

Zugangsstollen Ulmer Straße, Beherrschung von Wasserzutritten im Bereich der Auslaugungsfront

Tunnel to Ober-/Untertürkheim, Intermediate Access Ulmer Straße Control of Water Inflow in the Area of the Leaching Front

Dr.-Ing. Martin Wittke, Dipl.-Ing. Ralf Druffel, Dr.-Ing. Thomas Hochgürtel

Zusammenfassung

Für den Bau der im Zusammenhang mit dem Großprojekt Stuttgart – Ulm herzustellenden Tunnel nach Ober- und Untertürkheim ist im Bereich der Ulmer Straße in Stuttgart-Wangen ein Zwischenangriff notwendig. Dazu wurden ein ca. 40 m tiefer Schacht mit einem Durchmesser von ca. 25 m und ein ca. 100 m langer Stollen gebaut.

Im Zuge der Herstellung des Schachtes wurde festgestellt, dass die Auslaugungsfront, d. h. der Übergang zwischen dem ausgelaugten und dem unausgelaugten Gipskeuper, hier örtlich etwas tiefer ansteht, als es aus den Ergebnissen der Erkundungen abgeleitet werden konnte. Die Auslaugungsfront lag somit innerhalb des Stollenquerschnitts. Da der Grundwasserspiegel nur wenige Meter unter der Geländeoberfläche ansteht, musste somit mit starken Wasserzutritten während des Baus im Bereich der vergleichsweise durchlässigen Auslaugungsfront gerechnet werden.

Um die in diesem Bereich sehr strengen Vorgaben aus der Planfeststellung im Hinblick auf die aus wasserwirtschaftlicher Sicht zulässigen Wasserzutritte einhalten zu können, waren daher umfangreiche Abdichtungsinjektionen erforderlich. Zur Abdichtung wurden sowohl Zementsuspensionen als auch PU-Schäume verwendet.

Aufgrund des erheblichen Aufwands für die Injektionen wurde entschieden, den Querschnitt des Zwischenangriffsstollens so zu überplanen, dass die Firste unterhalb der Auslaugungsfront liegt. Dazu war es erforderlich, die Firste um etwa 3 m tiefer zu legen. Mit dem geänderten Querschnitt konnte der weitere Vortrieb erfolgreich abgeschlossen werden, ohne dass es zu einer nennenswerten Vergrößerung der Wasserzutrittsmengen gekommen ist, obwohl die Firste der sehr flachen Kalotte bereichsweise nur wenige Dezimeter unter der Auslaugungsfront liegt.

Executive Summary

For construction of the tunnels to Ober- and Untertürkheim in connection with the large-scale railway project Stuttgart – Ulm, it is necessary to construct an intermediate access in Stuttgart-Wangen. The access consists of an approx. 40 m deep shaft with a diameter of approx. 25 m and an approx. 100 m long access tunnel.

During construction of the shaft it was observed that the leaching front, i. e. the transition between the leached and the unleached Gypsum Keuper, locally is located slightly lower than it had to be expected on the basis of the results of the explorations carried out for the project. The leaching front, which in comparison to the surrounding ground has a higher

permeability, thus had to be expected within the tunnel cross section. Since the groundwater table is located only a few meters below the ground surface, larger quantities of seepage had to be expected to penetrate into the tunnel during construction.

In order to fulfill the stringent requirements of the water authorities given in the planning approval, extensive grouting works were necessary. Grouting was carried out using cement-suspensions and PU-foams.

In view of the remarkable efforts in connection with grouting it was decided to modify the cross section of the access tunnel in a way that it is completely located underneath the leaching front, leading to the necessity to lower the roof of the cross section by 3 m. By means of this modification it was possible to complete the access tunnel without a further noteworthy increase of seepage quantities, although the tunnel locally was only located a few decimeters below the leaching front.

1. Einleitung

Der neue Hauptbahnhof in Stuttgart wird durch die Tunnel nach Ober- und Untertürkheim mit dem neuen Abstellbahnhof in Untertürkheim und der Bestandsstrecke im Neckartal in Obertürkheim verbunden (Leger 2015). Die Tunnel beginnen am Ende der unterirdischen Verzweigungsbauwerke am Hauptbahnhof und haben bis zum Verzweigungsbauwerk Wangen, das unmittelbar westlich des Neckars liegt, eine Länge von 2 x 3,8 km. Die bergmännisch aufgefahrenen Strecken von den Verzweigungsbauwerken Wangen nach Obertürkheim sind ca. 2 x 1,5 km lang. Zwischen den Verzweigungsbauwerken Wangen und Untertürkheim werden weitere ca. 2 x 0,9 km Tunnel gebaut.

Die Tunnel werden ausgehend von den Verzweigungsbauwerken am Hauptbahnhof, aus der Richtung Ober- und Untertürkheim und über einen Zwischenangriff an der Ulmer Straße in Stuttgart-Wangen in Spritzbetonbauweise aufgefahren.

2. Bauwerk und Baugrund

Der Zugangsstollen liegt südlich der Streckenröhren zwischen dem Neckar im Osten und dem Gablenberg im Westen an der Ulmer Straße in Stuttgart-Wangen (Bild 1). Der Stollen ist ca. 100 m lang und wird über einen Schacht bedient, der einen Durchmesser von ca. 25 m hat und bis zur Sohle ca. 40 m tief ist (Bilder 1 und 2).

Über den Stollen sollen Vortriebe für die Streckenröhren in Richtung Hbf. und in Richtung Ober- und Untertürkheim angedient werden. Es ist geplant, 3 Vortriebe gleichzeitig zu bedienen. Wie in Bild 1 zu erkennen, liegt der Stollen unterhalb von Bebauung.

Unterhalb der Geländeoberfläche stehen im Bereich des Bauwerks Auffüllungen und die Neckarkiese an. Darunter folgen die Schichten des Gipskeupers, der im oberen Bereich ausgelaugt und im Bereich des Schachtes ab einer Tiefe von ca. 25 m im unausgelaugten Zustand ansteht (Bild 3).

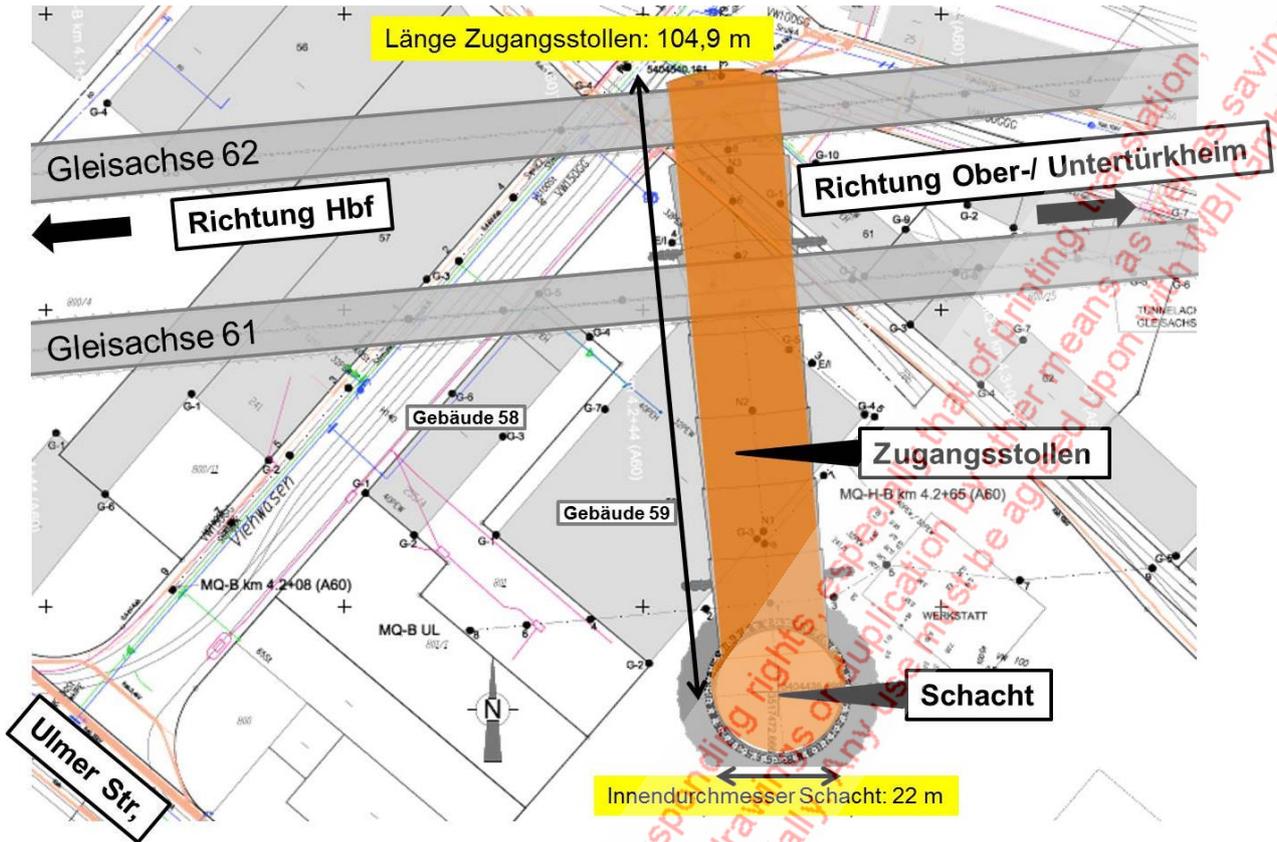


Bild 1: Zwischenangriff Ulmer Straße, Lageplan

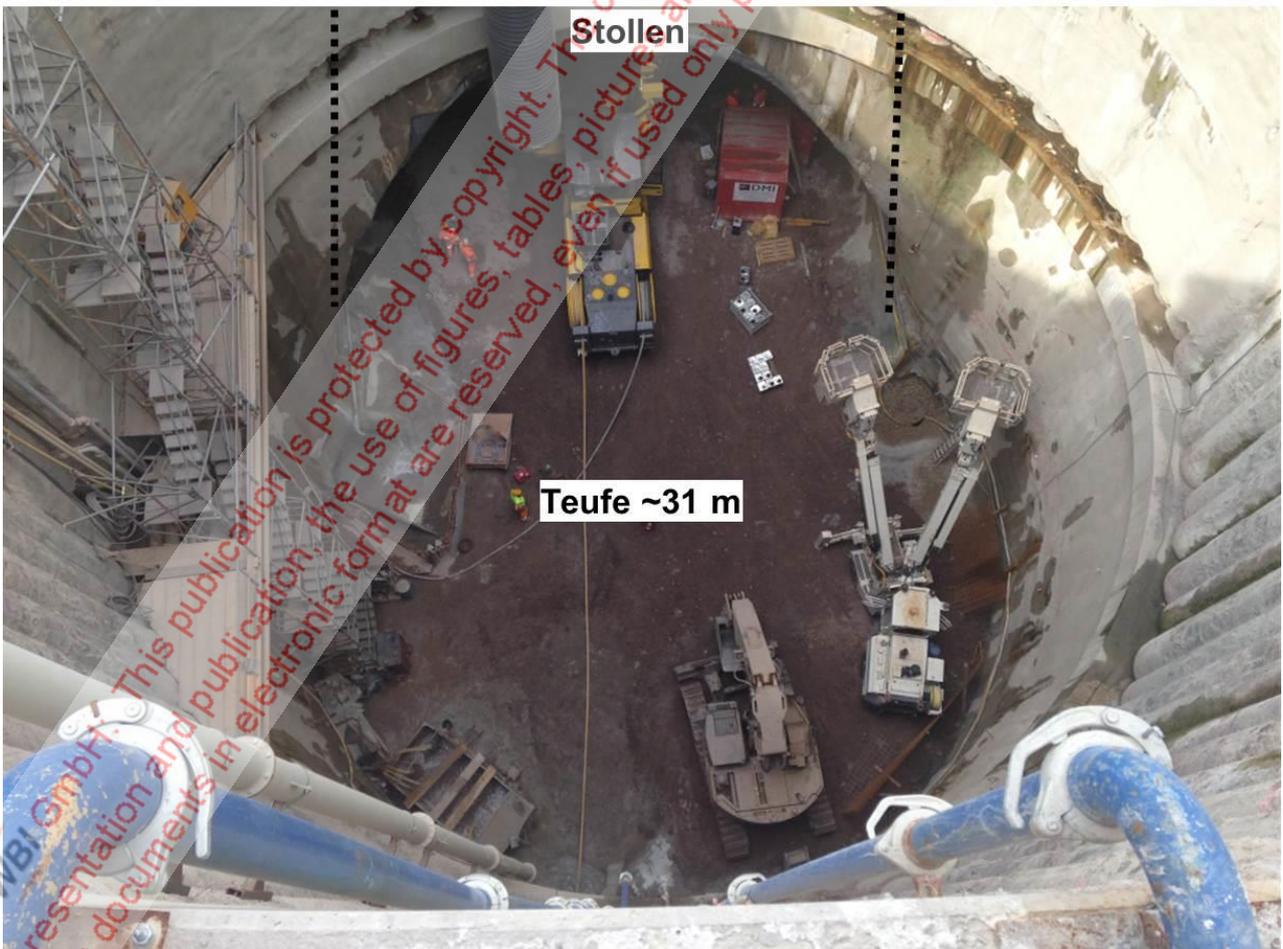


Bild 2: Zwischenangriff Ulmer Straße, Schacht und Stollen, Aushubtiefe ca. 31 m

Die Schachtwand wird im Bereich der Lockergesteine durch eine überschrittene Bohrpfehlwand mit einem Durchmesser von 1,2 m gesichert, die durch Ringbalken ausgesteift ist (Bild 2). Im unteren Bereich, in denen der Schacht im Fels liegt, erfolgt die Sicherung durch Spritzbeton und Anker (Bild 3).

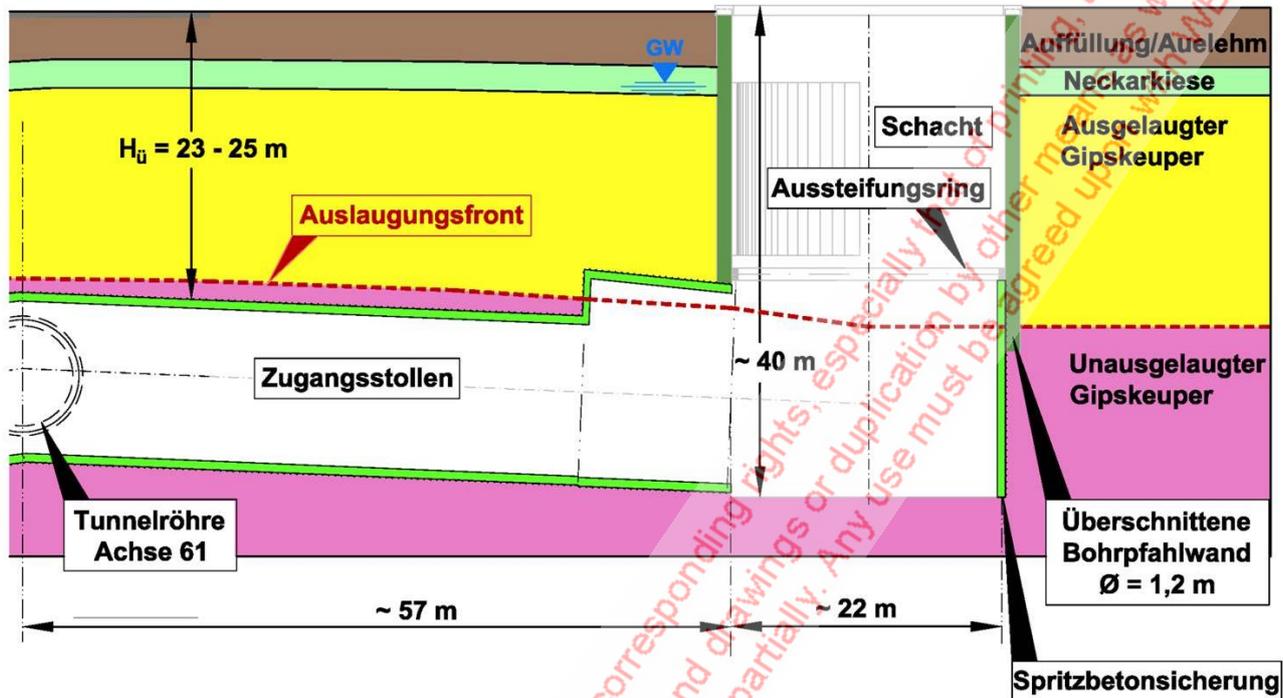


Bild 3: Längsschnitt für den Abschnitt zwischen Schacht und Tunnel der Achse 61

Im Zuge der Herstellung der Bohrpfähle wurde festgestellt, dass die Auslaugungsfront, d.h. der Übergang zwischen dem ausgelaugten und dem unausgelaugten Gebirge, örtlich etwas tiefer ansteht, als es aus den Ergebnissen der Erkundungen abgeleitet werden konnte. Aus diesem Grund wurden die Bohrpfähle im Zuge der Herstellung etwas tiefer hergestellt, um eine ausreichende Einbindung in den Fels des unausgelaugten Gipskeupers zu erreichen. Die Firste des Zugangsstollens liegt, wie in Bild 3 erkennbar, aber dennoch im Bereich der Auslaugungsfront. Da der Grundwasserspiegel in etwa in Höhe des Neckarspiegels und damit nur wenige Meter unter der Geländeoberfläche ansteht, musste somit mit starken Wasserzutritten während des Baus im Bereich der vergleichsweise durchlässigen Auslaugungsfront gerechnet werden.

Der Querschnitt des Zugangsstollens im Anfahrbereich hat im Bereich der Durchdringung mit dem Schacht eine Breite von ca. 17,5 m und eine Höhe von ca. 16 m (Bild 4). Der Vortrieb erfolgte in drei Abschnitten. Die Laibung wurde durch eine 35 cm dicke Spritzbetonschale gesichert. Die Sicherung der temporären Kalottensohle und der Strossensohle erfolgte jeweils mit 25 cm Spritzbeton. Um die Standsicherheit im Bereich des Abschlags zu gewährleisten und um die im Bereich der Auslaugungsfront zu erwartenden Wasserzutritte zu begrenzen, wurde entschieden, den Kalottenvortrieb im Schutze eines Injektionsbohrrohrschirms aufzufahren.

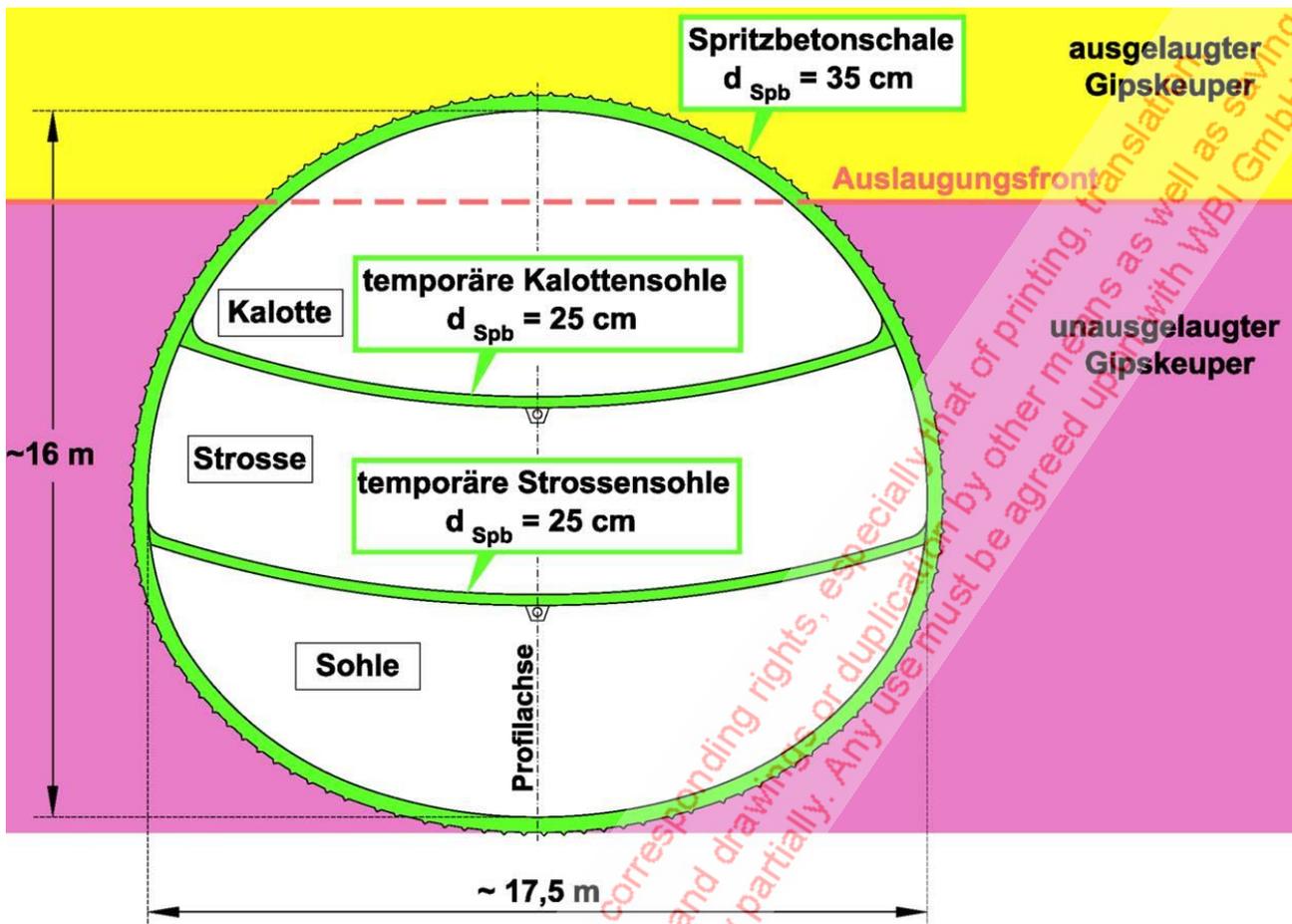


Bild 4: Querschnitt des Zugangsstollens im Übergangsbereich zum Schacht

3. Anfahrbereich ZA Ulmer Straße, Wasserzutritte und Injektionsarbeiten

Wie zu erwarten war, traten im Zuge der Herstellung der Rohre für den Rohrschirm in Höhe der Auslaugungsfront zum Teil erhebliche Wassermengen in den Schacht bzw. in den Tunnel ein (Bild 5).

Im Mittel wurden bei der Herstellung des ersten Rohrschirms pro Rohr Wasserzutritte von ca. 1,6 l/s gemessen. Die über die einzelnen Rohre zutretenden Wassermengen sind im oberen Diagramm in Bild 6 dargestellt. Die größten Wasserzutritte konnten wie erwartet in Höhe der Auslaugungsfront beobachtet werden (Rohre 4, 5 und 39 bis 41). Die größten Wassermengen wurden bei der Herstellung des Rohrs 39 im linken Bereich der Kalotte mit ca. 12,5 l/s gemessen.

Um Wasserzutritte in Längsrichtung entlang der Auslaugungsfront während des Kalottenvortriebs zu verhindern bzw. zu minimieren, wurde am Ende der Rohrschirmkaverne ein Injektionsschott aus dem Schacht heraus hergestellt. Auch die über die hierfür hergestellten Bohrungen zutretenden Wassermengen zeigen eine deutlich größere Wasserführung im Bereich und oberhalb der Auslaugungsfront (Bild 6). Aus Bohrungen, die im unausgelaugten Gipskeuper unterhalb der Auslaugungsfront hergestellt wurden, trat dagegen erwartungsgemäß nahezu kein Wasser zu.



Bild 5: Wasserzutritte im Zuge der Rohrschirmherstellung

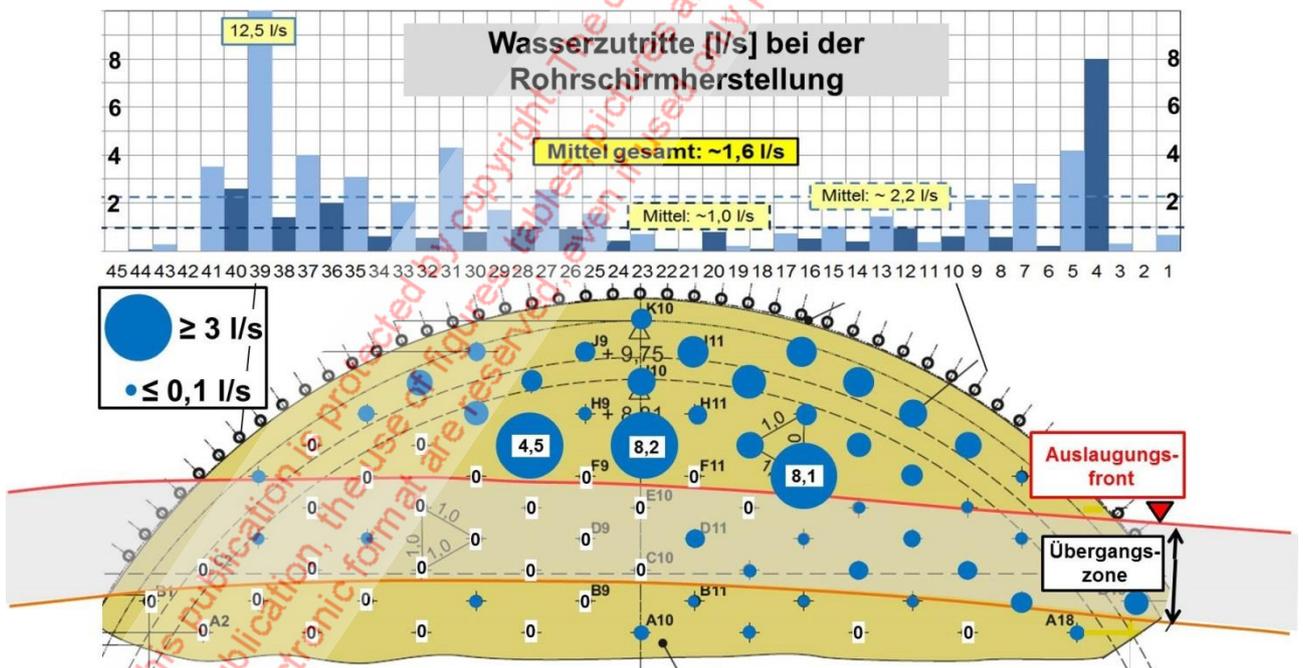


Bild 6: Rohrschirm und Injektionsschott 1, Wasserzutritte über Bohrungen

Die über die Injektionsbohrrohrschirme verpressten Zementmengen zeigen eine erhöhte Aufnahme im Bereich der Auslaugungsfront und der Übergangszone zwischen dem ausgelaugten und dem unausgelaugten Gebirge (Bild 7 oben). Während im Mittel ca. 1.870 l Zementsuspension pro Rohr eingepresst wurden, wurden hier mit max. ca. 4.400 l pro Bohrloch deutlich größere Mengen in den Untergrund eingepresst.

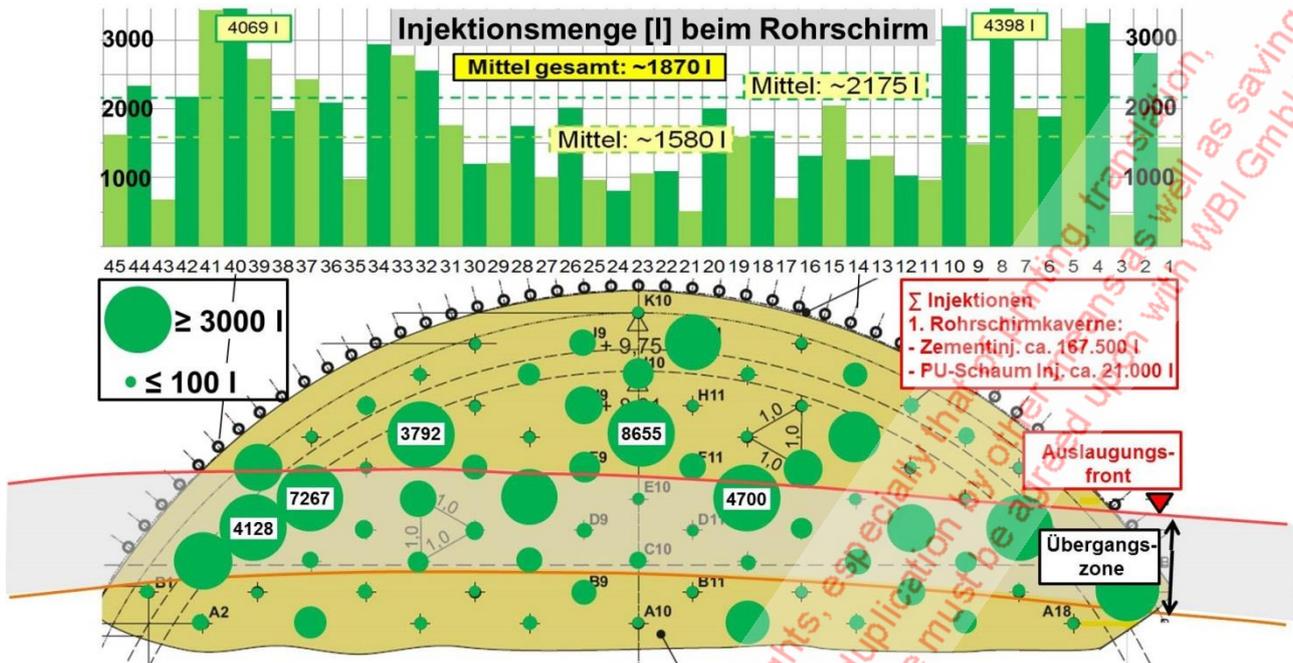


Bild 7: Rohrschirm und Injektionsschott 1, Eingepresste Mengen

Auch die Aufnahmemengen in den Bohrungen für das Injektionsschott waren im Bereich der Auslaugungsfront deutlich größer als in den darüber und darunter liegenden Bereichen des Querschnitts (Bild 7 unten). Insgesamt wurden im Bereich der ersten Rohrschirmkaverne ca. 167.500 I Zementsuspension und ca. 21.000 I PU-Schaum injiziert. Diese Zahlen machen deutlich, dass die Injektionen mit einem erheblichen Aufwand im Hinblick auf Bauzeit und Kosten verbunden waren.

Der sehr hohe Aufwand für die Injektionsarbeiten war erforderlich, um die in diesem Bereich sehr strengen Vorgaben aus der Planfeststellung im Hinblick auf die aus wasserwirtschaftlicher Sicht zulässigen Wasserzutritte einhalten zu können.

4. Anpassung des Querschnitts

Aufgrund des erheblichen Aufwands für die Injektionen wurde entschieden, den Querschnitt des Zwischenangriffsstollens so zu überplanen, dass die Firste unterhalb der Auslaugungsfront liegt und es somit im weiteren Verlauf des Vortriebs - wenn überhaupt - nur noch zu sehr geringen Wasserzutritten kommt. Dazu war es erforderlich, die Firste um etwa 3 m tiefer zu legen (Bild 8).

Da die Höhenlage der Sohle des Querschnitts aus planrechtlichen und aus baubetrieblichen Gründen nicht tiefergelegt werden konnte, erforderte die Anpassung der Firsthöhe eine Änderung des gesamten Querschnitts. Der geänderte Querschnitt hat bei gleicher Breite nur noch eine Höhe von 13 m (Bild 8).

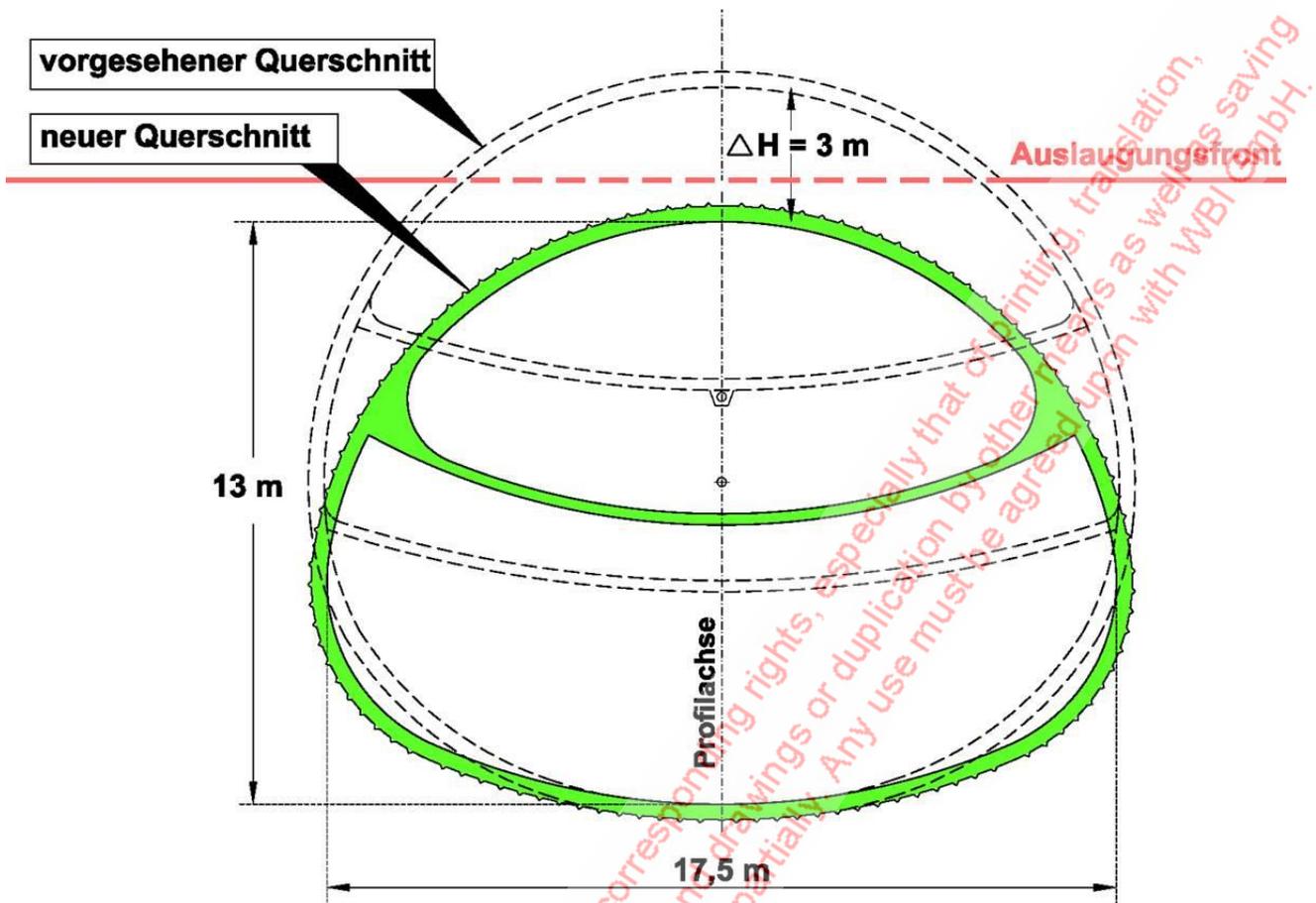


Bild 8: Anpassung des Querschnitts

Der Vortrieb erfolgte mit einer vorausseilenden Kalotte mit temporärer Sohle und nachfolgendem Strossen- und Sohlabbau.

Das Bild in Bild 9 zeigt den sehr flachen Querschnitt der Kalotte, der mit einem Abstand zur Auslaugungsfront von wenigen Dezimetern bis Metern aufgefahren wurde (vgl. Bild 3).

Der Nachweis der Standsicherheit für den geänderten Querschnitt wurde nach der FE-Methode mit dem Programmsystem FEST03 durchgeführt (Wittke 2014). Das verwendete FE-Netz ist in Bild 10 dargestellt. Anhand eines Vergleichs der im Zuge des Vortriebs des großen Querschnitts gemessenen Verschiebungen mit den Prognosewerten konnte gezeigt werden, dass die charakteristischen Kennwerte maßgebend sind. Daher wurde der Nachweis ohne Berücksichtigung der unteren Kennwerte geführt.

Die pseudoräumlichen Berechnungen wurden in 5 Rechenschritten durchgeführt (Bild 11). Nach der Simulation des Primärzustands erfolgt die Vorentspannung und der Ausbruch und die Sicherung der Kalotte. Anschließend folgen die Vorentspannung sowie der Ausbruch und die Sicherung für die Strosse und die Sohle. Der Vorentspannungsfaktor wurde mit 0,5 gewählt.

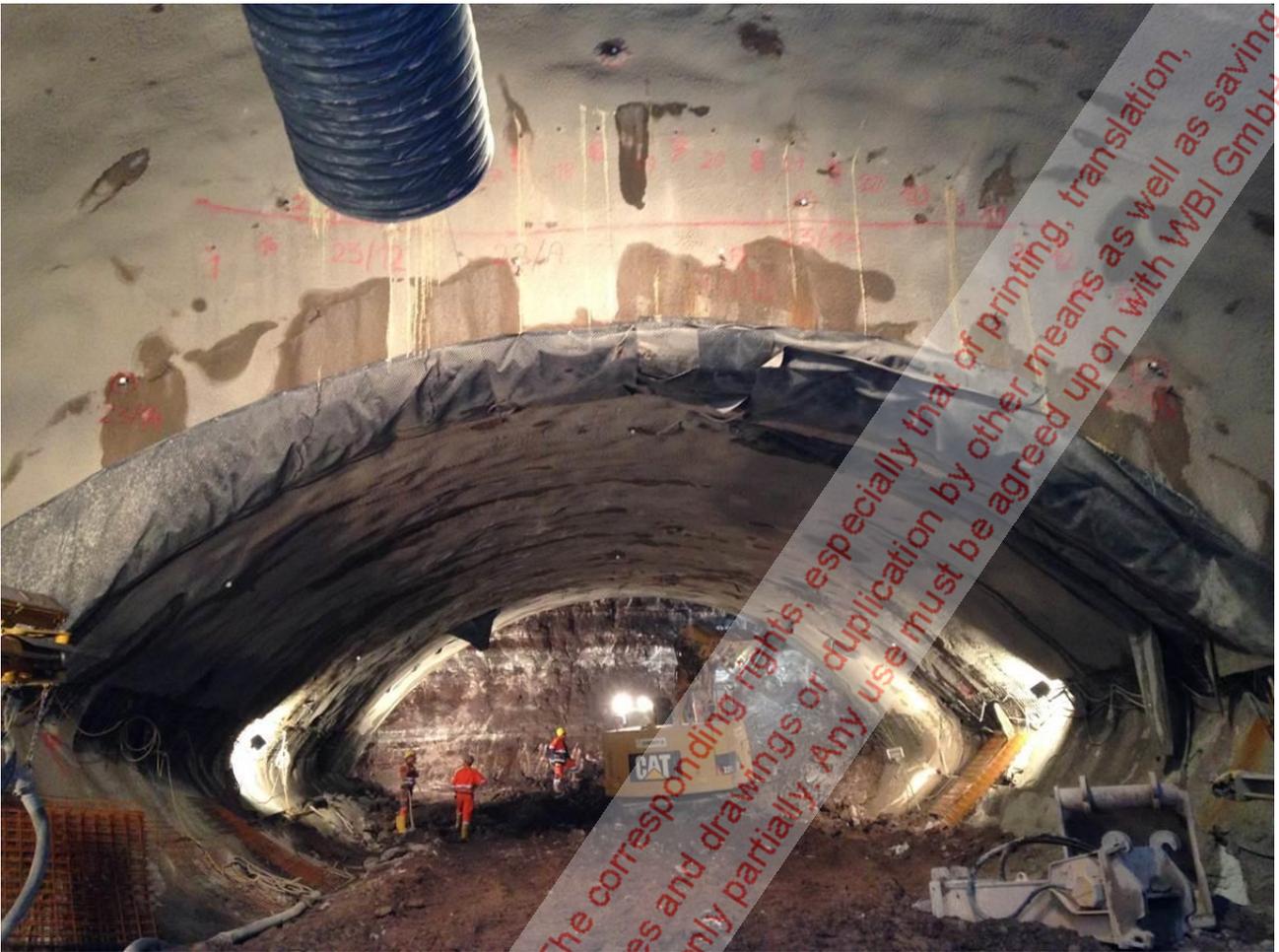


Bild 9: Kalottenvortrieb mit flachem Querschnitt, Foto

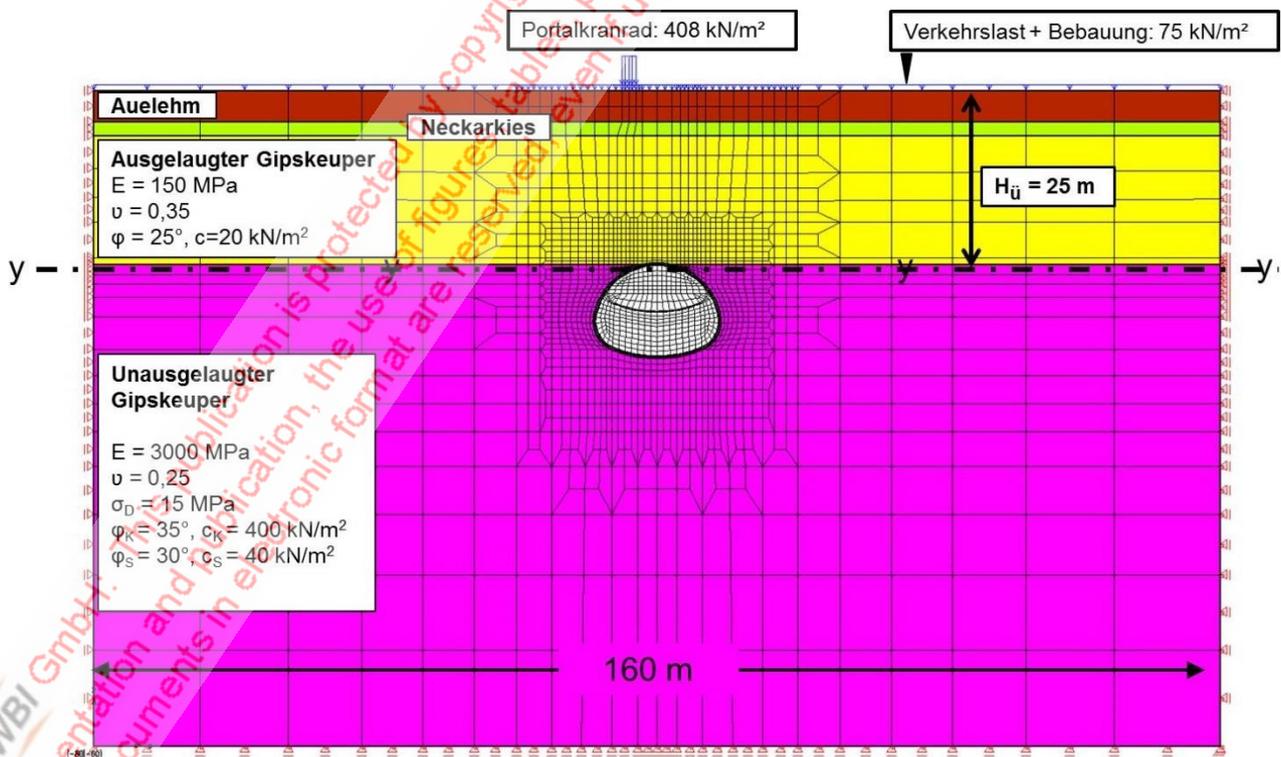


Bild 10: FE-Berechnungen für den flachen Querschnitt, FE-Netz, Randbedingungen und Kennwerte

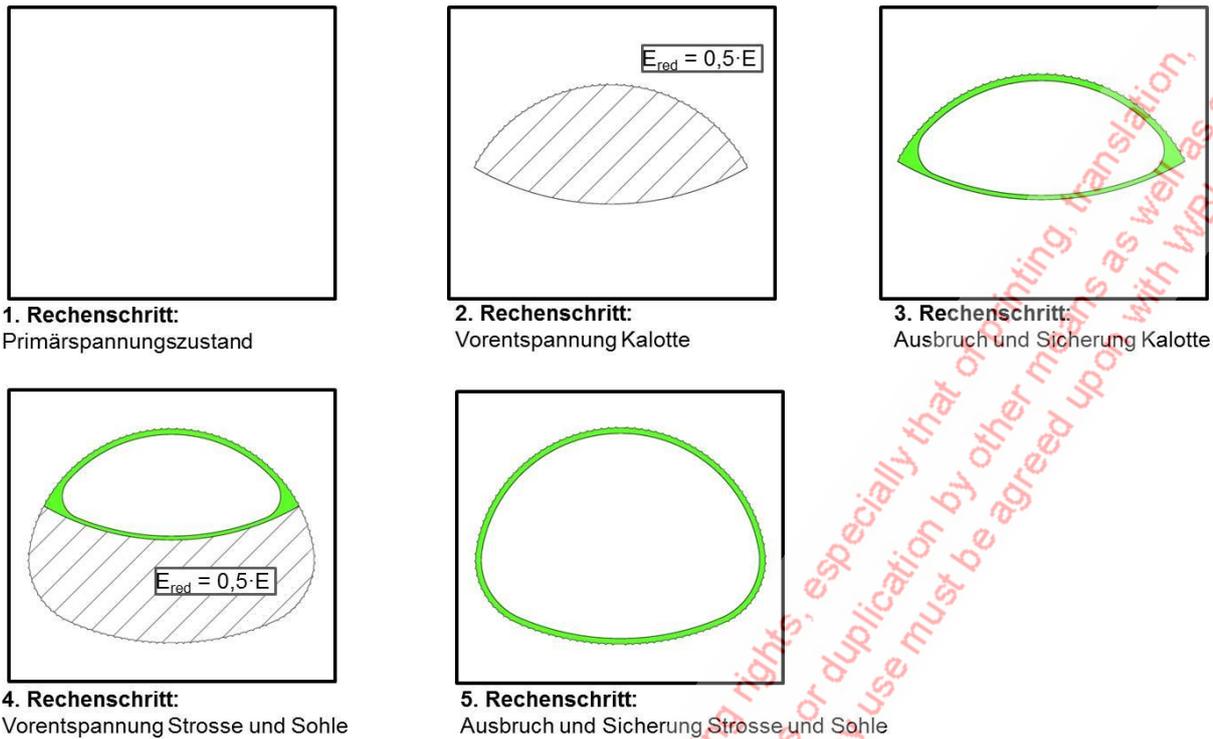


Bild 11: FE-Berechnungen, Rechenschritte

Die errechneten Schnittgrößen zeigen, dass der Querschnitt trotz des sehr flachen Gewölbes überwiegend auf Druck beansprucht ist (Bild 12). Lediglich im Bereich der sehr engen Ausrundung am Übergang zur Kalottensohle kommt es zu einer nennenswerten Momentenbeanspruchung. Für die gewählten Spritzbetonschalendicken von 35 cm im Gewölbe und 20 cm für die temporäre Sohle ist dennoch eine in der Baupraxis übliche Mattenbewehrung Q355 innen und außen ausreichend.

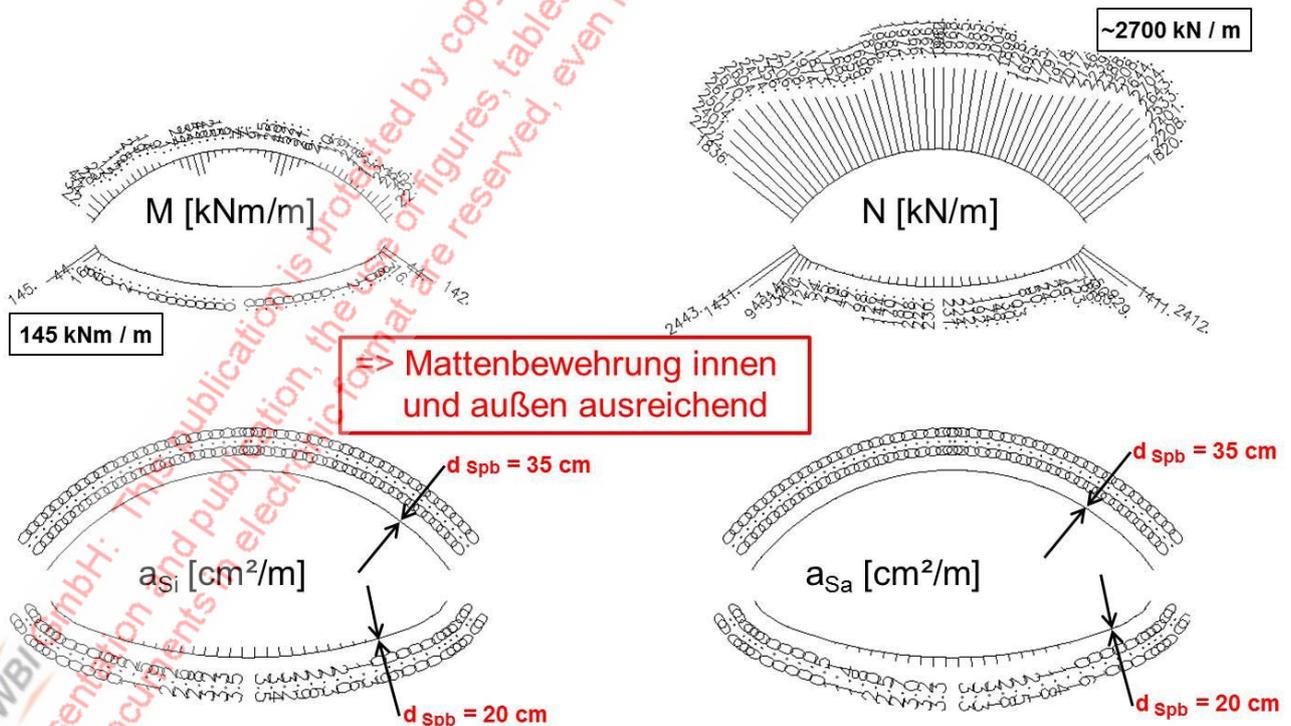


Bild 12: Schnittgrößen und Bemessung Spritzbetonschale nach Ausbruch und Sicherung Kalotte (Rechenschritt 3)

5. Erfahrungen beim Bau nach der Umplanung

In der Zwischenzeit wurde der Zugangstollen bis zum Ende mit dem geänderten Querschnitt aufgeföhren. Obwohl die Firste des Tunnels bereichsweise nur wenige Dezimeter unterhalb der Auslaugungsfront liegt, traten an der Geländeoberfläche entsprechend den Prognosen max. Senkungen von ca. 1 cm auf, und das an der Oberfläche stehende Gebäude konnte schadlos unterfahren werden (Bild 13).

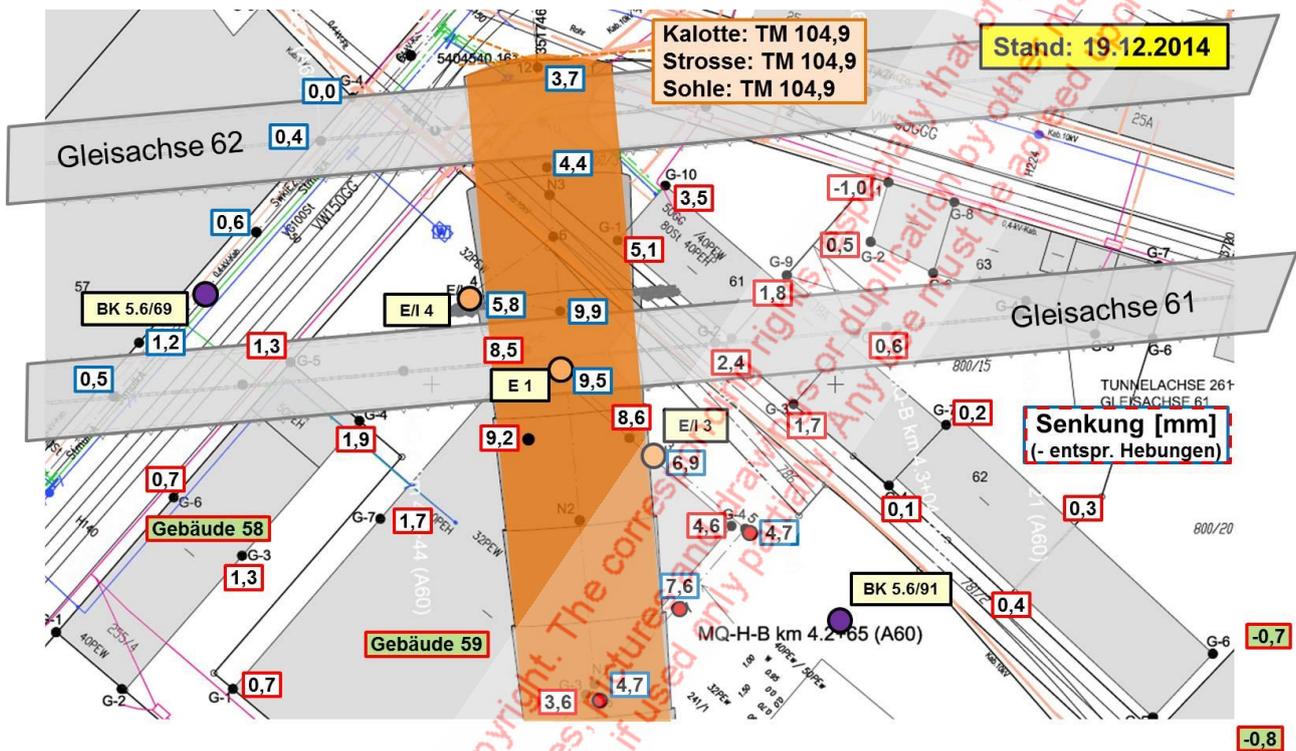


Bild 13: Gemessene Senkungen an der Geländeoberfläche infolge des Vortriebs des ZA Ulmer Straße

Der Erfolg der Maßnahme kann auch an den in Bild 14 dargestellten gemessenen Wasserzutrittsmengen abgelesen werden. Während des Aushubs des Schachtes und des Vortriebs der ersten Rohrschirmkaverne mit dem großen Querschnitt kam es zu größeren Wasserzutritten von im Tagesmittel max. ca. 6 l/s. Diese erforderten wie beschrieben mehrere Abdichtungsinjektionen, um den in der Planfeststellung für diesen Bereich aufgrund von Altlasten an der Geländeoberfläche vorgegebenen Grenzwert von 1 l/s zu erreichen. Nach der Anpassung des Querschnitts bzw. der Tieferlegung der Firste kam es im weiteren Verlauf des Vortriebs nur noch zu geringfügigen Zunahmen der in den Querschnitt tretenden Wassermengen. Das Gebirge war also unmittelbar unterhalb der Auslaugungsfront erwartungsgemäß nahezu trocken (Bild 15).

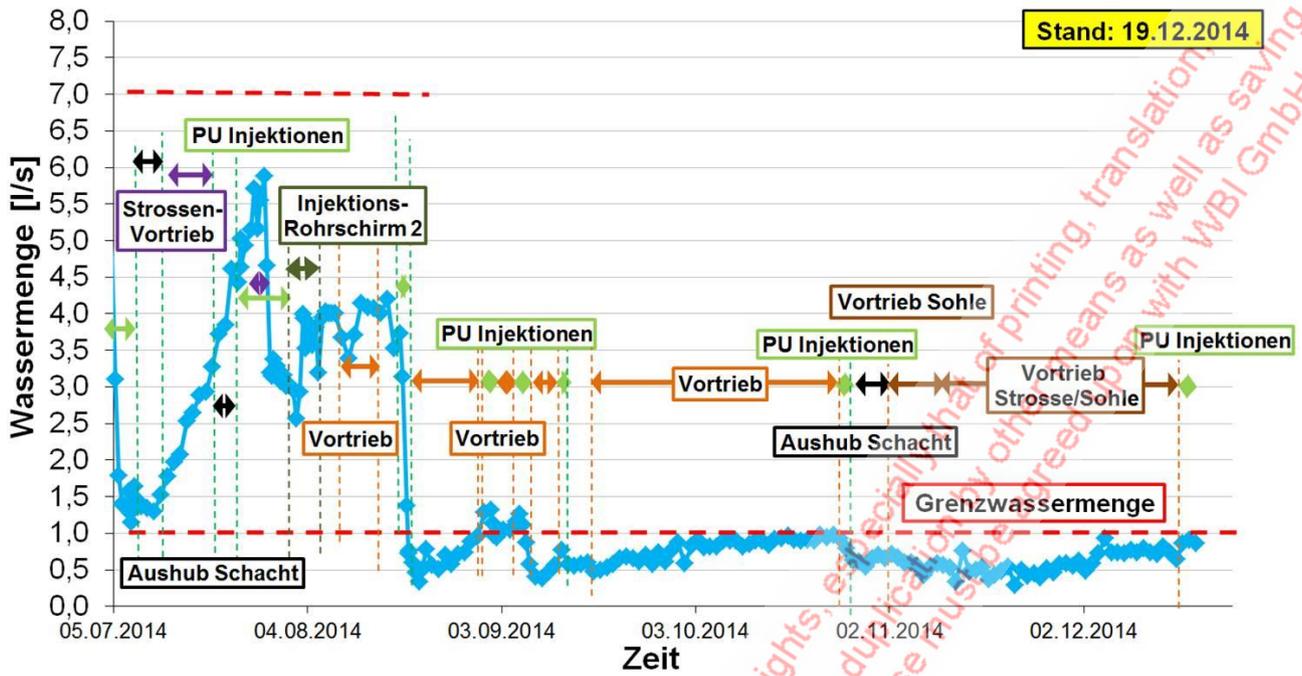


Bild 14: Zwischenangriff Schacht Ulmer Straße, zufließende Wassermenge



Bild 15: Strossen- und Sohlvortrieb im Bereich des Übergangs vom hohen auf den flachen Querschnitt

Literatur

Leger, M.: Bahnprojekt Stuttgart – Ulm, Stand und Ausblick. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Wittke, W.: Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM), Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin 2014.

© WBI GmbH: This publication is protected by copyright. The corresponding rights, especially that of printing, translation, presentation and publication, the use of figures, tables, pictures and drawings or duplication by other means as well as saving the documents in electronic format are reserved, even if used only partially. Any use must be agreed upon with WBI GmbH.