Tunnelvermessung des BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnels

Autor(en): **Riesen, H.-U. / Schweizer, B. / Schlatter, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **103 (2005)**

Heft 11

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-236268

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Tunnelvermessung des BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnels

Der erfolgreiche Hauptdurchschlag im 34.6 km langen Lötschberg-Basistunnel Ende April 2005 war auch aus Sicht der Vermessung ein Höhepunkt in der Realisierung dieser neuen Nord-Süd-Verbindung durch die Alpen. Die Grundlagenvermessung und die daraus abgeleiteten Werkskoordinaten stützten sich erstmals auf die Bezugsrahmen LV95 und LHN95 der Landesvermessung. Dank dem Einsatz bewährter wie auch innovativer Lösungen bei der Untertagevermessung konnten die Genauigkeitsvorgaben der BLS AlpTransit AG trotz der ungünstigen Geometrie der Zwischenangriffe gut eingehalten werden.

Fin avril 2005, le succès du percement du tunnel de base du Lötschberg, long de 34.6 km, était un point culminent aussi pour la mensuration et la réalisation d'une nouvelle transversale alpine. Pour la première fois, la mensuration des bases et les coordonnées de l'ouvrage reposent sur les cadres de référence MN95 et RAN95 de la mensuration nationale. Grâce à l'application de solutions éprouvées et inovatives pour l'implantation du tunnel, la précision demandée par la BLS AlpTransit AG a bien été atteinte, malgré une géométrie défavorable des accès intermédiaires.

La perforazione del tunnel di base del Lötschberg, avente una lunghezza di 34.6 km, avvenuta a fine aprile 2005 ha rappresentato anche per la misurazione un punto culminante nella realizzazione di questa nuova trasversale alpina sull'asse nord-sud. Per la prima volta la misurazione di base e le coordinate dell'opera si sono basate sui quadri di riferimento MN95 e RAN95 della Misurazione Nazionale. Grazie all'applicazione di soluzioni provate ed innovative nella misurazione sotterranea, la precisione richiesta dalla BLS AlpTransit AG è stata, nonostante una geometria sfavorevole degli accessi intermedi, ben raggiunta.

H.-U. Riesen, B. Schweizer, A. Schlatter, A. Wiget

Funktionen der Projektpartner

BLS Lötschbergbahn AG

Es war ein erklärtes Ziel der BLS AlpTransit AG, einer Tochterunternehmung der BLS Lötschbergbahn AG, die eigene Unternehmungsorganisation möglichst klein zu halten und teilweise auf das technische Wissen im Mutterhaus zurückzugreifen. Die vermessungstechnische Direktunterstützung durch die Abteilung «Infrastruktur/Anlagen/Vermessung» (IAV) umfasst folgende Zuständigkeiten:

- Koordination und Überwachung der Erfassung der Grundlagedaten für die Projektierung. In Zusammenarbeit mit den kantonalen Vermessungsämtern BE und VS konnten im Kandertal in allen, im Rhonetal in drei von sieben vom Projekt Lötschberg Basistunnel tangierten Gemeinden Neuvermessungen durchgeführt werden, massgeblich mitfinanziert durch die BLS AlpTransit AG.
- Beteiligung am Auswahlverfahren für die Bestimmung der zuständigen Projektvermesser.
- Organisatorische Schnittstelle zwischen Bauherr und Projektvermesser: Prüfung und Unterstützung bei konzeptionellen Lösungsansätzen von Vermessungsaufgaben beim Tunnel- und Gleisbau.
- Projektierung und laufende Aktualisierung der für den Tunnelvortrieb und den Tunnel-Innenausbau massgebenden Gleisgeometrie.
- Fachtechnische Unterstützung der Vermessungsarbeiten für den Gleisbau.
- Koordination der Erstellung der Anlagedokumentation gemäss Datenbank feste Anlagen (DfA).

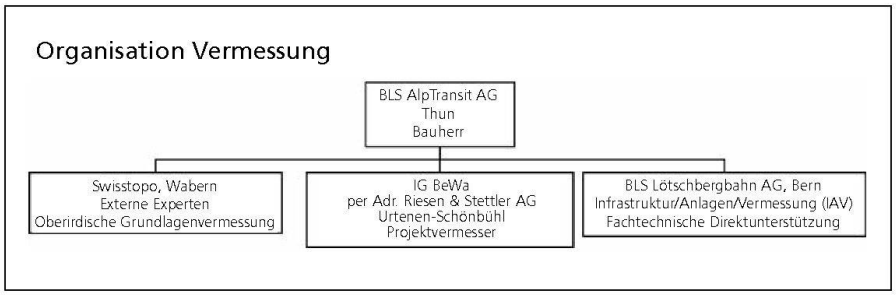
swisstopo

Die oberidische Grundlagenvermessung wurde durch das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), gestützt auf die Landesvermessung LV95 (GPS) und das Landeshöhennetz LHN95 (Nivellement), durchgeführt. Schnittstellen zum Projektvermesser waren die gemeinsame Rekognoszierung und Messung der Portalnetze.

IG BeWa

Die Ingenieurgemeinschaft IG BeWa ist Projektvermesser der BLS AlpTransit AG und verantwortlich für das Abstecken des Basistunnels mit seinen Zufahrtsstrecken. In dieser Aufgabe sind folgende Teilleistungen enthalten:

- Grundlagenbeschaffung
- Tunnelabsteckung
- Absteckungen im offenen Gelände
- Konvergenzmessungen
- Bauwerks- und Geländeüberwachung
- Absteckung/Kontrolle der Bahninfrastruktur
- Erstellen der Bahnpläne (DfA)



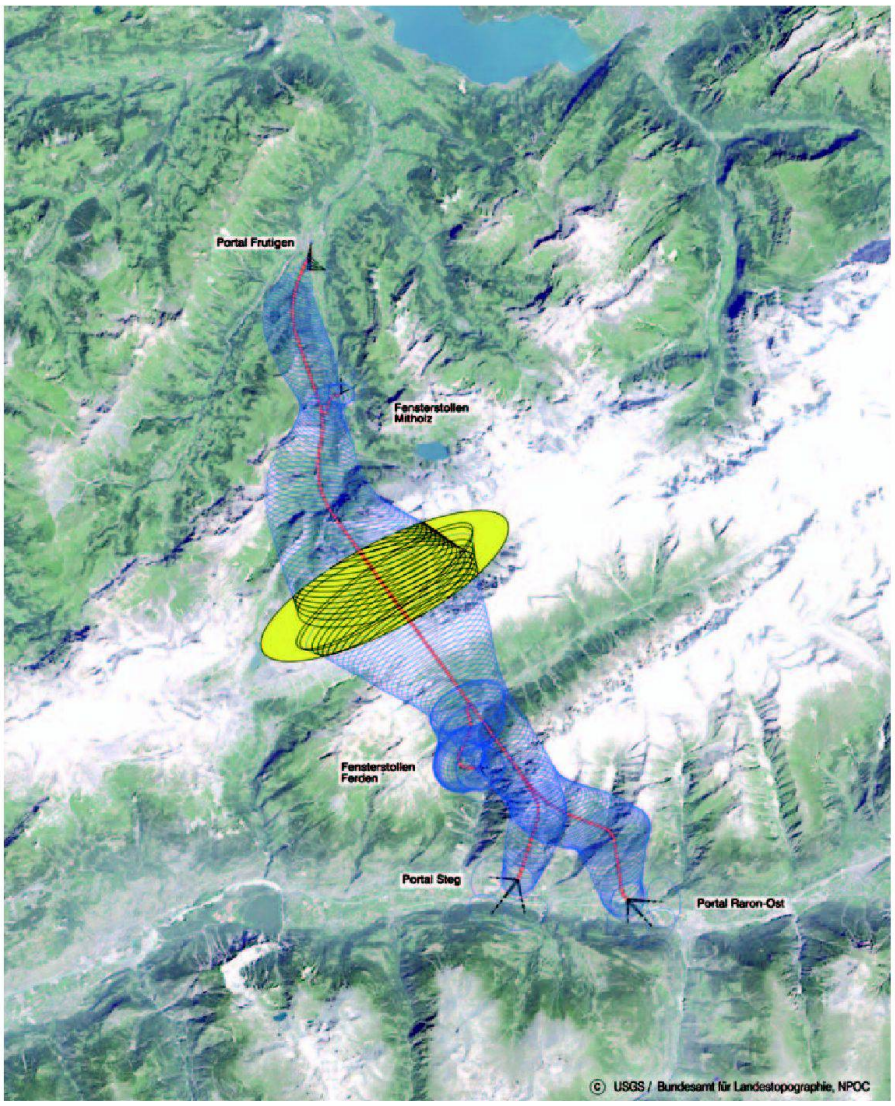


Abb. 1: Fehlerellipsen aus der Präanalyse.

Die IG BeWa besteht aus den Partnerfirmen:

- Riesen & Stettler AG, Urtenen-Schönbühl
- BSAP Ingenieure und Berater, Brig-Glis
- Häberli + Toneatti AG, Spiez
- Klaus Aufdenblatten Geomatik AG, Zermatt

Anforderungen des Bauherrn

In den Submissionsunterlagen des Lötschberg-Basistunnels wurde die Genauigkeitsanforderung vom Bauherrn wie folgt definiert:

Die Tunnelabsteckung ist so auszuführen, dass bei jedem Durchschlag die einfache Standardabweichung (1 σ) in der Querrichtung von 10 cm und in der Höhe von 5 cm nicht überschritten wird. Die Zuverlässigkeit der Koordinaten muss innerhalb von 25 cm in der Lage und 12.5 cm in der Höhe liegen.

Präanalyse

Mit einer a priori Berechnung wurde schon bei der Submissionsabgabe der Nachweis erbracht, dass mit dem vorgeschlagenen Vermessungskonzept die verlangten Qualitätsanforderungen des Bauherrn in Bezug auf Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Unter Beachtung des Messkonzeptes (funktionales Modell) sowie der erwarteten Messgenauigkeiten der unterschiedlichen Beobachtungsgrössen (stochastisches Modell) ergab die a priori Berechnung folgende Resultate für den Hauptdurchschlag (Tab. 1).

Abweichung	Durchschlagsfehler (1 σ)	Konfidenzniveau 99%
quer	6.6 cm	20.1 cm
Höhe	1.6 cm	4.1 cm

Tab. 1: Resultate der Präanalyse.

Die Querkomponente der relativen Fehlerellipse entspricht dem a priori mittleren Durchschlagsfehler unter der Voraussetzung, dass systematische Fehler durch das Messkonzept vermieden werden.

Konzept der Grundlagenvermessung

Das Konzept für die oberirdische Grundlagenvermessung des Lötschberg-Basistunnels wurde von swisstopo im Oktober 1993 entworfen. Es kam bereits für die Absteckung des Sondierstollens Frutigen – Mitholz zur Anwendung. In Absprache mit der BLS AlpTransit AG sowie der Ingenieurgemeinschaft IG BeWa wurden das Konzept und das grundsätzliche Netzdesign für den gesamten Basistunnel übernommen. 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. Für die fünf Portale wurden insgesamt 18 GPS-Punkte mit Anschluss an die neue Landesvermessung LV95 bestimmt. Auswertung der GPS-Messungen mit der Berner GPS-Software unter Verwendung von präzisen IGS-Satellitenbahnen.
- Präzisions-Richtungs- und Distanzmessungen in den Netzen der Hauptportale und Zwischenangriffe mit Verknüpfung der GPS-Punkte zur gegenseitigen

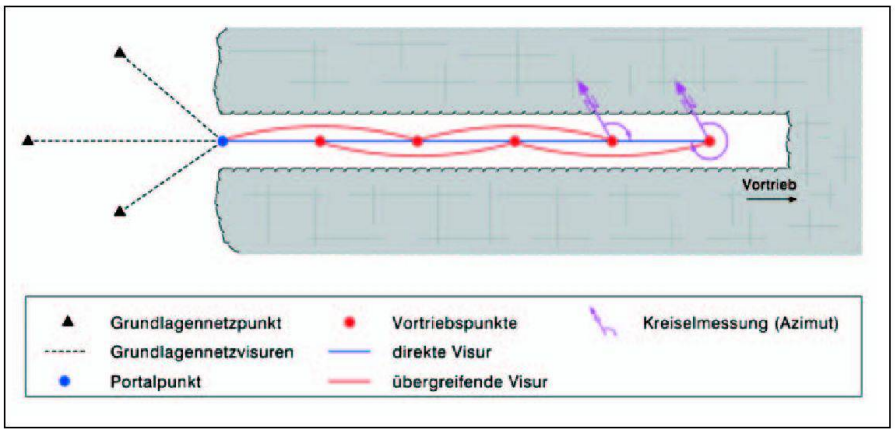


Abb. 2: Konzept des Vortriebsnetzes.

Verbesserung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit sowie als Basis für die Referenzmessungen der Kreiselazimute.

- Ausgleichung aller Messungen in einem kombinierten Netz und gelagert im Bezugsrahmen LV95. Netzmassstab und Orientierung des Werkskoordinatenrahmens entsprechen somit dem Referenzsystem CH1903+.
- 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 Geoidmodell der Schweiz (CHGeo98) berechnet.

Als Vorteile der Ausgleichung und Lagerung in LV95/LHN95 wurden erkannt:

- Die Werkskoordinaten sind zwangsfrei und stimmen mit denjenigen der neuen Landesvermessung überein; neue Messungen sind ohne lokale Transformationen direkt kombinierbar; es sind keine Massstabs- und Orientierungskorrekturen an GPS- und EDM-Messungen in Folge der Lagerung notwendig.
- Mit der Höhenlagerung in LHN95 liegt ein potenzialtheoretisch 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.

Die Nachteile dieser Lagerung sind:

- Im Berner Oberland oder im Wallis sind Koordinaten- und Höhendifferenzen im Dezimeterbereich gegenüber den heutigen offiziellen Vermessungswerken zu erwarten.
- Bei allen Präzisionsnivellements (insbesondere in den Vortrieben) muss der Einfluss des Schwerefeldes in Form von orthometrischen Korrekturen berücksichtigt werden.

Im Jahr 1994 wurde das oberirdische Netz für den Sondierstollen Frutigen-Mitholz von swisstopo in enger Zusammenarbeit mit dem für die unterirdische Vermessung verantwortlichen Ingenieurbüro gemessen. Gleichzeitig wurden die Zwänge im Wallis überprüft. Das GPS-Grundlagennetz für den gesamten Basistunnel sowie die Portalnetze im Wallis wurden im Herbst 1997 zusammen mit dem Projektvermesser rekognosziert und in zwei Nachtsessionen gemessen. Zusätzliche Kontroll- und Anschlussmessungen mit GPS fanden in den Jahren 1998, 2000 und 2001 statt.

Die LHN-Linie Spiezwiler – Visp wurde 1913 und 1983 gemessen. Der Lötschberg-Scheiteltunnel wurde zusätzlich 1996 teilweise und 1999 vollständig für spezielle neotektonische Untersuchungen nivelliert. Von der Linie Gampel – Brig liegen Messungen aus 1916, 1948 und 1996 vor. Die speziellen Nivellementanschlüsse der Portalnetze wurden 1997 durchgeführt.

Die Genauigkeit der horizontalen Koordinaten der GPS-Hauptpunkte des oberirdischen Grundlagennetzes, 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 geopotenziellen Koten berechnete Höhen) und denjenigen aus GPS (um das Geoid korrigierte ellipsoidische Höhen) zu überzeugen.

Abb. 3: Linienführung und Zwischenangriffe.

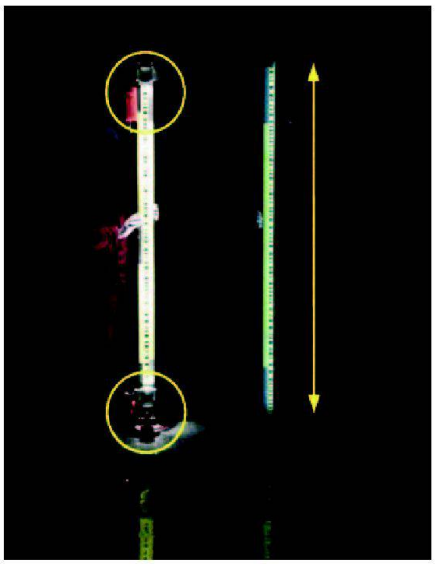


Abb. 4: Alte (links) und neue (rechts) Lattenbeleuchtung.

Konzept Untertagevermessung

Folgende Punkte sind für das Messkonzept des Vortriebsnetzes wesentlich:
Messmethode: Die Messanordnung im Tunnel ist ein am Portalpunkt angeschlossener, offener Polygonzug mit übergreifenden Messungen und mit gegenseitigen Kreiselazimuten auf bestimmten Polygonseiten. Die Höhenübertragung erfolgt mit einem Präzisionsnivellement.
Fixpunktabstand: Der zu wählende Fixpunktabstand wird von verschiedenen Faktoren bestimmt:

- Die Geometrie der Linienführung bestimmt die maximalen Abstände der Vortriebspunkte.
- Aus Überlegungen der Genauigkeit und der Fehlerfortpflanzung sind möglichst grosse Abstände anzustreben.
- Die Leistungsfähigkeit der Messinstrumente (Automatische Zielerfassung ATR) und die Luftqualität im Tunnel limitieren die maximale Visurlänge.
- Um den Einfluss der Seitenrefraktion gering zu halten, ist ein möglichst grosser Abstand der Visur von der Tunnelwand anzustreben.

Konkret führte dies beim Lötschberg-Basistunnel und in den verschiedenen Fensterstollen zu Punktabständen von 40 bis 250 m.

Fixpunktstandort: Nach den Erfahrungen bei früheren Tunnelprojekten ist man sich in Fachkreisen darüber einig, dass die günstigsten Fixpunktstandorte in der Sohle und in der Nähe der Tunnelachse liegen. Diese Standorte haben folgende Vorteile:

- Kleinster Einfluss der Seitenrefraktion
- Kleinster Einfluss von horizontalen Konvergenzen
- Schutz vor mechanischer Beschädigung
- Gute Zugänglichkeit.

Im Folgenden werden von den wichtigsten Erfahrungen bei der Absteckung des Lötschberg-Basistunnels zwei erläutert:

Kreiselmessungen

Bei der Absteckung von langen Tunnelbauwerken wie dem Lötschberg Basistunnel ist es unerlässlich, nebst dem Tachymeter auch einen Vermessungskreisel einzusetzen. Er bietet eine wirksame, unabhängige Methode, um die Orientierung des meist langgestreckten, offenen Polygonzuges zu überprüfen und dessen Genauigkeit zu steigern. Zudem unterstützt er beim Auftreten von horizontalen Refraktionen eine Minimierung des wohl wichtigsten systematischen Fehlers auf die Richtungsmessungen.
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 Refraktionseinfluss unterworfen waren.
Die rote Tunnelstrecke beträgt ungefähr 14.2 km. Ab Portal Steg sind es 8.8 km und ab Portal Ferden 5.4 km. Die Auswertung und Analyse nach dem Durchschlag Steg – Ferden ergab folgendes Resultat:
Im Fensterstollen Steg hätte man ohne Kreiselmessungen eine Querabweichung beim Durchschlagspunkt von ungefähr 36 cm erreicht, dagegen wäre der Einfluss im Fensterstollen Ferden kleiner als 1 cm gewesen.
Die Erfahrung im Fensterstollen Steg hat nochmals gezeigt, dass Refraktion bei langen Tunneln in relevanten Grössenordnungen auftritt und dass es unerlässlich ist, die Azimute der Polygonseiten mit unabhängigen Messmethoden (Kreiselmessungen) zu kontrollieren und zu verbessern.

Lattenbeleuchtung

Nebst der fachlichen Qualifikation sind in der Tunnelvermessung oftmals auch innovative Ideen gefragt. So wurde während den Vortriebsmessungen im Fensterstollen Ferden eine systematische Abweichung zwischen den trigonometrisch übertragenen Höhen und den nivellierten Höhen festgestellt.
Nach Anweisung der Hersteller wird die Nivellierlatte mit ein oder zwei Halogenspots von oben und unten her beleuchtet. Dies führt zu einer ungleichmässigen Ausleuchtung der Codelatte, was signifikante Messfehler zur Folge haben kann. Unsere Untersuchungen zeigten, dass die branchenübliche Beleuchtung einen sys-

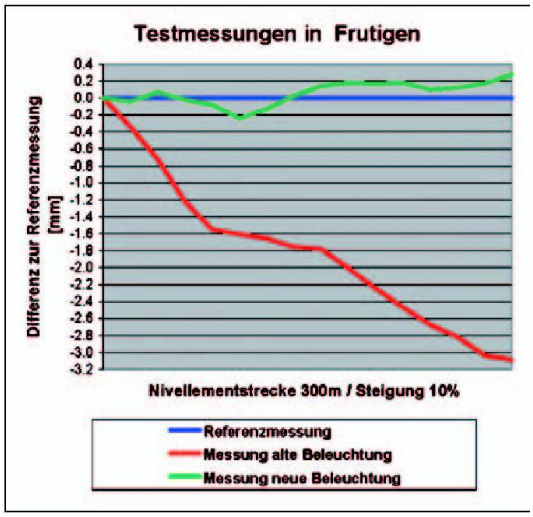


Abb. 5: Resultate Testmessungen.

tematischen Fehler von ungefähr $^{1}/_{10}$ mm pro 1 m Höhendifferenz verursacht hatte.
Dies war in Anbetracht der hohen Genauigkeitsanforderungen nicht akzeptabel. Wir prüften verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten und entwickelten schliesslich ein völlig neues System der Lattenbeleuchtung. Dabei wird der Codestreifen durch eine Reihe seitlich angebrachter Leuchtdioden homogen ausgeleuchtet.
In Zusammenarbeit mit swisstopo wurde die Tauglichkeit der neuen Lattenbeleuchtung in verschiedenen Tests nachgewiesen. Folgende Messvarianten wurden sowohl auf einer Teststrecke im Freien wie auch unter Tunnelbedingungen in den Fensterstollen miteinander verglichen. Als Referenzgeräte wurden ein optisches und ein digitales Nivellier eingesetzt. Die Messungen mit alter und neuer Beleuchtung wurden mit dem Digitalnivellier durchgeführt.
Die Resultate waren eindeutig: Mit der neuen Lattenbeleuchtung erhält man das gleiche Resultat wie bei Tageslicht, während mit der alten Beleuchtung der systematische Fehler erkennbar ist. Diese Neuentwicklung hat sich bei den nachfolgenden Vortriebsmessungen bestens bewährt. Nebst unseren eigenen Tests wurde die neue Lattenbeleuchtung von den zwei Geräteherstellern Leica und Zeiss im Labor erfolgreich geprüft. Bezugsquelle für Interessenten: IG BeWa per Adr. Riesen & Stettler AG.

Resultat Hauptdurchschlag

Am 28. April 2005 erfolgte fast 2000 Meter unter dem Balmhorn der Hauptdurchschlag zwischen dem Berner Oberland und dem Wallis. Die Kontrollmessung ergab folgenden Durchschlagsfehler (Tab. 2).

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

Tab. 2: Resultate des Hauptdurchschlages.

Berücksichtigt man die ungünstigen Startbedingungen bei den Fusspunkten Mitholz und Ferden (Anschlussrichtungen < 80 m, Richtungsänderung rechtwinklig zur Achse im Fensterstollen) und die angetroffenen Verhältnisse in den Vortriebsstollen (Temperatur, Feuchtigkeit, Belüftung), so darf man dieses Resultat 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.

Hans-Ueli Riesen
Riesen & Stettler AG
Ing.- und Vermessungsbüro
Solothurnstrasse 28
CH-3322 Urtenen-Schönbühl
hans-ueli.riesen@ristag.ch

Beat Schweizer
BLS Lötschbergbahn AG
Infrastruktur / Anlagen / Vermessung
Genfergasse 11
CH-3001 Bern
beat.schweizer@bls.ch

Adrian Wiget
Andreas Schlatter
Bundesamt für Landestopografie
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
adrian.wiget@swisstopo.ch

GEOS Pro
Flexible Datenhaltung in Access,
SQL – Server oder Oracle
a/m/t - seit über 20 Jahren Ihr zuverlässiger Partner - www.amt.ch