

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 137 (2011)
Heft: 27-28: Unter der Oberfläche

Artikel: Tiefer Einschnitt
Autor: Kaeser, Hermann / Meier, Jörg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-154180>

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: 05.05.2025

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

TIEFER EINSCHNITT

Der Baugrund ist 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 Kantons 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 1350 m. 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 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. 17 m 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 oberflächenparallel verlaufen. Diese Schichten lassen sich als Wechsellagerung von locker gelagerten, wasserführenden Sanden und deformationsempfindlichen, wasserundurchlässigen silt-tonigen Zwischenschichten von bis zu 15 m Mächtigkeit charakterisieren. Das Grundwasser steht bis auf Niveau der Terrainoberfläche.

Im nahen Umfeld des Bauwerks befinden sich Industriehallen mit sensiblen Fertigungsstrassen, ein Käsereibetrieb, 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 zusätzlicher Labor- und Feldversuche
- 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:

Oberraufsicht: Bundesamt für Strassen (Astra) Bern-Ittigen

Abteilung Strasseninfrastruktur
Bereich Netzvollendung

Bauherr und Gesamtprojektleitung: 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

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

Schlitzwandlos: ARGE Schlitzwand

Eggstein AG, Kriens

Züblin Spezialtiefbau GmbH, Stuttgart

Bauwerksdaten:

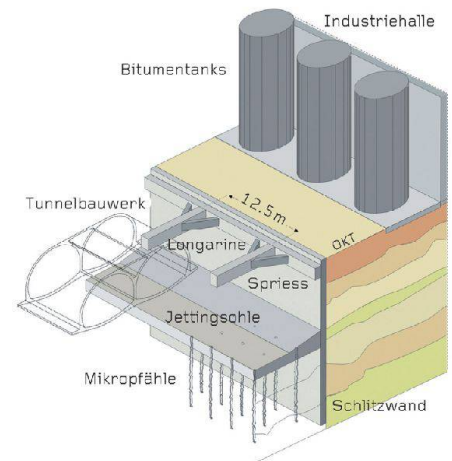
4-spurige Autobahn mit Lichtraumprofil nach SIA 1972

Längen: Wanne West 173 m, Tagbautunnel 1350 m, Wanne Ost 106 m

Doppelgewölbequerschnitt mit oben liegendem Leitungstunnel in der Mitte



01



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 (vgl. Kasten S. 26) zur Stützung der Baugrubenwände vor dem Baugrubenaushub.

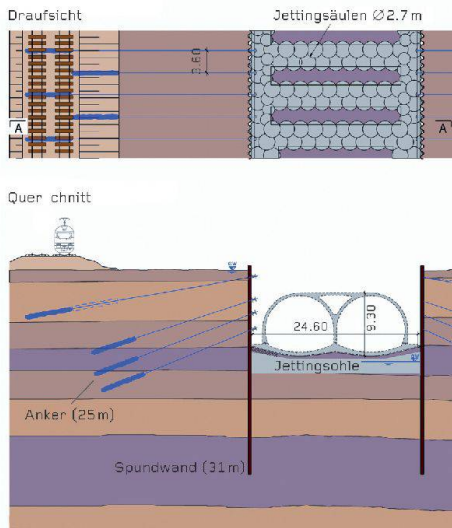
Aus den Untersuchungen resultierten zwei (in Abb. 2 und 3 dargestellte) Baugrubenkonzepte. Beide Varianten stützen sich auf eine als unterirdische Spriesslage wirkende Jettingsohle unterhalb der Baugrubensohle. Die in Abbildung 3 gezeigte Lösung mit vorgespannten Spriessen in Kombination mit einer Schlitzwand 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

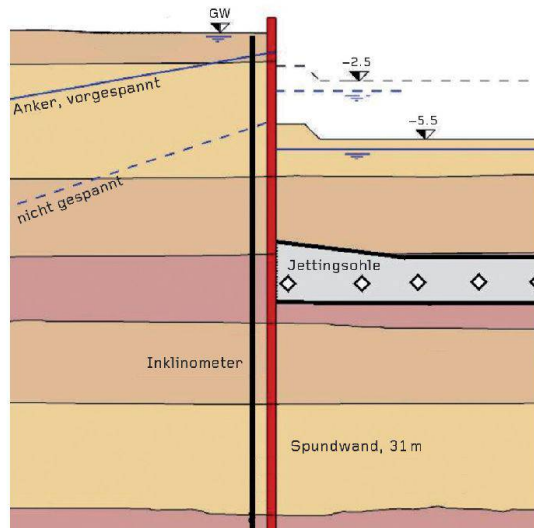
Die Jettingsohle, die als unterirdische Spriesslage die nur in geringem Umfang vorhandene Tragfunktion des Bodens zwischen den Baugrubenwänden unterhalb der Baugrubensohle

01 Baugrubensicherung durch vierfach verankerte Spundwand (Spundwandlänge 31 m) mit Spundwandquerschott (freigelegter Spundwandkopf im Bild vorn) im Bereich der Baugrube beim 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)

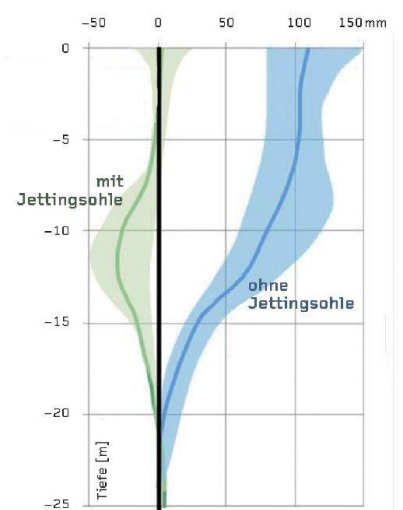
02 Baugrubenkonzept mit gespriesster Schlitzwand und Jettingsohle im Abschnitt Industrie



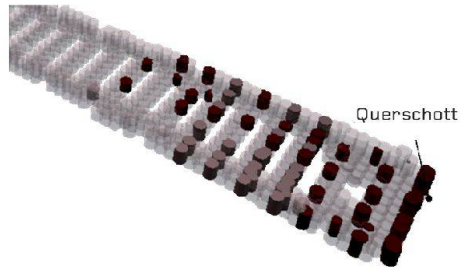
03



04

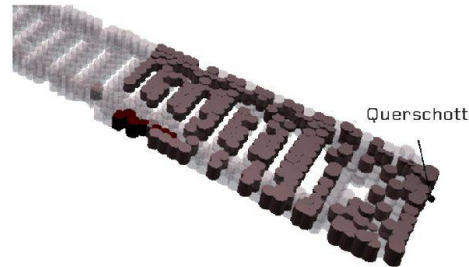


10.12.2006

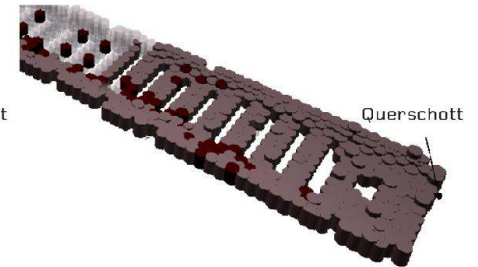


05

01.02.2007



01.04.2007



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

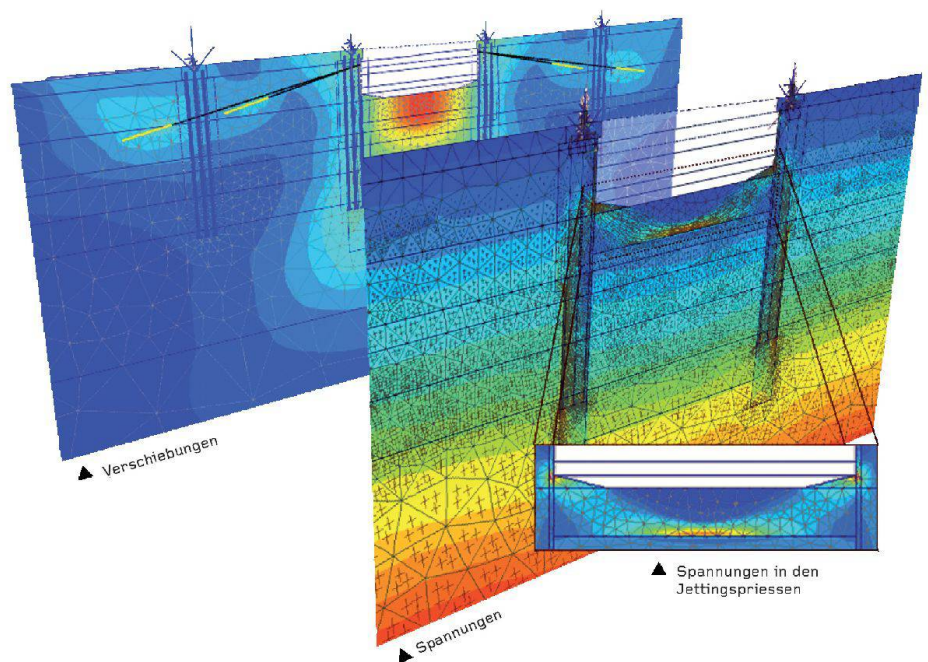
03 Baugrubenkonzept mit Jettingsohle (Grundkonzept)

04 Auswirkung der Jettingsohle in der schematischen Darstellung links auf die Verformung der Baugrubenwand (Diagramm rechts)

05 Bauzustände während der Erstellung der Jettingsohle

06 Numerische Modellierung der Unterfangung von zwei Pfeilern der Brücke Getwing

06



übernimmt, trägt entscheidend zum stabilisierenden Effekt des Baugrubenverbau bei. Bei 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. 5). Abbildung 4 zeigt die Auswirkung der Jettingsohle im Schema links auf die Verformung der Baugrubenwand im Bereich mit einem rückverankerten Spundwandverbau (Diagramm rechts). 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, sodass der im Diagramm grün hinterlegte Deformationsbereich mit Jettingsohle am Kopf der Spundbohlen ± 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 FE-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 genommenen 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 Abbildung 6 Ausschnitte aus den Resultaten der numerischen Modellierung der Unterfangung der Strassenbrücke Getwing, die den Einschnitt 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 gegenübergestellt und die damit verbundenen Nachweise geführt.

PROJEKTSTAND

Mittlerweile ist der erste Baugrubenabschnitt von ca. 350 m im Osten fertig und hinterfüllt; im zweiten – und zugleich tiefsten – Abschnitt von weiteren ca. 300 m mit der Pumpstation ist der Baugrubenaushub fertig, die Pumpstation und die Hälfte des Tunnels sind 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 werden die Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen angebracht. Somit kann der Tunnel voraussichtlich 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

JETTING

(ar) Jetting, deutsch Düsenstrahlverfahren, ist ein Verfahren zur Stabilisierung bzw. Verfestigung des Baugrunds im Tief- und Tunnelbau.

Zunächst wird eine Rohrlanze mit wenigen Zentimetern Durchmesser in den Baugrund vorgefahren. Die Rohrlanze verfügt kurz nach ihrer Spitze über meist zwei seitliche, senkrecht zur Rohrachse gerichtete Düsen. Durch diese Düsen wird eine wässrige Zementsuspension («Zementmilch») seitlich in den Baugrund injiziert. Durch langsame Rotation und gleichzeitigen Rückzug der Rohrlanze entsteht ein säulenförmiger, mit Zementsuspension gesättigter Bereich im Baugrund. Nach der Erhärtung der Zementsuspension weisen die so entstandenen Jettingsäulen, die Durchmesser von über zwei Meter erreichen können, eine wesentlich höhere Festigkeit und Tragfähigkeit auf als der unverfestigte Baugrund.

Je nach den gewählten Herstellungsparametern der Jettingsäule wird der Baugrund lediglich verdichtet, teilweise oder auch ganz ausgetragen und durch Zementstein ersetzt. Jettingsäulen können, je nach Funktion, vertikal oder in beliebigen Winkeln hergestellt werden. Sie werden als einzelne Säulen (Pfähle), eindimensional überschneidend als Jettingwände oder zweidimensional überschneidend als Jettingsohlen angeordnet.