

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

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 108 (2010)

Heft: 12: AlpTransit

Artikel: Vermessungsarbeiten am Lötschberg-Basistunnel nach dem
Hauptdurchschlag

Autor: Riesen, Hans-Ueli

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236739>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise](#).

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales](#).

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice](#).

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Vermessungsarbeiten am Lötschberg-Basistunnel nach dem Hauptdurchschlag

Der Lötschberg-Basistunnel bildet zusammen mit dem bereits bestehenden Simplontunnel die erste schnelle Nord-Süd-Verbindung durch die Alpen. Für alle beteiligten Fachleute war das Projekt Lötschberg-Basistunnel eine Herausforderung. Auch die Vermessung eines so langen Tunnels stellte eine äusserst anspruchsvolle Aufgabe dar. In der Fachzeitschrift «Geomatik Schweiz» 11/2005 widmet sich der Artikel «Tunnelvermessung des BLS AlpTransit Lötschberg-Basistunnels» hauptsächlich der Tunnelvermessung bis zum Hauptdurchschlag. Neben einer zusammenfassenden Darstellung der Resultate nach dem Hauptdurchschlag thematisiert der vorliegende Bericht die drei folgenden Vermessungsaufgaben: die Kompensierung des Durchschlagsfehlers, die Kontrolle der festen Fahrbahn und die Installation der Bauwerksüberwachung.

Le tunnel de base du Lötschberg, conjointement avec le tunnel du Simplon déjà existant forme la première liaison rapide nord-sud à travers les Alpes. Pour tous les professionnels affectés à ce projet le tunnel de base du Lötschberg constituait un vrai défi. La mensuration d'un si long tunnel représentait également une tâche particulièrement exigeante. Le journal spécialisé «Géomatique Suisse», dans son édition 11/2005 consacre l'article «Mensuration du tunnel de base du Lötschberg BLS AlpTransit» essentiellement à la mensuration du tunnel jusqu'à son percement principal. A part une présentation résumant les résultats suite au percement principal le présent article a pour thème les trois tâches de mensuration suivantes: la compensation de l'erreur de percement, le contrôle de la voie sur dalle et l'installation de la surveillance des ouvrages.

La galleria di base del Lötschberg rappresenta, assieme a quella del Sempione già esistente, il primo collegamento rapido nord-sud attraverso le Alpi. Per tutti gli esperti coinvolti, il progetto della galleria di base del Lötschberg ha costituito una sfida. Uno dei compiti molto complessi è pure racchiuso nella misurazione di un tunnel così lungo. La rivista specializzata «Geomatica Svizzera», nel suo numero 11/2005, ha dedicato l'articolo «Misurazione nella galleria di base BLS AlpTransit Lötschberg» principalmente alla misurazione in galleria fino alla caduta del diaframma principale. Oltre alla rappresentazione riassuntiva dei risultati dopo la caduta del diaframma principale, nell'articolo si esaminano i tre compiti di misurazione seguenti: i calcoli di compensazione, il controllo della carreggiata fissa e l'installazione della sorveglianza del cantiere.

H.-U. Riesen

Projektbeschreibung

Der Lötschberg-Basistunnel führt von Frutigen im Kandertal (Bern Oberland) nach Raron im Rhonetal (Kanton Wallis). Er ist 34.6 km lang und als zweiröhri- ger, richtungsgetrenger Einspur-Eisenbahntunnel konzipiert. Aus Kostengründen wird der Tunnel in mehreren Etappen rea-

lisiert. In der ersten Ausbautappe verbleiben der Westast Steg mit dem Portal Niedergesteln sowie die Weströhre ab Ferden bis nach Mitholz im Rohbau. Im Abschnitt Mitholz-Frutigen wird nur eine Röhre ausgebrochen; auf dieser Strecke verläuft parallel dazu der 1994 bis 1996 erstellte Sondierstollen Kandertal. Die Bauarbeiten an den Basistunnelröhren haben 1999 begonnen. Der Hauptdurchschlag zwischen den Kantonen Wallis und Bern wurde am 28. April 2005

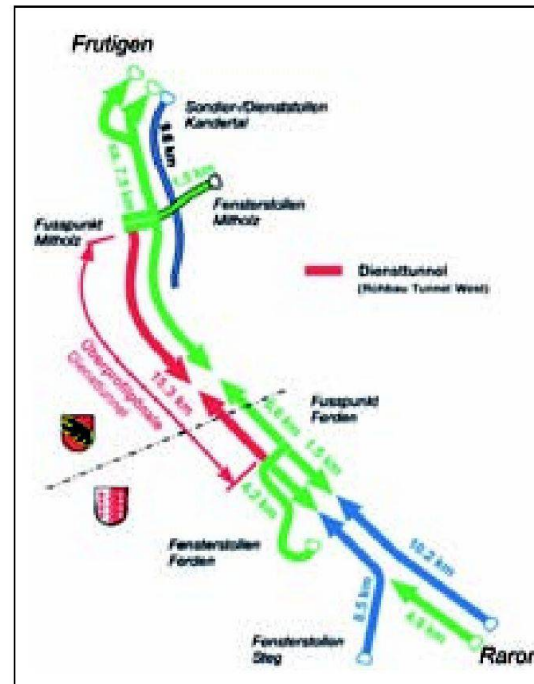


Abb. 1: Schematische Darstellung der Vortriebsarten (grün und rot: Sprengvortrieb; blau: Tunnelbohrmaschine).

gefeiert, womit die Ausbrucharbeiten beendet waren. Der Innenausbau und die bahntechnischen Ausrüstungen dauerten bis November 2006. Am 15. Juni 2007 fanden die Eröffnungsfeier und die Übergabe an die Betreiberin, die BLS AG, statt. Pünktlich zum Fahrplanwechsel Dezember 2007 konnte der Lötschberg-Basistunnel ins Streckennetz aufgenommen werden.

Der Lötschberg-Basistunnel entstand gleichzeitig von fünf Baustellen aus. Neben den beiden Portalbaustellen Frutigen und Raron sind dies die Zwischenangriffe Mitholz, Ferden und Steg/Niedergesteln. Wichtige Aussenbauwerke sind die beiden Rhonebrücken in Raron und der Tagbautunnel Engstlige in Frutigen (Abb. 1). Die gesamte Länge der ausgebrochenen Röhren und Stollen beträgt 88.1 km. Davon wurden 80% des Tunnelsystems im Sprengvortrieb ausgebrochen, die restlichen 20% wurden mit Tunnelbohrmaschinen aufgeföhren (Abb. 1).

Bei der Systemwahl entschied man sich für zwei parallele Einspurröhren, die alle 330 m durch einen Querschlag verbunden sind. Diese Variante stellt die Opti-

Durchschlag zwischen	Quer [cm]	Höhe [cm]	Längs [cm]
Steg – Ferden	8.6	0.5	2.4
Raron – Löttschen	10.4	1.1	2.3
Mitholz – Frutigen	1.5	0.6	0.0
Löttschen – Ferden	2.0	0.3	0.4

Tab. 1: Resultate der Teildurchschläge.

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

Tab. 2: Resultat des Hauptdurchschlages.

mallösung bezüglich der Kriterien Bau (Kosten, Bauzeit, Umwelt), Betrieb (betriebliche Anforderungen, Erhaltung/Wartung, Aero- und Thermodynamik) und Sicherheit (Akzeptanz, Risiko) dar.

Projektbeteiligte

Projektvermesser

Die Ingenieurgemeinschaft Bern-Wallis (IG BeWa) erhielt vom Bauherrn BLS Alp-Transit AG in einem zweistufigen Offertverfahren das Mandat als Projektvermesser (PV). Die IG BeWa bestand aus folgenden Firmen:

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

Spezialisten

Für die Erstellung und Ergänzung des oberirdischen Grundlagenternetzes wurde das Bundesamt für Landestopografie swisstopo als Subunternehmer beigezogen. Der Löttschberg-Basistunnel wurde vollständig im Bezugsrahmen der neuen Landesvermessung LV95 (GPS) und gestützt auf das Landeshöhennetz LHN95 abgesteckt.

Die Kreismessungen führten verschiedene Institute als Subunternehmer durch:

- ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP-ETHZ)
- Universität der Bundeswehr München, Institut für Geodäsie (IfG), Deutschland

BLS Netz AG

Die Vermessungsabteilung der BLS Netz AG war zuständig für die Erstellung und

Aktualisierung des Gleisgeometrieprojekts und der Anlagedokumentation (GIS DfA).

Resultate der Tunneldurchschläge

Aufgrund der beschränkten Kontrollmöglichkeiten im Tunnel lebte der Vermesser bis zuletzt mit einer gewissen Unsicherheit. Erst nach dem Durchschlag konnte im Rahmen einer Verbindungsmessung definitiv festgestellt werden, ob die Genauigkeitsanforderungen erfüllt worden sind resp. unsere Modellannahmen richtig waren. In Tab. 1 sind die Resultate der wichtigsten Teildurchschläge ersichtlich.

Am 28. April 2005 erfolgte 2026 m unter dem Balmhorn der Hauptdurchschlag (620 392/142 841) zwischen dem Berner Oberland und dem Wallis (Mitholz – Fer-

den). Die Kontrollmessung ergab folgenden Durchschlagsfehler für eine Vortriebslänge von 20.9 km (Tab. 2).

Beim Löttschberg-Basistunnel zeigten somit alle Teildurchschläge und der Hauptdurchschlag sehr zufriedenstellende Resultate. Die Anforderungen des Bauherrn wurden vollumfänglich erfüllt.

Kompensierung des Durchschlagsfehlers nach dem TBM-Vortrieb

In Tunnelabschnitten mit Tunnelbohrmaschine (TBM) wurde unmittelbar hinter der TBM die definitive Sohle inklusive Kicker (Vorbereitung für Innenschale) eingebaut. Dadurch war die Position der Innenschale und somit auch der Bankette bereits im Wesentlichen vorgegeben. Nach dem Durchschlag und der definitiven Berechnung der Fixpunktkoordinaten

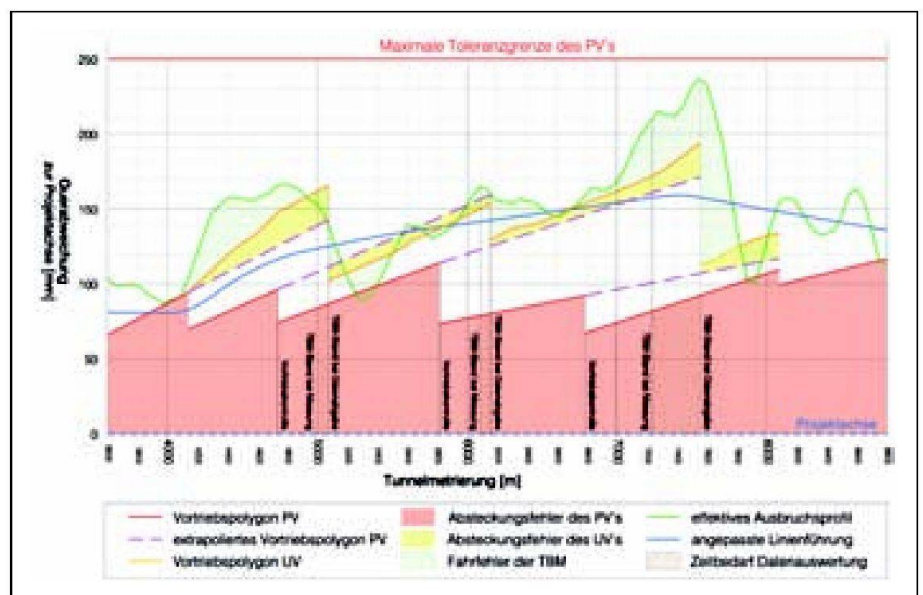


Abb. 2: Auswertung Profilmessung Steg – Ferden.

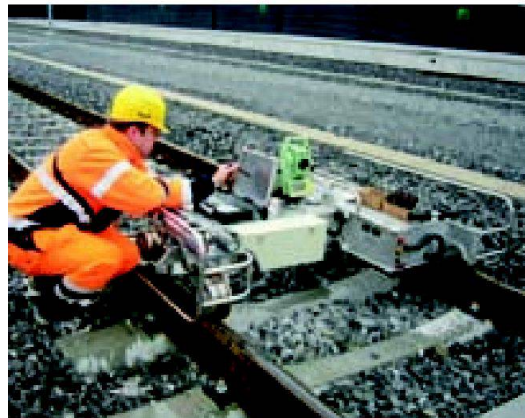


Abb. 3: Gleismesswagen RACER.

wurde das ausgebrochene Tunnelgewölbe mit der Methode der flächendeckenden Profilmessungen (Laser-Scanning) aufgenommen. Diese Grundlage ermöglichte es uns, alle 2.5 m Querprofile für den Vergleich von Ist- und Sollprofil zu erstellen.

Mit dieser Profilauswertung wurde das Zusammenwirken der verschiedenen Fehlerkomponenten analysiert. Die Gesamtabweichung des Rohbautunnels von der Projektachse setzte sich aus drei Komponenten zusammen:

1. Absteckungsfehler des Projektvermessers (PV)
2. Absteckungsfehler des Unternehmervermessers (UV)
3. Abweichung der TBM-Fahrt von der Absteckungsachse des UV

Die Auswertung ergab, dass alle Beteiligten ihre Toleranzen eingehalten hatten. Weil sich die Fehler stellenweise ungünstig addiert haben, sind jedoch grössere Gesamtabweichungen aufgetreten. Die grössten Abweichungen betragen bis zu 24 cm (siehe Abb. 2). Mit einer leichten Anpassung der Gleisgeometrie über die gesamte Tunnellänge konnten diese Abweichungen aber – ohne fahrdynamische Verluste – problemlos kompensiert werden.

Kompensierung des Durchschlagsfehlers nach dem Sprengvortrieb

In Tunnelabschnitten mit Sprengvortrieb wurden schon während des Tunnelvor-

triebs im rückwärtigen Bereich die Sohle, die Innenschale und die Bankette betoniert. Zum Zeitpunkt des Durchschlags waren ungefähr 75% der Bankette fertiggestellt; es fehlten lediglich noch rund 4 km.

Auf der Basis der neuen Fixpunktkoordinaten wurden die Vorderkanten aller erstellten Bankette in Lage und Höhe eingemessen (alle 25 m ein Kontrollpunkt). In der Folge wurde die Gleisgeometrie auf dem Abschnitt Mitholz – Ferden geringfügig angepasst, so dass die neue Gleisachse exakt zwischen die bereits betonierten Bankette zu liegen kam. Dadurch konnte man den Durchschlagsfehler kompensieren und das Unterschreiten der Minimalabstände der Bankettkante zur Solllage mit einer Achsoptimierung lösen. Die effektiven Durchschlagsfehler wurden also mit einer geringfügigen Anpassung der Gleisgeometrie kompensiert. Je nach Situation könnte dies nicht ohne Nachprofilierung im Bereich des Durchschlagspunktes geschehen. Im Lötshberg-Basis-tunnel war dies glücklicherweise nicht der Fall, weil der Durchschlagsfehler relativ gering war und der Tunnel im Sprengvortrieb ohnehin tendenziell mit etwas Überprofil ausgebrochen wurde.

Kontrollabnahme der festen Fahrbahn

Für die präzise Überprüfung der Gleisabsteckung bzw. des verlegten Gleises, wurde speziell der neue Gleismesswagen RACER – Rapid Automated Control Equipment for Rails – entwickelt (Abb. 3). Das neue Messkonzept ermöglicht dem Bauherrn eine vollständig unabhängige Kontrollabnahme der festen Fahrbahn.

Systemkonzept

- Der motorisierte Tachymeter wird auf dem Gleismesswagen fest montiert
- 3D-Positionsbestimmung der Gleisachse durch freie Stationierung über bekannte Anschlusspunkte
- Automatische Erfassung der Spurweite, Längs- und Querneigung
- Motorisierte Fortbewegung des Messwagens mit variabler Schrittweite

- Online-Auswertung und Soll-Ist-Vergleich der Resultate

In Zusammenarbeit mit den Entwicklungspartnern wurde das Messkonzept entwickelt, die Steuersoftware programmiert und ein Prototyp des Messwagens konstruiert. Der Betriebsablauf wurde in umfangreichen Tests optimiert und eine Systemkalibrierung durchgeführt. Aus den umfangreichen Vergleichsmessungen und Tests mit einem unabhängigen System konnten folgende mittlere Messfehler (1σ) abgeleitet werden (Tab. 3).

Messgrösse	Messfehler (1σ)
Lage	< 0.4 mm
Höhe	< 0.5 mm
Spurweite	< 0.3 mm
Neigung	< 0.3 ‰

Tab. 3: Mittlere Messfehler RACER.

Anforderungen des Bauherrn

Von Seiten der Bauherrschaft wurden die Anforderungen an die Verlegetoleranzen der festen Fahrbahn definiert (Tab. 4). Dabei wird von einer absoluten und relativen Verlegetoleranz unterschieden. Die absoluten Toleranzwerte beziehen sich auf die maximalen Abweichungen in horizontaler und vertikaler Richtung bezüglich der Projektachse. Die relativen Toleranzen sind fahrdynamisch relevant. Das Messintervall wurde auf 2.5 m festgelegt.

Abnahmeparameter	Toleranz
Lage	± 3 mm
Höhe	± 3 mm
Pfeilhöhenfehler ¹⁾	< 2 mm
Überhöhung	± 2 mm
Spurweite	-1/+3 mm

Tab. 4: Verlegetoleranzen. ¹⁾ Bei einer Messbasis von 20 m muss der Unterschied zweier benachbarter Pfeilhöhen in der Sehnenmitte, jeweils in Abständen von 5 m gemessen, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung kleiner als 2 mm sein.

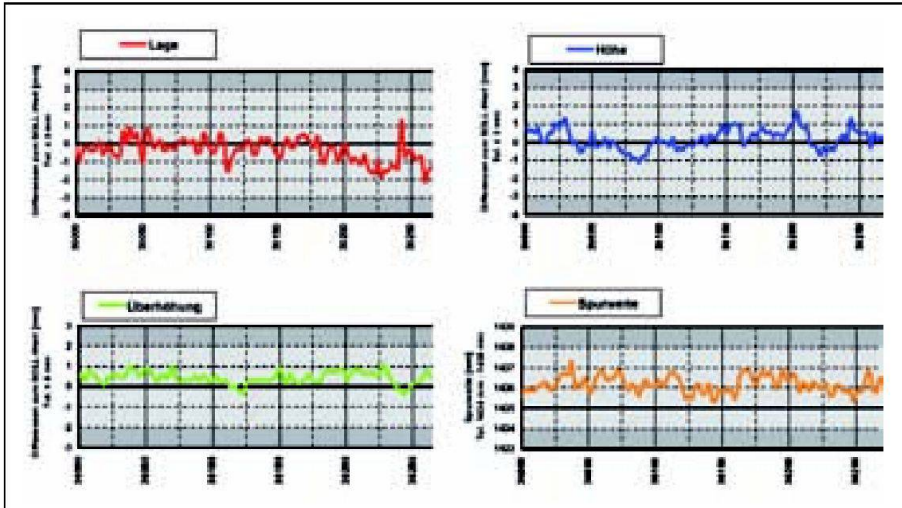


Abb. 4: Differenzen der Ist-Geometrie der festen Fahrbahn zur Projektachse.

Dies ergab mit dem Gleissmesswagen RACER eine Leistung von 150 m pro Stunde, was ungefähr einem Kilometer Messstrecke in 6.5 Stunden entspricht.

Resultate

Die Resultate der Schlusskontrolle wurden in Form von Differenzen zum Soll-Wert zusammengestellt. Aufgrund der statistischen Auswertungen wurde ersichtlich, dass die Verlegetoleranzen bezüglich der Projektachse über 99% vollständig eingehalten wurden (Tab. 5). Die wenigen Toleranzüberschreitungen betragen höchstens 1 mm.

Zur übersichtlichen Dokumentation wurden alle Resultate der Kontrollmessungen grafisch in Form von Differenzen zum Soll-Wert [mm] in Diagramm-Bändern zusammengestellt (Abb. 4).

Die Messkampagnen erfolgten fortlaufend abschnittsweise nach Einbau der festen Fahrbahn im Zeitraum zwischen Juli 2005 bis November 2006. Dabei wurden in mehreren Messkampagnen insgesamt über 51 km Tunnelstrecke überprüft. Zusammenfassend zeigen die Kontrollmessungen ein hervorragendes Ergebnis, das

zum einen die qualitativ hochwertige Verlegetechnik bei der festen Fahrbahn, zum anderen aber auch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des RACERs bestätigt. Durch die Umsetzung innovativer Lösungen und der somit erzielten Zeit- und Kostenersparnis konnten dem Bauherrn rechtzeitig die notwendigen Resultate mit einem vernünftigen Aufwand geliefert werden.

Bauwerksüberwachung

Ein Bauwerk dieser Grössenordnung bedarf einer Langzeitüberwachung. Die IG BeWa fragte swisstopo im Oktober 2003 an, ob sie Interesse hätte, vor Inbetriebnahme eine Landesnivellementslinie durch den Lötschberg-Basistunnel zu messen, was begrüsst wurde.

Das Präzisions-Doppelnivellement vom November/Dezember 2006 unter der Leitung von swisstopo lieferte einerseits der IG BeWa eine hochgenaue Bestimmung der Höhenfixpunkte im Höhenbezugsraster LHN95. Andererseits konnte swisstopo ihr Landeshöhennetz ergänzen und den Schleifenschluss über die Lötsch-

berg-Berglinie und den Scheiteltunnel kontrollieren.

Entlang des gesamten Tunnels wurden in jedem Querschlag Punktgruppen und auf der östlichen Bankettseite sämtliche Zwischenpunkte mit Bolzen und Hilfsnieten materialisiert. In den kritischen Störzonen «Autochthon Nord», «Karbon» und «Jungfrau» wurde das Überwachungsnetz mit zusätzlichen Überwachungspunkten der westlichen Bankettseite verdichtet.

Für die Bauwerksüberwachung wurden die Höhen auf einem Höhenfixpunkt im Portalbereich des Anschlusses Frutigen gelagert. Die Wahl des Gebrauchshöhenrahmens LN02 ermöglicht Folgemessungen ohne Kenntnis des orthometrischen Korrekturmodells und damit einen Vergleich der gemessenen Höhendifferenzen direkt vor Ort.

Schlussbemerkung

Die IG BeWa war beim Bau des Lötschberg-Basistunnels von Beginn an bis zur Eröffnung mit den Vermessungsarbeiten betraut. Es gab weltweit bisher nur wenige Projekte in ähnlicher Grössenordnung und mit diesen Genauigkeitsanforderungen, so dass nur wenig Erfahrung für die Tunnel-Absteckung vorhanden war. Diese Aufgabe stellte für uns deshalb eine grosse Herausforderung dar.

Die Resultate der verschiedenen Durchschläge belegen, dass wir diese Herausforderung gut gemeistert haben. Wir erlebten im Rahmen dieses Projekts viele spannende Momente und konnten wertvolle Erfahrungen sammeln. Nicht zuletzt dank der hervorragenden Zusammenarbeit mit allen Projektbeteiligten – Bauherrn, Projektingenieuren, Geologen, Bauleitern, Unternehmern – wird uns das Projekt Lötschberg-Basistunnel in bester Erinnerung bleiben.

Hans-Ueli Riesen
ristag Ingenieure AG
Eigerweg 4
CH-3322 Urtenen-Schönbühl
h.riesen@ristag.ch

Anzahl Messungen		Absolute Verlegetoleranz				Relative Verlegetoleranz	
		Lage	Höhe	Überhöhung	Spurweite	Pfeilhöhenfehler horizontal	vertikal
		> 3mm	> 3mm	> 2mm	> -1/+3mm	> 2mm	> 2mm
20 440	29	108	11	136	3	1	
100%	0.14%	0.53%	0.05%	0.67%	0.03%	0.01%	

Tab. 5: Anzahl Toleranzüberschreitungen.