

# TIEFER EINSCHNITT

Der Baugrund – der grösste Unsicherheitsfaktor, wenn neue Verkehrswege unter die Erdoberfläche, in Einschnitte und Tagbautunnels, verlegt werden. Auch die Rhoneebene bei Turtmann hat sich beim Bau des Tagbautunnels der A9 als weicher, instabiler Baugrund erwiesen. Die Grundbautechnik ist hier mehrfach gefordert: In der tiefen Baugrube kann der Tunnel nur gebaut werden, wenn die Sicherungskonzepte für Wände und Sohlen funktionieren.

Zwischen Sierre und Visp wird die vierspurige Autobahn A9 unter der Bauherrschaft des Kanton Wallis, Amt für Nationalstrassenbau, erstellt. Neben der Umfahrung Visp, als grosse Untertagebaustelle, sind auf dem ganzen Abschnitt verschiedene Ingenieurbauwerke im Bau, darunter der gedeckte Einschnitt Turtmann mit einer Länge von 1350m. Die bautechnische Herausforderung ist hier der schwierige Baugrund und die dadurch bedingte Baugrubensicherung. Die teilweise geringen Abstände zu setzungsempfindlichen Produktionsanlagen erfordern den Einsatz deformationsarmer Baumethoden mit sehr grossem Planungs- und Überwachungsaufwand.

Der Tagbautunnel Turtmann wird zwischen den SBB-Gleisen im Norden und dem Industriegebiet von Turtmann im Süden mit maximalen Baugrubentiefen bis ca. 17m geführt (Abb. 1). Das Bauwerk besteht aus zwei miteinander verbundenen Gewölben mit doppelspurigen Fahrstreifen der A9 sowie einem oben liegenden Leitungskanal (Abb. 3 unten).

## BAUTECHNISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

Zwischen dem Schuttfächer des Illgrabenbaches und der Engstelle beim Schuttfächer Gampel/Steg resp. Riedberg liegt die Talebene Turtmann. Gebildet wurde sie durch mehrmalige Zyklen von Bergstürzen bzw. Murgängen mit nachfolgendem Rückstau der Rhone und erfolgter Stauverlandung und partieller Erosion der Auflandungsebene. Als Ergebnis liegt nun eine quartäre Talfüllung von grosser Mächtigkeit vor, wobei die Schichten in etwa oberflächen-parallel verlaufen. Diese Schichten lassen sich als Wechsellagerung von locker gelagerten, wasserführenden Sanden und deformationsempfindlichen, wasserundurchlässigen siltig-tonigen Zwischenschichten von bis zu 15m Mächtigkeit charakterisieren. Das Grundwasser steht bis auf Niveau der Terrainoberfläche.

Im nahen Umfeld des Bauwerks befinden sich Industriehallen mit sensiblen Fertigungsstrassen, ein Käseereibetrieb, der SBB-Bahnhof Turtmann sowie eine Strassenbrücke, bei der zwei Stützenfundamente von dem Tunnelbauwerk aufgrund ihrer Nähe direkt betroffen sind.

## BAUPHASE 2004/2005

Das Bauwerk wurde in drei Lose unterteilt und jeweils separat vergeben («Wanne West», «Wanne Ost» und «Haupttunnel»). In den Jahren 2004 und 2005 wurden die beiden Wannen erstellt und ab Mitte 2005 mit den Arbeiten am Haupttunnel im Bereich des tiefsten Ausbaus (Pumpwerk) begonnen.

Während des Baugrubenaushubs und des Einbaus der zweiten Ankerlage stellten sich bereits sehr grosse Deformationen sowohl der Baugrubenwände (Spundbohlen) als auch der Geländeoberfläche ausserhalb der Baugrube ein. Die Arbeiten wurden deshalb unterbrochen und Massnahmen zur Beherrschung dieser neuen Gegebenheiten realisiert:

- Verdichtung der Bodenuntersuchungen inklusive zusätzlichen Labor- und Feldversuchen
- Verdichtung des Monitorings der Baugrube und des Umfeldes
- Anpassung der Baumethoden und Optimierung des Baugrubenkonzeptes zur Minimierung der Verformungen
- Bauliche und technische Massnahmen zur Minimierung des Einflusses eventueller Verformungen und Verkippungen bei den umliegenden Bauwerken und Industrieanlagen.

### AM BAU BETEILIGTE:

**Oberaufsicht** Bundesamt für Strassen (ASTRA)  
Bern- Ittigen

Abteilung Strasseninfrastruktur  
Bereich Netzvollendung

#### **Bauherr und Gesamprojektleitung**

Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt

Amt für Nationalstrassenbau, Brig-Glis

#### **Ingenieur**

Gruner AG, Ingenieure und Planer, Geschäftsbereich Tiefbau, Basel

#### **Hauptunternehmer**

ARGE GEBAT

Losinger AG, Sion / Dénériaz Sion SA / Evéquoz SA / Frutiger AG / Imboden Ulrich AG / Theler AG

#### **Schlitzwandlos**

ARGE Schlitzwand

Eggstein AG, Kriens

Züblin Spezialtiefbau GmbH, Stuttgart

#### **Bauwerksdaten**

4-spurige Autobahn mit Lichttraumprofil nach SIA 1972

Längen: Wanne West m, Tagbautunnel 1350 m, Wanne Ost m

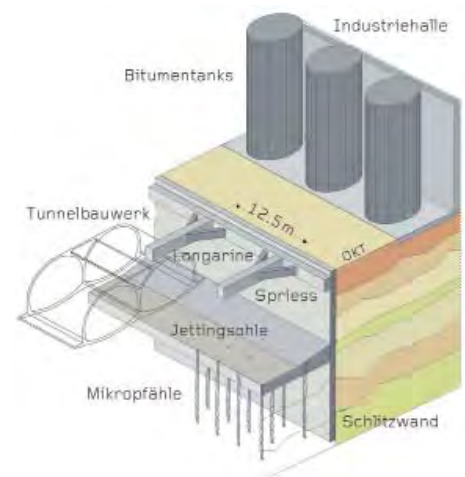
Doppelgewölbequerschnitt mit oben liegendem Leitungstunnel in der Mitte



01

**01** Baugrubensicherung durch vierfach verankerte Spundwand (Spundwandlänge 31 m) mit Spundwandquerschott (freigelegter Spundwandkopf im Bild vorn) im Bereich der Baugrube bei Pumpwerk. Die Baugrube erreicht hier eine Tiefe von ca. 13 m. Im Bild sind rechts die Industrieanlagen sichtbar. Das rote Gerät ist die Ankerbohrmaschine für die Jettinganker. Die Bohr- und Jettinglafette hat eine Länge von 25 m (Foto und Bilder: Gruner AG)

**02** Baugrubenkonzept mit gespriesster Schlitzwand und Jettingsohle im Abschnitt Industrie



02

### BAUGRUBENSICHERUNG

Die Messungen der Setzungen der Geländeoberfläche haben gezeigt, dass die ursprünglich vorgesehene Baugrubensicherung mit durch Vibrationshammer einvibrierten 31 m langen Spundwandbohlen inakzeptable Setzungen verursachte. Als Alternative wurde im vorliegenden weichen Baugrund das teilweise Einpressen der Bohlen mit hydraulischen Pressen erprobt, was aber zu ungewissen Ergebnissen führte. In den Bereichen mit Industrie- und Infrastrukturbauten favorisierten die Ingenieure deshalb eine Baugrubensicherung mit Schlitzwänden. Mit dieser verhältnismässig aufwendigen Baumethode konnten die Setzungen und die Ausführungsrisiken minimiert werden. Zudem reduzierte diese Baumethode die Anzahl Abspriessungen bzw. Rückverankerungslagen und die Verformungen der Bodenvolumina hinter der Baugrubenwand durch die Wahl einer deutlich steiferen Verbaulösung.

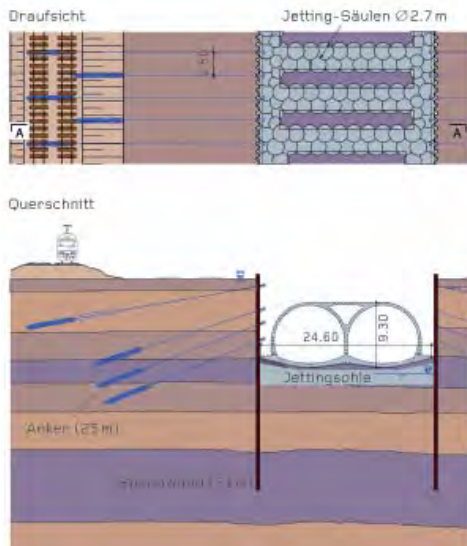
### OPTIMIERUNG DES BAUGRUBENKONZEPTE

Mit Blick auf die festgestellten Verformungen wurde das Hauptbauwerk in ca. 300 m lange Abschnitte eingeteilt. Somit war es möglich, die unterschiedlichen Randbedingungen der Abschnitte optimal zu berücksichtigen und in die Planung der Baugrubenabschlüsse detailliert einfließen zu lassen. Die einzelnen Baugrubenabschnitte sind durch Querschotte voneinander getrennt und können unabhängig gebaut werden. Sobald ein Querschott gebaut ist, kann der Bauabschnitt hinterfüllt und in diesem die Wasserhaltung abgestellt werden. Mit der Simulation verschiedener Ausführungsvarianten mit klassischen und FE-Methoden konnte das Baugrubenkonzept technisch und kostenmässig optimiert und die Verformungen konnten minimiert werden. Die FE-Simulationen führten dazu, dass die ursprünglich geplante, rückverankerte Spundwand teilweise durch Schlitzwände mit vorgespannten Spriessen ersetzt wurde. Eine wichtige Folgerung der Simulationen ist auch das Einbringen einer unterirdischen Spriesslage in Form einer Jettingsohle zur Stützung der Baugrubenwände vor dem Baugrubenaushub.

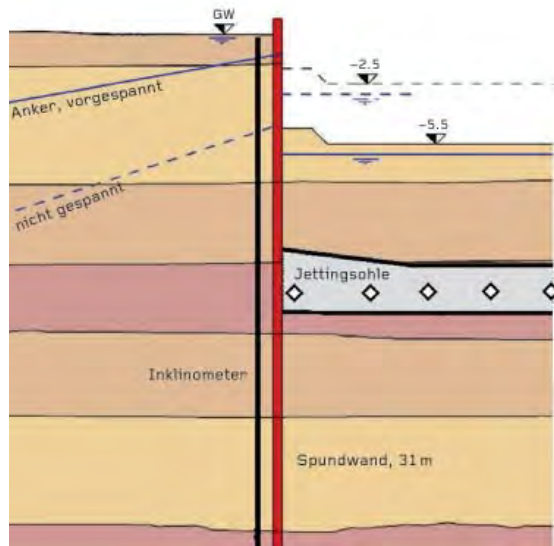
Aus den Untersuchungen resultierten die zwei in Abb. 2 und 3 dargestellten Baugrubenkonzepte. Beide Varianten stützen sich auf eine als unterirdische Spriesslage wirkende Jettingsohle unterhalb der Baugrubensohle. Die in Abb. 3 gezeigte Lösung mit vorgespannten Spriessen in Kombination mit einer Schlitzwand kommt im Bereich der Industrieanlagen zum Einsatz, in dem die Verformungen des Baugrubenumfeldes möglichst minimiert werden sollen. In den anderen, weniger kritischen Bereichen wurde eine Rückverankerung mittels Jettingankern entweder mit einer Schlitzwand oder einer Spundwand vorgesehen (Abb. 1).

### JETTINGSOHLE

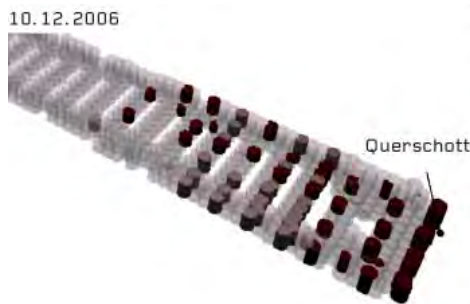
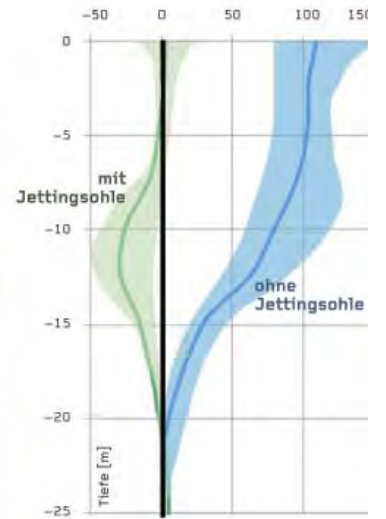
Die Jettingsohle, die als unterirdische Spriesslage die nur in geringem Umfang vorhandene Tragfunktion des Bodens zwischen den Baugrubenwänden unterhalb der Baugrubensohle übernimmt, trägt entscheidend zum stabilisierenden Effekt des Baugrubenverbaus bei. Bei



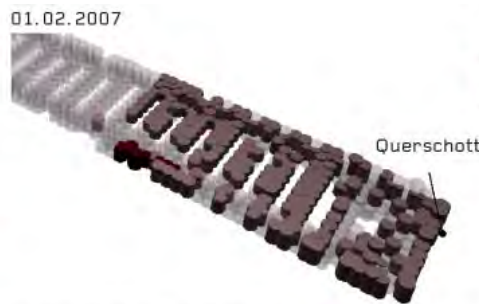
03



04

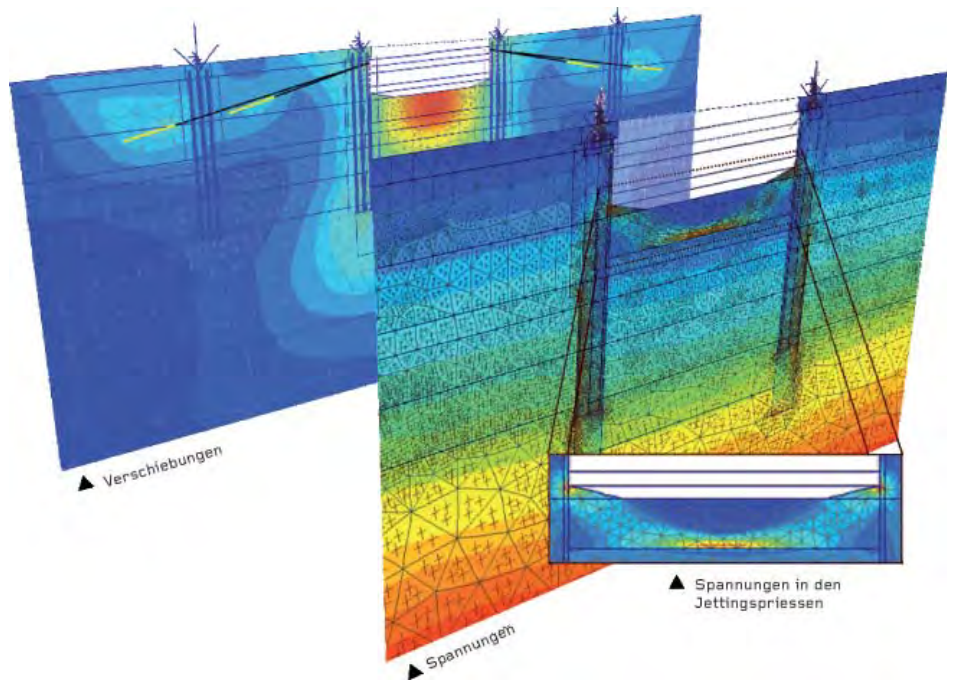


05



Farbschema der Säulen:  geplant  ausgeführt, Alter ≤ 10 Tage  ausgeführt, Alter > 10 Tage

- 03 Baugrubenkonzzept mit Jettingsohle (Grundausführung)
- 04 Auswirkung der Jettingsohle auf die Verformung der Baugrubenwand
- 05 Bauzustände während der Erstellung der Jettingsohle
- 06 Gegenüberstellung der geplanten (rechts) und ausgeführten (links) aufgelösten Jettingsohle
- 06 Numerische Modellierung der Unterfangung von zwei Pfeilern der Brücke Getwing



06

der nach der Einbringung der Baugrubenwände (Spundwände oder Schlitzwände) erstellten Jettingsohle sind die Säulen nicht als durchlaufende Front angeordnet; zur Minimierung der Spannungsinduzierung sind sie in einer zufälligen Reihenfolge erstellt worden (Abb. 4). Abb. 5 zeigt die Auswirkung der Jettingsohle auf die Verformung der Baugrubenwand im Bereich mit einem rückverankerten Spundwandverbau. Der im Diagramm blau hinterlegte Schwankungsbereich zeigt die Verformungen ohne Jettingsohle. Für diesen Fall findet eine Verschiebung des Spundwandkopfes in Richtung Baugrube von 8 bis 15 cm statt. Diese Deformation ist mit einer vergleichsweise geringen Biegung der Spundwandbohlen verbunden. Das Verformungsbild der Spundwandbohlen kann eher als Verdrehung um den Fusspunkt charakterisiert werden, wobei durch das unter der Baugrubensohle verbliebene Bodenvolumen keine ausreichende Stützwirkung mobilisiert werden kann. Eben diese fehlende Stützwirkung wird durch die nun verwendete Jettingsohle übernommen, so dass der im Diagramm grün hinterlegte Deformationsbereich mit Jettingsohle am Kopf der Spundbohlen  $\pm 0$  cm beträgt. Ein weiteres interessantes Detail zeigt sich für das Verformungsbild der Spundwand mit Jettingsohle auf Höhe der Jettingsäulen: Der vor dem Jetting eingebaute Verbau wird durch die mit dem Jetting verbundenen Drücke leicht nach aussen gedrückt. Dieser Effekt ist im Diagramm als Ausbauchung sichtbar.

#### NUMERISCHE NACHRECHNUNG DER OPTIMIERUNGEN

Als Ergänzung zu den klassischen Bemessungsverfahren wurden Finite-Elemente-Modelle verwendet, um die zu erwartenden Verformungsbilder der einzelnen Verbaulösungen und Verbauvarianten möglichst realistisch abzuschätzen. Neben der detaillierten Modellierung der einzelnen Arbeitsschritte ausgehend von einem Zeitpunkt vor Baubeginn, bis zum hinterfüllten und in Betrieb genommenem Tunnel, wurde besonderes Augenmerk auf die realistische Darstellung des initialen Zustandes des Bodens und dessen konstitutive Modellierung gelegt. Die einzelnen Materialmodelle und zugehörigen Parametersätze wurden an verschiedenen in-situ und im Labor bestimmten Messwertreihen validiert und kalibriert.

Als Beispiel für die durchgeführten Berechnungen zeigt Abb. 6 Ausschnitte aus den Resultaten der numerische Modellierung der Unterfangung der Strassenbrücke Getwing, die den Einschnittungefähr ungefähr rechtwinklig quert, im Zustand des Endaushubs. Zwei nahe am zu erstellenden Tunnel gelegene Brückenpfeiler wurden mittels Jetting unterfangen. Durch die wasserdichte Ausführung dieses Jettingkörpers konnte die Unterfangung auch gleichzeitig als Baugrubenwand verwendet werden. Wie in den restlichen Baugrubenabschnitten wirkte wiederum eine aufgelöste Jettingsohle als unterirdische Spriesslage. Auf der Basis dieser Berechnungen konnten die Verformungen des Brückenbauwerks abgeschätzt und ihre Warn- und Grenzwerte festgelegt werden. Die in den verschiedenen Jettingkörpern bestimmten Spannungen wurden den klassischen Nachweisverfahren gegenüber gestellt und die damit verbundenen Nachweise geführt.

#### PROJEKTSTAND

Mittlerweile ist der erste Baugrubenabschnitt von ca. 350m im Osten fertig und hinterfüllt; im zweiten- und zugleich tiefsten-Abschnitt von weiteren ca. 300m mit der Pumpstation ist der Baugrubenaushub fertig, die Pumpstation und die Hälfte des Tunnels gebaut. In den restlichen Bereichen sind die Baugrubenabschlüsse erstellt und die Jettingsohle in Arbeit. Im Bereich der Industrieanlage werden momentan die vorgespannten Spriessse eingebaut. Nach dem Terminplan der Bauherrschaft sind die Rohbauarbeiten 2014 beendet. Im Jahr 2015 erfolgt der Innenausbau und 2016 die Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen. Somit kann der Tunnel 2017 in Betrieb genommen werden.

**Hermann Kaeser**, Dipl. Bauing. ETH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Tiefbau, Gruner AG, Basel,  
Hermann.Kaeser@gruner.ch

**Jörg Meier**, Dr. Ing., Ingenieur Geotechnik, Gruner AG, Basel, Joerg.Meier@gruner.ch