

Feste Fahrbahn für die Hochgeschwindigkeits-Bahnstrecke von Tel Aviv nach Jerusalem in Israel

Die Eisenbahnstrecke von Tel Aviv nach Jerusalem existiert seit Ende des 19. Jahrhunderts. Zurzeit wird eine neue hochmoderne Bahnverbindung zwischen beiden Städten erstellt.

1. Historie

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts war die Reise vom Mittelmeer nach Jerusalem nur über Pfade, zu Fuß oder reitend möglich. Palästina war in dieser Zeit ein unterentwickelter Teil des Osmanischen Reichs.

Nach mehreren gescheiterten Versuchen wurde am 29.12.1889 eine Gesellschaft gegründet, die von der türkischen Regierung eine Konzession zum Bau einer Eisenbahnstrecke von Yafo, dem heutigen Tel Aviv, nach Jerusalem erhielt. Das Vorhaben wurde von französischen, deutschen und belgischen Investoren, sowie von kirchlichen Institutionen finanziert, die sich damit eine Erleichterung und Unterstützung der Pilgerfahrten nach Jerusalem erhofften.

Die Bauarbeiten begannen am 30.03.1890 und am 26.09.1892 wurde die Strecke offiziell eröffnet. Planung und Bau wurden von französischen Firmen ausgeführt.



*Abb. 1 Feierliche Eröffnung der Strecke in Jerusalem
(Quelle: <http://web.nli.org.il/sites/NLI/Hebrew/gallery/of-israel/Pages/dreamland.aspx>)*

Die Strecke mit einer Spurweite von 1000 mm verlief vom Bahnhof Yafo durch das Soreq Tal nach Jerusalem. In den Bergen folgte die Strecke dem sehr gewundenen Talverlauf. Auf diese Weise konnten große Steigungen vermieden werden, allerdings auf Kosten einer verlängerten Strecke und enger Kurvenradien.



Abb. 2 Streckenführung Yafo - Jerusalem

Die Fahrt nach Jerusalem dauerte 4 Stunden und es fuhren zweimal täglich Züge in jeder Richtung.

Während des ersten Weltkriegs besetzte die britische Armee Palästina und übernahm auch die Eisenbahnstrecke. Sie wurde ohne Trassenänderungen in die Regelspur 1435 mm umgebaut. Im Jahr 1948 übernahm der Staat Israel die Strecke und unterhält sie mit Unterbrechungen bis heute.

Aufgrund der langen Fahrzeiten, der unbequemen Reise und der Konkurrenz der Straße nahm die Zahl der Passagiere kontinuierlich ab. Im Jahr 1998 beschloss die Israelische Bahn, die Strecke attraktiver zu machen und die Nutzung von Zügen mit Neigetechnik auf der Strecke zu erproben, um Jerusalem von Tel Aviv in einer Fahrzeit von unter 45 min. zu erreichen. Das Ing. Büro Ruzicka GmbH (IVR) wurde beauftragt die Fahrdynamik der Strecke und den Einsatz von Neigetechnik-Zügen zu untersuchen.

Die Trassenberechnung und die fahrdynamische Überprüfung wurden entsprechend den Richtlinien der DB AG ausgeführt.

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie war, dass es auch mit Neigetechnik-Zügen ohne Änderung der Streckenführung nicht möglich ist, die gewünschte Fahrzeit zu erreichen. Die modernen Züge passten zudem stellenweise nicht in die vorhandenen engen Radien der Strecke. Abb. Nr. 3 veranschaulicht die Schwierigkeiten bei der Findung einer geeigneten Trasse für moderne Reisezüge.

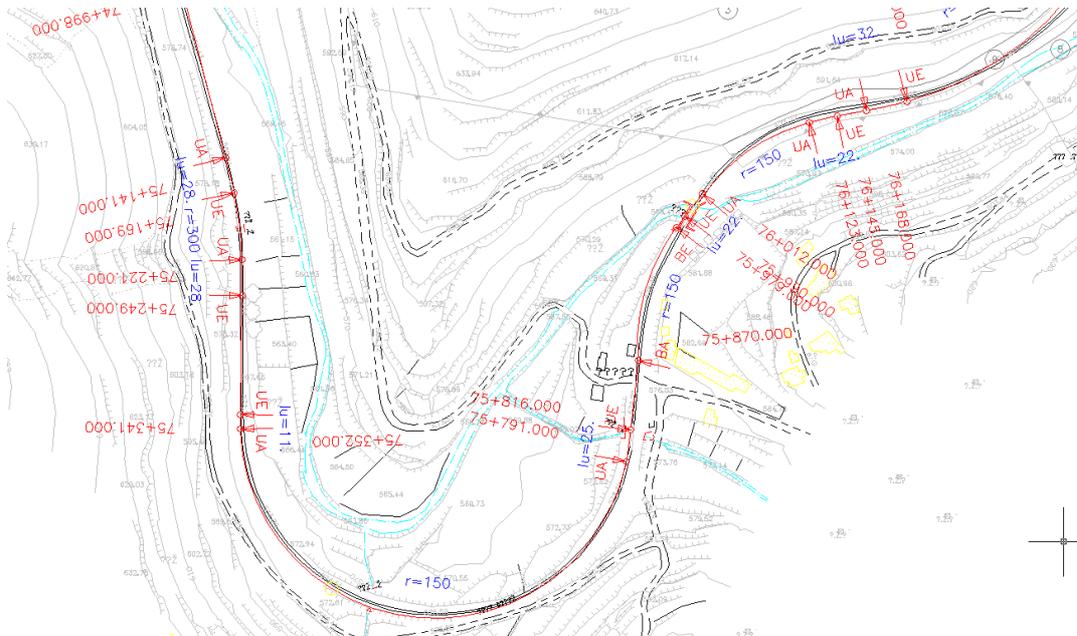


Abb. 3 Abschnitt mit Trassierung im Zuge der Machbarkeitsstudie [U 8]

Aufgrund dieser Ergebnisse und des schlechten Zustands der Strecke hat die Israelische Bahn am 14.07.1998 beschlossen, die Strecke zu schließen.

In den Jahren 1998 – 2001 wurden verschiedene Varianten der möglichen Bahnverbindungen von Tel Aviv nach Jerusalem untersucht. Im Grunde wurden 3 Möglichkeiten geprüft:

Variante S – Erneuerung der Strecke in alter Lage

Die Streckenführung sollte bei dieser Variante nicht geändert werden. Der Oberbau sollte modernisiert werden, um eine sichere Befahrung zu garantieren.

Variante G – Anpassung der vorhandenen Strecke

Die Streckenführung sollte geändert werden, mit dem Ziel die Fahrzeit zu reduzieren und das Befahren mit modernen Fahrzeugen (Neigtech) zu ermöglichen. Enge Bögen sollten durch neue Tunnel und Brücken entschärft werden.

Variante A1 – Neubau einer Schnellbahntrasse

Neue moderne Schnellbahnstrecke vom Flughafen Ben Gurion zu einem neuen unterirdischen Bahnhof in Jerusalem.

Am 13.06.2001 wurde die Ausführung der Varianten S und A1 beschlossen.

Mit der Variante S wurde eine Anbindung von Jerusalem an die Küstenregion erschaffen, die schnell und kostengünstig zu realisieren war. Die Fahrzeit beträgt jedoch über 80 Minuten und die Strecke ist nicht mit allen Fahrzeugen befahrbar. Die Verwirklichung der Variante A1 stellt eine langfristige Lösung dar, die den modernen Anforderungen an Fahrzeugen, Fahrzeit und Fahrkomfort gerecht wird.

2. Variante A1 Streckenverlauf und Streckencharakteristik

Die neue Strecke (Variante A1) von der Küstenebene nach Jerusalem zweigt von der vorhandenen Eisenbahnstrecke nach Modiin ab und verläuft nahezu geradlinig nach Jerusalem. Sie ist zweigleisig (Gleisabstand 25 m) mit eingleisigen Tunnelröhren und eingleisigen Brückenbauwerken. Ausnahmen sind der Tunnel 4 unterhalb Jerusalems mit einer Röhre für zwei Gleise und die Brücke 10B mit einem Brückenbauwerk für 2 Gleise (Gleisabstand 4,70 m). Die Strecke endet in einem Kopfbahnhof 80 Meter tief unter dem Verkehrszentrum Jerusalems. Während der

erste Abschnitt bis einschließlich Brücke 6 mit Schotteroberbau ausgerüstet wird, ist als Oberbau für den Abschnitt ab Tunnel 1 bis zum Bahnhof in Jerusalem die Feste Fahrbahn geplant (siehe Abb. 2). Dieser Streckenabschnitt besteht praktisch aus einer Folge von Brücken und Tunneln (siehe Tabelle Nr.1) die größtenteils direkt oder mit kurzen Zwischenbereichen aneinander stoßen.

Bei der Trassenfindung mussten u.a. strenge Umwelt - und Naturschutzvorschriften berücksichtigt werden, da der gesamte Bereich in einem Naturschutzgebiet liegt. Die langen Tunnel gewähren auf Dauer einen minimalen Eingriff in die Natur. In der Bauphase wurden die Baustraßen und der Eingriff in die Natur auf das erforderliche Minimum reduziert. Dies führte z.B. zu der Besonderheit, dass das Westportal von Tunnel 3: nur über Tunnel 2 und Brücke 8 zu erreichen war, da eine Baustraßenzufahrt zum Westportal von Tunnel 3 aus Umweltschutzgründen nicht erlaubt worden war.

Bauwerk	Nordgleis		Südgleis		Länge der Bauwerke (m)	
	km		km		Nord	Süd
	von	bis	von	bis		
Tunnel 1	27+128	30+720	27+128	30+740	3592	3612
Brücke 7	30+799	30+808	30+794	30+803	9	9
Tunnel 2	30+845	32+094	30+851	32+083	1249	1232
Brücke 8	32+108	32+255	32+097	32+244	147	147
Tunnel 3	32+331	43+963	32+304	43+955	11632	11651
Brücke 9	43+985	44+175	43+990	44+180	190	190
Tunnel 3a	44+188	45+027	44+195	45+061	839	866
Brücke 10	45+109	46+086	45+109	46+086	977	977
Brücke 10B	46+094	46+233			139	139
Tunnel 4	46+235	48+558			2323	

Tab. 1 Streckenabschnitt Latrun – Jerusalem Bauwerksliste [U 9]

Das Rettungskonzept für die Strecke sieht eine durchgehende Befahrbarkeit der Feste-Fahrbahn-Gleise mit Straßenfahrzeugen vor. Die eingleisigen Tunnel sind alle 250 m über Verbindungsbauwerke mit Schleusen miteinander verbunden.

3. Abstimmung der FF-Anforderungen und des Regelwerks

Dieses, in seinen technischen Ausmaßen für Israel, absolut neue Projekt erforderte grundlegende Anpassungen der israelischen Vorschriften zur Planung und Bau von Eisenbahnstrecken. In Anlehnung an die Richtlinien der Deutschen Bahn AG wurden die Vorschriften für Trassierung, Weichen, Schienenauszüge, Brücken und Eisenbahntunnel in Zusammenarbeit mit IVR angepasst bzw. neu erstellt.

Da es bei der Israelischen Eisenbahn noch keine Erfahrungen und kein technisches Regelwerk für die Herstellung von Fester Fahrbahn gab, wurde eine Beratergruppe unter der Führung von IVR mit der Entwurfsplanung und der Ausschreibung der Fester Fahrbahn beauftragt.

Als erster Schritt wurde, aufbauend auf den deutschen Vorschriften und Erfahrungen, eine Zusammenstellung der technischen Anforderungen zur Planung und Bau Fester Fahrbahnen erarbeitet. Diese technischen Anforderungen wurden mit den Israelischen Vorschriften und Normen (z.B. für Beton) abgeglichen und nach intensiver Abstimmung mit dem Auftraggeber der Entwurfsplanung und der Ausschreibung zugrunde gelegt.

Folgende wichtige Vorgaben für die Wahl der Festen Fahrbahn wurden durch den Auftraggeber getroffen:

- Auf Erdbauwerken, in Tunnel sowie auf Brücken sollte möglichst ein einheitliches FF-System gewählt werden.
- Es wurden nur FF-Systeme in Betonbauweise zugelassen.
- Es wurden nur FF-Bauarten mit einbetonierten Schwellen oder Fertigteilplatten zugelassen.
- Die FF-Bauarten mussten eine bauaufsichtliche Zulassung bei einer Staatsbahn aufweisen. Referenzstrecken und langjährige Betriebserfahrungen mussten vorliegen.

Als Regelschienenprofil im Gleis wurde UIC 60 (60E1) in der Güte 900A (880 N/mm²) vorgegeben. Als Schienenbefestigung sollten nur die bei der Israelischen Bahn gebräuchlichen Befestigungsmittel der Firma Vossloh verwendet werden.

Die Betontragschichten der Festen Fahrbahn waren nach Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn der DB Netz AG (AKFF, U 1), 4. Auflage zu bemessen und zu bewehren.

Die technischen Anforderungen an Planung und Bau der Festen Fahrbahn enthielten ausführliche Vorgaben für die vermessungstechnische Einrichtung und die gleisgeometrische Abnahme. Darin wurde aufbauend auf dem in Deutschland bewährten Konzept des "geodätischen Projekts" die Einrichtung des Festpunktfeldes, die Art und Genauigkeit der Vermessungsarbeiten, die Anforderungen an die "Innere und die äußere Geometrie", Genauigkeitsanforderungen beim Einrichten des Gleises und Einbauen der Tragschichten sowie Durchführung und Dokumentation von Stützpunktkorrekturen beschrieben.

Ein wichtiger Teil war die Definition der erdbautechnischen Anforderungen auf Erdkörpern, wobei damit im Wesentlichen die Übergangsbereiche zwischen den Tunneln und den Talbrücken zu verstehen sind. Anstelle der in Deutschland üblichen Frostschutzschicht wurde die Anordnung einer mindestens 20 cm dicken gut durchlässigen grobkörnigen Tragschicht zur Verhinderung aufsteigender Feuchtigkeit und Sicherung der hohen Steifigkeitsanforderung (Verformungsmodul $E_{v2} \geq 120$ MPa auf der Oberkante Erdbauwerk) vorgesehen. Da im Streckenverlauf keine setzungsanfälligen Böden anstehen, kommt vor allem der Herstellung verformungsarmer Schüttungen für die Anschlussdämme bzw. Übergangsbereiche Bedeutung zu.

Weiterhin enthalten die technischen Anforderungen an Planung und Bau der Festen Fahrbahn:

- Signaltechnische Anforderungen
- Elektrotechnische Anforderungen
- Anforderungen an Schall und Erschütterungsschutz
- Anforderungen an Instandhaltung und Erneuerung.

Während der Planungs- und Ausschreibungsphase wurden laufend technische Fragen des Auftraggebers zur Planung und zum Bau der Festen Fahrbahn an die deutsche Beratergruppe gestellt. Diese Anfragen wurden in einem Fragenkatalog zusammengefasst und ausführlich beantwortet.

4. Besonderheiten der Entwurfsplanung und der Ausschreibung

Die Entwurfsplanung für die Feste Fahrbahn wurde von der deutschen Beratergruppe auf der Grundlage der Trassierungspläne des Auftraggebers erstellt. Die Geometrie für die Regelquerschnitte auf Erdbauwerken, im Tunnel sowie auf Brücken wurde ebenfalls vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt, da diese von den jeweiligen ausführenden Bauunternehmen entsprechend der Vorgaben für die Eisenbahnunterbauten planerisch festgelegt worden war. Die Schnittstelle zwischen dem Oberbau Feste Fahrbahn und den Eisenbahnunterbauten wurde wie folgt festgelegt:

- Erdbauwerke: Die Oberfläche der übergebenen Erdbauwerke liegt 100 cm unter der Oberkante der bogeninneren Schiene. Der Raum zwischen der Oberfläche der übergebenen Erdbauwerke und der Unterkante der hydraulisch gebundenen Tragschicht ist mit dem gleichen Material aufzufüllen wie die oberste Schicht der Erdbauwerke.
- Tunnel: Die gebundenen Schichten der Feste Fahrbahn sind direkt auf die übergebene Oberkante der Tunnelsohlauffüllung aufzubauen. Für den Einbau der Feste Fahrbahn steht ein Trog von 3,2 m Breite symmetrisch zur Gleisachse zur Verfügung.
- Brücken: Schnittstelle ist nach unten die Oberfläche des Schutzbetons und seitlich die Begrenzungswand der Randkappen. Schutzbeton und Randkappen sind bereits für die Aufnahme der Horizontalbeanspruchung aus der Feste Fahrbahn bemessen und weisen entsprechende Anschlussbewehrung für die Feste Fahrbahn auf.

Durch den Auftraggeber wurden wichtige technologische Randbedingungen vorgegeben. Dazu zählen z.B. folgende:

- Es wurden Baustelleneinrichtungsflächen und -zufahrten ausgewiesen.
- Die Feste Fahrbahn ist mit Straßenfahrzeugen befahrbar zu gestalten.
- Gemäß Untersuchungsergebnissen des Auftraggebers sind in Teilbereichen des Tunnel Nr. 4 besondere Maßnahmen zum Erschütterungsschutz erforderlich. Als mögliche Maßnahmen wurden der Einbau hochelastischer Schienenlagerung oder eine entsprechende Entkoppelung z.B. durch Elastomermatten (leichtes Masse-Feder-System) vorgeschlagen.
- Durch den Auftraggeber werden die Weichen, die Schienenauszüge und Isolierstöße beigestellt.
- Für die Bemessung, Fertigung und Prüfung der Schwellen und Fertigteilplatten wurden technische Regelwerke und die Art der Güteüberwachung vorgegeben. Bei Abweichungen davon sollte gleiche Sicherheit nachgewiesen werden.

Die Entwurfsplanung bestand aus einem Erläuterungsbericht und den entsprechenden Plänen. Neben den Lageplänen, den Regelquerschnitten und den Regeldetails wurden für jeden Bauwerksübergang (Schotteroberbau - Feste Fahrbahn, Erdbauwerk – Tunnel, Erdbauwerk – Brücke) Längsschnitte erstellt (Abb. 4). Da in den engen Tälern die Tunnelportale nahe den Widerlagern der Talbrücke liegen, wurden alle Bauwerke in diesen Tälern in einem Längsschnitt erfasst.

Die Vorgaben für die Konstruktion der Feste Fahrbahn auf Brücken orientierten sich stark an der deutschen Rahmenplanung Talbrücken [U 3]. Es wurde gefordert, dass die dauerhafte Funktion der Abdichtung der Brücke durch die Feste Fahrbahn nicht beeinträchtigt werden darf, der Einbau von Übergangsplatten und Schienenauszügen

möglich sein muss und dass die Oberflächenentwässerung der Festen Fahrbahn auf die Brückenentwässerung abgestimmt werden muss.

Da die Brücke 7 nur eine Spannweite von 9 m aufweist, wurde dafür eine fugenlos über die Brücke geführte Tragschicht vorgegeben, die von der Brücke durch eine 50 mm dicke Hartschaumplatte, 2 Lagen PE-Folie (0,2 mm dick) und 2 Lagen bituminöses Papier ($> 150 \text{ g/cm}^3$) getrennt ist. Die Ableitung der Seitenkräfte (Wind, Seitenstoß und Fliehkräfte) sollte über seitliche Führungen (in der Regel Betonhöcker) mit Elastomerlagern erfolgen.

Die Ausschreibung der Bauleistungen für die Feste Fahrbahn erfolgte nach den Vorgaben des Auftraggebers. Durch die deutsche Beratergruppe wurde eine ausführliche allgemeine Beschreibung der technischen Vorgaben und Randbedingungen erstellt. Dieser allgemeinen Beschreibung wurden die notwendigen Planunterlagen in der Planungstiefe einer Entwurfsplanung beigegeben.

Im Vorfeld wurden von der Israelischen Bahn die weltweit bekanntesten Feste-Fahrbahn-Systeme geprüft und 5 Systeme, aufgrund ihrer Referenzen und technischen Daten, als zugelassen für das Projekt A1 definiert. Das Anbieten von anderen Systemen war zulässig. Die Bieter von anderen Feste-Fahrbahn-Systeme mussten jedoch nachweisen, dass die von ihnen angebotenen Systeme gleichwertig sind.

In einem ersten Schritt mussten sich die potentiellen Bieter präqualifizieren. Dabei war zu belegen, dass alle wesentlichen technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Vorgaben und Randbedingungen eingehalten werden. Nur diejenigen Bieter bzw. Bietergruppen, die sich präqualifiziert hatten, wurden zur Angebotsabgabe aufgefordert. Im Zuge dieser 2 Bierrunden wurden technische Fragestellungen unter Einbeziehung der deutschen Beratergruppe geklärt, um die technische Gleichwertigkeit der Angebotsunterlagen zu sichern.

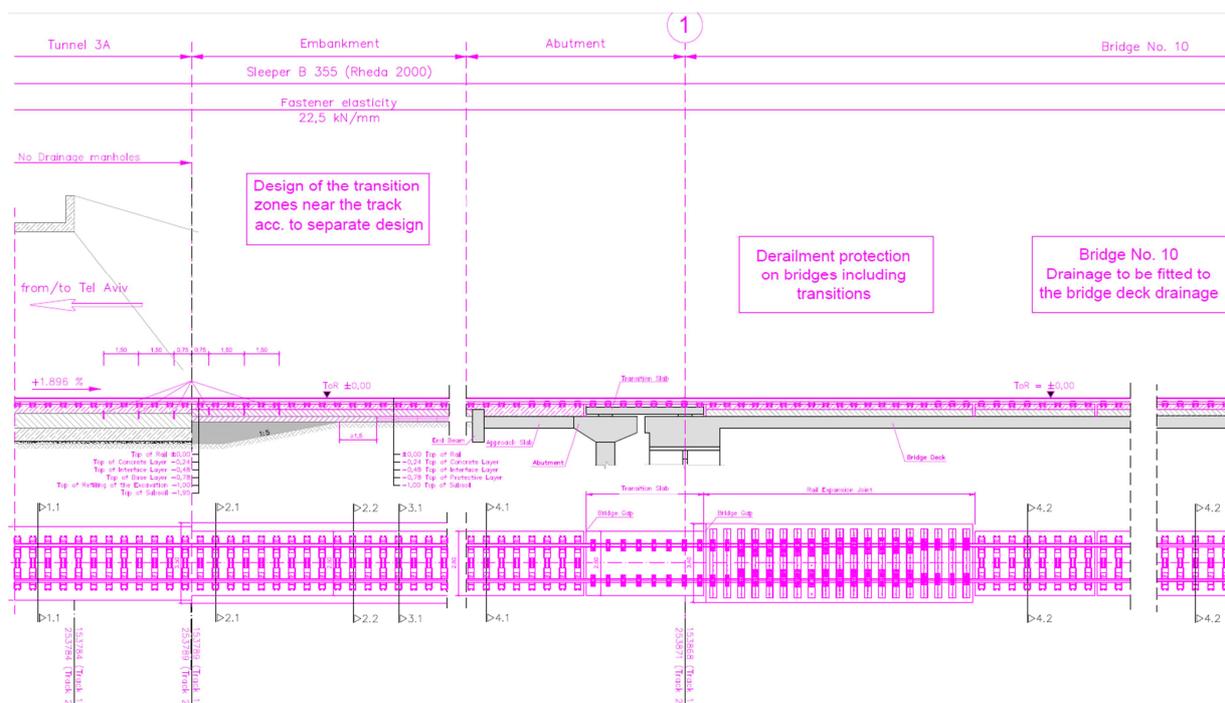


Abb. 4 Übergangsbereich Tunnel 3A- Brücke 10 entsprechend der Entwurfsplanung [U 9]

Bestandteil des Vergabepakets „Feste Fahrbahn“ ist auch die Ausführungsplanung. Diese soll zweistufig, d.h. als Grobplanung mit nachfolgender Detailplanung

ausgeführt werden. Die geprüfte und vom Auftraggeber freigegebene Grobplanung ist dabei die Grundlage für die Detailplanung.

5. Aktueller Projektstand und Ausblick

Die Tunnel und Brücken sind z.Zt. weitgehend fertig gestellt. Der Unterbau wird auf eine Höhe von ca. -1,0 m unter der Schienenoberkante fertig gestellt. Die technische Ausrüstung und die Feste Fahrbahn wurden ausgeschrieben und vergeben. Die Strecke soll Ende 2018 in Betrieb gehen.

Durch die deutsche Beratergruppe sollen technische Konsultationen für den Auftraggeber und seine Bauüberwachung erfolgen. Daneben sind eine Einbindung in die Planprüfung und eine stichprobenartige Baubegleitung vorgesehen. Vor allem die ersten Probeabschnitte zum Einbau der Festen Fahrbahn sollen begleitet werden.



Abb. 5 Brücke Nr. 8 mit Blick auf Tunnelportal 2

Literatur

- [U 1] Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, DB Netz AG, 4. überarbeitete Auflage
- [U 2] Eisenmann, J.; Leykauf, G.: Feste Fahrbahn für Schienenbahnen; Betonkalender 2000, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [U 3] Richtlinie 804.9020 „Eisenbahnbrücken – Rahmenplanung Talbrücken“, DB Netz AG, 01.11.2003
- [U 4] Entwurfsplanung für die Feste Fahrbahn auf der Strecke Modi'in-Jerusalem, Gruppe IVR von 2013
- [U 5] Kreuzer, Kirschke, Vogt: Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line (WGPK) – 1000 km Hochgeschwindigkeitseisenbahnstrecke in Zentralchina, Bauingenieur April 2009
- [U 6] Hardt, Ablinger, Vogt: Der Oberbau der Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt im Überblick; Edition ETR Schnellbahnachse Nürnberg-Ingolstadt-München (2006), Eurailpress, S. 108 - 121
- [U 7] Vogt, von Wolffersdorff, Rehfeld: Behaviour of slab track under extreme stress conditions; Vortrag zum European Slab Track Symposium in Brüssel am 22.02.2005
- [U 8] Bahnstrecke Tel Aviv-Jerusalem, Machbarkeitsstudie für Neigetechnik-Verkehr, Ingenieurbüro Ruzicka GmbH 1998

[U 9] A1 Projekt, Entwurfsplanung Feste Fahrbahn, Beratergruppe IVR 2013