

# Feste Fahrbahn für die HGV-Strecke Tel Aviv – Jerusalem

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

Zdenek Ruzicka  
Lutz Vogt

## Historie

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

Nach mehreren gescheiterten Versuchen wurde am 29. Dezember 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. März 1890 und am 26. September 1892 wurde die Strecke offiziell eröffnet (Abb. 1). Planung und Bau wurden von französischen Firmen ausgeführt. 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. 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 Minuten zu erreichen. Das Ingenieurbüro Ruzicka GmbH (IVR) wurde beauftragt, die Fahrdynamik der Strecke und den Einsatz von Neigetechnik-Zügen zu untersuchen [1]. Die Trassenberechnung und die fahrdynamische Überprüfung wurden entsprechend den Richtlinien der Deutschen Bahn (DB AG) ausgeführt.

Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie war, dass es auch mit Neigetechnik-Zügen ohne Änderung der Streckenführung nicht mög-

lich ist, die gewünschte Fahrzeit zu erreichen. Die modernen Züge passten zudem stellenweise nicht in die vorhandenen engen Radien der Strecke. Abb. 2 veranschaulicht die Schwierigkeiten bei der Findung einer geeigneten Trasse für moderne Reisezüge. Aufgrund dieser Ergebnisse und des schlechten Zustands der Strecke hat die Israelische Bahn am 14. Juli 1998 beschlossen, die Strecke zu schließen.

In den Jahren 1998 – 2001 wurden verschiedene Varianten der möglichen Bahnverbindungen von Tel Aviv nach Jerusalem untersucht (Abb. 3).

## 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 mit dem Ziel geändert werden, 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

Eine neue moderne Schnellbahnstrecke soll vom Flughafen Ben Gurion zu einem neuen unterirdischen Bahnhof in Jerusalem führen. Am 13. Juni 2001 wurde die Ausführung der Varianten S und A1 beschlossen.

Mit der Variante S wurde eine schnelle und kostengünstige Anbindung von Jerusalem an die Küstenregion geschaffen. 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.

## Variante A1: Streckenverlauf und Streckencharakteristik

Die neue Strecke (Variante A1) von der Küstenebene nach Jerusalem, die sich derzeit im Bau befindet, zweigt von der vorhandenen Eisenbahnstrecke nach Modiin ab und



Abb. 1: Feierliche Eröffnung der Strecke in Jerusalem

Quelle: <http://web.nli.org.il>

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 zwei Gleise (Gleisabstand 4,70 m). Die Strecke endet in einem Kopfbahnhof 80 m 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 (FF) geplant. Dieser Streckenabschnitt besteht praktisch aus einer Folge von Brücken und Tunneln, die größtenteils direkt oder mit kurzen Zwischenbereichen aneinander stoßen (Tab. 1).

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.

Das Rettungskonzept für die Strecke sieht eine durchgehende Befahrbarkeit der FF mit Straßenfahrzeugen vor. Die eingleisigen Tunnel sind im Abstand von 250 m über Verbindungsbauwerke mit Schleusen miteinander verbunden.

### Abstimmung der Anforderungen an die FF und das Regelwerk

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 DB AG sind die Vorschriften für Trassierung, Weichen, Schienenauszüge, Brücken und Eisenbahntunnel in Zusammenarbeit mit IVR angepasst bzw. neu erstellt worden.

Da es bei der Israelischen Eisenbahn noch keine Erfahrungen und kein technisches Regelwerk für die Herstellung der FF gab, wurde eine Beratergruppe unter der Führung von IVR mit der Entwurfsplanung und der Ausschreibung der FF beauftragt [2].

Als erster Schritt war, aufbauend auf den deutschen Vorschriften und Erfahrungen, eine Zusammenstellung der technischen Anforderungen zu Planung und Bau Fester Fahrbahnen zu erarbeiten [3, 4, 5, 6]. 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.

Für die Wahl der FF traf der Auftraggeber folgende wichtige Vorgaben:

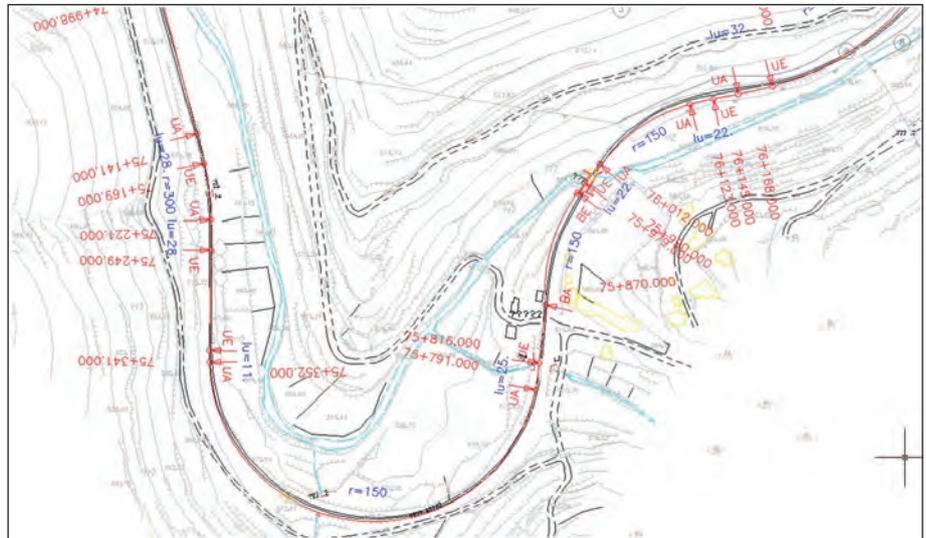


Abb. 2: Abschnitt mit Trassierung im Zuge der Machbarkeitsstudie [1]

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 [2]

- 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 (60E2) in der Güte 900A (880 N/mm<sup>2</sup>) vorgegeben. Als Schienenbefestigung sollten nur die bei der Israelischen Bahn ge-

#### KOMPETENZ FESTE FAHRBAHN

##### UNSERE LEISTUNGEN:

- Oberbautechnische und geotechnische Beratungen
- Sachverständigentätigkeit (EBA-Gutachter für Oberbau/Feste Fahrbahn und Geotechnik, öbuv SV)
- Planung und Ausschreibung
- Planprüfung und Fachbaubegleitung
- Bodendynamische Messungen
- Forschung und Entwicklung



##### HERAUSRAGENDE PROJEKTE ZU FESTEN FAHRBAHNEN:

- NBS Nürnberg – Ingolstadt (Länge ca. 90 km)
- PDL Wuhan – Guangzhou (China, Länge ca. 1000 km)
- NBS Ebersfeld – Erfurt – Leipzig (Länge ca. 210 km)
- ABS Bitterfeld – Halle (Oberbauerneuerung von FFSYS zu FF Bögl, Länge ca. 15 km)

Kontakt Kleiststraße 10 a | 01129 Dresden | Internet www.baugrund-dresden.de  
Telefon 0351-82 41 0 | Fax 0351-8030 786 | Email info@baugrund-dresden.de



Abb. 3: Östlicher Teilbereich der Streckenführung Tel Aviv – Jerusalem

bräuchlichen Befestigungsmittel der Firma Vossloh verwendet werden. Die Betontragschichten der Festen Fahrbahn waren nach Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn der DB Netz AG (AKFF), 4. Auflage [7] zu bemessen und zu bewehren. Die technischen Anforderungen an Planung und Bau der FF 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 Frostschuttschicht wurde die Anordnung einer mindestens 20 cm dicken gut durchlässigen grobkörnigen

Tragschicht zur Verhinderung aufsteigender Feuchtigkeit und Sicherung der hohen Steifigkeitsanforderung ( $E_{v2} \leq 120 \text{ MPa}$ ) 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 FF:

- signaltechnische Anforderungen,
- elektrotechnische Anforderungen,
- Anforderungen an Schall und Erschütterungsschutz,
- Anforderungen an Instandhaltung und Erneuerung.

Die während der Planungs- und Ausschreibungsphase anfallenden technischen Fragen des Auftraggebers zur Planung und zum Bau der FF wurden von der deutschen Beratergruppe in einem Fragenkatalog zusammengefasst und ausführlich beantwortet.

### Besonderheiten der Entwurfsplanung und Ausschreibung

Die Entwurfsplanung für die FF 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 stellte der Auftraggeber ebenfalls zur Verfügung, da diese von den jeweiligen ausführenden Bauunternehmen entsprechend der Vorgaben für die Eisenbahnunterbauten planerisch festgelegt worden war. Die Schnittstelle zwischen dem Oberbau FF 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 FF sind direkt auf die übergebene Oberkante der Tunnelsohlaufüllung aufzubauen. Für den Einbau der FF 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 FF bemessen und weisen entsprechende Anschlussbewehrung für die FF auf.

Durch den Auftraggeber waren u. a. wichtige technologische Randbedingungen vorgegeben:

- Ausweisung von Baustelleneinrichtungsflächen und -zufahrten,
- Gestaltung der FF zur Befahrbarkeit mit Straßenfahrzeugen,
- Vorgaben gemäß Untersuchungsergebnissen des Auftraggebers zu erforderlichen Maßnahmen des Erschütterungsschutzes in Teilbereichen des Tunnels 4. Als mögliche Maßnahmen wurden der Einbau hochelastischer Schienenlagerung oder eine entsprechende Entkoppelung z. B. durch Elastomermatten, leichtes Masse-Feder-System, vorgeschlagen.
- Beistellung von Weichen, Schienenausügen und Isolierstößen durch den Auftraggeber sowie
- Vorgaben technischer Regelwerke und Art der Güteüberwachung für die Bemessung, Fertigung und Prüfung der Schwellen und Fertigteilplatten. Bei Abweichungen davon sollte gleiche Sicherheit nachgewiesen werden.

Die Entwurfsplanung bestand aus einem Erläuterungsbericht und den entsprechenden Plänen. Neben den Lageplänen, den Regel-

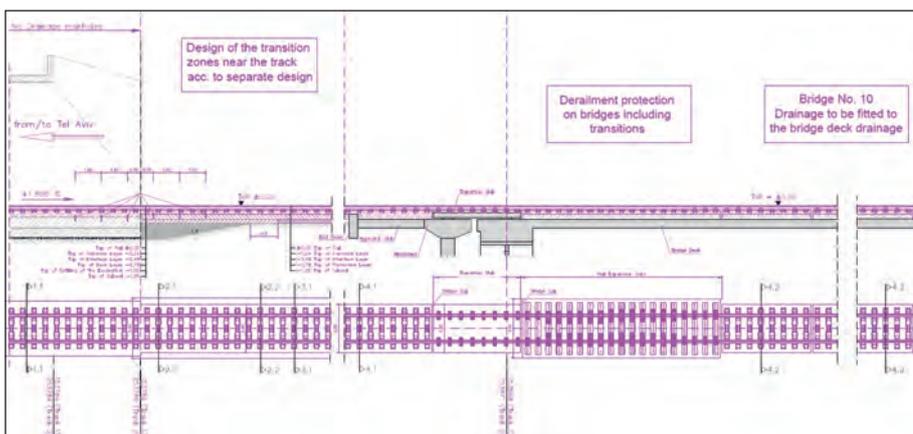


Abb. 4: Übergangsbereich Tunnel 3A – Brücke 10 gemäß Entwurfsplanung [2]

querschnitten und den Regeldetails wurden für jeden Bauwerksübergang – Schotteroberbau/FF, Erdbauwerk/Tunnel sowie 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 FF auf Brücken orientierten sich stark an der deutschen „Rahmenplanung Talbrücken“ [8]. Es wurde gefordert, dass die dauerhafte Funktion der Abdichtung der Brücke durch die FF nicht beeinträchtigt werden darf, der Einbau von Übergangsplatten und Schienenauszügen möglich sein muss und dass die Oberflächenentwässerung der FF 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 – sollten über seitliche Führungen – in der Regel Betonhöcker – mit Elastomerlagern erfolgen.

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

Im Vorfeld wurden von der Israelischen Bahn die weltweit bekanntesten FF-Systeme geprüft und fünf 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 FF-Systemen 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



Abb. 5: Brücke 8 mit Blick auf Portal von Tunnel 2

Vorgaben und Randbedingungen eingehalten werden. Nur diejenigen Bieter bzw. Bietergruppen, die sich präqualifiziert hatten, wurden zur Angebotsabgabe aufgefordert. Im Zuge dieser zwei Bieterunden wurden technische Fragestellungen unter Einbeziehung der deutschen Beratergruppe geklärt, um die technische Gleichwertigkeit der Angebotsunterlagen zu sichern.

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.

### Aktueller Projektstand und Ausblick

Die Tunnel und Brücken sind zurzeit weitgehend fertig gestellt (Abb. 5). Der Unterbau wird auf eine Höhe von ca. – 1,0 m unter der Schienenoberkante fertig gestellt. Die technische Ausrüstung und die FF 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 Überprüfung und eine stichprobenartige Baubegleitung vorgesehen. Vor allem die ersten Probeabschnitte zum Einbau der FF sollen begleitet werden.

### LITERATUR

- [1] Bahnstrecke Tel Aviv-Jerusalem, Machbarkeitsstudie für Neigetechnik-Verkehr, Ingenieurbüro Ruzicka GmbH 1998
- [2] A1 Projekt, Entwurfsplanung Feste Fahrbahn, Beratergruppe IVR 2013
- [3] Eisenmann, J.; Leykauf, G.: Feste Fahrbahn für Schienenbahnen; Betonkalender 2000, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [4] Kreutzer, M.; Kirschke, D.; Vogt, L.: Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line (WGPKL) – 1000 km Hochgeschwindigkeitseisenbahnstrecke in Zentralchina, Bauingenieur April 2009
- [5] Hardt, J.; Ablinger, P.; Vogt, L.: Der Oberbau der Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt im Überblick; Edition ETR Schnellbahnachse Nürnberg-Ingolstadt-München (2006), Eurailpress, S. 108 – 121
- [6] Vogt, L.; von Wolffersdorff, P.-A.; Rehfeld, E.: Behaviour of slab track under extreme stress conditions; Vortrag zum European Slab Track Symposium in Brüssel am 22.02.2005
- [7] Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, DB Netz AG, 4. überarbeitete Auflage
- [8] Richtlinie 804.9020 „Eisenbahnbrücken – Rahmenplanung Talbrücken“, DB Netz AG, 01.11.2003



Dipl.-Ing. Zdenek Ruzicka

Geschäftsführer und Gesellschafter  
Ingenieur- & Vermessungsbüro  
Ruzicka GmbH (IVR), Malsch  
Technischer Leiter  
Projekt Tel Aviv – Jerusalem  
zdenek.ruzicka@ivr-gmbh.de



Dr.-Ing. Lutz Vogt

Prokurist  
Baugrund Dresden Ingenieurge-  
sellschaft mbH, Dresden  
EBA-Gutachter für Feste Fahrbahn  
und Geotechnik  
vogt@baugrund-dresden.de

### Zusammenfassung

#### Feste Fahrbahn für die HGV-Strecke Tel Aviv – Jerusalem

Die Eisenbahnstrecke von Tel Aviv (Yafo) nach Jerusalem wurde 1892 zur Zeit des Osmanischen Reichs in Betrieb genommen. Die historische Streckenführung ermöglicht keinen schnellen und bequemen Personenverkehr zwischen beiden Städten. Nach eingehenden Untersuchungen wurde der Bau einer neuen Eisenbahnverbindung mit einer neuen Streckenführung beschlossen, die auch eine Flughafenverbindung beinhaltet. Die hochmoderne Schnellbahntrasse verläuft über zahlreiche Tunnel und Brücken. Im bergigen Anstieg nach Jerusalem wird der Oberbau als FF ausgeführt. Die Strecke ist zur Zeit im Bau. Die Inbetriebnahme ist für 2018 geplant.

### Summary

#### Ballastless track for the high speed line Tel Aviv – Jerusalem

The railway line from Tel Aviv (Yafo) to Jerusalem has been taken into service in 1892 at the time of the Ottoman Empire. The historic layout of the line does not facilitate fast and comfortable passenger traffic between the two cities. After extensive investigations, the decision was taken to build a new railway link based on a new alignment with an airport connection. The highly modern high-speed layout of the line includes numerous tunnels and bridges. Ballastless track is used for the superstructure of the mountainous ascent to Jerusalem. The line is currently under construction and plans foresee its opening in 2018.