

---

# HERAUSFORDERUNGEN AN SPRITZBETONMANIPULATOREN IM MASCHINELLEN UND KONVENTIONELLEN VORTRIEB

---

## ***CHALLENGES FOR SHOTCRETE MANIPULATOR APPLICATIONS IN MECHANICAL AND CONVENTIONAL HEADINGS***

Dipl. Masch.-Ing. FH Heinz **Jenni**, Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ, Schweiz  
Dr. sc., Dipl. Masch.-Ing. ETH Alberto **Belloli**, Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ, Schweiz

Ungeachtet der Vortriebsart sind Nachläufersysteme neben Infrastrukturträgern und Übergabestellen für den Materialumschlag auch Logistikträger für die nachgeschalteten Arbeitsstellen.

Anhand ausgewählter, weltweit realisierter Projekte in den vergangenen Jahren wird aufgezeigt, wie Spritzbetonmanipulatoren zur Produktivitätssteigerung projektspezifisch konzipiert und in Nachläufersysteme für TBM- und Sprengvortriebe integriert wurden.

Wo das Gebirge es erfordert, muss die sofortige Felssicherung mit Spritzbeton im Bereich L1 erfolgen. Die besonderen Herausforderungen an einen Spritzbetonmanipulator sind hier die engen Platzverhältnisse und damit die Zugänglichkeit ans Gebirge. Die Konsolidierung im L2 Bereich stellt hingegen besondere Anforderungen an die Einbauleistung; die Vortriebsleistung darf dadurch nicht eingeschränkt werden. Allgemein müssen maximale Verfügbarkeit, Wartungsfreundlichkeit und Reinigungsmöglichkeit bei der Konzipierung von Spritzbetonmanipulatoren berücksichtigt werden.

*Regardless of the heading method, back-up systems are at the same time carriers of the heading infrastructure, material handling exchange points as well as carriers of the logistics for the work areas behind the heading.*

*Referring to individual projects from recent years around the world, it will be shown how shotcrete manipulators are specifically designed for productivity increase and how their integration in TBM and drill and blast heading back-up's look like.*

*The immediate ground support with shotcrete must take place in L1 whenever the ground requires it. Particular challenges for the shotcrete manipulators occur due to limited space and access to the tunnel wall in this area. Due to the requirement that the heading performance must not be hindered, the specific challenge in L2 is the high shotcrete application capacity. Apart from fulfilling the required performance, important general criteria for the conceptual design of shotcrete manipulator systems are the maximization of availability in operation, maintainability, and ability to clean.*

## 1. Einleitung

Übergeordnet gliedert sich der Tunnelbau in die Teilbereiche Vortrieb, Ausbruchsicherung und Ausbau.

Der Tunnelausbruch während des Vortriebs führt zu Spannungsumlagerungen. Übersteigt die Spannung die Festigkeit des Felsens, bewegt sich die umliegende Felsmasse langsam in den freien Raum. Damit es in Bereichen mit gebrochenem Fels nicht zu einem Einsturz kommt, muss die resultierende Konvergenz mit Stützmitteln kontrolliert und aufgehalten werden. Bei der sogenannten Ausbruchsicherung spielt der Spritzbeton dank seiner flexiblen Anwendbarkeit, Schnelligkeit und Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. So wird der Spritzbeton zusammen mit Felsankern, Netzen und Bögen im Bereich L1 zur Sofort-sicherung und im Bereich L2 für die Konsolidierung eingesetzt. Der moderne Untertagebau ist somit ohne Spritzbeton nicht mehr vorstellbar.

### 1.1 Fortschreitende Mechanisierung des Tunnelvortriebes

Nachläuferkonstruktionen erfüllen verschiedene logistische Aufgaben. Sie stellen die Versorgung des Vortriebes sicher, erlauben u.a. effiziente Felssicherungen und Sohlen-einbauten und dienen der Entsorgung des Ausbruchmaterials. Früher wurden Nachläufer-systeme vor allem bei TBM-Vortrieben und in einfacherer Ausführung eingesetzt. Mit der zunehmenden Mechanisierung, Automatisierung und Integration von gleichzeitig statt-findenden Abläufen kommen heute umfangreichere Nachläufersysteme zum Einsatz, die mit der immer größeren Vortriebsleistung der TBM Schritt halten [1, 2]. Vermehrt werden solche Systeme aber auch zur baubetrieblichen Leistungssteigerung beim Sprengvortrieb genutzt, sowohl im Vortriebsbereich als auch im rückwärtigen Bereich [3].

Immer wiederkehrende Abläufe sollen mechanisiert oder automatisiert werden. Neben der Reduktion des Personalaufwandes ergibt sich dadurch auch eine Reduktion von Be-dienungsfehlern. Außerdem wird durch eine Teilautomatisierung der Prozesse ein ent-scheidender Beitrag zur Humanisierung der Arbeitsplätze geleistet. Für den Unternehmer stehen außerdem eine kürzere Bauzeit und – trotz höheren Investitionskosten – geringere Gesamtbaukosten im Vordergrund.

Obige Überlegungen gelten selbstverständlich auch für den Spritzbetoneinbau. Dank mechanisierter und automatisierter Ausrüstung können große Mengen von Spritzbeton unter stets optimalen Bedingungen aufgebracht werden. Kein Düsenführer könnte manuell und ohne Ermüdung solche Förderleistungen auftragen. Dank geringerem Rückprall sinken zudem der Arbeitsaufwand und die Kosten. Die Qualität des eingebauten Spritzbetons fällt dank gleichmäßigem Spritzen mit optimalen Spritzabstand und -winkel höher aus. Als Bediener eines Spritzmanipulators befindet sich der Düsenführer stets außerhalb des ungesicherten Spritzbereiches und ist vor Einstürzen, Rückprall, Staub und abbindebeschleunigenden Zusatzmitteln weitgehend geschützt.

Anhand ausgewählter Projekte der vergangenen 10 Jahre wird nun aufgezeigt, wie Spritz-betonmanipulatoren zur Produktivitätssteigerung projektspezifisch konzipiert und in Nach-läuferkonstruktionen für TBM- und Sprengvortriebe integriert wurden. Durch optimierte Arbeitsabläufe, durchdachte Arbeitsplatzgestaltung, Mechanisierung und Automatisierung konnten die Herausforderungen unter Berücksichtigung der vorgegebenen Vortriebs-leistungen, Termine und Kosten sowie der Anforderungen an Arbeitsbedingungen und Arbeitssicherheit beherrscht werden.

## 2. Felssicherung für den Uetlibergtunnel, aufgefahren mit Hinterschneidtechnik

Der Uetlibergtunnel stellte wegen seines großen Querschnittes (Breite 14,4 m, Höhe 14,2 m) und der schwierigen Geologie hohe Anforderungen an die Tunnelbauer. Umfangreiche Maßnahmen zur Ausbruchsicherung mittels langen Ankern, Einbaubögen, Netzen und Spritzbetoneinbau unmittelbar hinter dem Bohrkopf waren nötig (Bild 1). Die Erweiterungs-TBM (TBE) mit Hinterschneidtechnik stellte zudem eine technologische Innovation dar, die in diesem Umfang noch nie zuvor angewendet wurde.

Die bestehende Nachlaufinstallation aus dem Projekt Paracuellos wurde mit Einrichtungen für die Felssicherung angepasst und ergänzt. Nach dem neusten Stand der Technik wurden insbesondere ein Spritzbetonmanipulator im Bereich L1 (Bild 2), zwei Systemankerbohrgeräte, ein Firstankerbohrgerät, eine fahrbare Arbeitsbühne mit Stahlbogenversetzgerät sowie ein fahrbarer Spritzbetonmanipulator im Bereich L2 (Bild 3) entwickelt und realisiert.

Das Applizieren von Spritzbeton im Bereich L1 wurde durch den Spritzbetonmanipulator L1 direkt hinter dem drehenden Bohrkopf ausgeführt. Der Umfangsbereich betrug  $360^\circ$ , die Längsverfahrbarkeit 1,5 m. Somit konnte eine optimale Bestreichung des Tunnelumfanges gewährleistet werden. Bei geologisch schwierigen Verhältnissen konnte der Spritzbetonmanipulatorarm bei stehendem Bohrkopf zwischen die Bohrgutbecher der TBE fahren und die erste Sicherung optimal, bis fast zur Brust, einbringen. Dieser erweiterte Arbeitsbereich des Spritzbetonmanipulators bis in den Bohrkopf und über  $360^\circ$  stellte eine Innovation dar. Damit konnten lokale kleinere Ausbrüche über den Bohrdurchmesser rasch und ohne größere Vortriebsunterbrüche gesichert werden.

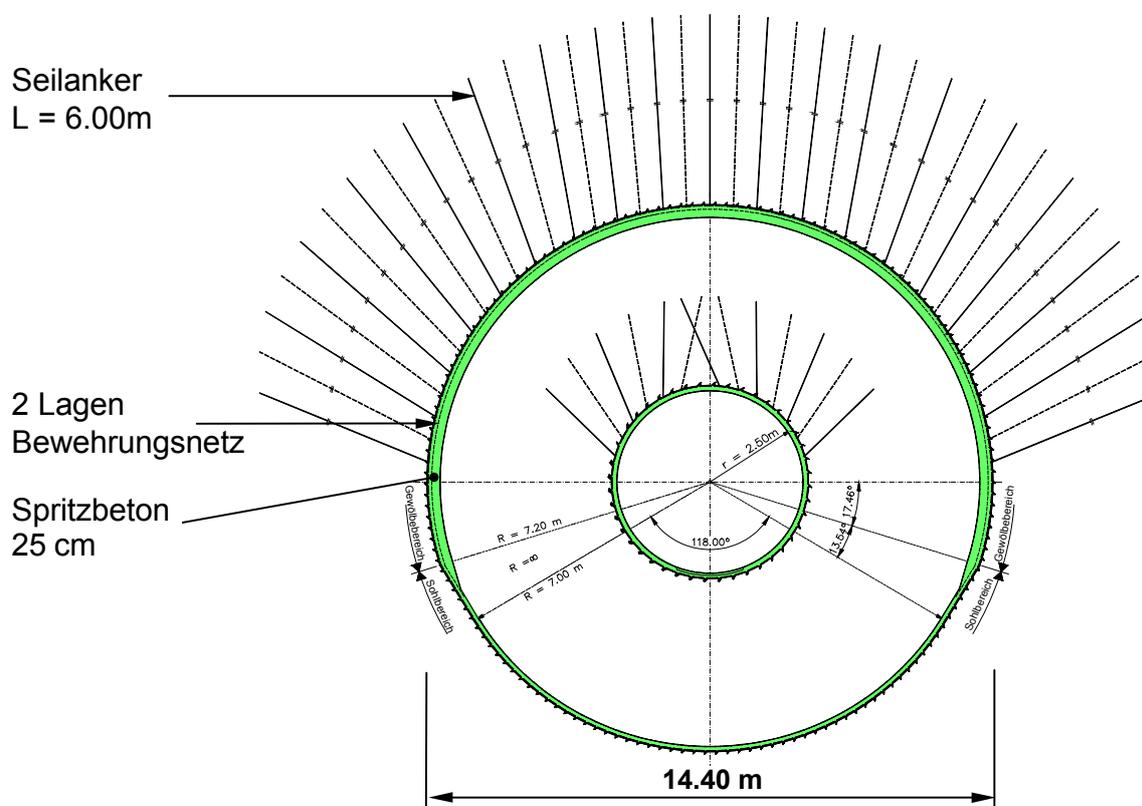
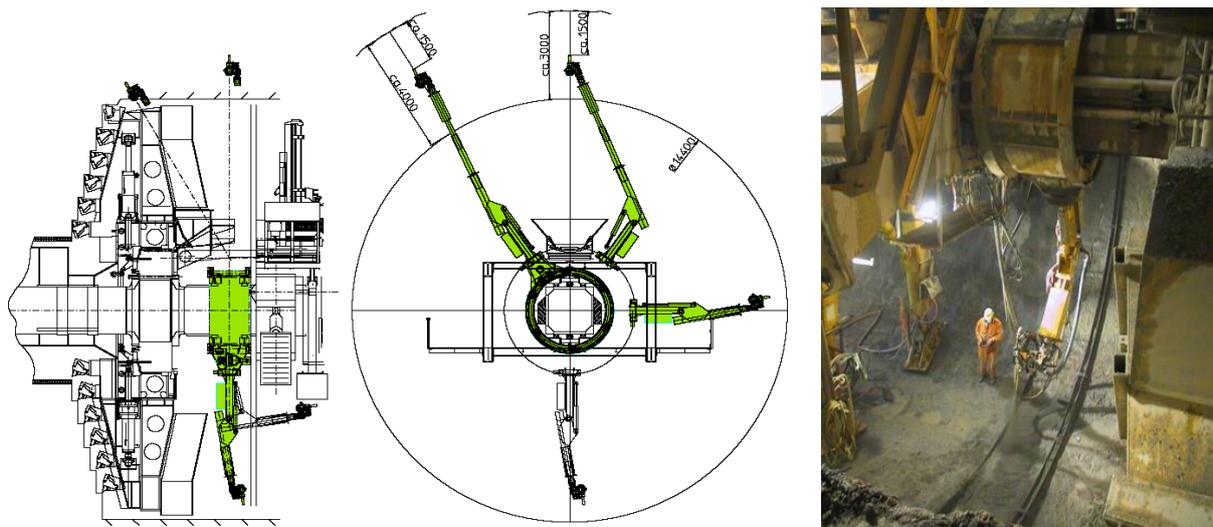


Bild 1: Ausbruch und Sicherung der Molassestrecke Uetliberg (Quelle: J. Bolliger).



*Bild 2: Längs verfahrbarer und teleskopierbarer Spritzbetonmanipulator im Bereich L1.*

Der Spritzbetonmanipulator konnte 1,5 m über das Tunnelprofil hinaus teleskopiert werden. Bei einem Spritzabstand von ca. 1,5 m konnte somit 3 bis max. 4 m über das Tunnelprofil hinaus Spritzbeton aufgebracht werden. Die Bedienung erfolgte aus Sicherheitsgründen mittels Funkfernsteuerung.



*Bild 3: Spritzmanipulator mit zwei Spritzdüsenwagen (Bereich L2) während der Baustellenmontage.*

Im Bereich L2 wurde ein selbstfahrender (Längsfahrweg 18 m) und somit zum Nachläufer unabhängiger Spritzbetonmanipulator eingesetzt. Auf dem großen Wagen befanden sich zwei Querfahrwagen mit kompletter Spritzeinrichtung, die zusammen im Tunnelprofil einen Bereich von 250° abdeckten. Die zwei Spritzdüsenwagen konnten 3 m längs verfahren werden. Die beiden Düsenwagen konnten im Teilautomatik-Modus sowie im konventionellen Handbetrieb mittels Funkfernsteuerung betrieben werden. Im Teilautomatik-Modus bewegten sich die Düsenwagen in Längs- und Querrichtung selbständig.

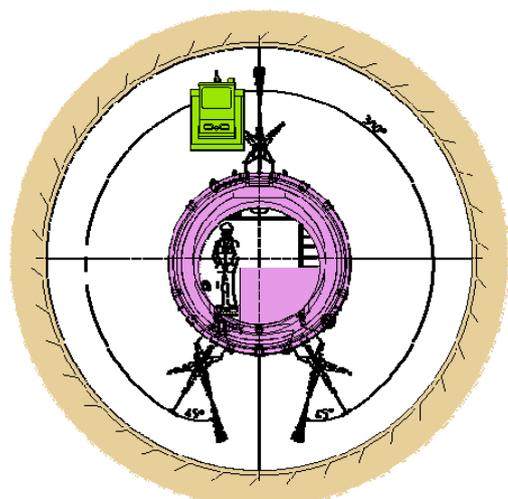
Weiters verfügte der Spritzbetonmanipulator L2 über eine Arbeitsbühne und seitliche Podeste, um die Zugänglichkeit an das Parament zu gewährleisten. Damit waren zusätzliche Felssicherungsarbeiten möglich.

Die hoch mechanisierte Felssicherung stellte im Projekt Uetliberg aufgrund der anspruchsvollen geologischen Verhältnisse einen entscheidenden Erfolgsfaktor für den Vortrieb dar. Die erfüllten Hauptanforderungen waren hohe Einbauleistungen, flexible Interventionsmöglichkeiten im Regel- und Sonderbetrieb und hohe Verfügbarkeit des gesamten Sicherungs- und Ausbausystems in den Bereichen L1 und L2 (Anker, Netze, Einbaubögen und Spritzbeton).

### 3. Maßgeschneiderte Lösung für den Gotthard-Basistunnel

Vom Zwischenangriff Amsteg aus fuhren zwei TBM rund 11 km der beiden Gotthard-Basistunnelröhren (Durchmesser 9,58 m) in Richtung Süden auf, bis sie mit dem Vortrieb des Teilabschnittes Sedrun zusammentrafen (siehe auch Abschnitt 7). In der hoch mechanisierten Nachlaufinstallation sicherte ein längs verschiebbarer Spritzbetonmanipulator den Ausbruchquerschnitt (Bild 4).

In der günstigen Geologie wurden sehr hohe Vortriebsleistungen erreicht. Dank der optimierten Längs-Verfahrbarkeit von 8 m entstand durch den Einsatz des Spritzbetonmanipulators keine Verzögerung. Durch den 360° Arbeitsbereich des Spritzbetonmanipulators konnte zudem auf ein zweites Gerät verzichtet werden.



*Bild 4: Längs verfahrbarer Spritzbetonmanipulator mit 360° Arbeitsbereich (Gotthard-Basistunnel – Teilabschnitt Amsteg/Erstfeld).*



*Bild 5: Spritzbetonmanipulator im Konsolidierungsbereich (Gotthard-Basistunnel – Teilabschnitt Amsteg/Erstfeld).*

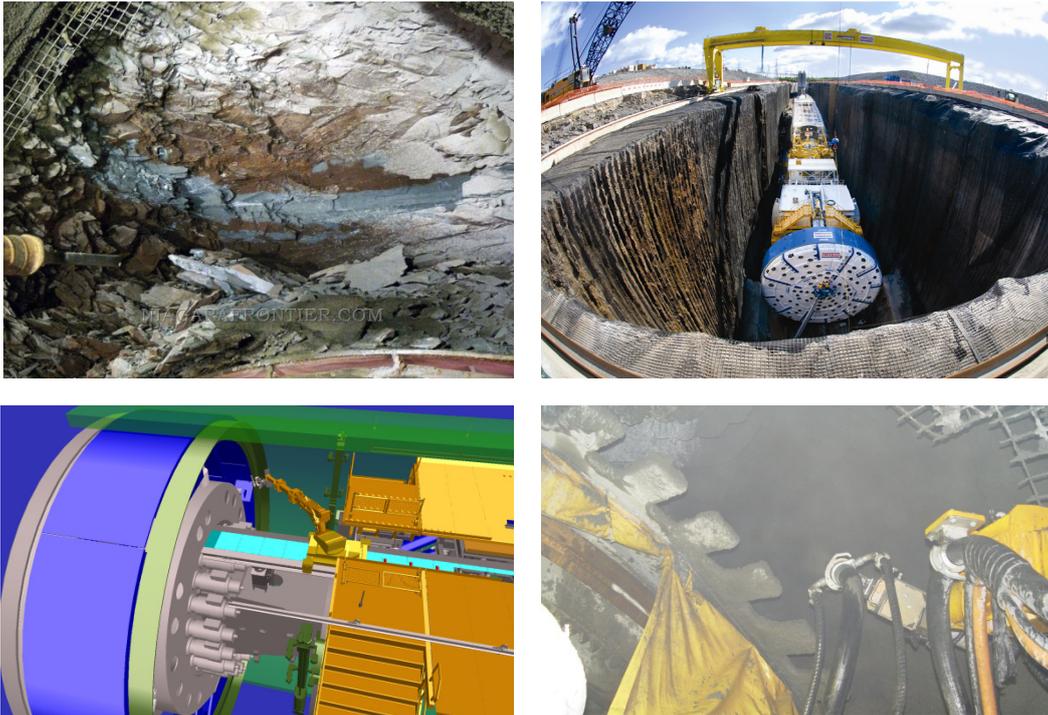
Alle Einrichtungen wurden zur höchstmöglichen Verfügbarkeit so konstruiert, dass ein Rückprall auf Antrieb- und Verschleißteile möglichst verhindert werden konnte (Bild 5). Bei der Konstruktion musste außerdem die Durchfahrt für die Monorail (siehe auch Bild 4) berücksichtigt und deren Hängeschienen geschützt werden.

Die optimierte und maßgeschneiderte Nachlaufinstallation erreichte bereits bei Inbetriebnahme die vertraglichen Leistungen. Dank den großzügigen Arbeitsflächen und dem flexiblen Logistikkonzept konnten selbst bei schwierigen geologischen Verhältnissen umfangreiche Felssicherungsarbeiten effizient ausgeführt werden. Die gleiche Installation kam später auch beim Auffahren des Gotthard-Basistunnel - Teilabschnitt Erstfeld erfolgreich zum Einsatz.

#### **4. Konstruktive Besonderheiten durch riesigen Durchmesser, schwierige Geologie und Tunnelführung**

Das parallel geschichtete, quellfähige Gestein im Niagara Tunnel Facility Project erforderte eine neue Definition der Schnittstelle zwischen Gripper-TBM und Nachläuferkonstruktion. Die sofortige Felssicherung im horizontal geschichteten Gebirge musste unmittelbar hinter dem Fingerschild und somit im Bereich L1 der TBM, mit einem leistungsstarken Spritzbetonmanipulator erfolgen (Bild 6). Dieser bestrich einen Umfang von 200°.

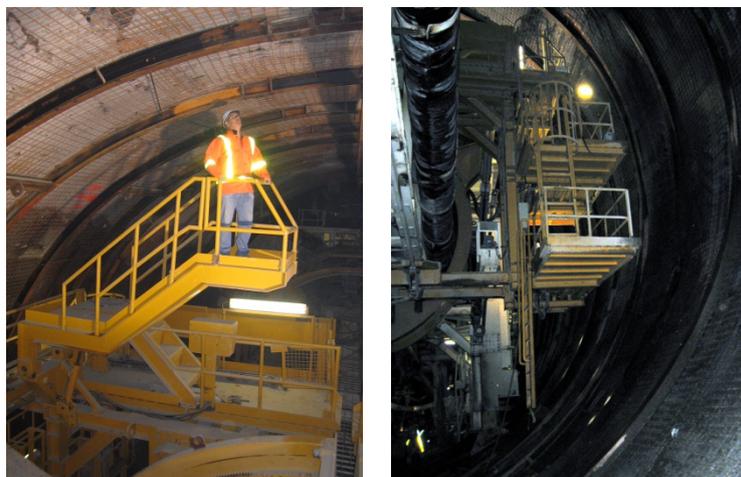
Beim imposanten Durchmesser von 14,40 m konnten durch verschiebbare Arbeitspodeste über vier Ebenen sicherere und humanere Arbeitsbedingungen auch beim Versetzen der Anker, Netze und Bögen erreicht werden (Bild 7).



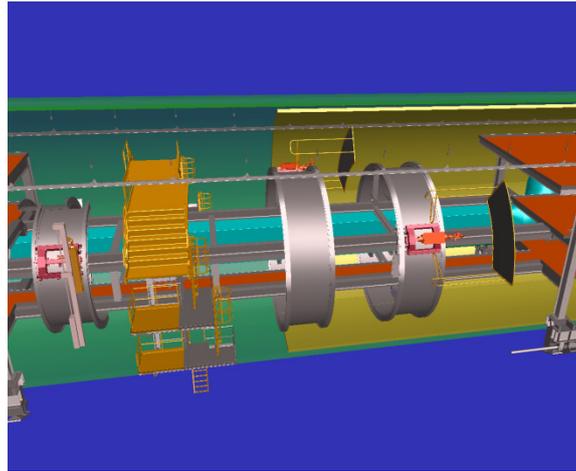
*Bild 6: Parallel zum Tunnel geschichtetes, quellfähiges Gestein (Bild: Frontier Kemper); Gesamtansicht der Vortriebsinstallation, gelb die Einrichtungen für die Fellsicherung und für die Konsolidierung; Spritzroboter im Bereich L1 direkt hinter dem Fingerschild.*

Der große Durchmesser stellte darüber hinaus hohe Anforderungen an Logistik und Konsolidierung. Zur Verbesserung des Verhältnisses Vortriebszeit zu Konsolidierungszeit, d.h. keine Einschränkung der Vortriebsleistung durch die große Einbaumenge an Spritzbeton, kamen im Bereich L2 zwei voneinander unabhängige, längs verfahrbare Spritzbetonmanipulatoren mit einem Einsatzbereich von 360° zum Einsatz (Bild 8).

Eine weitere Herausforderung im Projekt waren die wechselnden Neigungen. Zunächst tauchte die TBM mit 7,8 % in den Untergrund, fuhr dann rund 7,4 km beinahe horizontal, um dann mit 7,3 % Steigung wieder aufzutauchen. Dies bedingte bei der Konzeption der Nachläuferkonstruktion viele Besonderheiten. Insbesondere mussten sämtliche Geräte für fallenden und steigenden Vortrieb ausgelegt werden.



*Bild 7: Mobile Arbeitspodeste in den Bereichen L1 und L2.*



*Bild 8: Zwei voneinander unabhängig verfahrbare Spritzbetonmanipulatoren mit 360°- Einsatzbereich.*

## 5. Spritzbeton für endgültigen Gewölbeausbau in Schrägschacht

Zur Erschließung der unterirdischen Kraftwerkszentralen des Projektes Linthal 2015 ist von Tiefelhd (Kant. Glarus, Schweiz) aus ein 3800 m langer Schrägstollen mit 8 m Durchmesser und einer Neigung von 24 % aufzufahren. Für den Ausbruch des bisher größten mechanisch aufgefahrenen ansteigenden Schrägstollens wird eine Doppelgripper-Tunnelbohrmaschine eingesetzt. Der endgültige Gewölbeausbau in Spritzbeton wird während des TBM-Vortriebs als nachlaufende Baustelle im Nachläuferbereich vorgenommen. Dazu sind eine Netzeinbaubühne und 2 Spritzbetonmanipulatoren mit einer maximalen Leistung von 11,5 m<sup>3</sup>/h in die Nachläuferkonstruktion integriert worden. Die beiden Geräte sind auf einem 11,5 m langen, längs verfahrbaren Chassis aufgebaut (Bild 9). Sie arbeiten unabhängig voneinander und können jeweils einen Bereich von rund 135° abdecken.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Einkapselung des Konsolidierungsbereiches geschenkt, damit der sich entwickelnde Staub abgesaugt werden kann und nicht durch die nachgeschalteten Arbeitsstellen wandert. Zur Entsorgung des Rückpralls dienen 4 Auffangkübel auf längs verfahrbaren Schlitten direkt unterhalb der Spritzdüse (Bild 10). Die Entsorgung erfolgt über die Versorgungsbahn. Durch das realisierte System konnte die händische Sohlenreinigung minimiert und das gefährliche Manövrieren eines Sohlenreinigungsbaggers im Fluchtweg ausgeschlossen werden [4].



*Bild 9: Netzeinbaubühne und zwei Spritzbetonmanipulatoren auf dem längs verfahrbaren Chassis.*



Bild 10: Rückprallentsorgung (unten links) und Abdichtwand für die Absaugung des Staubes.

### 6. Spritzbetonmanipulatoren integriert in Nachläufersysteme für den konventionellen Vortrieb

Auch beim konventionellen Vortrieb stellt sich das Problem der gleichzeitigen Arbeiten und der engen Platzverhältnisse. Nachläufersysteme sind deshalb ein wichtiges Element zur Leistungssteigerung und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit geworden. Um eine zweite Arbeitsebene zu bilden, kommen vermehrt Hängebühnen zum Einsatz [5, 6]. Auf diesen Bühnen sind die gesamten Installationen platziert, häufig aber auch Verladebandanlagen und Hebeeinrichtungen für den Materialumschlag.

Der Rohtang-Pass ist ein strategisch wichtiger Gebirgspass in Nord-Indien im Inneren des Himalaya-Gebirges (Pir Panjal Range) auf der Route des Manali-Leh-Highways. Zurzeit wird auf 3'100 müM ein 8'800 m langer Straßentunnel mit zwei Fahrstreifen gebaut, um den Pass auch im Winter befahren zu können. Unter der Hängebühne arbeitet ein verfahrbarer Spritzbetonmanipulator zur Konsolidierung der Sohle und der Ulme. Das Gerät kann in einem 60 m langen Bühnenabschnitt eingesetzt werden. Dabei beträgt der Arbeitsbereich 12 m und 210° (Bild 11).

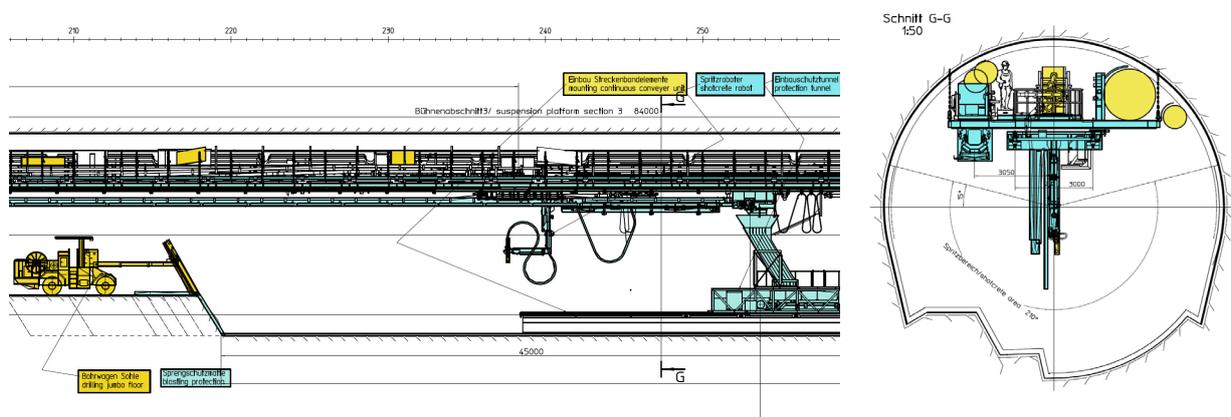


Bild 11: Aufgehängter Spritzbetonmanipulator zur Konsolidierung des Sohl- und Ulmbereiches (Rohtang-Tunnel, Indien).

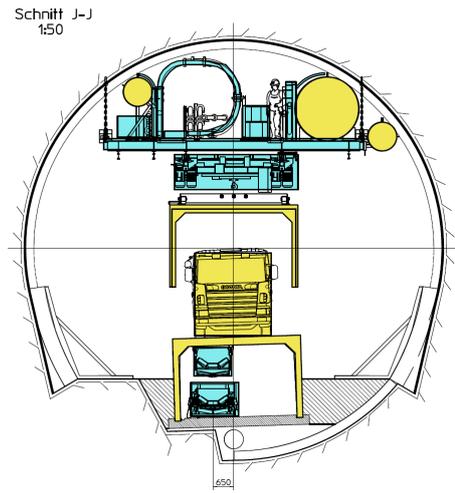
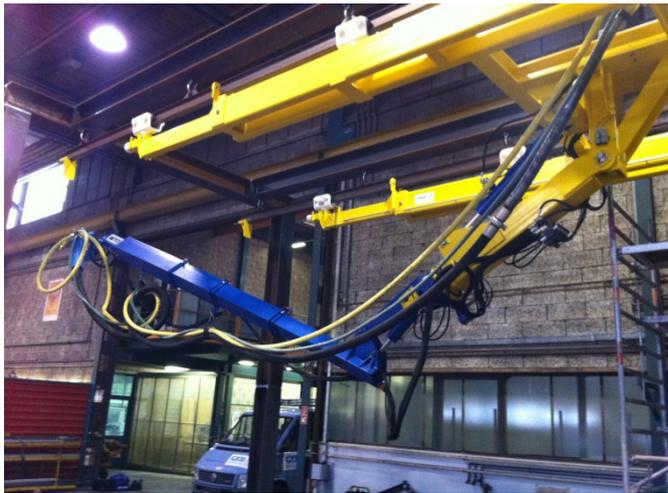


Bild 12: Spritzbetonmanipulator für den Rohtang-Tunnel während der Werksmontage; Sohlbeton für den Fluchtstollen.

Mit der gleichen Einrichtung kann in einem späteren Arbeitsschritt auch der Sohlbeton für den Fluchtstollen eingebracht werden (Bild 12). Für diese sehr exponierte Baustelle waren eine robuste Konstruktion und eine einfache Bedienung wichtige Faktoren, die es zu berücksichtigen galt.

### 7. Erhöhung der Arbeitssicherheit und Terminvorteil bei der Meisterung von druckhaftem Gebirge

Mit einem speziellen System der Ausbruchssicherung konnte der geotechnisch anspruchsvollste konventionell auszubrechende Abschnitt des Gotthard-Basistunnels mit druckhaften Zonen in den Nord-Vortrieben des Teilabschnittes Sedrun durchfahren werden [7]. Der Ausbruch erfolgte unter Einsatz von Brust- und Radialankern, massivem Stahleinbau und Spritzbeton. Das gewählte Konzept des deformierbaren Stahleinbaus wurde in diesen Dimensionen zuvor noch nirgends eingesetzt.

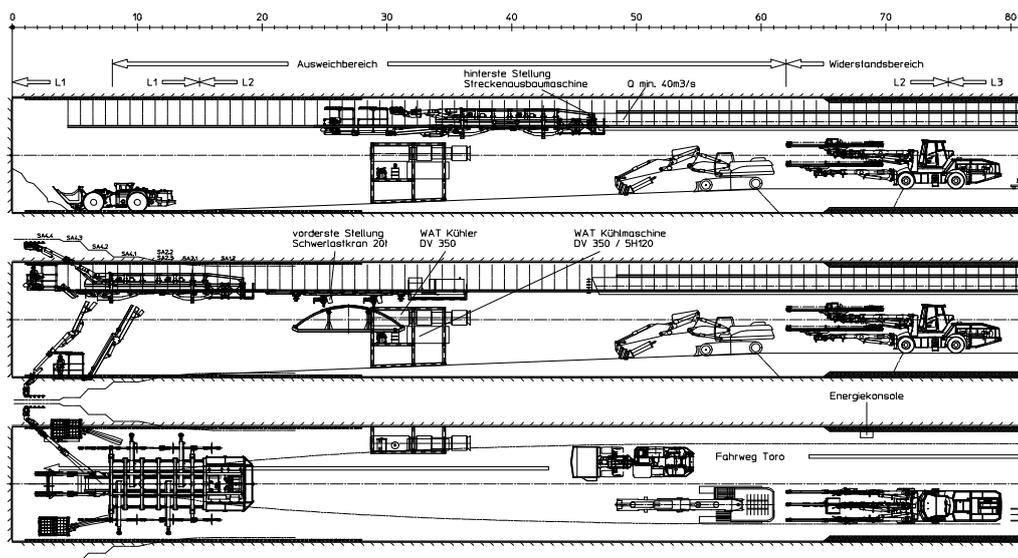


Bild 13: Layout der Installationen für den Vortrieb im druckhaften Gebirge des Gotthard-Basistunnel – Teilabschnitt Sedrun.

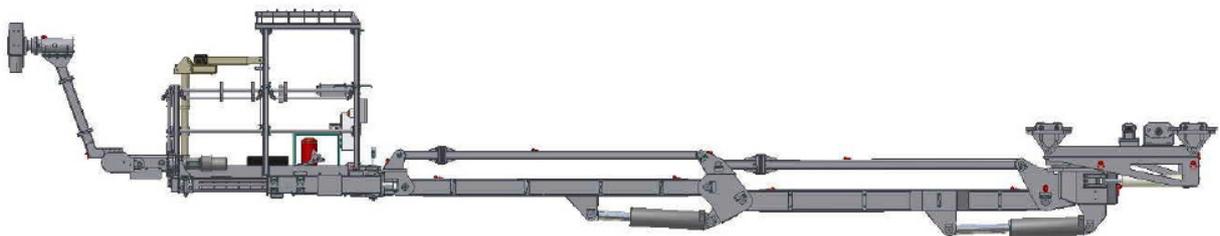


*Bild 14: Streckenausbaumaschine mit Arbeitskörben, Versetzarm und Spritzbetonmanipulator (Gotthard-Basistunnel – Teilabschnitt Sedrun).*

Mit einer maßgeschneiderten Vortriebsinstallation, bestehend aus Streckenausbaumaschine, Hängebühne und Versorgungszug konnte ein rascher Ringschluss unter effizienten, flexiblen und sicheren Arbeitsbedingungen erreicht werden (Bild 13).

Vorne stand eine Streckenausbaumaschine mit Arbeitskörben, Versetzarmen und Spritzbetonmanipulator. Einbaubögen wurden paket- und segmentweise montiert (Bild 14). Der aufgebaute Spritzbetonmanipulator versiegelte das Profil. In ausgeklappter Arbeitsposition konnte mit dem Spritzbetonmanipulator der gesamte Querschnitt mit bis zu 13 m Durchmesser bestrichen werden (Bild 15).

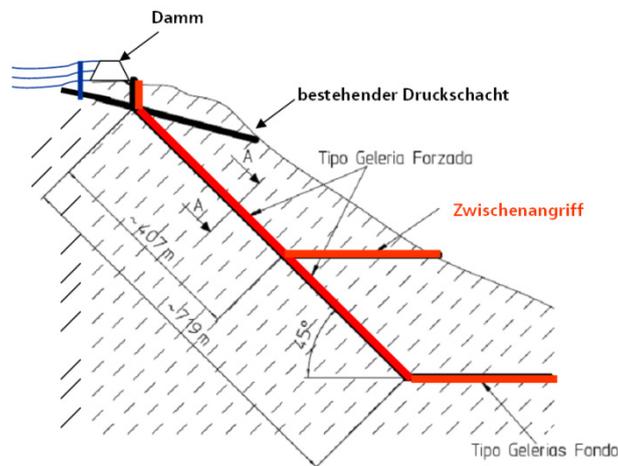
Dank des gewählten Anlagekonzepts konnte die Aufgabe erfolgreich gemeistert sowie die durchschnittliche Vortriebsleistung auf 1,34 m/Tag erhöht werden [8]. Der Durchschlag erfolgte neun Monate vor dem vertraglichen Termin.



*Bild 15: Spritzbetonmanipulator zur Versiegelung der Ortsbrust und des Profils im druckhaften Gebirge des Gotthard-Basistunnels – Teilabschnitt Sedrun.*

## 8. Hochmechanisierter Sprengvortrieb im Schrägschacht

Beim Projekt *La Muela II* handelte es sich um die Erweiterung eines bestehenden Pumpspeicherwerkes in Valencia, Spanien mit einer zweiten Druckleitung. Diese wird untertage in einem Schrägschacht (Länge 719 m, Ausbruchprofil 35 m<sup>2</sup>, Gefälle 45°; Bild 16) geführt.

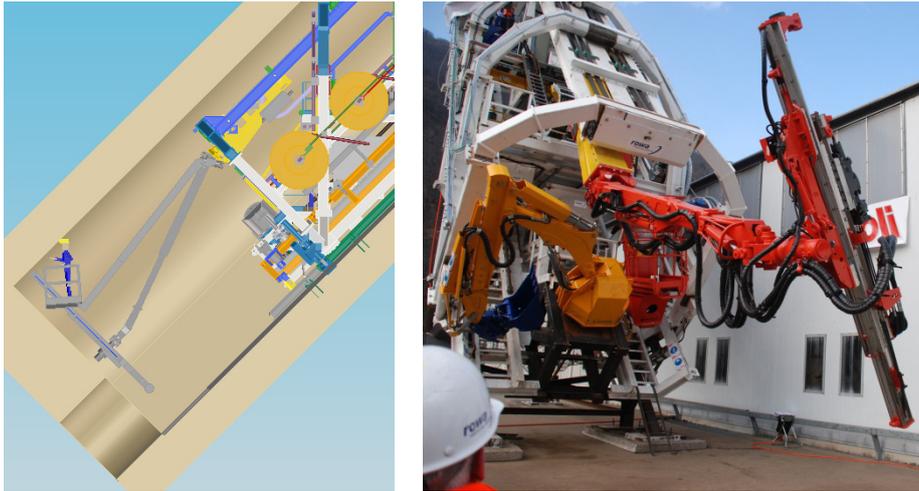


*Bild 16: Der Schrägschacht für die zweite Druckleitung des Pumpspeicherwerkes La Muela II wurde im fallenden Sprengvortrieb erstellt.*

Bei der Auslegung der Vortriebsinstallation ging es im Wesentlichen darum, aufgrund der erschwerten Arbeitsbedingungen im Schrägschacht mit fallendem Sprengvortrieb die einzelnen Arbeitsabläufe weitgehend zu mechanisieren. Sämtliche erforderlichen Geräte und Installationen mussten möglichst kompakt in ein Gesamtsystem integriert werden. In der auf Schienen geführten und mittels Litzenhubgeräten befahrbaren Vortriebsinstallation fanden unter anderem eine Bohreinrichtung, ein Schuttersystem und eine Spritzbetoninstallation Platz (Bild 17).



*Bild 17: Vortriebsinstallation mit integrierten Geräten und Installationen für den fallenden Sprengvortrieb La Muela II.*

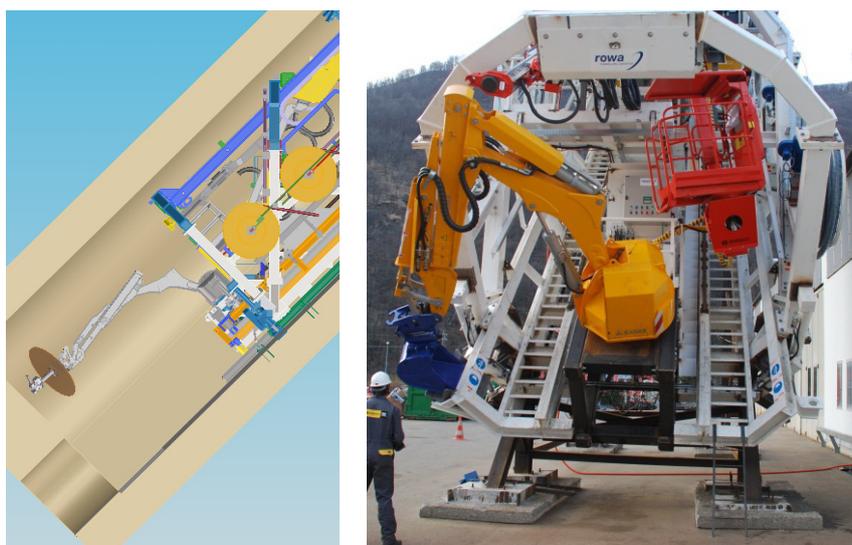


*Bild 18: Bohreinheit bestehend aus Bohrrarm, Rollover mit Schwenkwerk, Teleskoplafette und Bohrhämmer; teleskopierbarer Ladekorb.*

Die Ver- und Entsorgung der Vortriebsinstallation erfolgte über einen schienenengebundenen Versorgungswagen. Dieser wurde über die in der Startkaverne installierte Doppelseilwinde betrieben. Für die Felssicherung wurde das gleiche Bohrgerät wie für die Sprenglochbohrungen eingesetzt. Die 3 bis 4 m langen Felsanker wurden mit dem teleskopierbaren Ladekorb versetzt (Bild 18).

Mit einem Spritzbetonmanipulator, welcher über ein automatisches Schnellwechselsystem am Baggerarm adaptiert wurde, wurde der Spritzbeton im Nassspritzverfahren auf das gesamte Tunnelprofil appliziert (Bild 19).

Die hochmechanisierte Sprengvortriebsinstallation stellte eine echte Innovation dar und wurde als Projekt in das EU-Programm Eureka aufgenommen. Es entstand ein durchdachtes Vortriebssystem mit hoher Produktivität und vorgegebenen Prozessen. Besonders wichtig für den fallenden Vortrieb eines Schrägschachtes war die Humanisierung der Arbeitsplätze mit hohen Sicherheitsstandards.



*Bild 19: Der Baggerarm diente auch als Spritzbetonmanipulator.*

## 9. Zusammenfassung

Die Gestaltung der Bereiche L1 und L2 einer Tunnelvortriebsinstallation muss möglichst optimal auf die Bedürfnisse der Sicherheits- und Ausbauarbeiten ausgerichtet sein. Damit diese Prozesse für den Unternehmer unter optimalen Bedingungen im Betrieb umgesetzt werden können (hohe und konstante Vortriebsleistungen, betriebssichere Operation der Geräte und leistungsfähige Versorgungslogistik), sind die Geräte für den Einbau von Ankern, Netzen und Spritzbeton bei der Konzipierung von Nachlaufinstallationen möglichst früh als Hauptkomponenten und Leistungsträger zu berücksichtigen. Die Zeiten, als man auf einer fertig konzipierten Vortriebsinstallation (TBM mit Nachlaufinstallation) noch irgendeinen Platz für den Aufbau einer Spritzbetoneinrichtung gesucht hat, sind definitiv vorbei.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass gute Ideen in einer frühen Projektphase den Erfolg nachhaltig beeinflussen. Es ist stets das Ziel der Rowa Tunnelling Logistics AG, zusammen mit ihren Kunden projektspezifisch die technisch und wirtschaftlich optimale Lösung zu finden.

## 10. Literatur

- [1] Girmscheid, G.:  
Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – TBM-Systeme. Bauingenieur 77 (April 2002), 173-183.
- [2] Girmscheid, G.:  
Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – TBM-Logistiksysteme. Bauingenieur 77 (Mai 2002), 222-227.
- [3] Girmscheid, G.:  
Hochleistungsvortrieb im Tunnelbau – Industrialisierungstendenz im Sprengvortrieb. Bauingenieur 77 (Juni 2002), 266-276.
- [4] Jenni, H.; Mayer, C. M.:  
Kraftwerk-Projekt Linthal 2015. Tunnel 8/2010, 37-42.
- [5] Belloli, A.:  
Nachläuferkonstruktionen – Konzeption in TBM- und konventionellen Vortrieben. Swiss Tunnel Congress 2011 – Fachtagung für Untertagebau, ISBN 978-3-7625-3645-1, Luzern, 8. - 9. Juni 2011, 182-193.
- [6] Belloli, A.; Jenni, H.:  
Hohe Mechanisierung für die konventionellen Hauptvortriebe des Ceneri-Basistunnels. Tunnel 4/2011, 48-54.
- [7] Ehrbar, H.:  
Gotthard Base Tunnel, Switzerland. Experiences with different tunnelling methods. 2° Congresso Brasileiro de Tunéis e Estruturas Subterrâneas. Seminário Internacional „South American Tunneling“, 2008.
- [8] AlpTransit Gotthard (Hrsg.):  
Das Jahrhundertbauwerk entsteht. Gotthard-Basistunnel – Der längste Tunnel der Welt. 1. Auflage, ISBN 978-3-7272-1211-6, Stämpfli Verlag AG, Bern, 2010.

## Zu den Autoren

Dipl. Masch.-Ing. FH Heinz Jenni  
Studium des Maschinenbaus an der HTL Luzern, seit 1996 Gesamtprojektleiter bei der Rowa Tunnelling Logistics AG  
[h.jenni@rowa-ag.ch](mailto:h.jenni@rowa-ag.ch)

Dr. sc., Dipl. Masch.-Ing. ETH Alberto Belloli  
Studium des Maschinenbaus an der ETH Zürich, Dissertation an der ETH Zürich, Mitinhaber der Rowa Tunnelling Logistics AG  
[a.belloli@rowa-ag.ch](mailto:a.belloli@rowa-ag.ch)