

Kreuzungsbauwerk Ehmannastraße, räumliche Statik und Bemessung

Dr.-Ing. Claus Erichsen, Dipl.-Ing. Ralf Druffel
Dipl.-Ing. Andreas Boettcher

Zusammenfassung

Für das Verkehrsinfrastrukturprojekt Stuttgart 21 werden im PFA 1.5 Tunnel für die Fernbahn und für die S-Bahn Richtung Bad Cannstatt hergestellt. Im Bereich der Ehmannastraße kreuzen sich die Trassen. Die Fernbahn wird oberflächennah kreuzungsfrei über die tieferliegende S-Bahn geführt. Wegen der begrenzten Bauhöhen stellt die Sohle der Stahlbetoninnenschale des Fernbahntunnels zugleich die Firste des S-Bahn-Tunnels dar.

Es war zunächst geplant, das Kreuzungsbauwerk in offener Bauweise herzustellen. Vorgesehen war eine Verlegung der Ehmannastraße. Eine Reihe von Bäumen hätte gefällt werden müssen, die z. T. mit Juchtenkäfern besiedelt sind. Weiterhin wären Eingriffe in die Grundgipsschichten erforderlich. Um planungsrechtliche Verzögerungen zu vermeiden, hat die DB PSU entschieden, das Kreuzungsbauwerk in bergmännischer Bauweise herzustellen.

Wegen der begrenzten Bauhöhen mussten Tunnelquerschnitte mit flachen Firsten und mit geringen Ausrundungen im Sohlgewölbe sowie vergleichsweise dünnen Innenschalen geplant werden.

Die Ehmannastraße wird oberflächennah unter laufendem Straßenverkehr unterfahren. Der Abstand zwischen der Tunnelfirste und den Verkehrsflächen an der GOF beträgt z. T. nur 3 m. Der Vortrieb erfolgt konventionell im Schutz von vorauseilenden Sicherungen.

Das Kreuzungsbauwerk wird als monolithischer Block ausgeführt. Die Herstellung erfolgt abschnittsweise mit durchgehender Bewehrung in den Arbeitsfugen. Die Längen des Kreuzungsbauwerks betragen 48 m für die S-Bahn und 64 m für die Fernbahn.

Für den Ausbruch und die Sicherung sowie für die Innenschalen des Kreuzungsbauwerks wurden zwei- und dreidimensionale FE-Berechnungen durchgeführt. Für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wurden auch die Einflüsse aus Kriechen und Schwinden berücksichtigt. Die statischen Berechnungen führen zu vergleichsweise großen Bewehrungen.

1. Aufgabenstellung

Im Zuge des Infrastrukturprojektes Stuttgart 21 kreuzen sich die Trassen für die Fernbahn und für die S-Bahn im Bereich der Ehmannastraße (Bild 1). Die Fernbahngleise werden kreuzungsfrei über die S-Bahngleise geführt. Die Gradienten beider Trassen liegen unterhalb der Geländeoberfläche, unter der Ehmannastraße und unter der Zufahrt DB Regio. Es war zunächst geplant, beide Tunnel im Kreuzungsbereich in offener Bauweise herzustellen.

len. Wegen der begrenzten Bauhöhen stellt die Sohle der Stahlbetoninnenschale des Fernbahntunnels zugleich die Firste des S-Bahn-Tunnels dar (Bild 2).

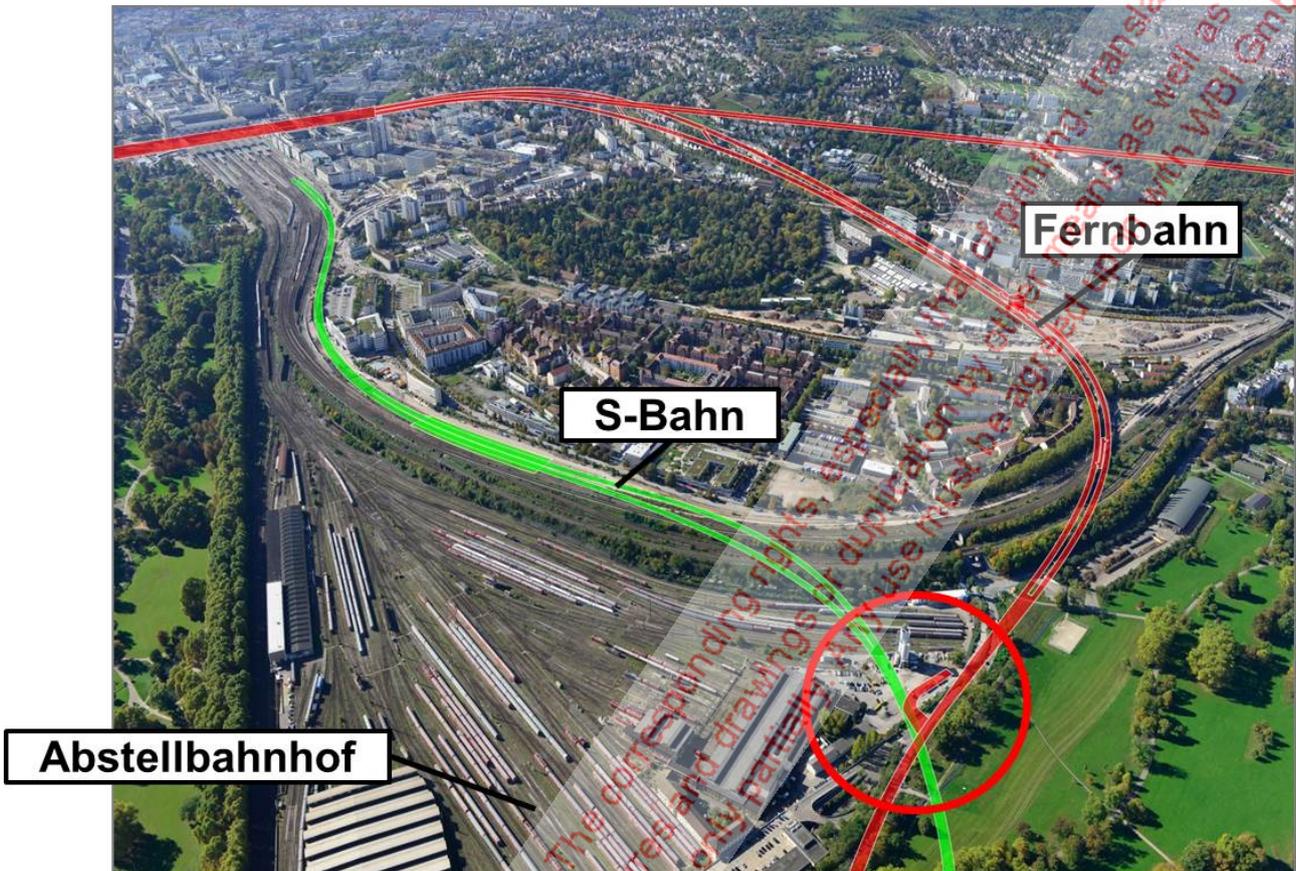


Bild 1: Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße

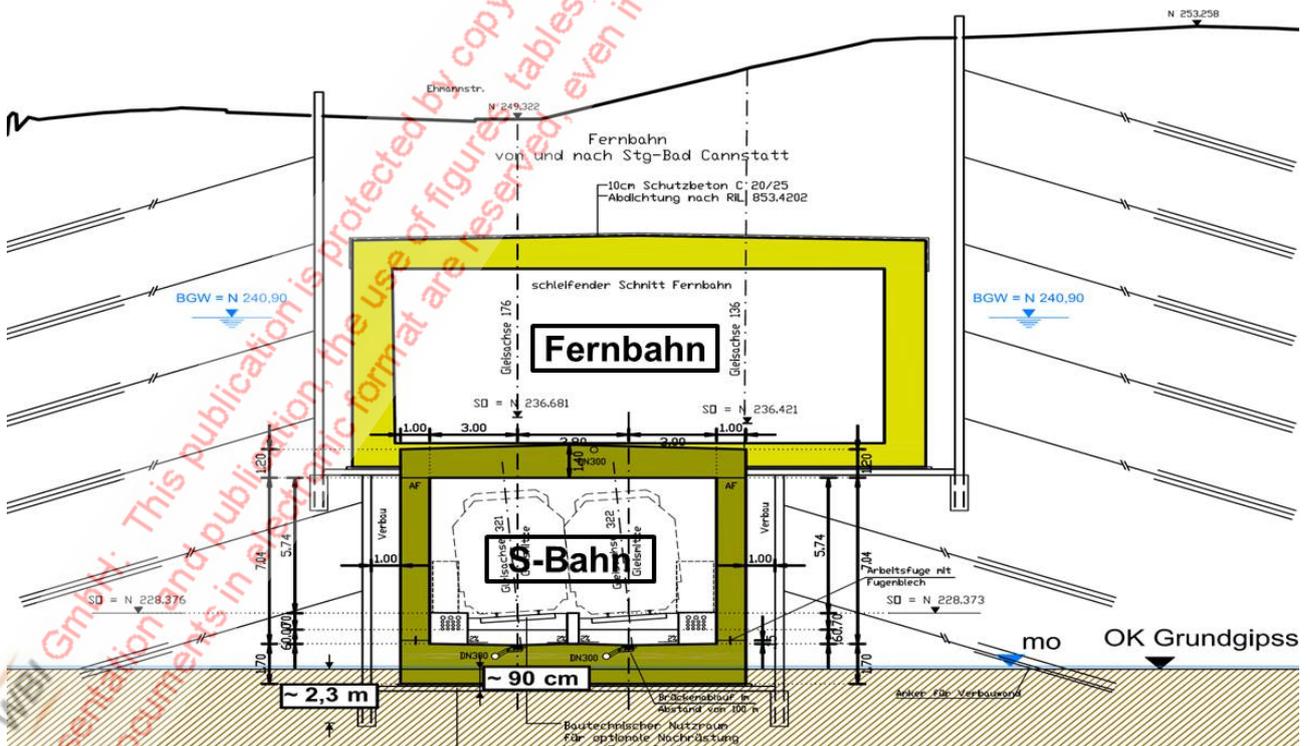


Bild 2: Offene Bauweise: S-Bahn-Tunnel, Schnitt Kreuzungsbauwerk

Für die Herstellung des Kreuzungsbauwerks in offener Bauweise war eine Verlegung der Ehmannastraße vorgesehen. Eine Reihe von Bäumen hätte gefällt werden müssen, die mit Juchtenkäfern besiedelt sind (Bild 3). Im Hinblick auf die Umsetzung der Baumaßnahme wäre es deshalb aus planungsrechtlichen Gründen zu erheblichen Verzögerungen gekommen.

Die DB PSU hat daher entschieden, das Kreuzungsbauwerk in bergmännischer Bauweise herzustellen.

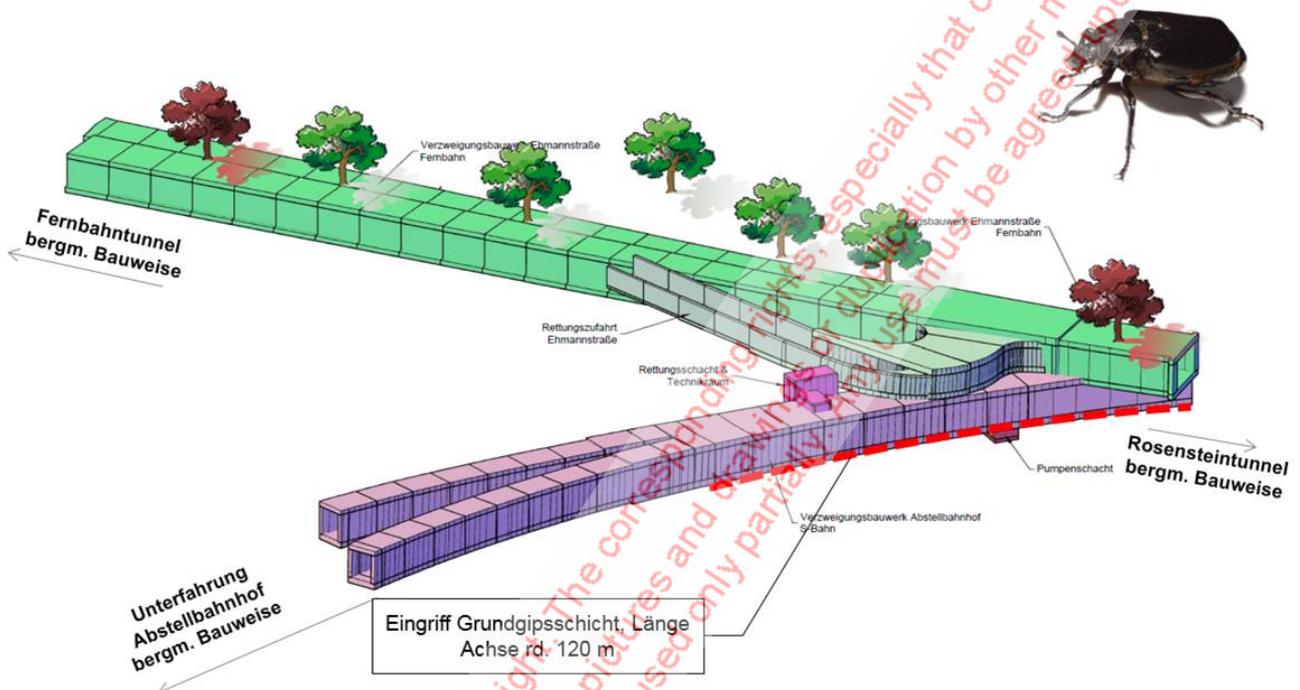


Bild 3: Übersicht der betroffenen Juchtenkäferbäume

2. Untergrund und Grundwasser

Die Tunnel liegen im Gipskeuper (Bilder 2 und 6). In Höhe der Sohle des tiefliegenden S-Bahntunnels stehen die Grundgipsschichten an. Oberhalb der Grundgipsschichten liegen der Bochinger Horizont und die Dunkelroten Mergel der Gipskeuperformation in ausgelaugter Form. Die im Ausgangsgestein enthaltenen Sulfate sind in geologischen Zeiträumen in Lösung gegangen und mit dem Grundwasser abtransportiert. Im Bereich der Geländeoberfläche stehen Auffüllungen und quartäre Schichten an.

Der Druckspiegel des Mineralwassers im unterlagernden Muschelkalk liegt etwas oberhalb der Sohle für die Baugrube für die Ausführung in offener Bauweise (Bild 2). Der Grundwasserspiegel im Gipskeuper steht in den Dunkelroten Mergeln an und kann bis zur GOF reichen.

3. Bergmännische Bauweise

Für die bergmännische Bauweise ist folgender Bauablauf vorgesehen:

- Herstellen einer 78 m langen und ca. 20 m tiefen S-Bahn-Baugrube seitlich vom Abstellbahnhof (Bilder 4 bis 6):

Die Baugrubensohle liegt oberhalb der Grundgipsschichten und oberhalb des Druckspiegels des Mineralwassers. Die Sicherung der Baugrubenwände erfolgt mit bewehrtem Spritzbeton und einer Rückverhängung mit vorgespannten Ankern. Mit dieser Sicherung werden Eingriffe in die Grundgipsschichten und unter den Druckspiegel des Mineralwassers vermieden. Das Grundwasser im Gipskeuper wurde vorab mit Vakuumbrunnen auf Niveau Baugrubensohle abgesenkt. Die die Baugrube kreuzende Zufahrt DB Regio wird mit einer Hilfsbrücke über die Baugrube geführt. Bilder 5 und 7 zeigen Fotos mit Blicken in die Baugrube. Beim Aushub wurden horizontale und vertikale Verschiebungen von max. 3 bis 4 cm gemessen (Bild 6).

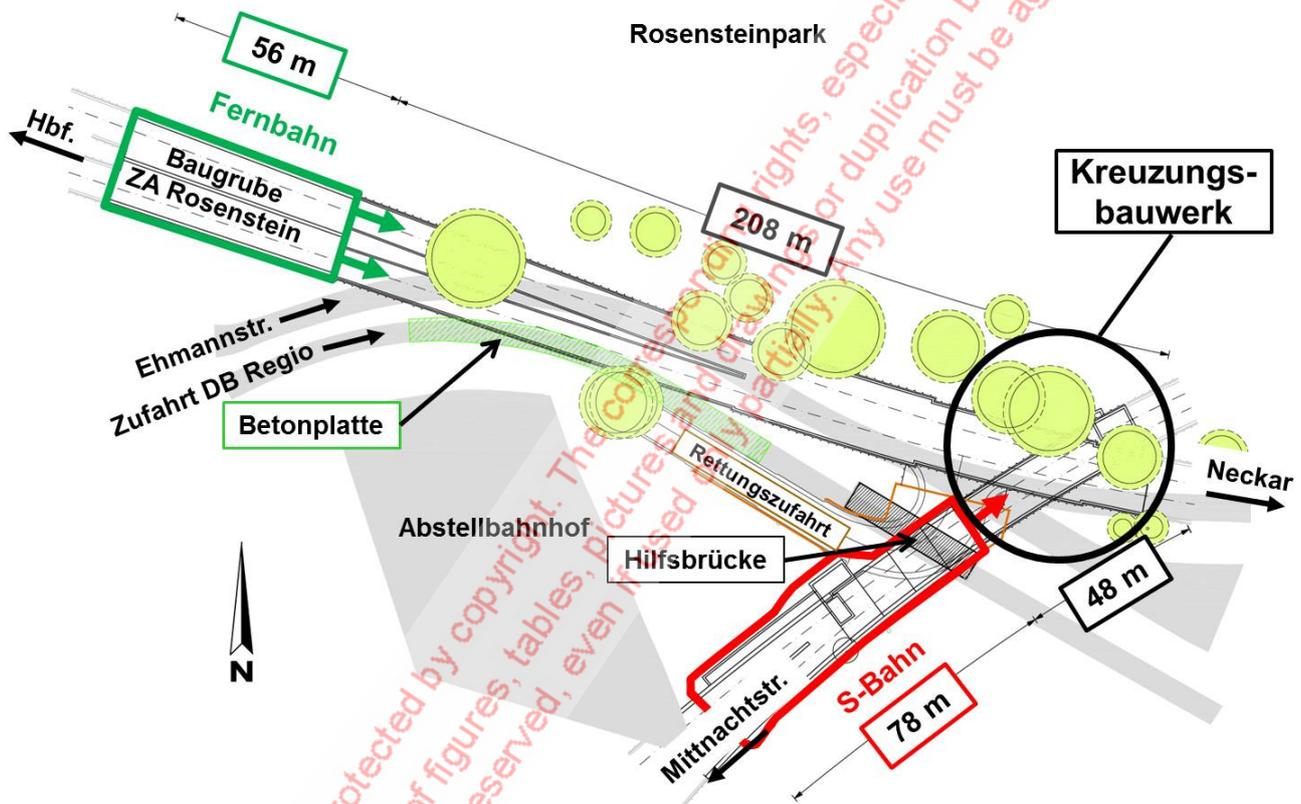


Bild 4: Lageplan Bergmännische Bauweise

- Auffahren des tiefliegenden, zweigleisigen S-Bahntunnels im Bereich des Kreuzungsbauwerks (Anlage 7):

An die S-Bahn-Baugrube schließt in nordöstliche Richtung das Kreuzungsbauwerk an (Bilder 4, 5 und 7). Der tiefliegende S-Bahn-Tunnel wurde im Kalottenvortrieb mit temporärem Kalottensohlgewölbe und nachlaufendem Strossen-/Sohlabbau aufgeföhren. In Bild 7 sind in grüner Farbe die Unter- und die Oberkante für den darüber liegenden Fernbahntunnel dargestellt. Wegen der beengten Bauhöhen mussten Tunnelquerschnitte mit flachen Firsten und mit geringen Ausrundungen im Sohlgewölbe sowie vergleichsweise dünnen Innenschalen geplant werden. Auch bei der bergmännischen Bauweise stellt im Kreuzungsbereich die Firste des S-Bahn-Tunnels zugleich die Sohle des Fernbahntunnels dar (Bild 8).

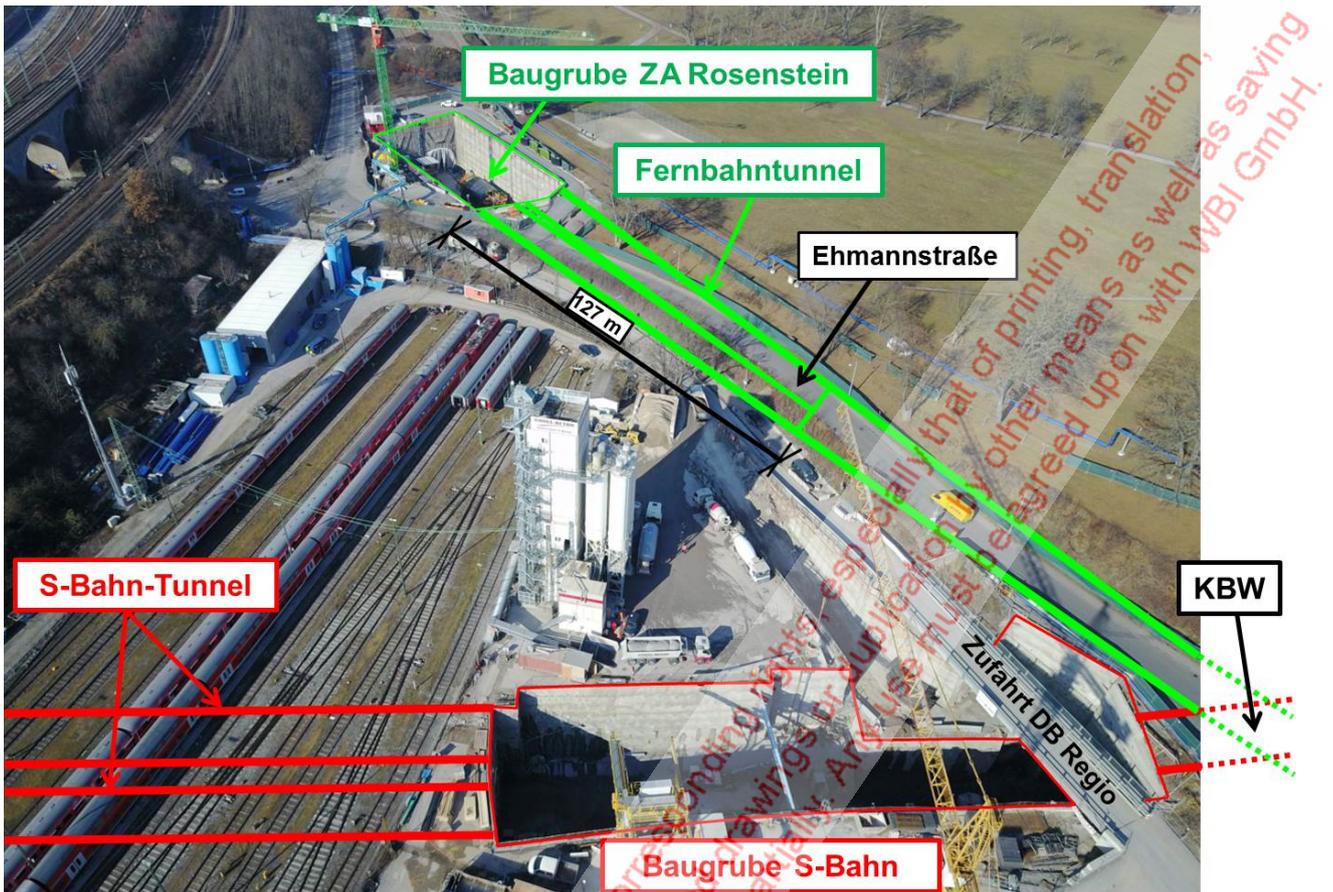


Bild 5: Baugruben für die Ausführung der Tunnelvortriebe für die S-Bahn und für die Fernbahn

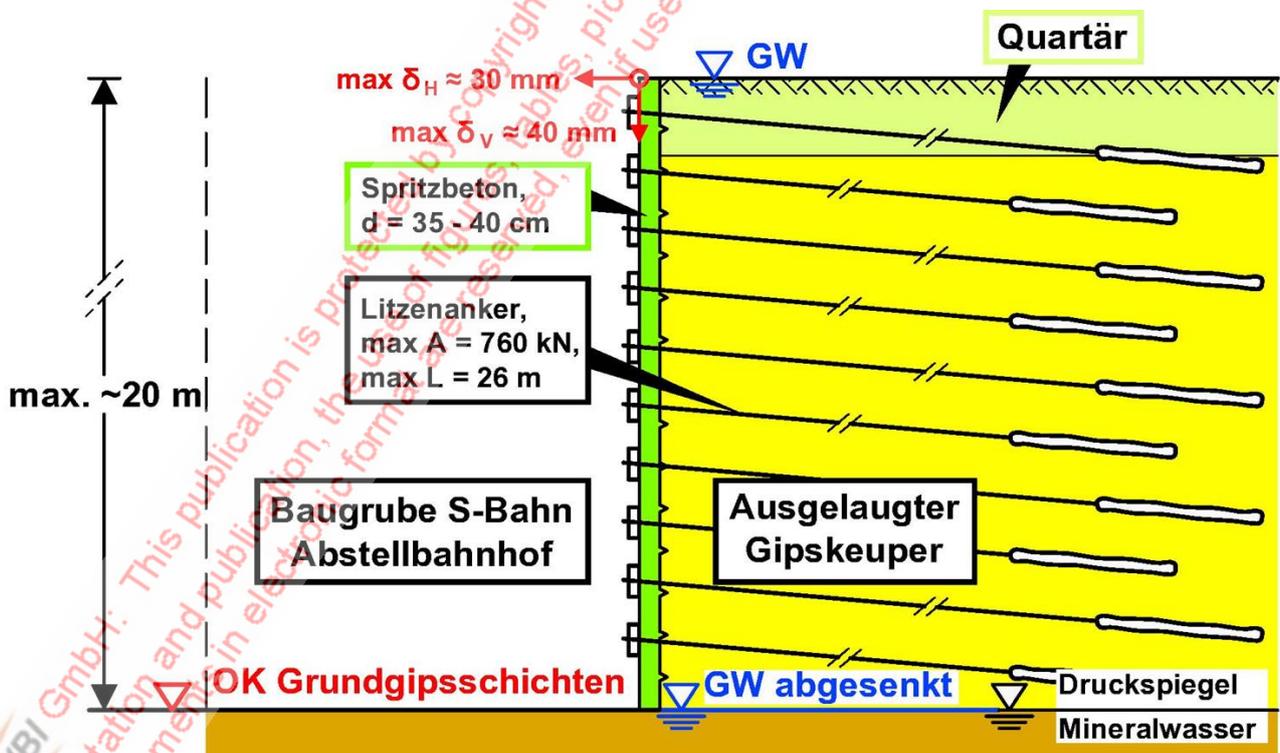


Bild 6: S-Bahn Baugrube Abstellbahnhof

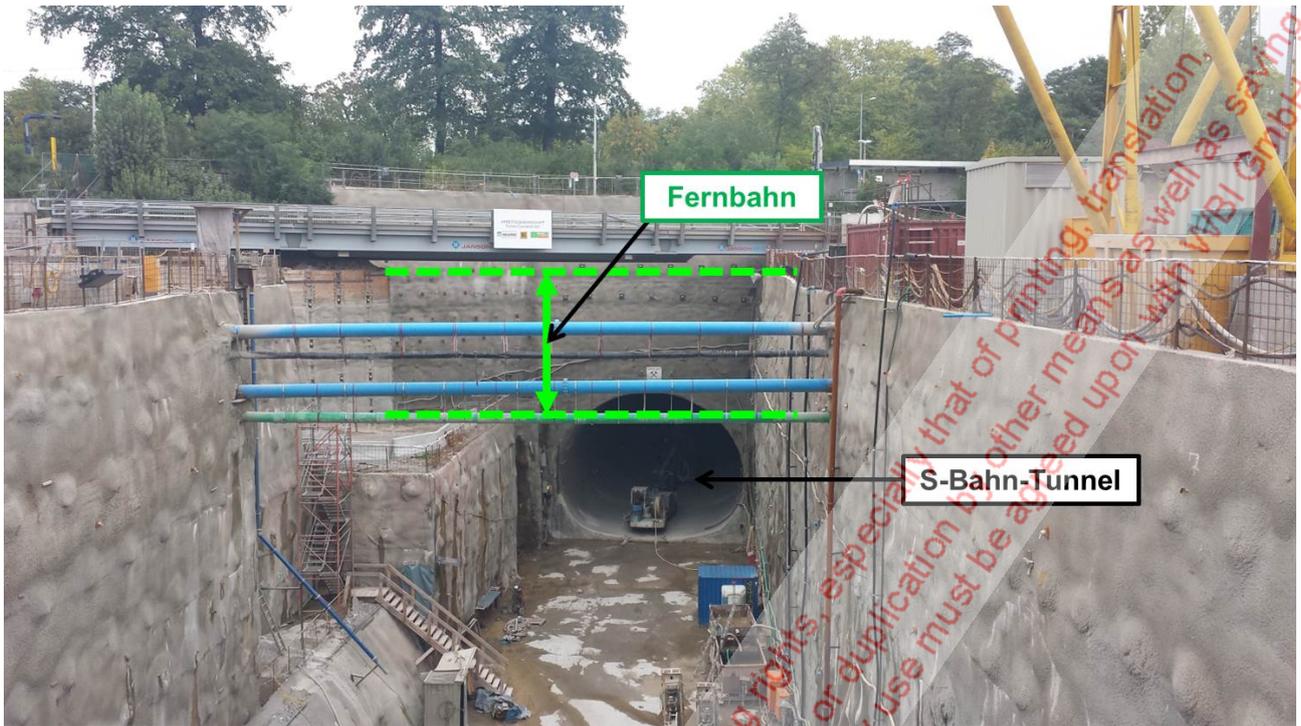


Bild 7: S-Bahn: Baugrube und Tunnel

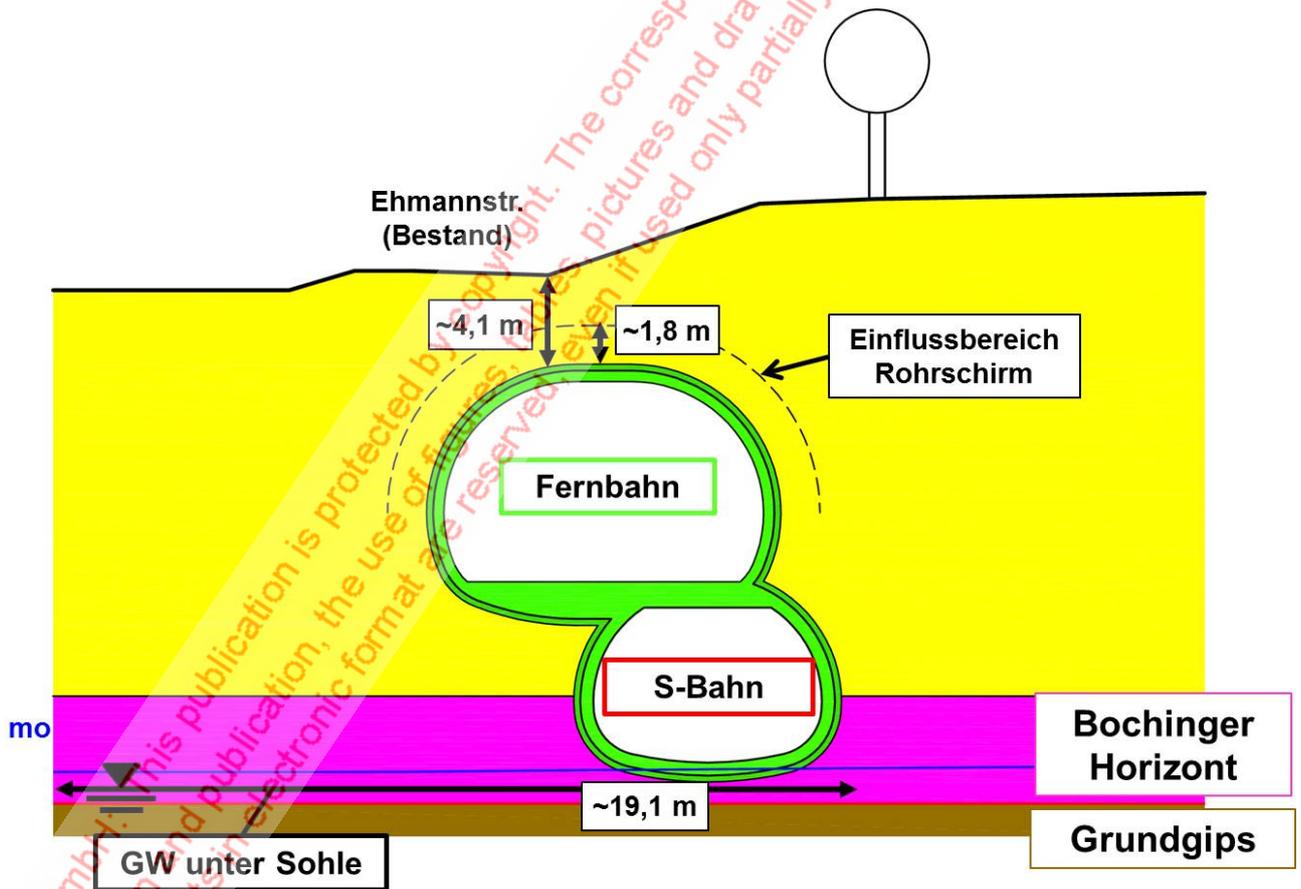


Bild 8: Kreuzungsbauwerk S-Bahn/Fernbahn, Schnitt

- Auffahren des Fernbahntunnels:

Der Fernbahntunnel wird von der Baugrube ZA Rosenstein aus in Richtung Südosten aufgefahren (Bilder 4 und 5).

In einem ca. 127 m langen, an die Baugrube angrenzenden Abschnitt werden 2 eingleisige Tunnelröhren aufgefahren (Bilder 5 und 9). Vor dem Auffahren der 2. Röhre wird in die zuerst aufgefahrne Tunnelröhre ein zwischen den Tunnelröhren liegender Spritzbetonpfeiler hergestellt (Bild 10).

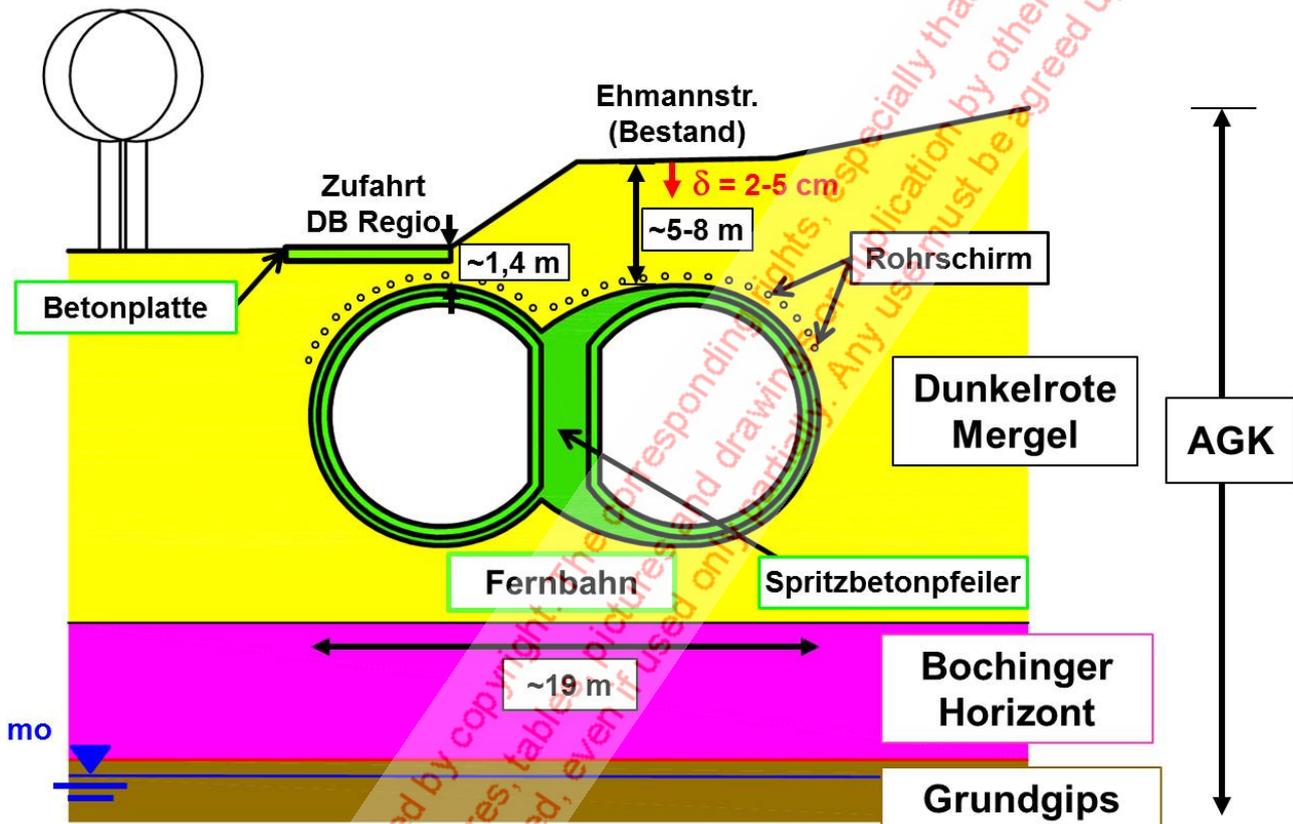


Bild 9: Fernbahn, 2 eingleisige Röhren

Es werden die Ehmmanstraße und die Zufahrt DB Regio unterfahren. Die Vortriebe erfolgen im Vollausbuch mit abgetreppter Ortsbrust. Unter der Ehmmanstraße beträgt der Abstand zur Tunnelfirste 5 bis 8 m. Der Vortrieb erfolgt im Schutze von vorseilend hergestellten Rohrschirmen. Zur Begrenzung der Senkungen werden ein früher Sohlschluss ausgeführt und vorseilend Ortsbrustanker eingebaut. Unter der Zufahrt DB Regio beträgt der Abstand zur Tunnelfirste teilweise nur 1,4 m. In diesen Abschnitten wurde unter der Zufahrt zusätzlich eine Stahlbetonplatte hergestellt. Die Platte wurde bewehrt ausgeführt, sodass vortriebsbedingte Senkungen von der Platte überbrückt werden können (Bild 9). Beim Vortrieb der ersten eingleisigen Tunnelröhre wurden auf den ersten 84 m im Bereich der Ehmmanstraße vortriebsbedingte Senkungen bis 46 mm gemessen (Bild 11).

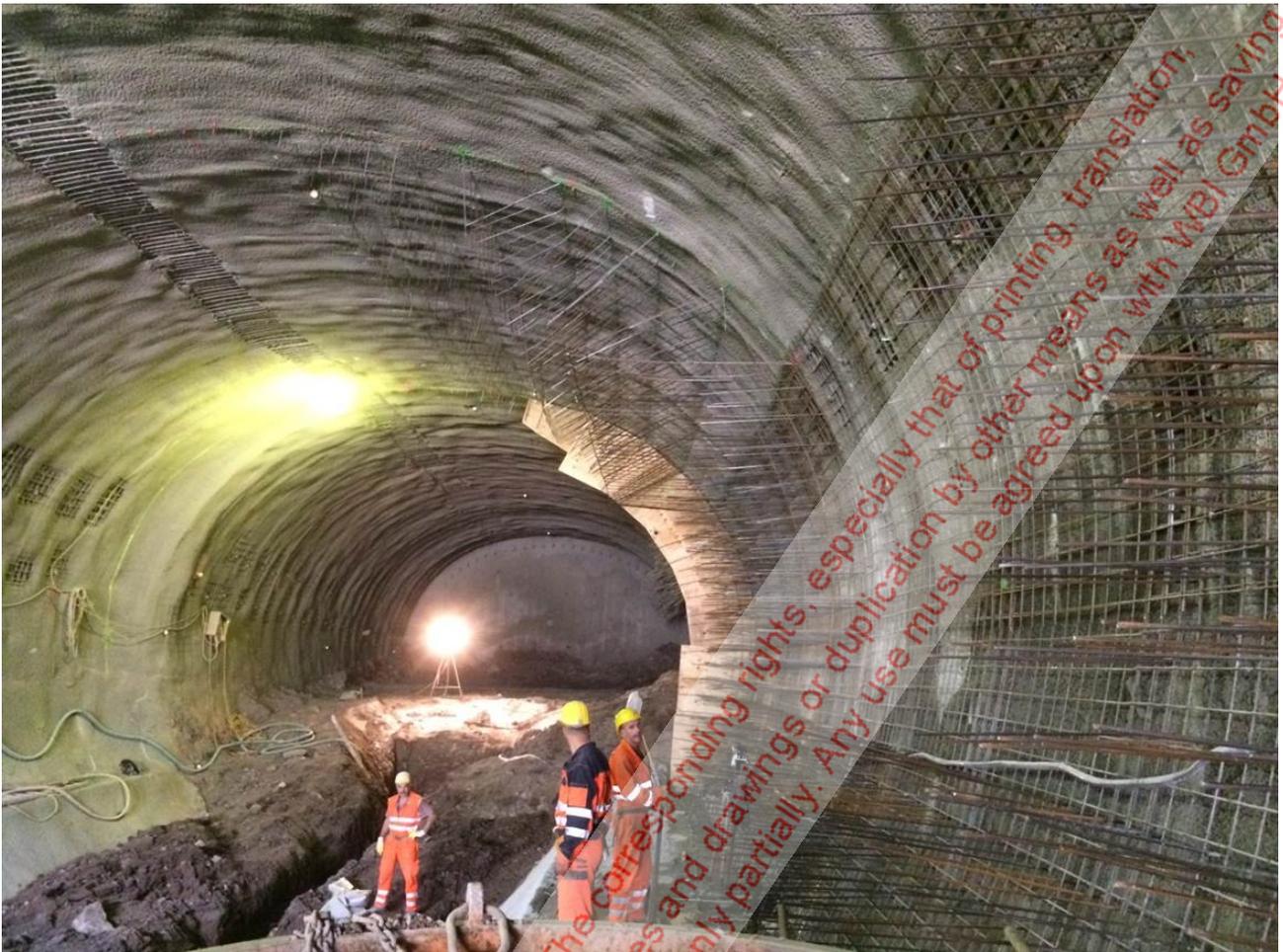


Bild 10: Fernbahn, 2 eingleisige Röhren, Vortrieb

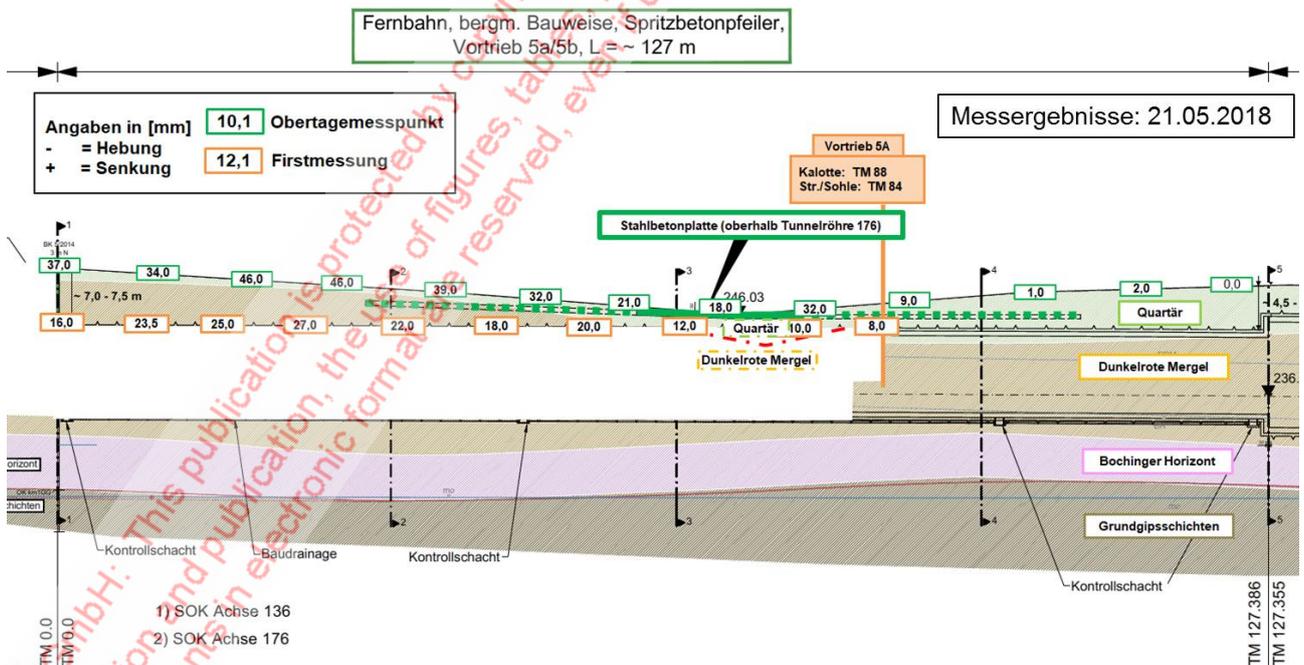


Bild 11: Fernbahn, 2 eingleisige Röhren, Vortrieb und Senkungen

An den Abschnitt mit den beiden eingleisigen Tunnelröhren schließt sich ein zweigleisiger Tunnelabschnitt an. Die Breite der Tunnelröhre beträgt bis zu 17,5 m und die Höhe bis zu 14 m (Bild 12). Der Abstand zwischen der Tunnelfirste und der Geländeoberfläche beträgt 3 bis 6 m. Der vergleichsweise große Tunnelquerschnitt wird in 3 Teilquerschnitten aufgeföhren. Vorgesehen sind 2 Ulmenstollenvortriebe mit nachlaufendem Ausbruch des Kerns. Die Vortriebe sollen im Schutz von Rohrschirmen erfolgen. Zur Begrenzung der Senkungen an der GOF sind in allen Tunnelvortrieben ein früher Sohlschluss und vorausseilend Ortsbrustanker vorgesehen (Bild 12).

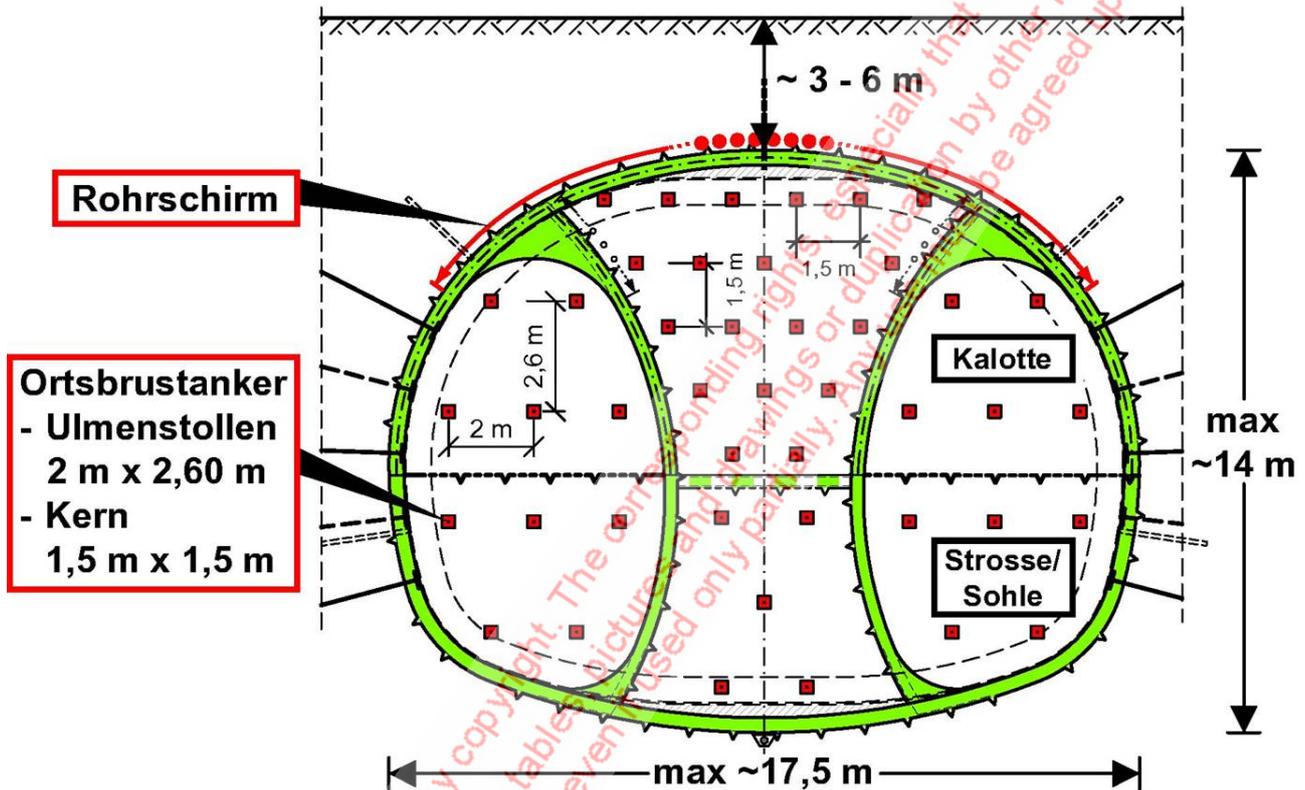


Bild 12: Fernbahntunnel zweigleisig - Ausbruch und Sicherung

4. Kreuzungsbauwerk

Im Kreuzungsbauwerk von Fern- und S-Bahn stellt die Sohle der Fernbahntunnelröhre zugleich die Firste der S-Bahn-Tunnelröhre dar (Bild 8). Das Kreuzungsbauwerk wird als monolithischer Block ausgeführt (Bild 13). Die Herstellung erfolgt abschnittsweise mit durchgehender Bewehrung in den Arbeitsfugen. Die Längen des Kreuzungsbauwerks betragen 48 m für die S-Bahn und 64 m für die Fernbahn. Seitlich von der Verschneidung mit dem S-Bahn-Tunnel ist im Fernbahntunnel ein Abzweig für eine Rettungszufahrt vorgesehen, der ebenfalls monolithisch mit dem Kreuzungsblock verbunden ist.

Für die Untersuchung der Standsicherheit des Kreuzungsbauwerks wurden zwei- und dreidimensionale Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente durchgeführt. Bild 14 zeigt ein FE-Netz für einen 2D-Schnitt durch das Kreuzungsbauwerk. Die Ulme des Fernbahntunnels ist mittig auf die Firste des S-Bahn-Tunnels gelagert. Durch die kon-

zentrierte Linienlast ergeben sich in der Firste des S-Bahn-Tunnels vergleichsweise große Biegemomente und innenliegende Bewehrungsquerschnitte.

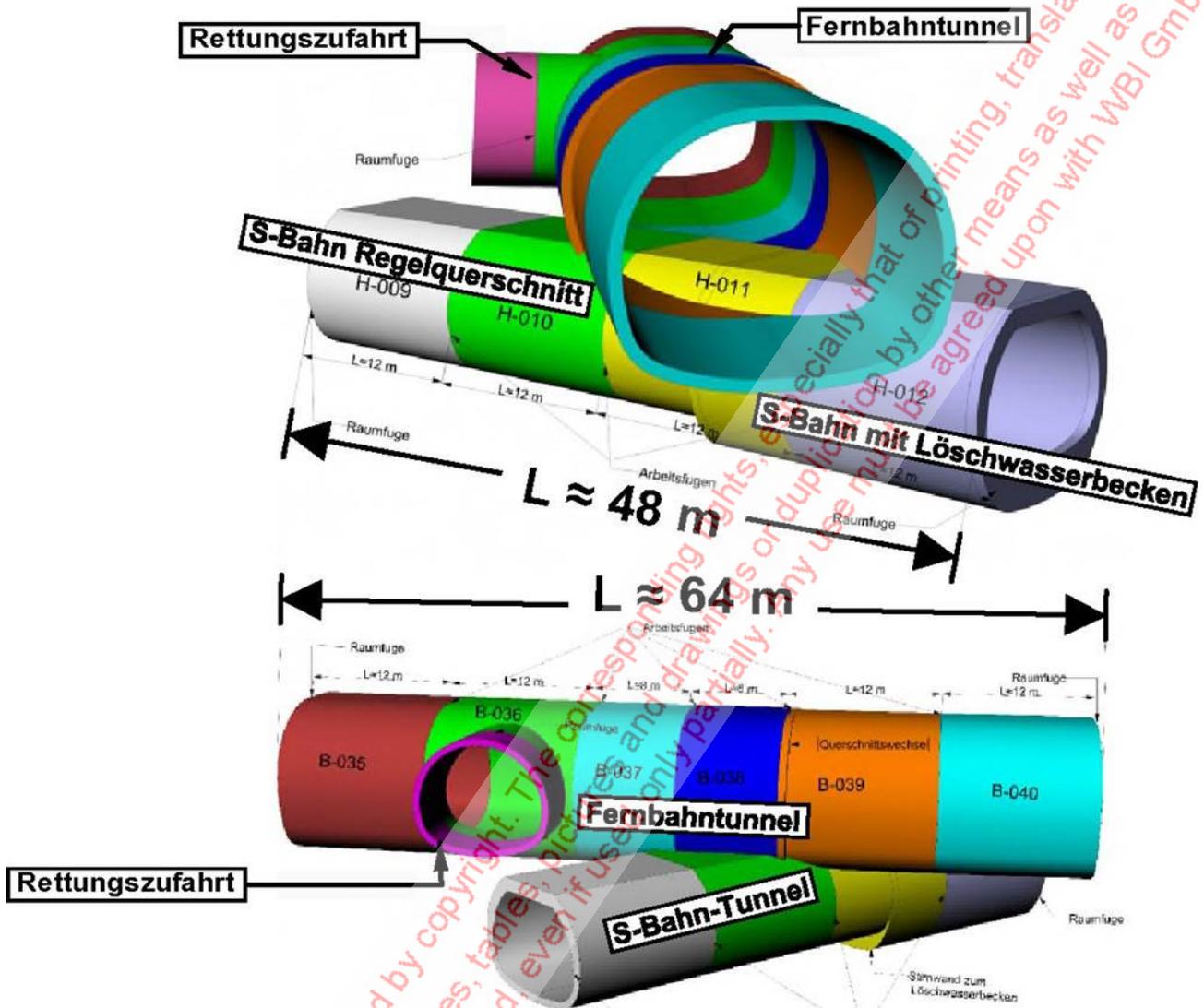
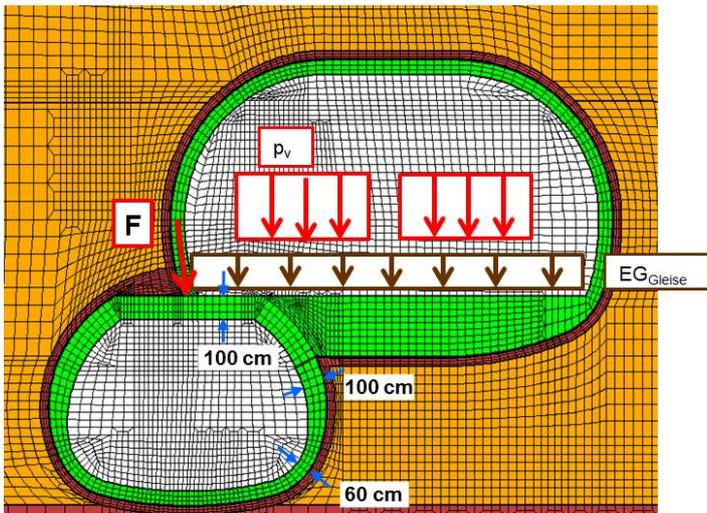


Bild 13: Bergmännische Bauweise: 3D-Ansicht Kreuzungsbauwerk

Die Fernbahntunnelröhre wird von oben durch das überlagernde Gebirge in Längsrichtung nahezu gleichmäßig belastet. Die Auflagerung der Fernbahnröhre ist ungleichmäßig. In Längsrichtung ist die Röhre an den Seiten auf ausgelaugtem Gipskeuper gegründet, in der Mitte auf dem S-Bahn-Tunnel (Bild 15).

Die S-Bahn-Tunnelröhre hingegen ist gleichmäßig im Untergrund gegründet und die Belastung ist ungleichmäßig. An den längsseitigen Rändern wird der S-Bahn-Tunnel durch das überlagernde Gebirge nahezu gleichmäßig belastet, in der Mitte erhält der S-Bahn-Tunnel konzentrierte Belastungen aus der Auflagerung der Fernbahntunnelröhre (Bild 15).

Zur Erfassung der Wechselwirkung von Fernbahntunnelröhre, S-Bahn-Tunnelröhre und Untergrund wurden räumliche Betrachtungen durchgeführt. Aus diesen Berechnungen ergeben sich in der Firste der Fernbahntunnelröhre und in der Sohle der S-Bahn-Tunnelröhre Bewehrungen in Längsrichtung (Bild 15).



BQ 2: Ulme Fernbahntunnel mittig auf Decke S-Bahn-Tunnel

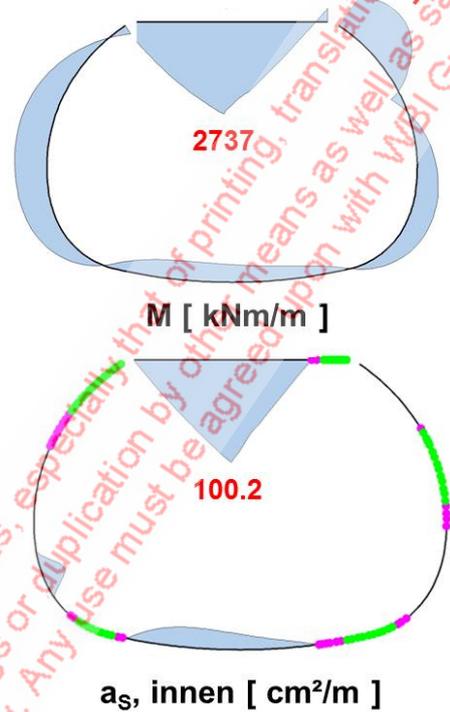


Bild 14: BQ 2, Fall AN, Lastfall EG, Gebirgsdruck und Verkehrslasten, Biegemoment und erforderliche Bewehrung (innen) im S-Bahn-Tunnel

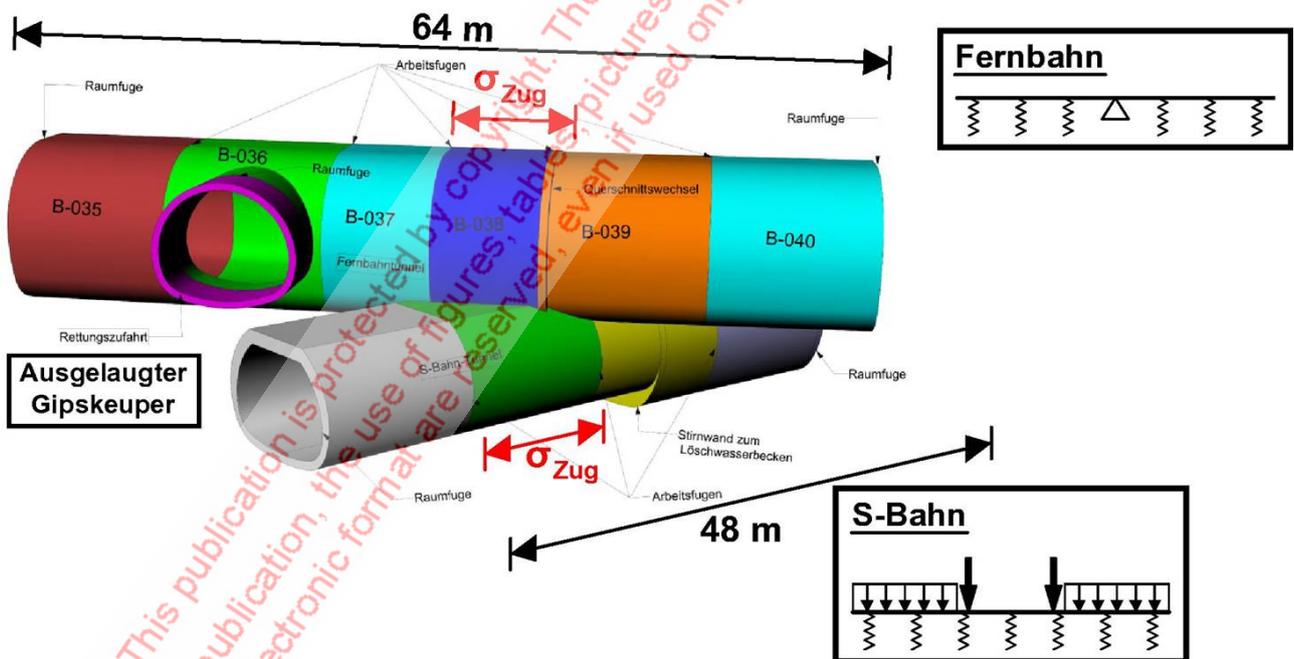


Bild 15: Räumliche Tragwirkung, Längsrichtung

Aufgrund der monolithischen Ausführung des Kreuzungsbauwerks mit vergleichsweise großen Abmessungen waren die Einflüsse aus Kriechen und Schwinden bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit besonders zu berücksichtigen.

Wie oben erläutert, muss dieses komplexe Bauwerk wegen der beengten Platzverhältnisse mit vergleichsweise flachen Firsten und Sohlen sowie dünnen Bauteildicken ausgeführt werden. Insbesondere in der Firste des S-Bahn-Tunnels ergeben sich vergleichsweise hohe Bewehrungen in Umfangsrichtung (innenseitig bis zu 4 Lagen Durchmesser 28 mm in Abständen von 15 cm). Für die Anschlüsse der Fernbahntunnelröhre an die S-Bahnröhre sind zusätzlich ein bis zwei Lagen Anschlussbewehrung notwendig (Bilder 16 und 17). Die Bewehrungen für die Anschlüsse von Fern- und S-Bahnröhre sollen mit Muffen gestoßen werden. Der lagegenaue Einbau dieser vergleichsweise hohen und komplexen Bewehrungen stellt eine Herausforderung an die Ausführung dar. Die Planung der Bewehrung erfolgte in einem räumlichen Modell (Bilder 18 und 19), das der Ausführung für den lagegenauen Einbau zur Verfügung gestellt werden soll.

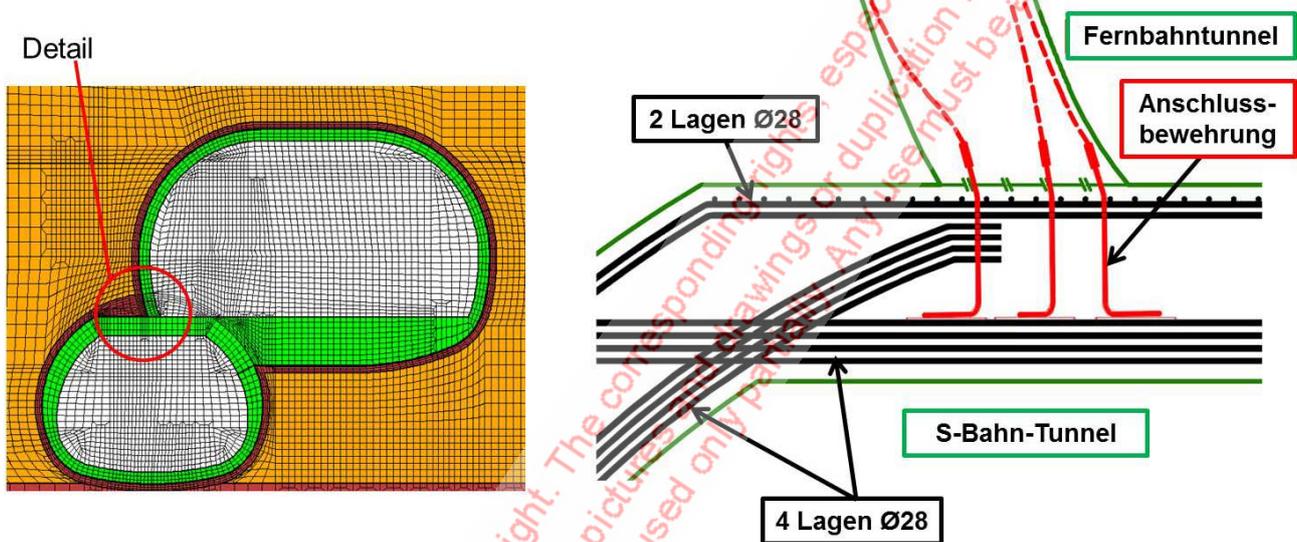


Bild 16: Bewehrung S-Bahn-Tunnel mit Anschluss an Ulme Fernbahntunnel

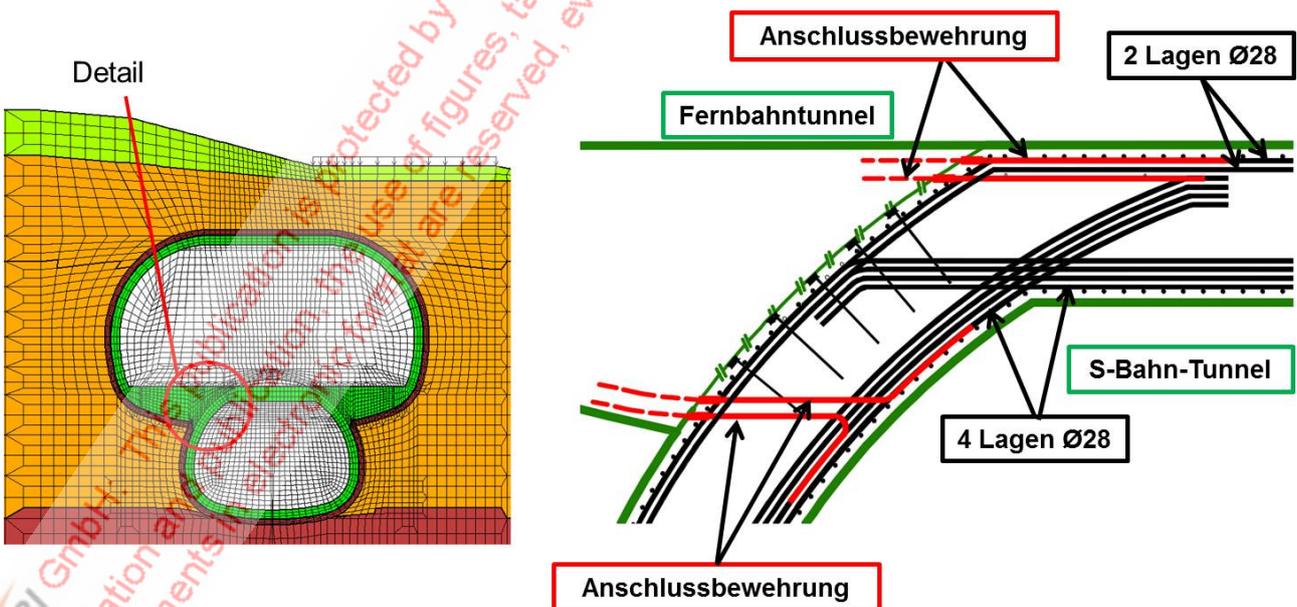
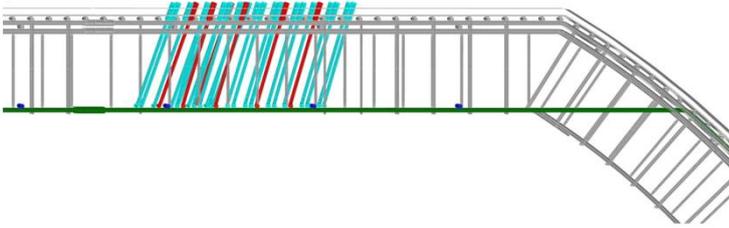
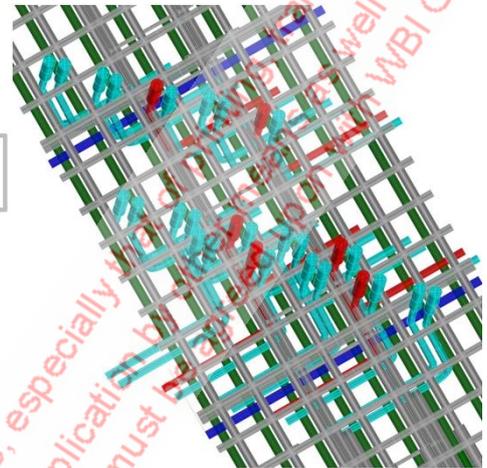


Bild 17: Bewehrung S-Bahn-Tunnel mit Anschluss an Sohle Fernbahntunnel

Querschnitt



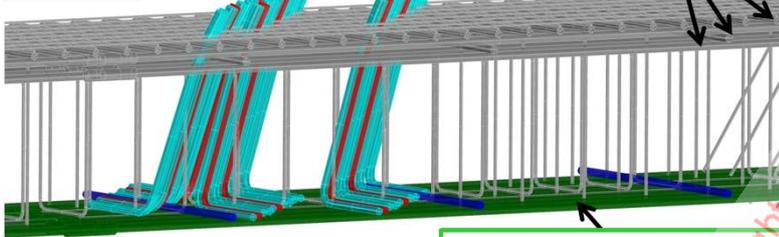
Draufsicht



Anschlussbewehrung
Fernbahn

Umfangs- und
Längsbewehrung außen

Ansicht



Umfangsbewehrung innen
(oberste Lage)

Bild 18: Bewehrung Decke S-Bahn-Tunnel, räumliche Darstellung

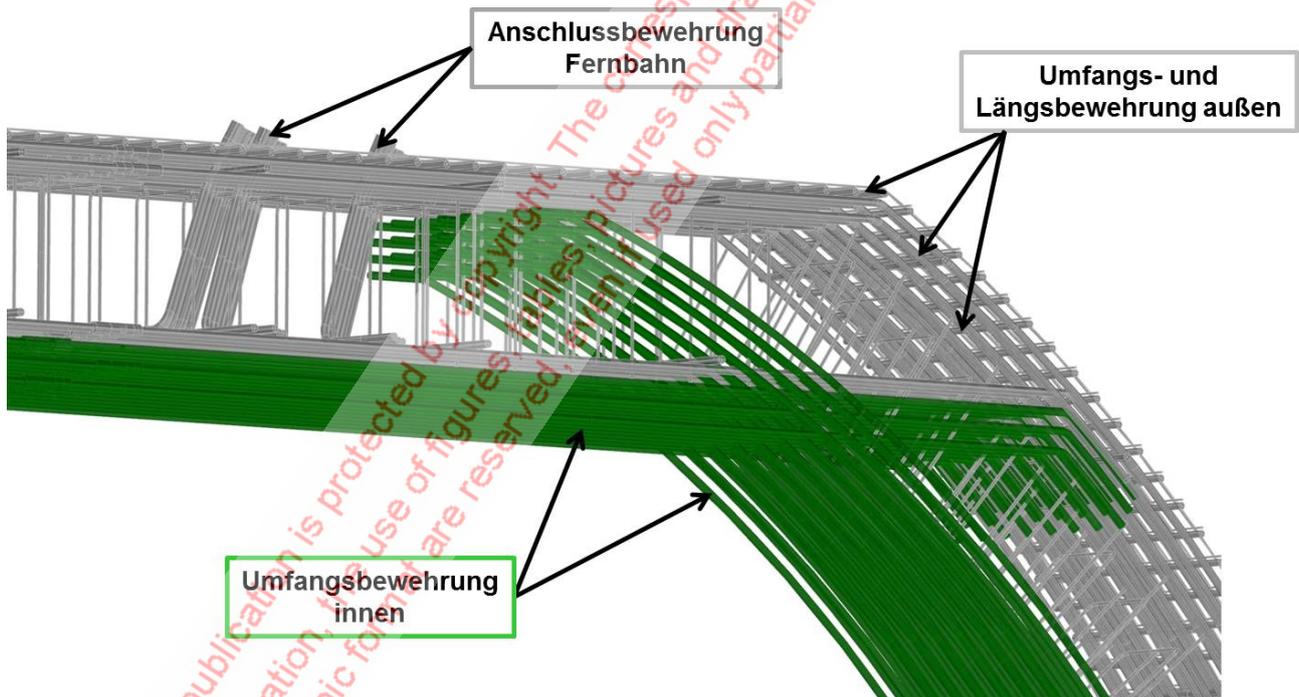


Bild 19: Bewehrung Rahmenecke S-Bahn-Tunnel, räumliche Darstellung

Literatur

Wittke, W.: Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM), Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2014. ISBN-Nr.: 978-3-433-03079-0.

Wittke, W.: Baugrundverhältnisse des Bahnprojekts Stuttgart-Ulm. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Wittke, W.; Druffel, R.; Strangfeld, W.: Bergmännische Unterfahrung der Ehmannastraße - Juchtenkäfer über der Firne und Mineralwasser unter der Sohle. Vortrag anlässlich des 2. Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 13.04.2016. WBI-PRINT 19, Weinheim, 2016.

Strangfeld, W.; Wolf, M.: Chancen- und Risikobewertung des Bauherrn zur Änderung der Entwurfsplanung am Beispiel der Planungen im anhydritführenden unausgelaugten Gebirge sowie dem Kreuzungsbauwerk Ehmannastraße. Vortrag anlässlich des 2. Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 13.04.2016. WBI-PRINT 19, Weinheim, 2016.

DB PSU; WBI: Machbarkeitsstudie und Ausführungsplanung für das Kreuzungsbauwerk Ehmannastraße in bergmännischer Bauweise, seit 2014, unveröffentlicht.