

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West – Luders-
heim_West
(LH-07-B170)**

Planfeststellungsunterlage

Unterlage 12.4

Prüfbericht Entwurfsstatik Tunnel

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel

c/o SWECO GmbH

Hanauer Landstraße 135 - 137

60314 Frankfurt am Main

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i.V. J. Gotzler gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
Bearbeitung:	IGKWT – Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel gez. i.V. D. Edelhoff (Projektleitung)	
Anlagen zum Dokument		
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer

Ordinarius Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München
Prüfingenieur für Standsicherheit VPI
Prüfsachverständiger für Standsicherheit im Bauwesen BAYIKA
Prüfer für bautechnische Nachweise im Eisenbahnbau (Brücken- und Ingenieurbau)
Gutachter für Geotechnik (Tunnelbau), anerkannt durch das Eisenbahnbundesamt (EBA)



B+S Prüfingenieure GbR

Gunzenlehstraße 22-24
D 80689 München
Tel +49 (0)89 546 150 0
Fax +49 (0)89 546 150 10
www.buechting-streit.de

Gesellschafter

Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer
Ordinarius Lehrstuhl für Massivbau
Technische Universität München
Prüfingenieur für Standsicherheit
Dr.-Ing. Andreas Jähring
Prüfingenieur für Standsicherheit
Dr.-Ing. Jan Lingemann
Prüfingenieur für Standsicherheit

München, 16.09.2024
Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer /
Dipl.-Ing. Gereon Behnen

TenneT TSO GmbH
Organisationseinheit LPG A070
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

PRÜFBERICHT NR. PN-24105-01

1 Betreff:

Bauvorhaben:

A070 Raitersbach - Altheim
Juraleitung, Katzwangtunnel, Nürnberg

Bauherr:

TenneT TSO GmbH
Herrn Raphael Roth
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Entwurfsverfasser:

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel
Bung-PEB, Bung, prd, Sweco
Bung-PEB Tunnelbau-Ingenieure GmbH
Stockumer Straße 475, 44227 Dortmund

Tragwerksplanung:

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel
Bung-PEB, Bung, prd, Sweco
Bung-PEB Tunnelbau-Ingenieure GmbH
Stockumer Straße 475, 44227 Dortmund

2 Prüfunterlagen je fach

2.1	<u>Statische Berechnungen</u>	<u>Datum</u>	<u>Seiten</u>
2.1.1	Dok.-Nr. (ohne), Entwurfsstatik Tübbingring, Leistungsphase 3, V1.0	08.07.2024	1900
2.1.2	Dok.-Nr. (ohne), Entwurfsstatik Tübbingring, Leistungsphase 3, V2.0	10.09.2024	2782
2.1.3	Dok.-Nr. (ohne), Entwurfsstatik Setzungsberechnung, L-phase 3, V0.1	24.07.2024	08
2.1.4	Dok.-Nr. (ohne), Entwurfsstatik Ortsbrust- und Auftriebsnachweise, V0.1	08.07.2024	109

Hinweis:

- *Dokument 2.1.2 (V2.0) ist eine Fortschreibung / Revision von Dokument 2.1.1 (V1.0)*

2.2	<u>Plananlagen</u>	<u>Datum</u>
2.2.1	Plan Nr. KWT_LP2_Tu_La_01-Ost, Lageplan Tunnel Ost	30.04.2024
2.2.2	Plan Nr. KWT_LP2_Tu_La_02-West, Lageplan Tunnel West	30.04.2024
2.2.3	Plan Nr. KWT_LP2_Tu_HP_01-Ost, Höhenplan Tunnel Ost	30.04.2024
2.2.4	Plan Nr. KWT_LP2_Tu_HP_02-West, Höhenplan Tunnel West	30.04.2024
2.2.5	Plan Nr. KWT_LP2_Tu_RQ_01, Regelquerschnitt Tunnel	30.04.2024
2.2.6	Plan Nr. KWT_LP3_TU_DT_01, Detailplan Tübbing	10.09.2024

2.3 Zusätzliche Unterlagen zur Information (keine Prüfunterlagen)

- 2.3.1 Geotechnischer Bericht (Baugrunduntersuchung und -begutachtung), Bericht L21-II-237.156 mit Anlagen 1 - 6, Buchholz + Partner, Leserevision vom 06.09.2024, 228 Seiten
- 2.3.2 Abschlussbericht Leistungsphase 2, Bericht Version 1.0 vom 24.07.2024, erstellt durch IGKWT - Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel, 167 Seiten

3 Baubeschreibung bzw. Inhalt der geprüften Unterlagen

Die TenneT TSO plant die Neuverlegung der 380 kV-Stromleitung Raitersbach - Altheim, Abschnitt A Juraleitung. Im Zuge dieser Maßnahme soll ein Teilstück im Bereich des Stadtteils Nürnberg-Katzwang auf einer Länge von rd. 2.225 m als Erdleitung innerhalb eines Tunnelbauwerks verlegt werden.

Die Tunnelstrecken sollen als doppelröhrige TBM-Vortriebe mit einschaligem Tübbingausbau erstellt werden. Die beiden Tunnel weisen einen lichten Innendurchmesser von 3,60 m, einen Außendurchmesser des Tübbingrings von 4,20 m (Tübbingstärke 30 cm) und einen gegenseitigen lichten Abstand von rd. 5,0 m auf.

Der Vortrieb erfolgt in Ost-West-Richtung - ausgehend von einem Startschacht östlich der Straßenkreuzung Gaulnhöfer Straße, Marthstraße, Kemptener Straße - mit Unterquerung des Main-Donau-Kanals, der Rednitz-Niederung mit der Rednitz und einer S-Bahn-Strecke der Deutschen Bahn AG. Die Firstüberlagerung beträgt minimal rd. 9,0 m im Bereich der Rednitz-Unterquerung und maximal rd. 32,3 m an der östlichen Hangkante bei km 0+860. Die geplante Tunneltrasse befindet sich lagemäßig unterhalb der Trasse einer derzeit vorhandenen Freileitung überwiegend im Bereich

von Acker- und Grünland. Mit Ausnahme der oben schon genannten, zu querenden Bauwerke, mehrerer Hochspannungsmaste der vorhandenen Freileitung und einer Sportanlage (Tennisplätze) befindet sich die vorhandene, benachbarte Bebauung (überwiegend Wohnbebauung mit Einfamilienhäusern) i.W. außerhalb der Grenzzlinien des prognostizierten Hauptsenkungsbereichs.

Nach den vorliegenden Planunterlagen durchörtert die Gradienten überwiegend Festgesteine (Wechselagerung von Sandsteinen mit Ton-/Schluffsteinen und Kalksteinen) unterschiedlichen Verwitterungsgrads, in Teilbereichen auch quartäre Sande und die sog. Estherienschiefer (Tonsteine). Im Bereich des Rednitztals liegt eine nachgewiesene räumliche Verwerfungszone mit prognostizierten abrupten Höhensprüngen der Schichtgrenzen vor. Mit Ausnahme des Bereichs am Zielschacht West befinden sich die Tunnelstrecken unterhalb des Grundwasserspiegels.

Der Startschacht Ost und der Zielschacht West, die Anfahr- und Einfahrsituationen einschließlich der zugehörigen Maßnahmen (bspw. Dichtblöcke) sowie der Endausbau der Schächte (Betriebsgebäude) sind nicht Gegenstand des vorliegenden Prüfberichts; diese Unterlagen werden gesondert behandelt.

Die vorgelegten Unterlagen behandeln den TVM-Tunnel mit Tübbingausbau:

- Entwurfsstatik / Statische Berechnung des Tübbingrings: Die Berechnungen erfolgen an einem 2D-Einzelring-Stabwerkmodell (gebetteter Stabzug) mithilfe des Programms Sofistik. Die Lastermittlung erfolgt händisch nach dem Verfahren von Terzaghi. Als Plananlage liegt ein Tübbingübersichtsplan mit Fugendetaildarstellungen bei.
- Entwurfsstatik Ortsbrust und Auftrieb: Die Nachweise der Ortsbruststützung erfolgen für 8 typische Berechnungsquerschnitte mithilfe von Gleitkörperverfahren. Es wird sowohl eine Stützung mit Bentonitsuspension wie auch eine 1/2- und 2/3-Absenkung mit Druckluftstützung untersucht. Die ausreichende Auftriebssicherheit (Ausbläuersicherheit) zur Aufbringung der Stützdrücke wird für die Berechnungsquerschnitte nachgewiesen.
- Entwurfsstatik Setzungsberechnungen: Die Setzungsberechnungen erfolgen für 11 Berechnungsquerschnitte (Querung von Bauwerken, Unterfahrung von Masten) mithilfe des Verfahrens von „Volume-Loss“-Betrachtungen i.V.m. dem Verfahren von Fillibeck.

4 Lastannahmen

Ringgeometrie Tübbingausbau:

Ringteilung:	6+0 (großer Schlußstein)
Innendurchmesser D_i :	3,60 m
Tübbingstärke h :	0,30 m
Außendurchmesser D_a :	4,20 m
Ringbreite l :	1,20 m
Gelenkhalsbreite $LF\ h_{KF}$:	15 cm
Abstand Kontaktfläche innen h_{oi} :	7,5 cm

Abstand Kontaktfläche außen h_{oa} : 7,5 cm

lichter Abstand der Tunnelröhren: 4,90 m

Hinweis: Die Bezeichnungen sind hier gemäß den DAUB-Empfehlungen 2024 angegeben

Erddruck:

Ermittlung nach dem Modell von Terzaghi

Wasserdruck:

gemäß Gradientenlage und Grundwasserangaben im Baugrundgutachten

Ausbaulasten:

Kabelträger (3 Kabel) $V_k = 10,8 \text{ kN}$ (vertikale Einzellast in Ulme)

Temperatur:

max / min. Temperatur: $+40^\circ\text{C}$ (Sommer) / -15°C (Winter)

Aufstelltemperatur / Temp. Außenseite: $+10^\circ\text{C}$

ΔT_N (gleichmäßig) $+15 \text{ K}$ (Sommer) / $-12,5 \text{ K}$ (Winter)

$\Delta \Delta T_M$ (Gradient): $+30 \text{ K}$ (Sommer) / -25 K (Winter)

Brand:

konstruktiver Brandschutz gemäß ZTV-ING (PP-Fasern)

Hinweis: vorläufige Festlegung (wird noch mit Bauherrn geklärt)

Nachweise Längsfugenbeanspruchung:

Ausmitte aus Versatz Systemachse e_{KF} : (entf. in V2.0)

Ausmitte aus Toleranzen e_{vs} : 15 mm

Nachweise Ringfugenbeanspruchung (aus Vortriebspresen):

Pressenkräfte F_k : 12 Pressen a 1917 kN (Regelvortrieb), $\gamma_E = 1,35$

12 Pressen a 2167 kN (Sondervortrieb), $\gamma_E = 1,20$

Maße Pressenschuh: 18 x 50 cm

Baubetriebslasten:

aus Tunnelbahn $V_k = 34,3 \text{ kN}$ (vertikale Einzellast in Firste)

5 Baustoffe

Tübbingbeton: C50/60 XC2, XD2, WF, XF1, XM1

Tübbingbewehrung: B500B

Brandschutzbewehrung: PP-Fasern (vorläufig)

6 Baugrund und Grundwasserverhältnisse

Gemäß dem Baugrundgutachten stehen unter i.a. mit maximal wenigen Metern relativ geringmächtigen Lockerböden (quartäre Sande und zersetzte Sandsteine), die als Homogenbereich 1 (HB-1) bezeichnet werden, eine Wechsellagerung aus Sandstein, Ton-/Schluffstein, Kalkstein, Brekzien und Konglomerat an. Es handelt sich hierbei um die im Nürnberger Raum üblichen Festgesteine der Bodenklasse 6 - 7, die für den Katzwangtunnel als Homogenbereich 2 (HB-2) bezeichnet werden. Unterlagert werden diese Festgesteine durch eine Wechsellagerung aus baupraktisch wasserundurchlässigen Tonsteinen und Steinmergeln, den sog. Estherienschiefern.

Die Tunnelgradienten befinden sich überwiegend in den Festgesteinen des Homogenbereichs HB-2. Lediglich im Bereich des Rednitzbogens bindet der Tunnel lokal auch in die überlagernden Lockerbodenschichten und in die Estherienschiefern ein.

Die Lockerbodenschichten wirken als Porengrundwasserleiter und die Sandsteine des HB-2 überwiegend als Kluftwasserleiter mit geringen bis moderaten Durchlässigkeiten. Die Estherienschiefern wirken dagegen als Grundwasserstauer und haben als hydraulische Trennschicht zwischen unterschiedlichen Grundwasseraquiferen eine besondere wasserwirtschaftliche Bedeutung. Der höchste Grundwasserstand über der Tunnelsohle beträgt rd. 26,3 mWS. Im Bereich des Zieleschachtes auf der Westseite der Rednitzniederung verläuft die Tunnelgradienten dagegen oberhalb des Grundwasserspiegels.

Weitere Einzelheiten zu den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen können dem Baugrundgutachten entnommen werden.

7 Prüfbemerkungen

allgemeine Anmerkungen:

- 7.1 Die Prüfung erfolgt ausschließlich auf statisch-konstruktive Aspekte. Baubetriebliche, vertragliche, planungsrechtliche oder wirtschaftliche Aspekte sind nicht Prüfgegenstand.
- 7.2 Die statischen Berechnungen wurden stichpunktartig durch unabhängige Vergleichsrechnungen geprüft. Die Endergebnisse der statischen Berechnungen können unter Beachtung der nachfolgenden Prüfanmerkungen bestätigt werden. Zwischenergebnisse und Berechnungsabläufe können allerdings abweichen und wurden in den zur Prüfung vorgelegten Unterlagen nicht richtiggestellt.
- 7.3 Bei den vorgelegten Berechnungen handelt es sich um Unterlagen der Vor- und Entwurfsplanung (Leistungsphasen Lph2 und Lph3). Sie dienen als Basis der Genehmigungsverfahren und der Ausschreibung sowie als Grundlage der zu einem späteren Zeitpunkt zu erstellenden Ausführungsplanungen. Mit den geprüften Unterlagen der Lph2 und Lph3 ist keine Ausführung von Bauleistungen zulässig; hierfür sind noch die Ausführungsplanungen zur Prüfung vorzulegen.
- 7.4 Für TBM-Tunnel mit einschaligem Tübbingausbau - außerhalb des Anwendungsbereichs von DB-Tunneln (RiL 853) und Straßentunneln (ZTV-ING) - liegen mit Ausnahme der einschlägigen, allgemeingültigen Normen zur Bemessung von Stahlbetonbauwerken (DIN EN 1992 i.V.m. DIN EN

1997) keine speziellen Regelwerke vor. Somit liegen im vorliegenden Fall auch keine verbindlichen Planungs- und Prüfungsgrundlagen, insbesondere zu Nachweisen für Bauzustände und Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit (bspw. Mindestbewehrungs- oder Rissbreitenanforderungen; Lastansätze für Verpressdrücke, Lastansätze für zukünftige Bebauungen, Teilsicherheitsbeiwerte für Pressenkräfte usw.) vor. Wir empfehlen, dass spätestens für die Erstellung der Ausführungsplanungen vom Bauherrn verbindliche Berechnungs- und Ausführungsgrundlagen festgelegt und dem Planer zur Verfügung gestellt werden. Dies kann bspw. durch Verweis auf Richtlinien oder Regelwerke (z.B. DAUB-Empfehlungen Tübinge 2024) und/oder im Rahmen eines Tunnelbautechnischen Gutachtens erfolgen.

- 7.5 Die den Berechnungen zugrunde liegenden Berechnungsannahmen und Rechenmodelle wurden von uns auf Basis der zur Verfügung stehenden Projektunterlagen (siehe Unterlagen 2.3.1 und 2.3.2) auf Plausibilität hin geprüft. Darüber hinaus gehende Prüfgrundlagen lagen uns nicht vor (vgl. auch Anm. 7.4).
- 7.6 Gemäß dem Baugrundgutachten dürfen die Tunnel nicht in den wasserrechtlich zu schützenden Estherienschiefern zu liegen kommen. Nach den vorliegenden Planunterlagen schneiden die Tunnelgradienten im Bereich des Osthangs der Rednitz-Niederung dagegen in die Estherienschiefer ein. Im Abschlussbericht der Lph2 (sh. 2.3.2.), Kapitel 4.1.12, wird die gewählte Tunnelgradienten erläutert und eine grundsätzliche Zustimmung des WWA Nürnberg zu dem Einschneiden in die Estherienschiefer in Aussicht gestellt. Die Genehmigungsfähigkeit der vorgeschlagenen Gradienten ist im weiteren Planungsprozess noch mit den Beteiligten und unter Berücksichtigung von noch zu lösenden technischen Fragestellungen (bspw. Eigenschaften des Ringspaltmaterials zur Vermeidung von Grundwasserlängsläufigkeiten) abzustimmen.
- 7.7 Dem vorliegenden Baugrundgutachten gemäß 2.3.1. lag eine frühere, nicht mehr aktuelle Trassierung des TBM-Tunnels zugrunde. Insbesondere im Bereich des Zielschachtes mussten die Baugrundverhältnisse aus den Bohrerergebnissen über größere Entfernungen extrapoliert werden. Zur Risikobegrenzung der Baugrundverhältnisse wird eine Fortschreibung der Baugrunduntersuchungen empfohlen.
- 7.8 Der vorliegende Prüfbericht kann auch zur Vorlage beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) bezüglich der Bestätigung der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit der Unterfahrung der DB-Strecke durch die gegenständlichen Kabeltunnel im TBM-Vortriebsverfahren verwendet werden.

zur Entwurfsstatik Tübinge (Dokumente gemäß 2.1.1 und 2.1.2)

- 7.9 Das gewählte 2D-Strabzugmodell eines Einzelrings mit einer vereinfachten Lastermittlung nach Terzaghi ist unseres Erachtens für eine Entwurfsstatik zur Beurteilung der Machbarkeit und Überprüfung der geometrischen Randbedingungen grundsätzlich geeignet. Dabei werden allerdings verschiedene, ggf. auf unsicherer Seite liegende Einflüsse, vernachlässigt. Zur Erzielung einer ausreichenden Robustheit der Berechnungsergebnisse der ursprünglichen Entwurfsstatik (Dokument 1.1.1, Tübbingstatik Version 1.0) wurden in Abstimmung mit dem Prüfenieur vom Planer diverse zusätzliche Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt und konstruktive Anpassungen am Tübbingdesign vorgenommen. Die Ergebnisse dieser zusätzlichen Untersuchungen sind in dem Dokument

- 1.1.2, Tübbingstatik Version 2.0, dokumentiert. Mit der gewählten Vorgehensweise und den Berechnungsergebnissen der Tübbingstatik V2.0 besteht seitens des Prüfers Einverständnis. Die Tübbingstatik V1.0 (Dokument 1.1.1) stellt einen inzwischen überholten Planungsstand dar.
- 7.10 Die mittels des Verfahrens von Terzaghi mit vorsichtig angesetzten unteren Baugrundkennwerten ermittelten vertikalen und horizontalen Gebirgsdruckbelastungen ergeben hohe Gebirgslasten auf den Tübbingring, die als obere Grenze der Belastungen angesehen werden können. Um auch ggf. ungünstig wirkende Verhältnisse eines standfesten Fels' abzubilden, wurden in Zusatzuntersuchungen (Tübbingstatik V2.0) für die Berechnungsquerschnitte BRQ-1 (maximale Überdeckung, maximales GW) und BRQ-4 (Nähe Zielschacht, oberhalb des GW) als obere Baugrundkennwerte auch ein Reibungswinkel $\varphi = 45^\circ$ für den Fels berücksichtigt und hierfür die ausreichende Tragfähigkeit der Tübbinge nachgewiesen. Seitens des PSV besteht hierzu grundsätzlich Einverständnis. Die anzusetzenden minimalen Lastzustände (bspw. für einen standfesten Fels) sind allerdings noch durch den Baugrundgutachter oder den Tunnelbautechnischen Gutachter zu bestätigen.
- 7.11 Die in der Tübbingstatik angesetzten Baubetriebslasten (bspw. Pressenkräfte, Lasten aus Tunnelbahn) und die Ausbaulasten des Endzustands sind als vorläufig im Zuge der Entwurfsplanung anzusehen. Sie sind im weiteren Planungsverlauf noch zu bestätigen.
- 7.12 Die in Kapitel 11 der Tübbingstatik ausgewiesenen, gewählten Bewehrungsmengen entsprechen i.W. den bei Tübbingausbauten üblichen Bewehrungsgraden und können aus unserer Sicht als Grundlage der Ausschreibung verwendet werden. Detailangaben zu der konstruktiven Bewehrungsführung, insbesondere im Bereich der Tübbingfugen, liegen derzeit nicht vor und sind im Zuge der Ausführungsplanung festzulegen.
- 7.13 Aus Sicht des Prüfers bestehen bezüglich der Tübbingbewehrung noch Optimierungsmöglichkeiten im Zuge der Ausführungsplanung. Da sich in der Haupttragrichtung keine statisch erforderliche Bewehrung ergibt, wäre hierfür beispielsweise alternativ eine Stahlfaserbewehrung bzw. Hybridbewehrung denkbar. Wir empfehlen, im Zuge der Genehmigungsplanung und der Ausschreibung eventuelle Optimierungsmöglichkeiten der Tübbingbewehrung im Zuge der Ausführungsplanung zuzulassen.

zu den Nachweisen der Ortsbruststandsicherheit und Auftriebssicherheit (Dokumente gemäß 2.1.4)

- 7.14 Die Nachweise der Ortsbruststandsicherheit bzw. der erforderlichen Stützdrücke erfolgt an insgesamt typischen 9 Berechnungsquerschnitten BRQ-01 bis BRQ-09. Hiermit sind aus Sicht des Prüfers sämtliche auftretenden Verhältnisse ausreichend abgedeckt. Mit der Wahl der Berechnungsquerschnitte besteht Einverständnis.
- 7.15 Die Nachweise der Ortsbruststandsicherheit erfolgen an Gleitkörpermodellen gemäß den DAUB-Empfehlungen Ortsbruststandsicherheit (10/2016), mit Teilsicherheitsbeiwerten für den Wasser- und Erddruck gemäß ZTV-ING. Die DAUB-Empfehlungen gelten allerdings ausschließlich für Lockerbodenverhältnisse und sind für die hier vorliegenden Felsverhältnisse nur bedingt anwendbar. Nach Einschätzung des Prüfers werden die mit den Gleitkörpermodellen nach DAUB ermittelten Stützdrücke zu hoch ermittelt und können demzufolge als obere Grenze der Bandbreite angesehen werden. Als untere Grenze der Bandbreite können Stützdrücke angesehen werden, die ausschließlich dem angreifenden Wasserdruck entgegenwirken. Die Differenz zwischen beiden Werten liegt

in der Größenordnung von etwa 0,3 - 0,4 bar (für Vollstützung). Im Zuge der Ausführungsplanung sollten genauere Berechnungen der Ortsbruststandsicherheit nach noch festzulegenden Vorgaben des Tunnelbautechnischen Gutachtens erfolgen.

- 7.16 Die Ermittlung des oberen Grenzwertes $s_{\max}$ des Stützdrucks beinhaltet den Nachweis der Aufbruch- bzw. Ausbläuersicherheit. Diesem Nachweis liegt ein vereinfachtes Modell zugrunde, das eine in horizontaler Richtung unbegrenzte Ausbreitung und in vertikaler Richtung eine fiktive „Membran“ in Höhe der Tunnelfirste vorsieht. Diese Annahmen können unter besonderen Verhältnissen (bspw. unter Flussläufen ohne Sohldichtung) unzutreffend sein und sollten deshalb für die vorliegenden Verhältnisse noch vom Tunnelbautechnischen Gutachter bestätigt werden.
- 7.17 Die Ermittlung der Bodenspannung im Bereich des Gleitkeils für den BRQ-02 (Rhein-Main-Donau-Kanal) in Kap. 3.3.4, Seite 16, ist für uns nicht nachvollziehbar. U.E. ergeben sich 33,8 kN/m² (statt 1,10 kN/m²). Bezüglich der Endergebnisse führt diese Abweichung allerdings nicht zu relevanten Änderungen.

zu den Setzungsberechnungen (Dokumente gemäß 2.1.3)

- 7.18 Die Setzungsberechnungen erfolgen an 11 Berechnungsquerschnitten BRQ-S1 bis BRQ-S11, die sämtliche vom Vortrieb zu unterfahrenen Bauwerken (Engstellen und Kreuzungen Fernwasserleitung, Masten, DB-Strecke) erfassen. Mit der Wahl der Berechnungsquerschnitte besteht seitens des Prüfers Einverständnis.
- 7.19 Die Setzungsberechnungen erfolgen mit dem Setzungsverfahren nach Fillibeck, das auf dem Volume-Loss-Verfahren mit einer Gauß'schen Setzungsmulde basiert. Entsprechend der Untersuchungen von Fillibeck wird für den Volume Loss ein maximaler Volumenverlust von 0,4% angesetzt und hieraus die maximalen prognostizierten Setzungen bzw. Verdrehungswinkel ermittelt und den als zulässig erachteten Grenzwerten gegenübergestellt. Unseres Erachtens ist das gewählte Verfahren für eine Entwurfsstatik zur Beurteilung der Machbarkeit und Abschätzung der Auswirkungen des Vortriebs grundsätzlich geeignet.
- 7.20 Die als zulässig erachteten Grenzwerte werden aus Literaturstudien ermittelt bzw. sind vom Betreiber der jeweiligen Bauwerke vorgegeben. Demnach ergeben sich für die Freileitungsmasten Grenzwerte der Verdrehung von 1/250 (entspricht Setzungsdifferenzen von 1,5 - 2 cm der Mastfüße), für die Fernwasserleitungen eine Abknickung der Rohrmuffen von 3,0° und für die DB-Gleise eine maximale Verwindung (= Überhöhungsunterschied pro Basislänge) von etwa 7‰.
- 7.21 Die nach dem Verfahren gemäß Anmerkung 7.19 ermittelten Prognose-Verformungen sind mit maximalen Setzungswerten im Bereich weniger Millimeter sehr niedrig und liefern um etwa eine Zehnerpotenz geringere Verformungen als die zulässigen Grenzwerte. Auch wenn die angenommenen Berechnungsmodelle vereinfacht sind und die Berechnungsannahmen ggf. nicht ganz zutreffen sollten, kann aus Sicht des Prüfers davon ausgegangen werden, dass bei Einhaltung der planmäßig vorgegebenen Vortriebsparameter (bspw. Stützdruck, Verpressdruck, Ringbautoleranzen usw.) die durch den TBM-Vortrieb verursachten Oberflächensetzungen für die vorliegenden Bauwerke unkritisch sind.

- 7.22 Für die Unterfahrung der Bahngleise sind die bei unterirdischen Querungen bahnüblichen Maßnahmen (Monitoring, Vorhalten von Stopfeinrichtungen bei Erfordernis usw.) mit dem Betreiber der Bahnstrecke im Vorfeld abzustimmen und entsprechend umzusetzen.

8 Prüfergebnis

- 8.1 Die Vollständigkeit und Richtigkeit der Entwurfsstatik über die Standsicherheit des Tübbingausbaus wird bei Beachtung der Prüfbemerkungen und Grüneintragungen bescheinigt (Art. 81a Abs. 1 BayBO, § 13 (4) PrüfVBau).
- 8.2 Die den statischen Berechnungen zugrunde liegenden Rechenmodelle und Lastannahmen sind im weiteren Planungsverlauf noch entsprechend der Prüfbemerkungen zu bestätigen.
- 8.3 Zur Bauausführung des TBM-Tunnels mit Tübbingausbau sind noch Ausführungsplanungen (statische Berechnung und Ausführungspläne) zur Prüfung vorzulegen.
- 8.4 Die Start- und Zielsituationen für den TBM-Vortrieb sind nicht Prüfgegenstand.
- 8.5 Der vorliegende Prüfbericht kann dem Eisenbahn-Bundesamt (EBA) und der Deutschen Bahn AG zur Bestätigung der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit der Unterfahrung der DB-Strecke durch den TBM-Vortrieb vorgelegt werden.

9 Sonstige Bemerkungen

- 9.1 Stand der Prüfung
- Die Prüfung der Entwurfsstatik des Tübbingrings, der Ortsbruststandsicherheit und der Setzungsberechnungen ist abgeschlossen.
- 9.2 Noch vorzulegende Unterlagen:
- Festlegungen / Vorgaben des Bauherrn für die Ausführungsplanung
 - Tunnelbautechnisches Gutachten (o. glw.)
 - Ausführungsplanungen für den TBM-Vortrieb und Tübbingausbau



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer
Prüfingenieur für Standsicherheit

Verteiler:

Prüfbericht:	1fach	TenneT (Bauherr)
	1fach	Bung-Peb (Planer)
Prüfungsunterlagen:	(entfällt)	