

Tunnel der Neubaustrecke Nürnberg–Ingolstadt (NBS)

Los Nord – Tunnel Göggelsbuch / Tunnel Offenbau



SSF Ingenieure

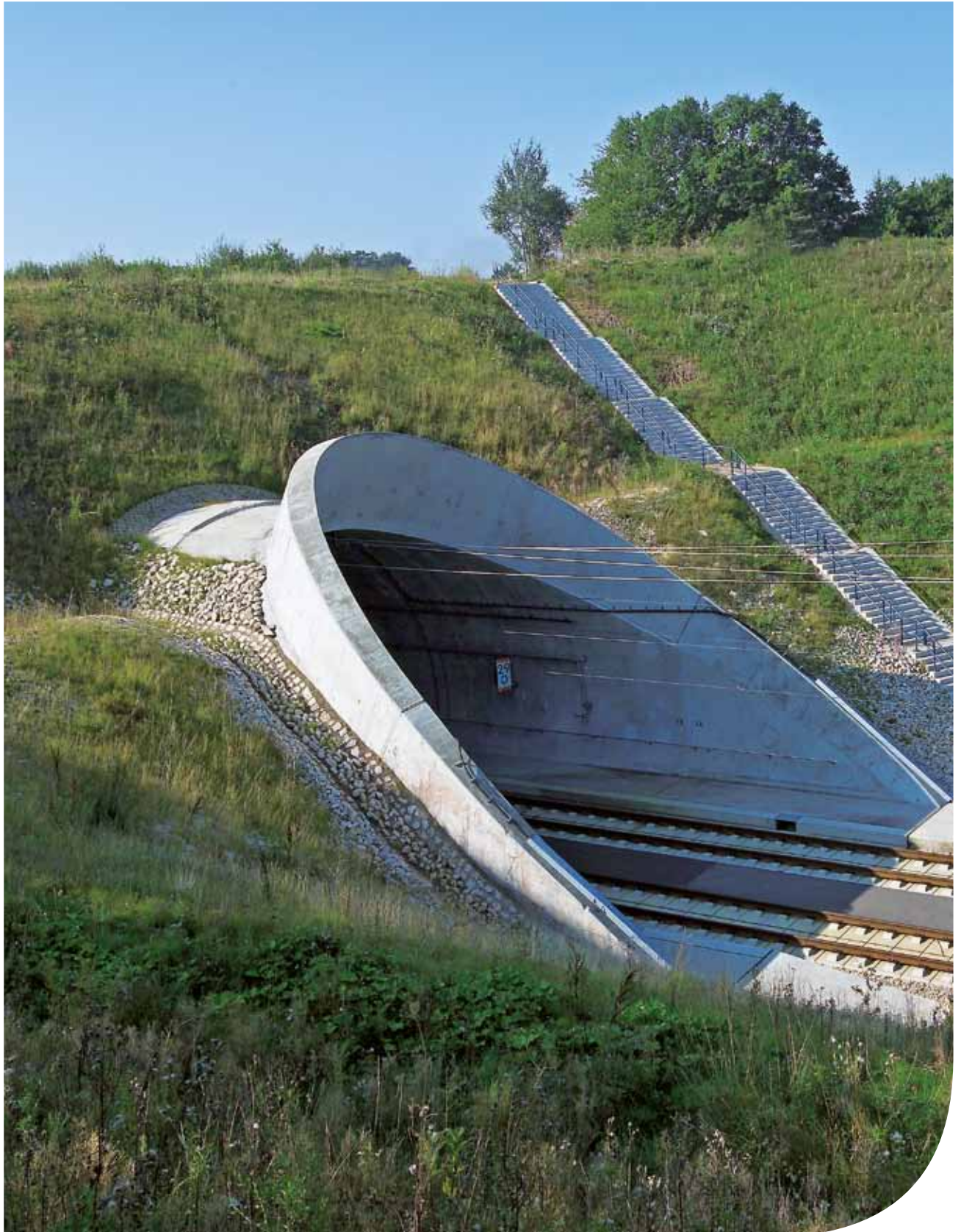




Bild: Photographie Wolfgang Seitz

Für die Bewältigung der Ansprüche, die sich aus der Intensivierung des Personen- und Güterschienenverkehrs durch die Wiedervereinigung Deutschlands und die Osterweiterung der Europäischen Union ergeben, sind umfassende Strukturmaßnahmen erforderlich, die erhebliche Netzkorrekturen und Netzergänzungen beinhalten. Daneben ist für die fortschreitende Integration Europas der Aufbau und Ausbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes unabdingbar. In diesem Kontext ist die Schnellfahrstrecke Nürnberg–Ingolstadt–München zu sehen. Sie stellt eine Verlängerung des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 8 von Berlin über Halle/Leipzig und Erfurt nach Nürnberg dar und gilt als wichtiger deutscher Teil der Achse Nr. 1 (Berlin–Verona–Palermo) der Transeuropäischen Netze.

Die Strecke gliedert sich in die Neubaustrecke Nürnberg–Ingolstadt (NBS) und die Ausbaustrecke Ingolstadt–München (ABS). Für die Neubaustrecke sind Trassierungselemente gewählt, die Mischverkehr aus Personen- und Güterverkehr erlauben. Die maximale Längsneigung von 20 Promille mit einer Mindestausrundung von 22.500 m und einem Mindestradius von 3.700 m ermöglicht in den Nachtstunden Güterverkehr mit Geschwindigkeiten bis zu 160 km/h. Die Entwurfsgeschwindigkeit für Personenverkehr beträgt 300 km/h. Der Oberbau wird auf ganzer Länge als Feste Fahrbahn hergestellt. Die Gesamtlänge der Neubaustrecke beträgt rd. 83,3 km. Die Aufteilung der Strecke erfolgte in fünf Baulose.

Der 35,02 km lange Neubauabschnitt Los Nord der NBS verläuft in weiten Teilen parallel zur Bundesautobahn A9, um eine zusätzliche Landschaftszerschneidung zu begrenzen. Dieser Umstand des festgelegten Verlaufs zur Verkehrswegebündelung erforderte in der Summe 22 Straßenbrücken und Durchlässe, 32 Eisenbahnbrücken, Hangsicherungsmaßnahmen, eine 3,5 km lange aufgeständerte und tiefgegründete Fahrbahn im Erdkörper sowie die beiden Tunnelbauwerke Offenbau und Göggelsbuch. Insgesamt wurden 2,60 Mio. m³ Erdbewegungen für dieses Los Nord durchgeführt.

SSF Ingenieure wurde von dem bauausführenden Konsortium als General-/Ausführungsplaner u.a. mit folgenden Planungsschwerpunkten beauftragt:

- Grundbau und Bodenmechanik
- Streckenplanung Verkehrsanlage - Bahn mit Fester Fahrbahn
- Streckenplanung Verkehrsanlage - Straße - begleitende und kreuzende Straßen und Wege
- Planung Eisenbahnbrücken (Schwarzachtal, Main Donau Kanal)
- Planung Straßenbrücken (u.a. Kr.BW BAB A 73, Kr.BW AS Hilpoltstein, St2225, St2227)
- Planung Tunnel- und Trogbauwerke (Offenbau, Göggelsbuch)
- Planung Bahnhofsanlagen (Regionalbhf. Allersberg)
- Planung Hangsicherungsmaßnahmen (Auer Berg)
- Planung aufgeständerte Fahrbahn (Pfahl-Platten-Weg)
- Planung Lärmschutzanlagen
- Planung landschaftspflegerische Begleitmaßnahmen
- Durchführung von Kreuzungs- und Verwaltungsvereinbarungen
- Durchführung Schnittstellenkoordination Technische Ausrüstung
- Durchführung und Begleitung von Planänderungsverfahren

Tunnel Göggelsbuch – Haupttröhre Richtung Nord



Tunnel Göggelsbuch

Der Tunnel Göggelsbuch unterfährt als Teil der ICE-Neubaustrecke Nürnberg – Ingolstadt Los Nord auf rund 2,3 Kilometern Länge eine Anhöhe der Ortschaft Göggelsbuch sowie eine PWC-Anlage der BAB A9. Er wurde von beiden Portalen in bergmännischer Weise aufgefahren. Die Fertigstellung erfolgte im Jahr 2002.

Der Tunnel Göggelsbuch liegt mit einer Überdeckung von 5 bis 22 m ausschließlich in den Gesteinen des zum mittleren Keuper gehörenden Feuerletten und damit vollständig im Lockergestein. Aufgrund des bis zu 3 bar anstehenden Wasserdrucks wurde der Tunnel mit einem Ausbruchquerschnitt von rd. 150 m² komplett mit Sohlgewölbe ausgebildet. Die Tunnelauffahrung des 2.223 m langen bergmännischen Teils begann zeitgleich von Norden und

von Süden her. Zunächst wurde die Kalotte mit durchgehender Kalottensohle aufgefahren, anschließend im Nachgang dann Strosse und Sohle. Das anstehende Gebirge konnte in allen Teilquerschnitten mit einem Bagger gelöst werden. Gemäß der NÖT-Methode kamen als Sicherungsmittel Bögen, Spritzbeton, Anker und Spieße zum Einsatz. Die Abschlagslänge betrug maximal 1,30 m. Die im Feuerletten eingelagerten fossilen Trennflächen mussten im Vortrieb durch die vorseilenden Spieße und an der Ortsbrust durch Spritzbeton gesichert werden.

Dem Ausbruch folgte von Süden her der Innenausbau mit einer 3 mm dicken, druckwasserhaltenden Rundumabdichtung und einer 35 cm starken, bewehrten Innenschale, deren Erstellung in

Tunnel Göggelsbuch – Notausstieg Richtung Rettungsschacht



Sohle und Gewölbe unterteilt war. Die Blocklänge beträgt 12,5 m. Mit Blick auf die begrenzte Bauzeit wurde zum Einbau der Sohle ein fast 70 m langer Tandemschalwagen eigens für diesen Tunnel konstruiert, so dass täglich zwei Sohlabschnitte betoniert werden konnten. Die Portalbereiche, die an das öffentliche Straßennetz angeschlossen sind, wurden in offener Bauweise erstellt und haben eine Gesamtlänge von 65 m. Aus sicherheitstechnischen Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes wurden an beiden Portalen Rettungsplätze angeordnet und in Tunnelmitte ein Notausstieg in Form eines 30 m tiefen Schachtes vorgesehen. Dieser kann über zwei 150 m lange, parallel zum Tunnel verlaufende Fluchtstollen erreicht werden. Die Fluchtstollen sind vom Haupttunnel über Schleusentüren getrennt. Der Ausbruchquerschnitt der Stollen beträgt 18 m². Hergestellt wurden die Stollen mit einer Teilschnittmaschine. Die Sicherungsmittel beim Auffahren entsprachen denen der Hauptröhre.

Tunnel Göggelsbuch	
Tunnellänge	2.287 m, davon bergmännisch 2.223 m
Massen	350.000 m ³ Aufbruch, 50.000 m ³ Spritzbeton 25.000 Anker, 23.000 Spieße 90.000 m ² Abdichtung, 60.000 m ³ Stahlbeton 5.000 to Betonstahl
Bauzeit	Vortrieb 16 Monate, Innenschale 12 Monate Gesamtbauzeit Rohbau 26 Monate
Bauherr	DB AG, vertreten durch die DB Projekt Bau GmbH PZ, Nürnberg
SSF Ingenieure	Generalplanung für die Ausführungsplanung

- 1 Tunnel Göggelsbuch – Gewölbeschwalgen
- 2 Tunnel Göggelsbuch – Betonage
- 3 Tunnel Göggelsbuch – Herstellung Luftbogen
- 4 Tunnel Göggelsbuch – Südportal in der Bauphase



Tunnel Offenbau

Die Ortschaft Offenbau der Marktgemeinde Thalmässing liegt in unmittelbarer Nähe der BAB A9 und der ICE-Neubaustrecke Nürnberg - Ingolstadt. Um die Belastungen der Bewohner durch die neue Bahntrasse möglichst gering zu halten, wurde im Planfeststellungsbeschluss eine komplette Einhausung der Neubaustrecke auf Höhe der Ortschaft vorgeschrieben. Festgelegt wurde außerdem, dass das Grundwasser während der Bauphase nur eingeschränkt abgesenkt werden durfte.

Das ursprüngliche Konzept beinhaltete die Herstellung eines flach gegründeten Tunnels als Rechteckquerschnitt in offener Bauweise innerhalb abgebochter, rückverankerter Baugruben zu errichten. Bereits für das Angebot der funktional ausgeschriebenen Neubaustrecke Nürnberg – Ingolstadt wurde ein kostenoptimierter Sondervorschlag in statisch optimierter Gewölbeform entwickelt, der auch beauftragt wurde.

Doch kurz nach Beginn der Bauarbeiten kam es zu Hebungen der bereits betonierten Bodenplatten im südlichen Vorabschnitt und zu Böschungsrutschungen. Die Bauarbeiten wurden eingestellt, um den Ursachen auf den Grund zu gehen.

Es stellte sich heraus, dass ein stark setzungsempfindlicher Untergrund und artesisch gespanntes Grundwasser unterhalb des quartären, ungespannten Grundwasserhorizonts eine Realisierung des ursprünglichen Konzepts nicht zuließ.

Die Aufbruchssicherheit der Baugrubensohle, die Böschungssicherung sowie die mit der vorgesehenen offenen Bauweise nicht beherrschbaren Bodeneigenschaften des verwitterten Opalinustons erforderten eine Überarbeitung der ursprünglich konzipierten Lösung mit besonderer Aufgabenstellung:

- Die Aufbruchssicherheit der Baugrubensohle bei offener Bauweise ohne Grundwasserhaltung im Opalinuston war nicht gegeben.
- Die Böschungssicherung bei offener Bauweise ohne Grundwasserhaltung in den quartären Schichten war mit der möglichen Folge von Böschungsbrüchen und –rutschungen nicht ausführbar.
- Die ausgeprägte Plastizität des bindigen Quartärs und der Schichten der Verwitterungszone des Opalinustons führen zu einer ausgeprägten Setzungsempfindlichkeit.
- Unzulässige Setzungen innerhalb der zum Teil weichen quartären Schichten und der weichen Zonen im aufgewitterten Opalinuston bei einer Flachgründung
- Zweites Grundwasserstockwerk mit artesisch gespanntem Grundwasser mit der Gefahr des Sohlauflaufs
- Böschungsrutschungen auf Trennflächen möglich
- Keine Eingriffe in das Grundwasser seitens der Wasserwirtschaft zulässig, gleichzeitig großräumige Grundwasserabsenkung nicht möglich wegen Setzungsgefahr für Autobahn und Bebauung
- Anstehende quellfähige Schichten des Opalinustons mit erheblichen Quellhebungen bis zu 40 mm, bei Verformungsbehinderung Quelldrücke bis 0,4 MN/m²



- 1 Tunnel Offenbau - Aushubphase 2 - Schutterbetrieb
- 2 Tunnel Offenbau - Druckluftschleuse



Bilder: SSF Ingenieure GmbH

Tunnel Offenbau

Tunnellänge	1.331 m mit Trogstrecke Nord 288 m, Trogstrecke Süd 838 m, gesamt 2.457 m
Überdeckung	zwischen 2,0 m und max. 6,50 m
Querschnittsfläche - Tunnel	rd. 100 m ²
Bohrpfähle	45.000 lfm.
Bauzeit	Bohrpfähle 12 Monate, Druckluftvortrieb 12 Monate Restarbeiten mit Notausstieg in Tunnelmitte 12 Monate
Herstellung	Block 1 bis 7 pfahlgegründet in offener Bauweise, Block 7 bis 107 pfahlgegründet in Deckelbauweise, Trogstrecke jeweils pfahlgegründet
Bauherr	DB AG, vertreten durch die DB Projekt Bau GmbH PZ, Nürnberg
SSF Ingenieure	Machbarkeitsstudie, Objekt- und Tragwerksplanung

- 1 Tunnel Offenbau – Linienbaustelle Bohrpfahlwände
 2 Tunnel Offenbau – Innenansicht Tunnelrohbau / Blick auf Sohlgewölbe
 3 Tunnel Offenbau – Portal Süd einschließlich Trogstrecke

Nach weitergehenden Untersuchungen von 15 Varianten wurde entschieden, den Tunnel Offenbau in Deckelbauweise mit Druckluft zu erstellen:

- Voraushub ohne nennenswerte Absenkung des quartären Grundwasserspiegels, kein Eingriff in das zweite Grundwasserstockwerk
- Herstellung der überschnittenen Bohrpfahlwand von einem Zwischenaushub aus
- Gestaffelte Bohrpfahlängen zur Erhaltung der Umläufigkeit für den Grundwasserstrom im unverwitterten Opalinuston
- Herstellung der Deckel ohne nennenswerte Absenkung des quartären Grundwasserspiegels
- Überschütten der Tunneldecke
- Auffahren des Tunnels unter Druckluft zur Reduzierung der Druckstufe in zwei Aushubschritten

- Teilentspannung des zweiten Grundwasserstockwerks nur in kurzen Abschnitten erforderlich
- Einbau der Spritzbetonsohle unmittelbar nach Erdaushub
- Ablassen der Druckluft
- Einbau der Polsterschicht gegen Quellen im Endzustand unter atmosphärischen Bedingungen
- Einbau der Bauwerkssohle
- Einbau der Bauwerkswände
- Restarbeiten

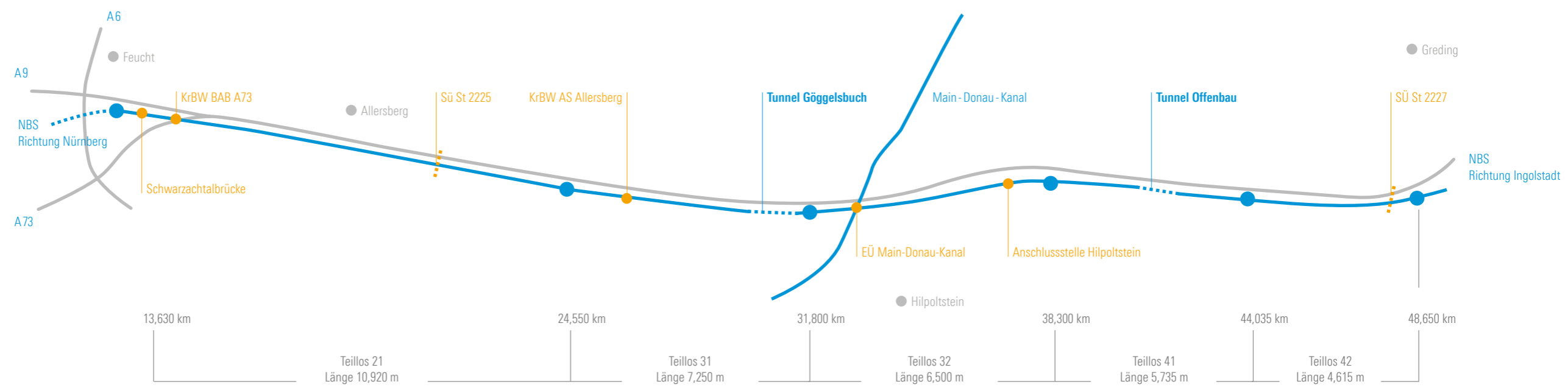
Zunächst wurden überschnittene Bohrpfahlwände hergestellt. Mit bis zu zwölf Bohrgeräten gleichzeitig wurden - zum Erhalt der Umläufigkeit des Grundwasserstromes im unverwitterten Opalinuston - gestaffelte Bohrpfähle mit 1,20 m Durchmesser, einem

Abstand von 1,04 m und einer Länge von bis zu 34 m (bewehrte Sekundärpfähle) eingebracht. Die Bereiche zwischen Block 7 und Block 107 wurden in Form einer Linienbaustelle taktweise mit der Regelblocklänge von 12,50 m und Ausbildung von Pressfugen hergestellt. Nach dem Einbringen der Bohrpfähle erfolgte nachlaufend (ca. 350 m) die Herstellung der 1,0 bis 1,20 m starken Deckelbauteile. In einem Nachlauf von rd. 600 m wurden die fertiggestellten Tunneldeckenabschnitte anschließend mit 3,0 m Erdauflast zur Reduzierung der Luftverluste aus Druckluftbeaufschlagung und Herstellung eines Gleichgewichts zum Luftüberdruck versehen. Nach einer geringen Absenkung des Grundwassers im Bereich des südlichen Voreinschnitts wurden sechs Tunnelblöcke ausgehoben, um die Einrichtung der Personen-, der Material- sowie der Großkammerschleuse für Arbeitsgerät zu ermöglichen.

Aufgrund des anstehenden gespannten Grundwassers unter der Dichtschicht der entfestigten Tone und Tonsteine des Opalinustons musste der Tunnel zur Sicherheit gegen Sohlauflauf bzw. Eindringen des Grundwassers von unten unter Druckluft ausgehoben. Der erforderliche Luftdruck im Bauzustand richtete sich dabei nach dem Druckniveau des anstehenden gespannten Grundwassers im Opalinuston und dem erreichten Aushubniveau.

Der Tunnelvortrieb erfolgte unter Druckluft in 2 Aushubphasen. In Aushubphase 1 wurde der Tunnel bis zur Tiefe der zukünftigen Schienenoberkante beginnend im Süden ausgehoben und bis zum nördlichen Ende hin aufgefahren. Hierzu war eine Druckstufe von ca. 0,7 bar notwendig. Die Anfahrtsituation im Süden wurde über eine Druckwand mit entsprechender Schleuseneinrichtung

Lageplan NBS Nürnberg – Ingolstadt, Los Nord



- EÜ Eisenbahnüberführung
- SÜ Straßenüberführung
- KrBW Kreuzungsbauwerk - Straßenüberführung

realisiert. Die Nordseite des Tunnelbauwerkes blieb während des Druckluftbetriebes durch eine vorab hergestellte Druckwand verschlossen. Anschließend wurde der Sohlstich innerhalb der Aushubphase 2 in einzelnen Abschlüssen, rückschreitend von Nord nach Süd mit einer maximalen Druckstufe von 0,99 bar ausgehoben. Die Abschlaglängen wurden in Abhängigkeit von Geologie und Hydrologie gewählt. Der zweistufige Aushub eröffnete die Möglichkeit über einen möglichst langen Zeitraum mit geringeren Druckstufen arbeiten zu können und nur für den Restaushub die hohe Druckstufe einstellen zu müssen.

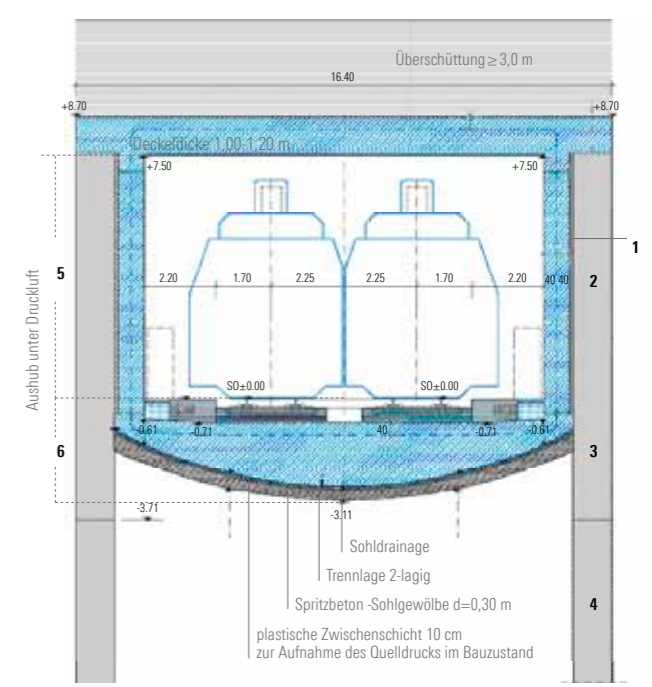
Eine Innovation gegenüber bisherigen Lösungen stellt das in Spritzbeton hergestellte Sohlgewölbe dar, das unmittelbar nach Herstellung des Aushubs mittels bewehrten Spritzbetons hergestellt wurde. Dieses wurde auf die Aufnahme des Wasserdrucks aus dem artesisch gespannten Grundwasser und auf die Aufnahme des Quelldruckes bzw. Quellhebungen (Iterationsverfahren nach dem Nachgiebigkeits- und Widerstandsprinzip) bemessen.

Durch das Sohlgewölbe wurden die Bohrpfähle sofort am Fuß ausgesteift. Die Einleitung der Kräfte von der Spritzbetonsohle auf die Pfahlwand erfolgte über eine aufgeraute Arbeitsfuge, hierfür wurde das Korngerüst des Pfahlbetons freigelegt. Die Druckluft konnte

nach Fertigstellung der Spritzbetonschale abgelassen werden. Der weitere Ausbau wurde unter normalen atmosphärischen Bedingungen fortgeführt, was den Bauablauf erheblich erleichterte, da unter Druckluft besondere Sicherheits- und Gesundheitsschutzbestimmungen gelten, eine permanente medizinische Überwachung der Arbeiter notwendig ist und beispielsweise nur Geräte mit Elektromotoren eingesetzt werden dürfen. Auch die Phase der Grundwasserentspannung konnte durch das Spritzbeton-Sohlengewölbe minimiert werden.

Ein erhebliches Schädigungspotenzial für den Tunnel bestand durch quellfähige Tonsteine (Opalinuston), die der Tunnel auf einer Länge von rund 1000 m durchfährt. Deren Quellverhalten wurde in aufwändigen Untersuchungen analysiert. Auftretende Quellspannungen werden üblicherweise durch eine plastische Zwischenschicht aufgenommen. Beim Tunnel Offenbau wäre allerdings eine Blähton-Schüttdecke von rund 1,20 m notwendig gewesen. Aus diesem Grund wurde eine neuartige Pufferschicht entwickelt, die in der Lage ist, die erforderlichen Werte für Spannung und Verformung zu erfüllen, obwohl sie mit lediglich 10 cm äußerst dünn ist. Diese Pufferschicht wurde direkt oberhalb des Sohlgewölbes eingebracht. Nachdem die Pufferschicht verlegt war, wurde der Innenausbau des Tunnels vollendet. Unter der Tunneldecke wurden Bauwerkssohle und -wände

hergestellt. Die Bauwerkssohle ist über Bereiche mit aufgerauten Arbeitsfugen mit den Bohrpfahlwänden direkt verbunden. Zwischen Bohrpfahlwänden und Innenwänden wurde zum Abbau der Zwängungsspannungen eine Ausgleichsschicht mit Trennlage angeordnet. Der Anschluss der Wände an die Tunneldecke erfolgte mit Muffenstößen. Im Endzustand übernimmt die endgültige Tunnelsohle die Belastung aus Wasserdruck und anteiligem Quelldruck und leitet sie über die Wände in die Tunneldecke und von dort in die Bohrpfahlwände. Durch die Bohrpfähle wird das Bauwerk tiefgegründet. Die Herstellung des gesamten Tunnelbauwerkes erfolgte als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUB-KO) mit innenliegenden Blockfugen- und Arbeitsfugenbändern sowie Verpressschläuchen in den Arbeitsfugen. Vervollständigt wurde das Bauwerk „Tunnel Offenbau“ durch einen Notausstieg sowie durch Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung. An beiden Enden des Tunnels schließen Trogbauwerke mit überschnittenen Bohrpfahlwänden an, um das gespannte Grundwasser dauerhaft zu beherrschen. Herstellung: Der überwiegende Teil der Tunnelstrecke wurde mit einer wasserdichten, umschließenden Wand aus überschnittenen Bohrpfählen hergestellt. Im Süden wurde der Tunnel mit sechs pfahlgegründeten Blöcken in offener Bauweise und daran anschließendem Trogbauwerk umgesetzt, wie auch im Norden eine Trogstrecke anschließt, die ebenfalls mit überschnittenen Bohrpfahlwänden erstellt wurde.



- 1 Ausgleichsschicht mit Trennlage
- 2 überschnittene Bohrpfahlwand
- 3 Primärpfahl unbewehrt d=1,20 m
- 4 Sekundärpfahl bewehrt d=1,20 m, l= bis 32 m, a=1,042 m
- 5 mit Druckstufe 0,7 bar - Aushubphase 1
- 6 max. Druckstufe 0,99 bar - Aushubphase 2

Grafik: edmundsepp

SSF Ingenieure AG
Beratende Ingenieure im Bauwesen

München
Berlin
Halle
Köln

www.ssf-ing.de