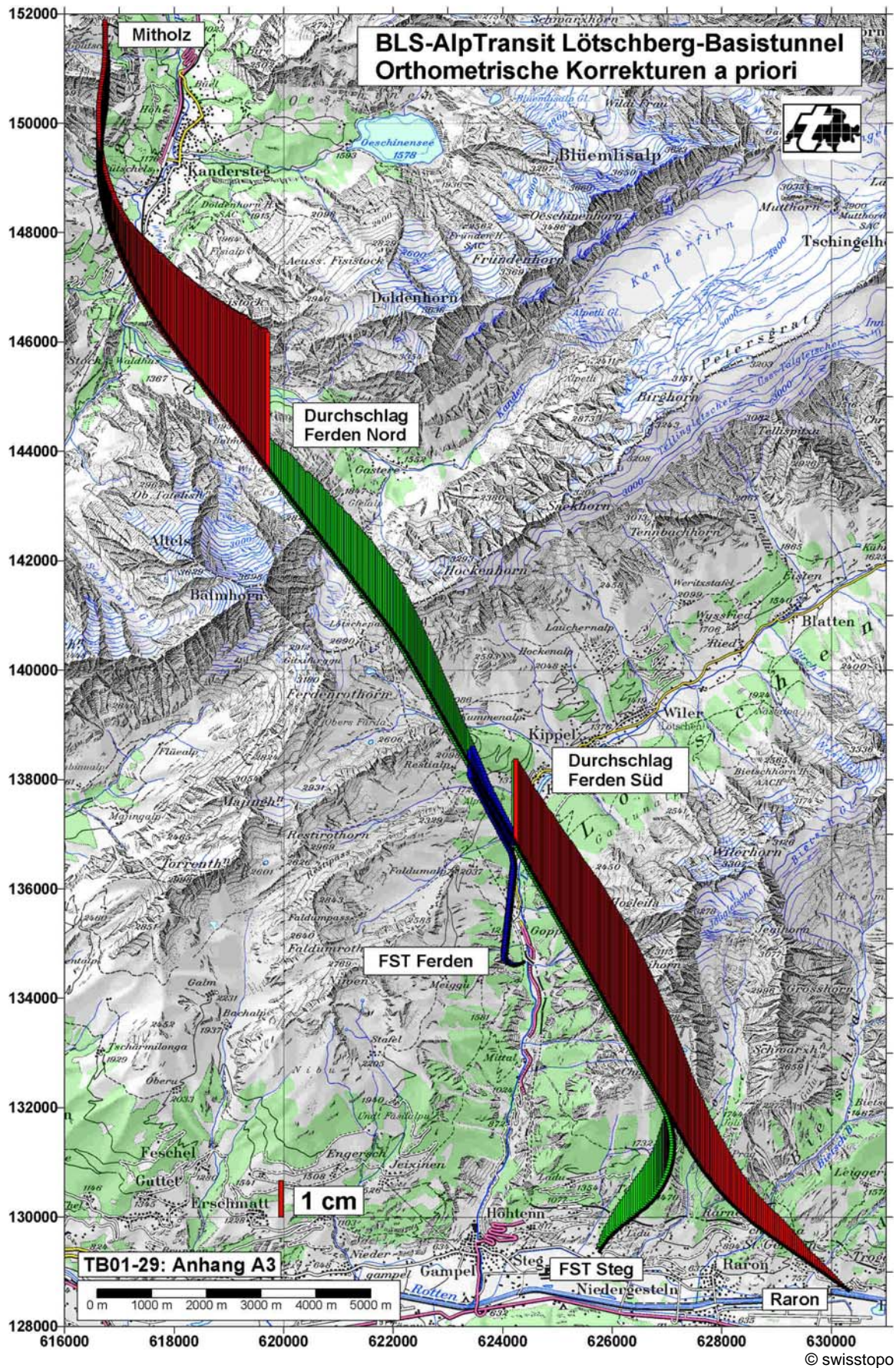


Abb. 4-5: Gesamtdarstellung der a priori Berechnung der orthometrischen Korrekturen längs dem Lötschberg-Basistunnel

## 4.5 Gesamtausgleichung des Grundlagenternetzes

Um die GPS-Messungen des Grundlagenternetzes (aus den Jahren 1994 und 1997) optimal mit den terrestrischen Messungen (1997) in den Portalnetzen sowie den Nivellements vereinigen zu können, wurden die Koordinatensätze aus der GPS-Auswertung zusammen mit allen terrestrischen Messungen unter Berücksichtigung des Geoidmodelles mit dem Programm LTOP (Version 95.3) einer Gesamtausgleichung unterzogen. Die Lagerung des zwangsfreien kombinierten Netzes im Bezugsrahmen LV95/LHN95 wurde in der kombinierten Ausgleichung entsprechend den Angaben zum Konzept (*siehe Kapitel 4.1*) festgelegt und wie folgt realisiert:

Festpunkte Lage:	LV95-Verdichtungspunkt 1227.754 ( <i>Tellenburg</i> , G1) in CH1903+: $Y = 2'616'362.4396 \text{ m}$ $X = 1'158'322.3817 \text{ m}$ sowie sieben LV95-Hauptpunkte: 1186.800 ( <i>Zimmerwald</i> ), 1207.500 ( <i>Thun</i> ), 1208.400 ( <i>Brienz</i> ), 1267.300 ( <i>Engstligenalp</i> ), 1269.800 ( <i>Fiesch</i> ), 1288.000 ( <i>Jeizinen</i> ), 1289.400 ( <i>Simplon</i> ). Der LV95-Verdichtungspunkt 1288.820 ( <i>Lalden</i> ) ist frei, um keinen Zwang auszuüben. Dessen GPS-Verdichtungsmessungen von 1994 sind jedoch einbezogen.
Festpunkte Höhe:	10 Punkte mit orthometrischen Höhen aus der (provisorischen) Berechnung des LHN95.
Netzmassstab:	Aus ionosphärenfreien und damit massstabsgetreuen GPS-Lösungen (Linearkombination L3). Die L1&L2-Lösungen wurden zur Korrektur des Massstabes auf L3-Lösungen transformiert. Für die eingesetzten Distanzmesser wurden Massstabsunbekannten geschätzt.
Orientierung:	LV95-Festpunkte. Alle GPS-Koordinatensätze wurden ins Referenzsystem CH1903+ transformiert, ohne die globale Orientierung zu ändern. Für keine der GPS-Sessions im Grundlagenternetz wurde eine Orientierungsunbekannte geschätzt, sodass die GPS-Messungen auch zur Orientierung des Gesamtnetzes beitragen.
Kippungen:	Für die GPS-Koordinatensätze wurden keine Höhen-Kippungen um die horizontalen Achsen zugelassen.
Lotabweichungen / Geoidundulationen:	Die Lotabweichungen und Geoidundulationen werden aus dem neuen Geoidmodell (CHGeo98) berechnet.

**Tab. 4-2: Lagerung des kombiniert ausgeglichenen, oberirdischen Grundlagenternetzes**

Für die Ausgleichung wurden im stochastischen Modell, basierend auf Erfahrungswerten, folgende mittleren Fehler a priori festgelegt:

Mittlerer Zentrierfehler:	0.2 mm
Differenz $I_h - S_h$ :	0.3 mm
Distanzen (TC2002, DI2002):	0.5 mm + 1 mm/km (in Portalnetzen)
Distanzen (TC2002, DI2002):	3.0 mm + 1 mm/km (für Rückversicherungen)
	Für die Distanzmesser von 1994 und 1997 werden zwei getrennte Massstabsunbekannten eingeführt.
Richtungen:	2.5 <sup>cc</sup>
Höhenwinkel:	4.5 <sup>cc</sup>
Refraktionskoeffizient:	0.13 ± 0.06

Im Programm LTOP kann das stochastische Modell (Kovarianzmatrix) der GPS-Koordinatensätze aus der GPS-Auswertung nicht streng eingeführt werden kann. Die GPS-Messungen in den Portalnetzen von 1994 (*Frutigen*, *Mitholz*) wurden als Koordinatendifferenzen relativ zu G1 (*Tellenburg*) resp. G7 mit distanzabhängigen mittleren Fehlern eingeführt:

- a) In den Portalnetzen Frutigen und Mitholz 1994 (L1&L2):
- Lage-Komponenten: 0.5 mm + 0.5 mm/km
  - Höhe: 3-facher mittlerer Lagefehler

Die übrigen GPS-Messungen wurden als Punktgruppen (GPS-Koordinatensätze) mit einheitlichen mittleren Fehlern pro Koordinate eingeführt:

b) GPS-Messungen 1994 (L3):

- Lage-Komponenten: 3 mm (Zimmerwald 5 mm)
- Höhe: 15 mm (Zimmerwald 20 mm)

c) GPS-Messungen 1997 (L1&L2):

- Lage-Komponenten: 2 mm (Zimmerwald 5 mm; Terr. Portalpunkte 4 mm)
- Höhe: 15 mm (Zimmerwald 30 mm)

Die Fast-Static GPS-Messungen wurden stark heruntergewichtet, um keine Verzerrungen zu provozieren:

d) GPS-Messungen Fast-Static der Firma Grunder 1994:

- Lage-Komponenten: 20 mm; zusätzlich einheitl. Orientierungsunbekannte und Massstab
- Höhe: 60 mm; zusätzlich einheitliche Kippungen um X- und Y-Achse

e) GPS-Messungen Fast-Static der Firma Riesen & Stettler 1997:

- Lage-Komponenten: 20 mm
- Höhe: 40 mm

Grundsätzlich wies die Ausgleichung eine sehr hohe Qualität der Beobachtungen aus. Die mittleren Fehler a posteriori aller Gruppen waren kleiner oder nicht signifikant grösser als die a priori Werte. Die Massstabsunbekannten der eingesetzten Distanzmesser wichen nicht signifikant von 1 ab. Weder in der Lage noch in der Höhe überstieg die normierte Verbesserung ( $w$ ) einer Beobachtung den Wert 2.9.

Die Genauigkeit der horizontalen Koordinaten der GPS-Hauptpunkte des oberiridischen Grundlagentznetzes, ausgeglichen im Bezugsrahmen LV95, betrug 3 mm (Konfidenzniveau  $P = 95\%$ ). Die Genauigkeit der im LHN95 ausgeglichenen Höhendifferenz zwischen Frutigen und Raron wurde mit 12 mm ( $P = 95\%$ ) geschätzt. Dabei vermochte die Übereinstimmung zwischen den orthometrischen Höhendifferenzen aus dem Nivellement (aus geopotentiellen Knoten berechnete Höhen) und denjenigen aus GPS (um das Geoid korrigierte ellipsoidische Höhen) zu überzeugen. Die neue kombinierte Ausgleichung zeigt eine markante Verbesserung der Höhengrundlage dank LHN95 und neuem Geoid (CHGeo98) gegenüber der alten Grundlage für die Absteckung des Sondierstollens. So ergab z.B. die aus GPS gerechnete und mit Geoidundulationen des sog. 'Gurtner'-Geoides korrigierte Höhendifferenz zwischen Frutigen und Mitholz (6 km) gegenüber dem ungezwängten Landesnivellement im Netz für den Sondierstollen noch eine Differenz von 55 mm. Unter Verwendung des CHGeo98 und der orthometrischen Höhen des LHN95 reduzierte sich diese Differenz auf (nicht signifikante) 5 mm.

Die Lagegenauigkeit (1 Sigma) der Neupunkte, dokumentiert durch die Halbachsen der mittleren Fehlerellipsen bezüglich der Festpunkte, betrug zwischen 0.2 mm (G2) und 2.0 mm (T131). Die Höhengenaugigkeit, gerechnet als mittlerer Fehler an den Höhen bezüglich der Stationen mit fixierten LHN95-Höhen, betrug zwischen 1.7 mm (G7) und 8.7 mm (G16 – G18). Die Werte der Halbachsen der Lageellipsen sind theoretisch je um den Faktor 2.45 und die mittleren Fehler der Höhen um den Faktor 1.96 zu vergrössern, um das Konfidenzniveau 95% zu erreichen.

Weitere Details und Kartenausschnitte können auch diesbezüglich dem Technischen Bericht 97-31 entnommen werden.

## 5 Erweiterungen und weitere Beiträge von swisstopo

### 5.1 Grundlagennetz-Ergänzungen

Im November 1998 führte die IG *BeWa* in enger Zusammenarbeit mit swisstopo weitere GPS-Messungen im Raum Raron und im Raum Frutigen durch, als Grundlage für Anschlüsse an lokale Fixpunkte der Bahnvermessung. In den Jahren 2000 und 2001 fanden in diversen Portalnetzen zusätzliche Kontroll- und Anschlussmessungen aber auch Netzerweiterungen mit GPS und terrestrischen Messungen statt. swisstopo wurde dabei von der IG *BeWa* jeweils um Unterstützung bei der Ausarbeitung des Messkonzeptes gebeten. Zudem lieferte swisstopo die erforderlichen GPS-Ausrüstungen (u.a. mit kalibrierten GPS-Antennen) und weiteres Zusatzmaterial. Die Hauptarbeit seitens swisstopo war bei all diesen Messungen im Zusammenhang mit dem Grundlagennetz die Auswertung der GPS-Messungen und deren Gesamtausgleichung zusammen mit dem bestehenden Grundlagennetz und den terrestrischen Messungen. Diese Grundlagennetz-Ergänzungen wurden in fünf Technischen Berichten dokumentiert (siehe *Literaturverzeichnis*).

### 5.2 Berechnung von Lotabweichungen, Geoidundulationen und orthometrischen Korrekturen

Wie in Kapitel 4.4 erwähnt, wurde ausgehend von den LHN95-Höhen in den Portalbereichen auch in den unterirdischen Vortriebsnetzen mit orthometrischen Höhen gearbeitet. Hiezu wurden mit fortschreitendem Vortrieb der einzelnen Tunnelstrecken die von der IG *BeWa* beobachteten (nivellierten) Höhendifferenzen nachträglich von swisstopo orthometrisch reduziert (in orthometrische Höhen umgerechnet). Zu den Berechnungen von orthometrischen Höhen resp. Korrekturen in den einzelnen Abschnitten wurden insgesamt 16 Technische Berichte publiziert (siehe *Literaturverzeichnis*).

Als Beitrag zum XIII<sup>th</sup> International Course on Engineering Surveying in München wurde von swisstopo anfangs 2000 ein grober Verlauf der orthometrischen Korrekturen entlang dem geplanten Trasse berechnet und publiziert (Technischer Bericht 00-12). Da oben beschriebenes Verfahren der nachträglichen Berechnung der orthometrischen Korrekturen durch swisstopo für alle Beteiligten aus unterschiedlichen Gründen umständlich war, wurde angestrebt, diese Korrekturen gestützt auf die Projektdaten in geeigneter Auflösung voraus zu berechnen. Dies sollte der IG *BeWa* die Möglichkeit geben, ihre Nivellementmessungen stückweise selbst in das orthometrische Höhensystem umzurechnen. Diese detaillierten a priori - Berechnungen der orthometrischen Korrekturen entlang dem geplanten Vortrieb der Tunnelachse wurden von swisstopo unter Verwendung von Massen-, Dichte- und Schweremodellen auf Profilpunkten mit Projektkoordinaten in einem Abstand von rund 50 m gerechnet und der IG *BeWa* im August 2001 zur weiteren Bearbeitung übergeben (vgl. Abb. 4-5 und Technischer Bericht 01-29). Trotzdem wurde empfohlen, grössere Vortriebsmessungen oder zusammengefasste Einzelmessungen zur Kontrolle streng in orthometrische Höhen umzurechnen.

Für diese Berechnungen sowie für Anwendungen in den Portalnetzen, für die Umrechnung von ellipsoidischen Höhen aus GPS in orthometrische Höhen sowie für die Auswertung der Kreiselmessungen hat swisstopo der IG *BeWa* in unregelmässiger Abfolge während der ganzen Bauzeit des Basistunnels lokale Geoidundulationen und Lotabweichungen bezüglich dem Geoid der Schweiz (CHGeo98) berechnet. Diese Arbeiten erfolgten via Mail-Verkehr und wurden üblicherweise innert Tagesfrist erledigt.

### 5.3 Beitrag zu den Kreiselmessungen

Bei der Absteckung von langen Tunnelbauwerken wie dem Lötschberg-Basistunnel ist es unerlässlich, nebst dem Tachymeter auch einen Vermessungskreislauf einzusetzen. Er bietet eine wirksame, unabhängige Methode, um die Orientierung des meist langgestreckten, offenen Polygonzuges zu überprüfen und dessen Genauigkeit zu steigern. Die Kreiselmessungen unterstützen beim Auftreten von horizontalen Refraktionen die Minimierung dieses wohl wichtigsten systematischen Fehlers auf die Richtungsmessungen.

Der Beitrag von swisstopo zu den Kreiselmessungen war einerseits indirekt die Vorgabe von Strecken mit bekannten Azimuten im Bezugsrahmen LV95 (Bezugssystem CH1903+) in den Portalnetzen, auf welchen die oberirdischen Referenzmessungen mit den Kreiselinstrumenten durchgeführt werden konnten (vgl. Technischer Bericht 01-21). Andererseits lieferte swisstopo die für die Reduktion der Kreiselmessungen notwendigen Lotabweichungskomponenten.

Über das ganze Projekt gesehen sind nur bei den Vortriebskontrollen im Fensterstollen Steg grössere Differenzen zwischen der Orientierung des mit Tachymeter gemessenen Polygonzuges und den Kreiselmessungen aufgetreten. Die Kreiselmessungen wurden in der Folge intensiviert und mehrmals wiederholt. Um die Zuverlässigkeit zu steigern, wurden auch zwei verschiedene Kreiselinstrumente eingesetzt. Die Differenzen zu den Tachymetermessungen wurden regelmässig bestätigt. Aus diesen Resultaten musste man schliessen, dass die Richtungsmessungen einem systematischen Refraktions-einfluss unterworfen waren.

## 6 Durchschlag und nachträgliche Kontrollen

### 6.1 Durchschlagsgenauigkeiten (Projektvermesser)

Dank der sorgfältigen und genauen Arbeitsweise des Projektvermessers konnten beim Lötschberg-Basistunnel sowohl bei den Teildurchschlägen wie auch beim Hauptdurchschlag sehr gute Durchschlagsgenauigkeiten erzielt werden, welche die Anforderungen des Bauherrn vollumfänglich erfüllten. Gleichzeitig bestätigten diese Resultate auch die hohe Qualität der Grundlagenvermessung.

Durchschlag	Röhre	Datum	Quer [cm]	Längs [cm]	Höhe [cm]
Steg – Ferden	West	13.12.2002	8.6	2.4	0.5
Raron – Lötschen	Ost	13.12.2002	10.4	2.3	1.1
Mitholz – Frutigen	West	14.05.2003	1.5	0.0	0.6
Raron – Lötschen	West	09.07.2003	0.2	-	-
Raron – Ferden	Ost	29.10.2003	2.0	0.4	0.3

**Tab. 6-1: Realisierte Durchschlagsgenauigkeiten in den Teildurchschlägen**

Am 28. April 2005 erfolgte fast 2000 Meter unter dem Balmhorn der Hauptdurchschlag zwischen dem Berner Oberland und dem Wallis (Weströhre Mitholz - Ferden). Die Kontrollmessung ergab folgende realisierte Durchschlagsgenauigkeiten:

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

**Tab. 6-2: Realisierte Durchschlagsgenauigkeiten im Hauptdurchschlag zwischen Mitholz und Ferden**

Die gesamte Tunnelstrecke vom Portal Mitholz via Fensterstollen Mitholz – Weströhre – Fensterstollen Ferden – Portal Ferden beträgt 20.9 km. Berücksichtigt man die ungünstigen Startbedingungen bei den Fusspunkten Mitholz und Ferden (Anschlussvisuren kleiner als 80 m, Richtungsänderung rechtwinklig zur Achse im Fensterstollen) und die angetroffenen Verhältnisse in den Vortriebsstollen (Temperatur, Feuchtigkeit, Belüftung), so darf man dieses Resultat zweifellos als sehr gut bezeichnen. Das Ziel war es, die geforderten Vorgaben des Bauherrn zu erfüllen. Eine nachträgliche Überprüfung der Präanalyse hat ergeben, dass mit zusätzlichen Messungen eine Genauigkeitssteigerung möglich wäre. Der Bauherr entschied sich gegen eine Verschärfung der Genauigkeitsvorgaben.

### 6.2 Messungen nach dem Durchschlag

Nach dem vollständigen Ausbau des Tunnels haben die IG BeWa und swisstopo im Spätherbst 2006, während der Installations- und Testphase, gemeinsam ein Präzisionsnivellement durch den Basistunnel gemessen. Ziele waren einerseits für die BLS AlpTransit AG die Messung eines Referenznivellements (Nullmessung) als Grundlage für die Bauwerksüberwachung, andererseits für swisstopo die Ergänzung des Landesnivellements durch den Basistunnel mit der Möglichkeit der Kontrolle des Schleifenschlusses über die Lötschberg-Berglinie und den Scheiteltunnel.

Die Messungen wurden vom 27. Nov. bis 10. Dez. 2006 mit zwei Messequipen der IG *BeWa* unter der Leitung jeweils eines erfahrenen Kampagnenleiters und Equipenchefs von swisstopo durchgeführt. In Frutigen sowie mit der Neumessung der Strecke Visp – Raron – Leuk wurden Anschlüsse ans Landesnivellement gemessen. Entlang dem ganzen Basistunnel wurde in der Oströhre ein Präzisions-Doppelnivellement gemäss den Regeln des Landesnivellements gemessen. Zusätzlich wurde im Teil der ausgebauten Weströhre (Fusspunkt Ferden – Raron, Portal Frutigen) ein einfaches Präzisionsnivellement gemessen, wobei die beiden Röhren in allen Querschlägen miteinander verbunden wurden. Bei jedem Querschlag wurde eine Punktgruppe materialisiert, in jedem dritten Querschlag mit Bolzen des Landesnivellements und in den restlichen Querschlägen mit einfachen Bolzen für die Bauwerksüberwachung. Sämtliche Zwischenpunkte wurden mit Hilfsnieten auf einer Bankettseite versichert. In den Störzonen "Autochton Nord", "Karbon" und "Jungfrau keil" wurde auf beiden Bankettseiten über Hilfsnieten gemessen.

Die grobe Nivellementauswertung mit Kontrolle zwischen den Hin- und Rückmessungen ist erfolgt und hat die gute Qualität der Messungen bestätigt. Für die Berechnung der Gebrauchshöhen im LN02 müssen zwischen Frutigen und dem Portal Raron 9.3 cm verzwängt werden. Der Vergleich mit dem Landeshöhennetz LHN95 und der Schleifenschluss über die Lötschberg-Berglinie noch ausstehend. Die Messungen und Resultate werden im swisstopo Report 07-12 dokumentiert.

Wabern, im August 2007

**Bundesamt für Landestopografie swisstopo**

Bereich Geodäsie

Adrian Wiget, Dipl. Ing. ETH

## 7 Literaturverzeichnis

### 7.1 Technische Berichte (swisstopo Reports)

Liste aller Technischen Berichte (swisstopo Reports) zu BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:

Autoren	Titel	TB-Nr.
<b>Konzeptstudien und Präanalysen</b>		
D. Schneider	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels: Zielsetzung, Projekt- und Terminvorschlag Oktober 1993	<b>93-02 (C)</b>
D. Schneider A. Wiget	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels: Sondierstollen Frutigen – Mitholz und Zwangspunkte Wallis Januar 1994	<b>94-03 (C)</b>
U. Arnold D. Schneider A. Wiget	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Präanalyse Sondierstollen Frutigen – Kandersteg und Fensterstollen Mitholz April 1994	<b>94-02 (C)</b>
U. Arnold D. Schneider A. Wiget	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Grob-Präanalyse des Basistunnels Frutigen – Steg – Mundbach Mai 1994	<b>94-01 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> Simulationsrechnung des nivellitischen Höhendurchschlags beim Vortrieb des Lötschberg- Scheiteltunnels	<b>99-17 (C)</b>
<b>GPS-Grundlagennetz und Netzerweiterungen</b>		
D. Schneider A. Wiget	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels: Sondierstollen Frutigen – Mitholz und Zwangspunkte Wallis Rekognoszierungsbericht GPS-Netz 1994; 2. 2. 1994	<b>ohne Nr.</b>
A. Wiget	<b>Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagenvermessung 1. Etappe: GPS-Gesamtnetz, Lage- und Höhennetze für den Sondierstollen; Juni 1994	<b>94-05 (C)</b>
A. Wiget C. Valiquier	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung 1997:</b> GPS-Grundlagennetz (LV95) und Anschlüsse ans Landesnivellement (LHN95); März 1999	<b>97-31 (C)</b>
U. Wild	<b>BLS-AlpTransit: Einmessung von 3 Neupunkten im Raum Ferden:</b> Auswertung der GPS-Messungen vom 30.7.99 (Büro Riesen & Stettler)	<b>99-31 (C)</b>
D. Gutknecht	<b>BLS-AlpTransit: Einmessung von Anschlusspunkten im Raum Raron und Frutigen:</b> Auswertung der GPS-Messungen vom 11. Feb. 2000 (Büro Riesen & Stettler)	<b>00-07 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti A. Wiget H.-U. Riesen	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagenvermessung für die Tunneldurchschläge auf der Basis der Landesvermessung LV95 Beitrag zum XIII. Kurs für Ingenieurvermessung, München 13.-17. März 2000	<b>00-12 (C)</b>

Autoren	Titel	TB-Nr.
A. Wiget	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagennetz-Ergänzungen 2000 Raron – Steg Mai 2001	<b>00-33 (C)</b>
A. Wiget	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagennetz-Ergänzung 2001 Portal FST Ferden (Goppenstein) Mai 2001	<b>01-12 (C)</b>
A. Wiget	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagennetz-Ergänzung 2001 Portal FST Mitholz (Basis für Kreismessungen) August 2001	<b>01-21 (C)</b>
A. Wiget	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagennetz-Ergänzung 2001 Portalnetz Steg (Niedergesteln) August 2001	<b>01-22 (C)</b>
A. Wiget	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Grundlagennetz-Ergänzung 2001 Portalnetz Raron (St. German) Februar 2002	<b>01-43 (C)</b>
<b>Höhengrundlagennetz und RCM-Analysen</b>		
E. Gubler D. Schneider C. Valiquier	<b>AlpTransit: Lötschberg- Basistunnel:</b> RCM-Analyse Goppenstein-Steg der Landesnivellements 1916-25-48-83	<b>95-28 (C)</b>
D. Schneider B. Mattli E. Gubler	<b>AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> RCM-Analyse im Lötschbergtunnel: Installation und Messung eines Präzisionsnivellements 1996 und Deformationsanalyse der Messungen 1913-83-96	<b>96-08 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti D. Schneider A. Wiget	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> Höhengrundlagennetz basierend auf dem Landeshöhennetz LHN95. Berechnung und Herausgabe provisorischer orthometrischer Höhen LHN95 / Januar 1999	<b>98-22 (C)</b>
A. Schlatter W. Santschi C. Valiquier A. Wiget	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> Neotektonische Untersuchungen im Lötschberg-Scheiteltunnel 1999: Messung eines Präzisionsnivellements 1999 im Jungfrau keil und Deformationsanalyse der Messungen 1913 / 83 / 96 / 99	<b>99-16 (C)</b>
A. Schlatter C. Valiquier	<b>Landesnivellement LHN95:</b> Neotektonische Untersuchungen im Lötschberg-Scheiteltunnel nach Abschluss der Tunnelmessungen 1999	<b>99-37 (C)</b>
A. Schlatter	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Neotektonische Untersuchungen im Lötschberg-Scheiteltunnel: Abschätzung der systematischen Fehlereinflüsse im Nivellement 1999 aufgrund der Lattenbeleuchtung und Neuberechnung der Deformationsanalyse	<b>01-17 (C)</b>
A. Schlatter B. Mattli	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Präzisionsnivellement durch den Basistunnel als Ergänzung zum Landeshöhennetz und als Grundlage für die Bauwerksüberwachung	<b>07-12 (B)</b>

Autoren	Titel	TB-Nr.
<b>Berechnung von orthometrischen Höhen</b>		
A. Schlatter U. Marti A. Wiget	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Lötschberg-Sondierstollen	<b>99-27 (C)</b>
A. Schlatter	<b>BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Fensterstollen Ferden	<b>99-33 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Fensterstollen Ferden anhand der Nivellementmessungen Dezember 1999	<b>00-01 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Zwischenangriff Mitholz und im Basistunnel anhand der Messungen vom Juni 2000 Ergänzung: Strecke Fusspunkt Mitholz-Basistunnel (Messung Juli 2000)	<b>00-16 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Fensterstollen Ferden anhand der Messungen vom August 2000	<b>00-37 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Mitholz und Sondierstollen. Gesamtausgleichung inkl. den Messungen Sept. 2000 / Jan. 2001	<b>01-01 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Ferden; Gesamtausgleichung inkl. den Messungen Dez. 2000 / Jan. 2001	<b>01-02 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Steg und Ergänzungen im Anschlussbereich FST Ferden	<b>01-03 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Steg anhand der Messungen April 01	<b>01-08 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Mitholz und Basistunnel. Gesamtausgleichung inkl. den Messungen April 2001	<b>01-09 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Ferden anhand der Messungen Juni 01	<b>01-15 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Steg anhand der Messungen Juni 01	<b>01-16 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im Basistunnel Mitholz Süd anhand der Messungen August 01	<b>01-25 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Steg anhand der Messungen August 01	<b>01-26 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> Berechnung von orthometrischen Höhen im FST Ferden anhand der Messungen August 01	<b>01-27 (C)</b>
A. Schlatter U. Marti	<b>BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel:</b> A priori-Berechnung von orthometrischen Korrekturen im Basistunnel anhand der Projektkoordinaten	<b>01-29 (C)</b>

## 7.2 Publikationen

- Riesen, H.-U., B. Schweizer, A. Schlatter und A. Wiget (2005): Tunnelvermessung des BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnels. *Geomatik Schweiz* 11/2005, S. 608 – 612.
- Französische Version dieses Artikels, übersetzt durch Hubert Dupraz: Le tunnel de base du Lötschberg. In: *Tracés - Année 131 (Ecublens 2005)*, No. 19, p. 18-21.
- Schlatter A., U. Marti, A. Wiget und H.-U. Riesen (2000): AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung für die Tunneldurchschläge auf der Basis der Landesvermessung LV95. Beitrag zum XIIIth International Course on Engineering Surveying, München, 13.-17. März 2000.
- Schlatter A., A. Wiget und H.U. Riesen (2006): BLS-AlpTransit: Der Hauptdurchschlag des Lötschberg-Basistunnels. Seminar-Vortrag am swisstopo-Kolloquium vom 27. Jan. 2006.
- Schlatter A. und B. Mattli (2007): Präzisionsmessungen im Dezember bei 32°C. *TOPO, Personalzeitschrift swisstopo*, Nr. 116, April 2007.
- Schneider D. und U. Marti (1997): Swiss Reference Systems used for Control Networks and Surveying of the New Railroad Tunnels through the Alps (AlpTransit). Paper presented at the International FIG Symposium on Engineering Surveying in Copenhagen, Denmark, June 2-6, 1997.
- Wiget A. (2005): Die neue Landesvermessung als Grundlage für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels. *swisstopo Jahresbericht 2005*, S. 16/17.