

Vortriebsbegleitendes geodätisches Monitoring eines Bestandstunnels während der Errichtung eines parallel verlaufenden Rettungstollens

Wolfgang Winkler



Simon Lochmann



Gregor Windischer



1. Einleitung

Der Brenner Basistunnel (BBT) ist das Herzstück des Trans European Network Korridors Nr. 5 von Helsinki nach Valletta (Malta). Unter den Alpen entsteht eine zukunftsorientierte Flachbahn, welche zu einer markanten Verbesserung der Reise- und Transportmöglichkeiten im Herzen Europas führt.

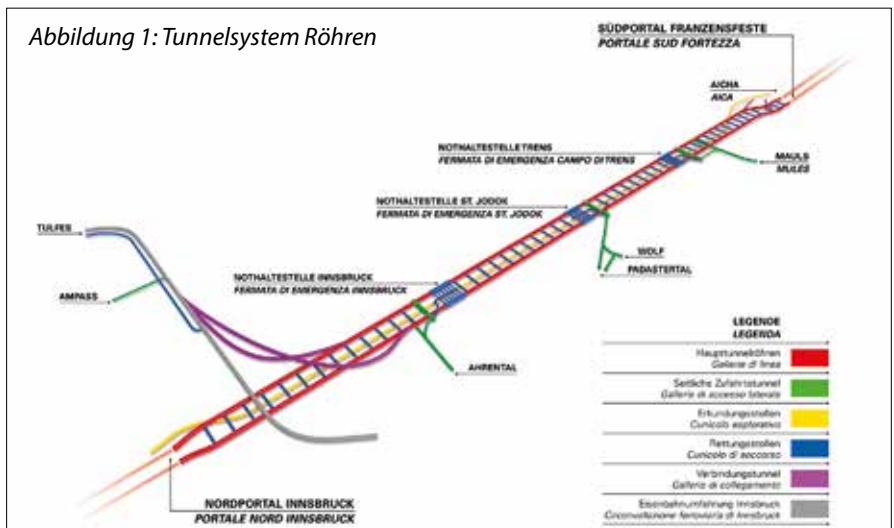
Der BBT besteht aus zwei 8,1 m breiten Tunnelröhren, die in einem Abstand von 70 m verlaufen. Sie sind eingleisig bestückt, sodass die Züge im Einbahnverkehr durch die beiden Tunnels fahren. In Abständen von 333 m verbindet ein Stollen, ein sogenannter Querschlag, die beiden Haupttunnelröhren. Die Querschläge dienen in Notfallsituationen als Fluchtweg. Dieses Konzept entspricht höchsten Sicherheitsstandards im Tunnelbau.

Eine Besonderheit des Brenner Basistunnels ist der durchgehende Erkundungsstollen. Er befindet sich mittig zwischen den zwei Haupttunnelröhren, 12 m darunter und ist mit 6 bis 7 m Durchmesser kleiner als sie. Die derzeit laufenden Vortriebsarbeiten am Erkundungsstollen sollen Aufschluss über die Beschaffenheit des Gebirges geben und dadurch Baukosten und -zeiten minimieren. Sobald der BBT im Jahr 2026 in Betrieb ist, wird der Erkundungsstollen eine wichtige Rolle für die Tunnelentwässerung spielen und als Servicetunnel dienen.

Der BBT wird eine Gesamtlänge von 64 km aufweisen, womit die längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt entsteht. In Innsbruck mündet der BBT in die bestehende unterirdische Eisenbahnumfahrung Innsbruck, die in Tulfes in die neue Unterinntaltrasse übergeht. Parallel zur Umfahrung Innsbruck wird ein Rettungsstollen gebaut. Der zweiröhrige Tunnel zwischen Innsbruck und Franzensfeste ist 55 km lang.

Die Längsneigung des Basistunnels beträgt 6,7 ‰ auf der Nordseite und 4 ‰ auf der Südseite des Brenners. Die Scheitelhöhe liegt auf 790 m ü. d. M., also 580 m tiefer als der Brennerpass (1.371 m).

Zur Zeit sind vier Baustellen des BBT aktiv. Bis zum heutigen Tag wurden an die 41 Tunnelkilometer ausgebrochen. Beim bislang größten Baulos Tulfes/Pfons mit einem Auftragsvolumen von 380 Mio. Euro finden im Raum Innsbruck sechs verschiedene Vortriebe statt. Unter anderem wird neben dem bereits bestehenden Umfahrungstunnel von Innsbruck ein 9 km langer Rettungsstollen errichtet. Die Vortriebsarbeiten am Rettungsstollen müssen bei laufendem Zugverkehr im Umfahrungstunnel stattfinden. Diese Umstände machen ein genaues Monitoring hinsichtlich Erschütterungswerte und Verformungen unabdingbar.



2. Baulos Tulfes/Pfons, Teilabschnitt Rettungsstollen

Im Rahmen der Realisierung des Brenner Basistunnels ist aus Sicherheitsgründen die Aufrüstung des bestehenden Umfahrungstunnels Innsbruck notwendig. Dafür ist der Rettungsstollen Tulfes vorgesehen, der im Achsabstand von 30 m parallel zum Umfahrungstunnel Innsbruck bis zur Abzweigung der Verbindungsrohre zum Brennerbasistunnel verläuft. Im Bereich Ampass schließt der Rettungsstollen Tulfes an den Fensterstollen Ampass an, der als Zugangs- und Evakuierungsstollen des Stollens Tulfes dient.

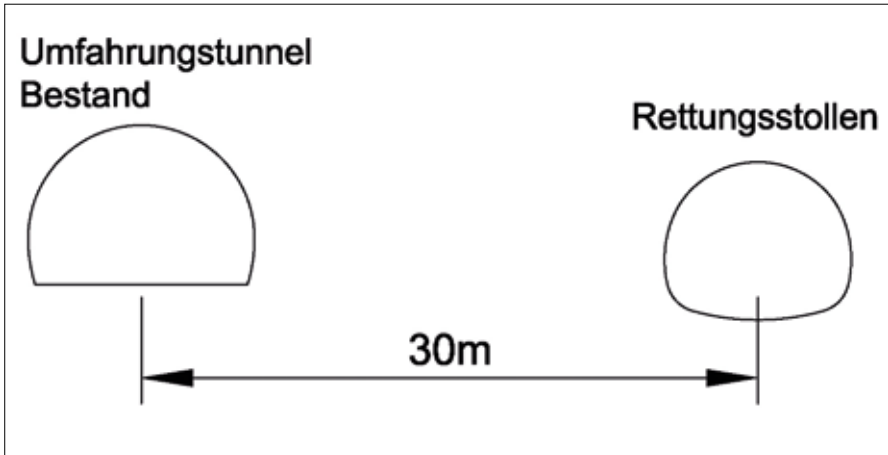


Abbildung 2: Übersicht Querschnitt

Der Rettungsstollen Tulfes verläuft mit Ausnahme der ersten 300 m gemessen ab dem Portal Tulfes parallel zum bestehenden Umfahrungstunnel Innsbruck. Beginnend beim Portal Tulfes verläuft der Rettungsstollen bis zur Einbindung in den Fensterstollen Ampass und weiter bis zur Einmündung in die Verbindungstunnel. Die Verbindungstunnel zweigen wiederum von der Portal Tulfes bestehenden Aufweitungstrompete im Inntaltunnel zum Brenner Basistunnel ab. Die Länge des Rettungsstollens Tulfes beträgt rund 9.122 km.

Der Rettungstunnel wird mit drei gleichzeitigen Vortrieben, einer vom Portal Tulfes und je ein Vortrieb ab dem Fensterstollen Ampass Richtung Westen und Osten aufgeföhren.



Abbildung 3: Übersicht Teilabschnitt Rettungsstollen

3. Vorgaben

Da die Vortriebsarbeiten zum Rettungsstollen während des laufenden Bahnbetriebes im Umfahrungstunnel Innsbruck stattfinden müssen, wurde eine permanente und automatische 3D-Tachymeterüberwachungsmessungen des Umfahrungstunnels von der BBT SE ausgeschrieben und an das italienische Unternehmen tecnotre project srl und Mitgesellschafter vergeben.

Die Firma Bernard Ingenieure wurde mit einer Untersuchung beauftragt, welchen Einfluss der Vortrieb der neuen Röhre und die damit verbundenen Gebirgsumlagerungen auf den bestehenden Inntaltunnel haben und Verschiebungsgrenzwerte zu ermitteln auf deren Grundlage Warnwerte definiert werden können. Dabei zeigt sich, dass die Lasten überwiegend einseitig auf die dem Rettungsstollen zugewandten Seite wirken.

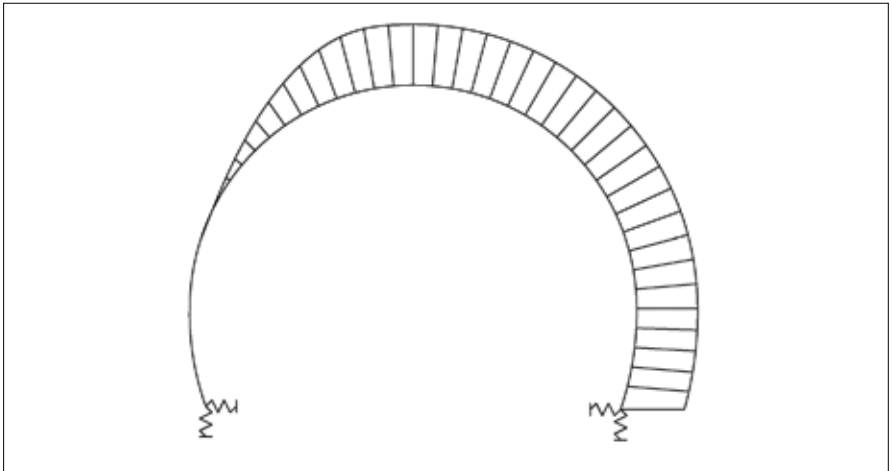


Abbildung 4: Ausschnitt Inntaltunnel, Gebirgslast aus der geomechanischen Berechnung

Aus diesem Gebirglastmodell ergibt sich folgende Anordnung der Verschiebungspunkte im Messquerschnitt:

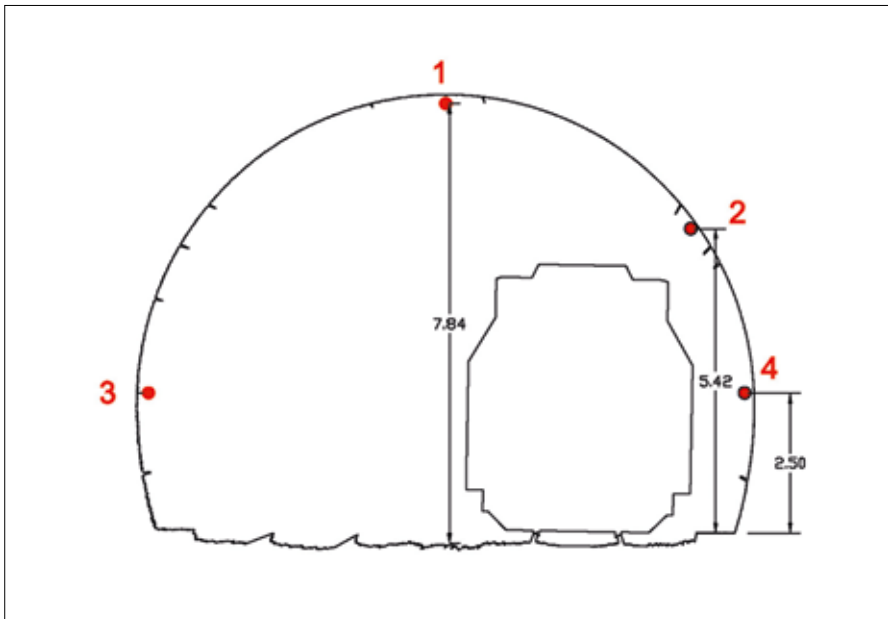


Abbildung 5: Anordnung Messpunkte

- 1: Überwachungspunkt im First
- 2: Überwachungspunkt im Ulmenbereich in einer Höhe von ca. 2,50 m
- 3: Überwachungspunkt im Grenzbereich Ulme/First in einer Höhe von ca. 5,70 m (Flucht Gehwegkante)

Die Überwachungspunkte in Form von Miniprismen werden in Tunnellängsrichtung im Abstand von 25 m angebracht.

Folgende Grenzwerte für die Verschiebungen wurden ermittelt:

Gemessener Wert in horizontaler oder vertikaler Richtung an einem der Messpunkte.

Informationsstufe: 3 mm

Erste Warnstufe: 5 mm

Zweite Warnstufe: 9 mm

Folgende Anforderungen werden an das Monitoringsystem gestellt:

- Kontinuierliche Messungen mit automatischem Datenfluss. Die Ergebnisfiles müssen in einem Intervall, das 15 Minuten nicht überschreiten darf, automatisiert auf eine vom Auftragnehmer bereitzustellende webbasierte Plattform gespielt und in Form von Zeitreihen visualisiert werden.
- Vollautomatische Alarmierung per SMS und eMail eines ausgewählten Verteilers bei Grenz- und Warnwertüberschreitungen.
- Genauigkeit der bestimmten 3D-Koordinaten der Verformungspunkten von 2-3 mm

Vorab wurden Konsolen für die Tachymeterstandpunkte alle 200 m zur Überwachung von zwei 100 m-Abschnitten, vor und hinter dem Überwachungssystem, und die Verschiebungspunkte (Bolzen an den Ulmenpunkten bzw. Bolzen, Adapter und Zielmarken an den Firstpunkten) im gesamten Überwachungsbereich installiert.

Der 200 m Abschnitt ergibt sich aus der Tatsache, dass eine Teilsperre des Umfahrungstunnels nur einmal im Monat möglich ist, die zum Vorbauen des Monitoringsystems genutzt wird und der geschätzten Vortriebsleistung von 6-8 m pro Tag. Andererseits kann erfahrungsgemäß die geforderte Genauigkeit von 2-3 mm bis zu einem Abstand von 100 m erreicht werden. Um die Genauigkeit und Aussagekraft zu erhöhen wird der Verschiebungswert, welcher der Mittelwert aus drei Messungen ist, ermittelt.

4. Meßsystem

Aufbau

Das Messsystem musste auf die Bedingungen im Inntaltunnel angepasst werden. So steht im Tunnel kein Mobilfunknetz zur Verfügung bzw. darf keine Funkverbindung eingerichtet werden, hingegen ist er mit Lichtwellenleiterkabeln (LWL) ausgestattet, welche im Abstand von ca. 600 m Anschlussmöglichkeiten aufweisen. Seitens des Tunnelbetreibers wird die Möglichkeit geboten, am Portal sowie an der Stelle des Monitoringsystems im Tunnel, mit einem LAN Kabel an das LWL System anzuschließen. Die maximale Länge der Kabelverbindungen innerhalb des Systems betragen somit ca. 300 m.

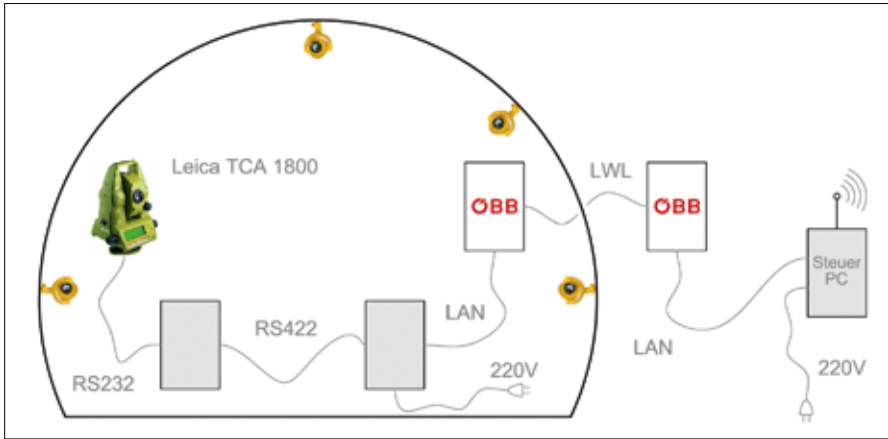


Abbildung 6: Aufbau Meßsystem

Der Steuer-PC befindet sich in einem Schrank am Portal. Der Schrank beinhaltet neben dem PC einen Anschluss an den Netzstrom sowie eine Antenne für die Verbindung mit dem Internet über ein Mobilfunknetz.



Abbildung 7 Theodolit mit Konsole

Der PC kann über eine Screen-Sharing Software bedient werden. Wartungsarbeiten sind so jederzeit und ortsunabhängig durchführbar. Auf dem Steuer-PC laufen, für jedes Monitoringsystem getrennt, die Softwareinstanzen für die Steuerung der Totalstationen. Im Tunnel wird, wie am Portal, ein LAN Kabel an die Lichtwellenleiterübersetzung angeschlossen. In einer Box befinden sich Übersetzer, die die Daten bzw. die Stromversorgung auf einen RS422 Standard transferieren. Mit diesen RS422 Kabeln lassen sich Entfernungen von bis zu 450 m überbrücken. An der

Konsole befindet sich eine weitere Box, in dieser werden Strom und Daten auf ein RS232 Kabel übertragen. Mit diesem Kabel kann mit Hilfe eines Lemo Steckers an die Totalstation angedockt werden. Als Totalstationen kommen TCA 1800 von Leica zum Einsatz. Beobachtet werden vier, mit Miniprismen bestückte Messstellen. Sie liegen jeweils am linken und rechten Ulm sowie am First. Die vierte Stelle befindet sich am Kämpfer welcher näher zum Rettungstollen liegt. Der Abstand der Messquerschnitte (MQ) beträgt ca. 25 m.

5. Ergebnisse

Die geforderten Informations- bzw. Alarmierungswerte von drei, fünf und neun Millimeter wurden vom Planer vorgegeben. Die erste Warnschwelle von 3 mm wurde nur bedingt durch zufällige Messfehler in Einzelfällen überschritten. In Abbildung 8 ist der Verformungsverlauf für MQ8610 (Messquerschnitt 8610) dargestellt. In Grün, Gelb und Rot sind die Benachrichtigungsschwellen eingezeichnet.

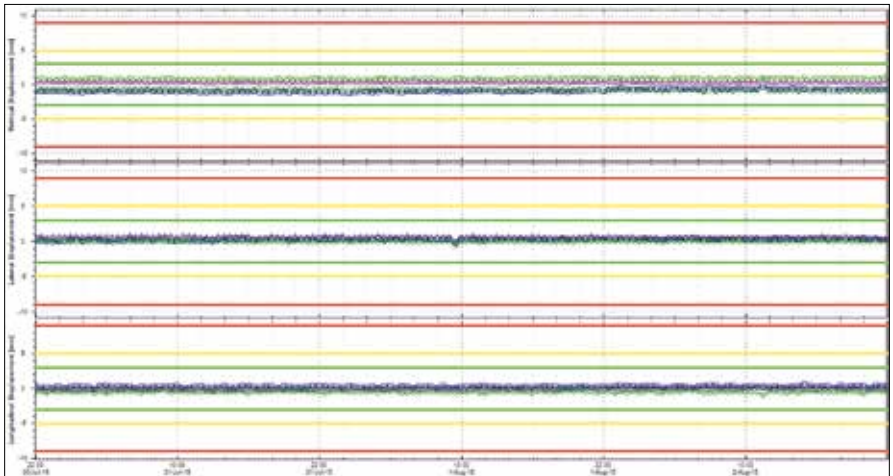


Abbildung 8: MQ 8610 normales Systemverhalten

Schwierigkeiten bereiteten speziell zwei Phänomene:

- Kabel in der Visurlinie
- Temperaturschwankungen im Portalbereich

Auf diese beiden Fälle wird im Folgenden näher eingegangen.

Kabel in der Visurlinie

Diese Situation bewirkt ungenaue Anzielungen mit der ATR Funktion der Totalstation. Schon geringe Lageänderungen der Oberleitungskabel, z. B. aufgrund der Temperaturen, führen zu Ausreißern von bis zu 10 mm in Höhe und Querverschiebung (siehe Abbildung 9). Für die Alarmierung müssen diese Punkte deaktiviert werden.

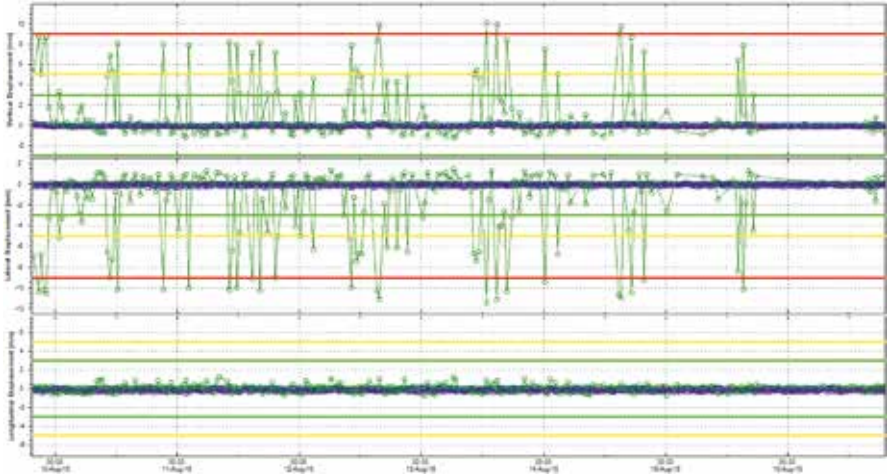


Abbildung 9: MQ 3413 Einfluss von Kabeln in der Visurlinie

Temperaturschwankungen im Portalbereich

Dieser Einfluss auf die Refraktion wurde aus den bisherigen Erfahrungen quantitativ weit geringer eingeschätzt. Ein möglicher Grund ist die spezielle klimatische Situation im Inntal. Durch die Ost-Westausdehnung und die Nordkette zählt das Inntal speziell im Frühsommer österreichweit üblicherweise zu den wärmsten Regionen. In Abbildung 10 ist ein zweimonatiger Verlauf der Setzung mit dem zugehörigen Temperaturverlauf am Beispiel des MQ3287 (1.027 m vom Portal entfernt) dargestellt.

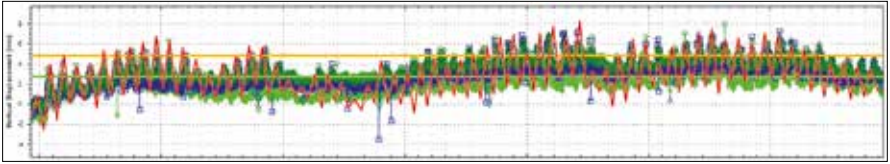


Abbildung 10: MQ 3287 Langzeiteinfluss der Temperaturschwankungen

Zu beobachten sind langperiodische und tägliche Schwankungen. Die Entfernung des MQ 3287 zur Totalstation betrug ca. 80 m. Dabei ergibt sich pro fünf Grad Temperaturunterschied zur Nullmessung eine scheinbare Hebung von ca. 1 mm. In Abbildung 10 ist eindeutig eine Korrelation mit der Temperatur zu erkennen.

6. Lösungen

Wie in Abbildung 10 zu sehen, ist in diesem Fall auch der Warnwert von 5 mm in vielen Fällen überschritten worden. Auch zu erkennen ist, dass sich der gesamte Messquerschnitt in scheinbarer Hebung befindet. Als Sofortmaßnahme wurde, in Abstimmung mit der BBT SE und dem Planer, ein weiteres Diagramm mit den Konvergenzen (Längenänderungen der Vektoren zwischen den Punkten innerhalb eines MQ) für die zu informierenden Personen zur Verfügung gestellt. Die maximalen Konvergenzen bewegten sich um zwei Millimeter.

Um für weitere Abschnitte nicht wieder Fehlalarme zu erhalten wurde bei der Station in Portalnähe ein Temperatursensor eingebaut. Die gelieferten Temperaturdaten inklusive einer zusätzlich in die Stationierung einfließenden Messung zur Refraktionskorrektur führten zu einer Reduktion der kurz- und langperiodischen Schwankung (siehe Abbildung 11).

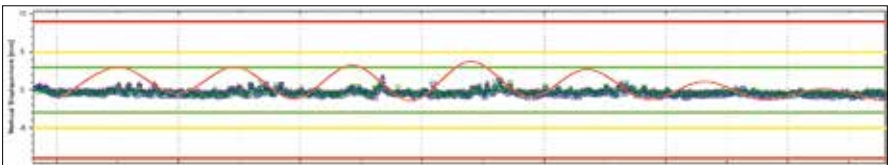


Abbildung 11: MQ 3337 Langzeiteinfluss der Temperaturschwankungen

Im Vergleich zu Abbildung vier herrschten auch hier Temperaturunterschiede der Tageshöchst- und Tagestiefstwerte von 15 Grad vor, die sich jedoch nicht mehr auf die Setzungen auswirken.

Weitere Besonderheiten waren:

- keine Beeinflussung durch Züge,
- Spannungsspitzen im Niederspannungsnetz und
- ein unvorhergesehenes Auftreten von Temperaturschwankungen abseits des Portalbereiches

Das Züge keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben, war aus Erfahrung durchaus anzunehmen. Kann ein Punkt im Zyklus nicht gemessen werden, wird dieser nach der Messrunde noch mal angefahren und gemessen. In dieser Zeit sind die Züge üblicherweise an dem zu beobachtenden Bereich vorbei.

Durch die hohen Spannungen in der Oberleitung, kann es durch Induktion auch Spannungsspitzen im Niederspannungsnetz. Durch dieses Phänomen musste einmalig ein Netzteil getauscht werden. Diese wurden in weitere Folge bei allen Meßsystemen an die Anforderungen angepasst.

Bedingt durch das Öffnen eines Querschlages vom Rettungstollen in den Umfahrungstunnel, drang Luft aus dem Vortrieb in den Umfahrungstunnel. Der große Luftzug, der Temperaturunterschied aber auch der Staub verursachte daraufhin, wie im Portalbereich, scheinbare Hebungen (siehe Abbildung 12).

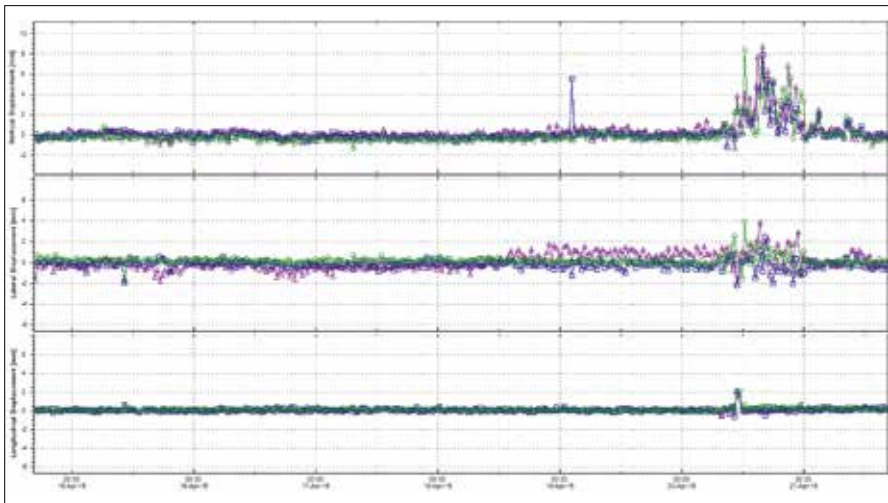


Abbildung 12: MQ 10088 plötzlich auftretende atmosphärische Änderungen

7. Fazit

Das Monitoringsystem liefert in Summe täglich ca. 4.000 Einzelmessungen. Über die gesamte Projektdauer wurden bisher rund 1.100.000 Einzelmessungen durchgeführt (Stand 31.08.2015). Bis jetzt gab es drei Systemausfälle. Zwei waren durch Spannungsschwankungen und einer durch einen defekten Theodolit bedingt. Sämtliche bisher gesendeten Alarmierungen (Verschiebungen über 3 mm) konnten auf meteorologische Einflüsse zurückgeführt werden. Dies bedarf jedoch immer einer Beurteilung durch den zuständigen Personenkreis. Immens wichtig für jedes Monitoring ist daher eine möglichst große Vorlaufzeit für Messungen vor Beginn der eigentlichen Arbeiten. Nur so können Erfahrungen über die projektspezifischen Einflüsse (Temperatur, Verkehr, Luftzug etc.) gewonnen werden, um später diese von den baubegleitend zu erfassenden Verschiebungen trennen zu können.

Literatur:

- [1] Bernard Ingenieure: 555210_Bericht_Innenschale_Kurzfassung_20140703_REV03
- [2] ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Temperaturkurve Rinn. 