

Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal



Prof Dr.-Ing. B. Maidl
Dipl.-Ing. R. Maidl
Beratende Ingenieure



DR. SPANG

DR. SPANG
INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR
BAUWESEN, GEOLOGIE UND
UMWELTTECHNIK MBH

Nordbahntrasse Wuppertal

Fatloh-Tunnel

Gutachten zur Tunnelsanierung mit Kostenschätzung

Bearbeitet im Auftrag der

Stadt Wuppertal

Ressort Straßen und Verkehr

Abteilung Straßenerhaltung und Ingenieurbau

Bochum, März 2009

Federführung:

Prof. Dr.-Ing. B. Maidl - Dipl.-Ing. R. Maidl
Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG
Universitätsstraße 142
44799 Bochum
Tel.: 0234-97077-0 / Fax: 0234-97077-88
E-mail: imm.bochum@t-online.de

Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für
Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH
Westfalenstr. 5 - 9
58455 Witten
Tel.: 02302-91402-0 / Fax: 02302-91402-20
E-mail: dr.spang@t-online.de

Inhaltsverzeichnis:

1.	Veranlassung.....	3
2.	Grundlagen.....	4
2.1	Unterlagen	4
2.2	Bauwerksbeschreibung	5
3.	Ausgangssituation	7
3.1	Baugeschichte.....	7
3.2	Geotechnischer Überblick	8
4.	Untersuchungen, Untersuchungsmethoden	10
4.1	Untersuchungsmethoden	10
4.2	Zustandsbeschreibung	11
4.3	Erkundungen.....	13
5.	Bewertung	19
5.1	Zustandsbeurteilung / Schadensursache.....	19
5.2	Bewertung der Standsicherheit	19
5.3	Bewertung der Verkehrssicherheit.....	23
5.4	Bewertung der Dauerhaftigkeit	24
6.	Sanierungsmaßnahmen und Kosten	26
6.1	Sanierungsmaßnahmen	26
6.1.1	Portale	27
6.1.2	Tunnelausbau	27
6.1.3	Nischen	30
6.1.4	Tunnelentwässerung	30

Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal

Projekt: 090203 - Nordbahntrasse Wuppertal

Fatloh-Tunnel

6.2	Kosten / Gegenüberstellung Pyöry	31
6.2.1	Kosten.....	31
6.2.2	Gegenüberstellung zu Pyöry	32
7.	Zusammenfassung und Empfehlung.....	36
8.	ANLAGEN	

Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 50.000 (1)

Anlage 2: Tunnelabwicklung, 1 : 100 (1)

Anlage 3: Ergebnisse der Erkundung

Anlage 3.1: Erkundungsquerschnitt, 1 : 100 (entfällt)

Anlage 3.2: Bohrprofile (entfällt)

Anlage 3.3: Schurfaufnahmen (entfällt)

Anlage 3.4: Bohrkernprüfung (11)

Anlage 3.5: Punktlastversuch (1)

Anlage 3.6: Chemische Wasseranalytik (5)

Anlage 3.7: Fotodokumentation (4)

Anlage 4: Sanierungskonzept (2)

Anlage 5: Kostenschätzung (2)

1. Veranlassung

Von der WuppertalBewegung e.V. wurde ein Bürgerprojekt zur Umnutzung einer rund 22 km langen ehemaligen Bahnstrecke in einen Geh- und Radweg, die sog. „Nordbahntrasse“ initiiert. Ziel des Gutachtens ist es, ein praxisorientiertes Umsetzungskonzept zur Sanierung der 7 Tunnelbauwerke einschließlich Kostenschätzung zu erarbeiten.

Als Sanierungsziel wird ein stand- und verkehrssicherer Betrieb der Tunnelbauwerke für einen Geh- und Radweg von mindestens 20 Jahren vorgegeben. Als Rahmenbedingung für die Untersuchungen und die Sanierung der Tunnelbauwerke ist der Schutz der Fledermäuse zu berücksichtigen. In diesem Gutachten wird der Fatloh-Tunnel behandelt.

Die Ingenieurgesellschaft IMM / Dr. Spang wurde von der Stadt Wuppertal mit der Erstellung der Gutachten zur Tunnelsanierung beauftragt.

Die Bezeichnungen linke Seite / links der Bahn (l.d.B.) und rechte Seite / rechts der Bahn (r.d.B.) beziehen sich auf eine Sichtweise entlang der ehemaligen DB-Strecke in aufsteigende Kilometrierung und somit in eine Sichtrichtung von Düsseldorf kommend in Richtung Hörde schauen.

2. Grundlagen

2.1 Unterlagen

Seitens des Auftraggebers wurden folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt.

- [U 1] **Bauwerksbuch Fatloh- Tunnel**, Deutsche Bahn AG, Bauwerksnummer 2423 – 31,959 – 1320, Bestandsunterlagen, Bauwerksbeschreibung, Baugrundgutachten, Befund-/Maßnahmenblätter, (1 breiter Ordner (Band 1), 1 schmaler Ordner (Befundblätter der letzten 3 Bauwerksprüfungen).
- [U 2] **Bestandsunterlagen / alte Bauwerkprüfungen Fatloh-Tunnel**, Deutsche Bahn AG, , Bauwerksnummer 2423 – km 31,959 – 33,043 km, (1 Hängeregister).
- [U 3] **Rheinische Strecke Wuppertal Umnutzung in einen Radweg**, Überprüfung und Aktualisierung der Kostenschätzung, Bauwerk: Fatloh-Tunnel, Nummer 136 im Lageplan Nr. 22-38, Pöyry Infra GmbH 06.11.2008.
- [U 4] **Bauwerksbuch Rott- Tunnel**, Deutsche Bahn AG, Bauwerksnummer 2423 – 31,324 – 1324, Bestandsunterlagen, Bauwerksbeschreibung, Baugrundgutachten, Befund-/Maßnahmenblätter, 2 breite Ordner (Band 1 und 2), 1 schmaler Ordner (Befundblätter der letzten 3 Bauwerksprüfungen).

Des Weiteren wurden die folgenden Unterlagen zur Bearbeitung herangezogen.

- [U 5] **Geologische Karte und Erläuterungen, Blatt 4709 – Wuppertal-Barmen, M 1 : 25.000**; Geologisches Landesamt Nordrhein – Westfalen, Krefeld 1979.
- [U 6] **Das Mauerwerk**, Heft 6, 2002, Materialeigenschaften historischen Ziegelmauerwerks im Hinblick auf Tragfähigkeitsberechnungen am Beispiel am Beispiel der Leipziger Bundwand, Roland Schrank

Außerdem werden die zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung eingeführten technischen Regelwerke verwendet.

2.2 Bauwerksbeschreibung

Die Angaben zur Bauwerksbeschreibung sind [U 1] - [U 3] entnommen. Das vorliegende Bauwerksbuch [U 1] wurde in den 1960er Jahren von der DB AG auf der Grundlage von noch vorhandenen Unterlagen neu aufgestellt. Die ursprüngliche Bauakte ist wahrscheinlich im zweiten Weltkrieg „verloren“ gegangen. Bei den vorliegenden Planunterlagen gibt es zum Teil leicht widersprüchliche Angaben zur Geometrie und den Ausbauquerschnitten. Im Zweifelsfall wurden die älteren Pläne zugrunde gelegt.

Strecke: 2423	km 32,959 – 33,043 der Strecke Düsseldorf Hbf – Wuppertal Varresbeck – Hagen Hbf
Länge:	ca. 84 m
Längsneigung:	5,080 ‰
lichte Höhe:	ca. 6,75 m
lichte Breite:	ca. 8,40 m
Abwicklung:	ca. 18,4 m ² /m
Bauweise:	zweigleisiges Hufeisenprofil aus Ziegelmauerwerk mit offener Sohle, (Gleise mittlerweile entfernt)
Ausbau:	Ziegelmauerwerk verputzt, d = 77 - 103 cm
Nischen:	4 Nischen bahnlinks (ungerade Nummern) 4 Nischen bahnrechts (gerade Nummern)
Baujahr:	1870-1874
Inbetriebnahme:	1876
Stillgelegt seit:	1992
höchste Überdeckung:	ca. 6 m
Gebirge:	Kalksteinfelsen des Mitteldevon

Bei dem Fatloh-Tunnel handelt es sich um einen ehemaligen zweigleisigen Bahntunnel der Strecke 2423 von Düsseldorf nach Hörde zwischen den ehemaligen Bahnhöfen Heubruch und Wichlinghausen. Der Tunnel durchfährt in seiner ganzen Länge den festen Kalkfelsen. Der Tunnel liegt auf einer Geraden und verfügt über keine Seitenstollen und keine künstliche Beleuchtung / Belüftung. Die Längsneigung beträgt 5,080 ‰, in Richtung Hörde steigend.

Die Überdeckung des Tunnels ist mit 4-6 m sehr gering. Auf dem Gelände unmittelbar über dem Tunnel befinden sich Gärten und eine Straße, die den Tunnel in einem Winkel von ca. 45° kreuzt. Eine Überbauung des Tunnels wurde in der Vergangenheit durch die DB AG aufgrund der sehr geringen Überdeckung und wegen des dolinengefährdeten Gebirges abgelehnt.

In [U 1] gibt es einen textlichen Hinweis auf ein vorhandenes Sohlgewölbe, das jedoch auf Grundlage der übrigen vorliegenden Unterlagen nicht bestätigt werden kann. Die Sollstärke des Gewölbes beträgt gemäß der Bestandszeichnungen 0,77 m. Im Portalbereich vergrößert sich die Solldicke des Mauerwerks auf 1,03 m. Der Tunnel weist ein Hufeisenprofil auf mit einer maximalen lichten Breite von ca. 8,40 m und einer lichten Höhe von ca. 6,75 m. Das Gewölbe und die Widerlager sind aus Ziegelsteinmauerwerk mit Kalkmörtel ausgeführt worden. In dem linken Widerlager wurde an einer Stelle auf den Ausbau verzichtet, so dass hier der anstehende Fels auf einer Fläche von ca. 3,0 x 3,0 m sichtbar ist.

Es gibt auf beiden Tunnelseiten jeweils 4 Nischen, die ungeraden bahnlinks, die geraden bahnrechts. In den Nischen ist überwiegend der anstehende Fels anzutreffen. In den Nischen 1, 2, 3 und 7 wird der rückseitige Fels zum Teil durch Mauerwerk, Spritzbeton und Verankerungen (Nische 3) gesichert. Die Nischen dienen ursprünglich als Schutzraum beim Eisenbahnverkehr sowie zur Entwässerung. Die Rückwand der Nische 8 ist vollständig mit Putz / Spritzbeton verschlossen. Das Mauerwerk ist an den Wandinnenseiten und im Gewölbe der Nischen vollständig verputzt.

Die Portale wurden ursprünglich aus Ziegelsteinmauerwerk mit Kalk- und Zementmörtel erstellt. Beide Portale sind mittlerweile durch Spritzbeton gesichert.

3. Ausgangssituation

3.1 Baugeschichte

Gemäß der Baubeschreibung [U 1] wurde der Fatloh-Tunnel in den Jahren **1870 bis 1874** als zweigleisiger Gewölbetunnel erstellt und etwa 1876 dem Betrieb übergeben.

Es wird vermutet, dass das Gewölbemauerwerk des Fatloh-Tunnels zu Beginn des **20. Jahrhunderts** mit einem Putz im Wolfsholzverfahren versehen wurde. Die Vermutung stützt sich einerseits auf das gleiche Erscheinungsbild des Putzes in den Tunneln Dorp, Dorrenberg, Engelnberg, Rott und Fatloh sowie auf einen Inspektionseintrag aus den 50er Jahren des Engelberg-Tunnel: „1900 Wolfsholz“. Dieser Putz ist ca. 3 cm dick und hat eine glatte Oberfläche. Reste dieses Putzes befinden sich im Ulmenbereich auf einem kurzen Gewölbeabschnitts im westlichen Portalbereich sowie in den Nischen (Seitenwände und Gewölbe). Neben der Vergütung der Tunnelschale sollte damit auch eine gewisse Abdichtung der Schale erreicht werden.

Bei der Bauwerksprüfung im **Jahre 1954** wurden Verwitterungserscheinungen am Ziegelmauerwerk festgestellt, die sich im „schieferartigen Abblättern der Klinker“ zeigte. Einzelne Steine waren bis zu 12 cm ausgebrochen. Im **Jahre 1956** wurden 18 Bohrkern entnommen, im **Jahre 1959** wurde die gesamte Tunnelleitung - mit Ausnahme eines kurzen Gewölbeabschnitts im westlichen Portalbereich - mit einem „6 cm starken Torkreputz mit Betonstahlgewebeeinlage“ versehen. Detaillierte Unterlagen zu den Bohraufschlüssen sowie zur erfolgten Spritzbetonsanierung liegen nicht vor.

Im Hinblick auf eine Profilerweiterung für die Elektrifizierung der Strecke wurde der Fatloh-Tunnel, wie auch die übrigen innerstädtischen Tunnel, im **Jahre 1978 und 1979** umfangreich untersucht. Auf die Untersuchungsergebnisse (Baugrundgutachten, Bohr- und Schürfergebnisse), die in [U 1] enthalten sind, wird in

Kapitel 4 näher eingegangen. Nach Abschluss der Untersuchungen wurde seitens der DB AG die Profilerweiterung und Elektrifizierung nicht weiter verfolgt. Die Gründe für den Verzicht liegen vermutlich in den hohen Umbau- und Sanierungskosten der Tunnel im Vergleich zur kostengünstigeren Kapazitätserweiterung der Wuppertaler Talstrecke. In [U 4] sind Stellungnahmen der SCHLEGEL – Dr.-Ing. SPIEKERMANN GmbH & Co bezüglich der zur Elektrifizierung der innerstädtischen Tunnel bzw. Zur Sanierung erforderlichen Maßnahmen enthalten.

Im **Jahre 1983** wurden die Portale instandgesetzt. Die „Bekrönungen“ wurden zurückgebaut und durch flachgeneigte Betonabdeckungen ersetzt. Das Ziegelmauerwerk wurde vollständig mit Spritzbeton saniert.

Gemäß [U 1] ist der Betrieb auf dem Teilstück Heubruch – Wichlinghausen seit **1992** eingestellt. Der Fatloh-Tunnel wurde auch nach Stilllegung in regelmäßigen Abständen durch einen Fachbeauftragten der DB AG gemäß Ril 853 inspiziert. In den letzten Inspektionen wurden u. a. Ausblühungen, Feucht- und Nassstellen, sowie Beschädigungen an sanierten Stellen der Tunnelleibung festgestellt worden, die der Schadensklasse a (keine oder nur geringfügige Mängel oder Schäden Beseitigung der Mängel/Schäden langfristig erwünscht) zugeordnet wurden. Darüber hinaus wurde ausgebrochenes Mauerwerk, leere Fugen in der Tunnelleibung sowie bauteilschädigende Vegetation an den Portalen der Schadensklasse b (kleinere Mängel oder Schäden, Beseitigung der Mängel/Schäden spätestens in 6 Jahren) festgestellt. Die Beseitigung der Mängel wurde seitens der Bahn nicht in Angriff genommen.

3.2 Geotechnischer Überblick

Der geotechnische Überblick basiert auf den Angaben aus früheren Erkundungen [U 1] sowie der geologischen Karte „Barmen“ [U 5]. Demnach liegt der Fatloh-Tunnel in seiner Gesamtlänge im Schwelmer Kalk (Massenkalk des oberen Mitteldevon tmk1). Verwerfungen oder Störungszonen werden nicht festgestellt. Dieser Massenkalk gehört zu dem großen Rheinisch-Westfälischen Kalkzug, der im Süden durch den Lenneschiefer und im Norden durch das Oberdevon be-

grenzt wird. Der Schwelmer Kalk weist im Bereich des Tunnels unterschiedliche Streich- und Fallrichtungen auf. Es werden dickbankige Lagen mit einer Mächtigkeit von ca. 1 m vermutet. Der Schwelmer Kalk ist in diesem Bereich flächenhaft dolomitisiert, d. h. nachträglich in ein feinkristallines Gestein umgewandelt worden. Die Poren und Hohlräume im dolomitisierten Kalk sind häufig mit Kalkspat, Dolomitspat oder Quarz gefüllt. Es handelt sich beim Schwelmer Kalk um dunkle Actinostroma- und Amphipora-Kalke, untergeordnet auch um Mergelschiefer.

Das Oberflächenwasser versickert im Bereich der Kalke meist schnell. Die Oberflächenwässer sind häufig kalkaggressiv (kohlenensäurehaltig) und können den Kalk auflösen. Es entstehen Hohlräume und Karstspalten. Im Bereich des Tunnels sind diese zum Teil mit Lehm verfüllt. Seitens der DB AG wurde das Gebirge als dolinengefährdet eingestuft.

Bei der vorliegenden Bohrerkundung wurde teilweise Kalkstein mit zahlreichen Kalzitklüften angetroffen. Dies ist ein Anzeichen einer Dolomitisierung, einem chemischen Verwandlungsprozess, bei dem das Ca des Kalkes durch Mg ersetzt wird. Bei diesem Prozess vollzieht sich eine Volumenminderung, die durch Mineralausfüllungen, z. B. kalzitgefüllte Hohlräume, wieder ausgeglichen wird.

Bei den Portalen ist die Gesteinsoberfläche durch Hangschutt, und z. T. organischen Material geringer Dicke überdeckt.

Das Gebirge ist im Grundsatz standfest. Es ist mit einem schwachen Auflockerungsdruck durch nachgebrochenes Gebirge zu rechnen.

4. Untersuchungen, Untersuchungsmethoden

4.1 Untersuchungsmethoden

Der Tunnel wurde zur Feststellung des Zustands begangen und vollständig fotografisch aufgenommen. Zusätzlich wurde eine visuelle Begutachtung durchgeführt und feststellbare Schäden kartiert, dazu gehörte auch ein Abklopfen der Tunnelschale mit Feststellung von Hohlstellen. Die fotografische Aufnahme sowie die Schadenskartierung sind in Anlage 2 dargestellt. Hohlstellen sind grundsätzlich im Bereich von Putzabplatzungen und durchfeuchteten Stellen anzutreffen. D. h. an allen Stellen, die auf der fotografischen Aufnahme (Anlage 2) gut erkennbar bzw. in der Kartierung als entsprechende Schadenstelle gekennzeichnet sind, wurden in der Regel auch Hohlstellen angetroffen. Diese Hohlstellen wurden deshalb nicht extra kartiert. Es sind in Anlage 2 nur Hohlstellen in ansonsten befundfreien Bereichen ausgewiesen.

Zur Erkundung der Tunnelschale des Fatloh-Tunnels wurde bereits ein umfangreiches Erkundungsprogramm ausgeführt, das im Gutachten des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) in [U 1] enthalten ist. Im Hinblick auf die Baugleichheit der innerstädtischen Tunnel und den Umfang der bereits vorliegenden Erkundungen, wurde im Zuge unserer Untersuchung auf eine Bohrkernentnahme im Fatloh-Tunnel verzichtet. Die Übereinstimmung der Erkundungsergebnisse der übrigen innerstädtischen Tunnel mit den Erkundungen von 1979 werden als hinreichend betrachtet.

Das Bohrgut der übrigen innerstädtischen Tunnel wurde nach den Maßgaben der DIN 4022 geotechnisch aufgenommen und gemäß DIN 18 196 und DIN 18 300 gruppiert bzw. klassifiziert. Die Ergebnisse dieser Aufnahme sind gemäß DIN 4023 in Anlage 3 dargestellt.

Außerdem wurden aus einigen Kernstücken Probekörper gewonnen und zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften Einaxiale Druckversuche und Punktlastversuche) ausgeführt. Die Versuchsergebnisse sind in Anlage 3 enthalten.

Darüber hinaus wurde die Güte der Tunnelauskleidung an insgesamt 6 Flächen (4x Spritzputz, 1x Putz, 1x Mauerwerk) mit dem Schmidt-Hammer beprobt. Die Versuchsergebnisse werden in Kapitel 4.3 vorgestellt.

Im Hinblick auf die Schotterstärke und der Entwässerung liegen Aufschlüsse aus der Erkundungskampagne von 1978/1979 vor [U 1]. Auf eigene Schürfungen wurde verzichtet.

4.2 Zustandsbeschreibung

Der Fatloh-Tunnel wurde am 13.01.2009, 12.02.2009 und am 18.02.2009 begangen und begutachtet. Die fotografische Aufnahme sowie die Kartierung der Schäden sind in Anlage 2 als Tunnelabwicklung dargestellt. Bei der fotografischen und zeichnerischen Darstellung handelt es sich um eine Draufsicht der Tunnelabwicklung. Die Darstellungen erscheinen daher spiegelbildlich, was insbesondere bei der Nischenummerierung und den Graffitis der fotografischen Darstellung zu erkennen ist.

Tunnelausbau

Im Bereich des Westportals zwischen **km 39,959** und ca. **39,965** liegt das Mauerwerk in der Firste frei. Die Ulmen sind mit einem glatten, ca. 3 cm dicken Putz (System Wolfsholz) bedeckt. Das Mauerwerk im Firstbereich ist in einem schlechten Zustand, einzelne Steine fehlen, die Mauerwerksfugen sind zum Teil bis Tiefe eines Steines leer. Die Firste ist nass. Das Wasser tropft auf die Tunnelsohle oder läuft an der Tunnelwandung ab. Beim Abklopfen des alten Putzes in den Ulmenbereichen werden Hohlstellen festgestellt.

Ab **km 39,959** bis zum Ostportal ist das Mauerwerk der Tunnelleibung nahezu vollständig mit dem Torkreputz aus dem Jahre 1959 bedeckt. Im Bereich der Ni-

schen ist die Zuordnung des Putzes nicht immer ganz eindeutig. Auch beim Torkretputz werden Hohlstellen im Ulmen- und vereinzelt auch im Firstbereich festgestellt. Im unteren Ulmenbereich bestehen Zweifel, dass der Torkretputz in der angegebenen Sollstärke von 6 cm bewehrt ausgeführt wurde.

Die gesamte Tunnelleibung ist mit einem netzförmigen Rissmuster durchzogen. Bei diesen netzförmigen Rissen handelt es sich ursächlich um Schwindrisse. Diese Schwindrisse sind in weiten Teilen feucht, an diesen Feuchtstellen sind Versinterungen zu erkennen, die auf eine bereits länger anhaltende Durchfeuchtung schließen lassen. In der Zone 4 zwischen den Nischen 6 und 8 gibt es zwei Vertiefungen von 10 -15 cm auf einer Fläche von ca. 2 x 2 bzw. 4 x 2 m. Es wird vermutet, dass es sich hier um Bereiche handelt, in denen das Mauerwerk vor der Sanierung 1959 flächig abgeschalt ist.

Im Bereich des Ostportals weist die Tunnelleibung radiale Risse auf, die sich über die Firste in beide Ulmen erstrecken. Der gerissene Bereich ist feucht bis nass; zudem sind Versinterungen und Moosbildung augenscheinlich.

Nischen

Die Innenwände und Gewölbe der Nischen sind vollständig verputzt, der Putz ist an der Innenleibung der Nischen in der Regel feucht. Der Putz der Innenwände klingt hohl und hat sich bei einigen Nischen bereits sichtbar vom Mauerwerk abgelöst. In der Nische 3 gibt es einen ca. 30 cm breiten Hohlraum unbekannter Tiefe, in dem Lehmeinlagerungen erkennbar sind. Hier handelt es sich um eine Karstspalte.

Portale

Das Ziegelmauerwerk beider Portalstirnwände ist mit Spritzbeton gesichert. Beim Westportal findet sich Lockermaterial, das von der steilen Böschung des Portal-kessels hinter der Portalstirnwand sammelt und von dort seitlich neben den Portalwänden auf die Trasse gefallen ist. Unmittelbar hinter der östlichen Portalstirnwand befindet sich eine „Sitzecke“ eines Gartens. Die Problematik, dass Lockermaterial neben der Portalwand auf die Trasse fällt, ist auch hier in Ansätzen

zu erkennen. Beim Ostportal deuten die bemoosten Stellen auf eine dauerhafte Durchfeuchtung von Teilen der Portalstirnwand hin.

Die Nassstellen der Tunnelleibung im Portalbereich stehen offensichtlich im direkten Zusammenhang mit dem unzureichenden Wasserabfluss hinter den Portalwänden. Eine funktionstüchtige Entwässerung ist nicht erkennbar.

4.3 Erkundungen

Bohrerkundung

Bei der Bohrerkundung des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) [U 1] wurden an 3 Schnitten 9 Bohrkern \varnothing 150 mm entnommen (2 x 1 Bohrkern, 1 x 7 Bohrkern). Durch die Bohrerkundungen wurde die Sollstärke des Gewölbemauerwerks von 77 cm bestätigt, wobei anzumerken ist, dass diese Dicke bei Verengung des Ausbruchsprofils unter- und bei dessen Vergrößerung stellenweise überschritten wird. Die Regelausführung besteht aus zwei im Verband aus 1 ½ Steinen gemauerten Ringen von je 38 cm Dicke, also ca. 77 cm Gesamtdicke. Die Tunnelauskleidung wurde im Fuß- und Kämpferbereich unmittelbar an das Gebirge gemauert, im Ulmen und Firstbereich wurde eine hohlraumreiche Hinterpackung erkundet. Bei einigen Bohrungen wurden Hinweise auf eine Injektion mit Zementsuspension am Gewölberücken gefunden. Hinsichtlich des Torkretputzes aus dem Jahre 1959 wurde bei den Bohrungen eine Dicke zwischen 6 und 16 cm sowie eine Bewehrung erkundet.

Nach dem Gutachten des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) wurden an Festgesteinsproben für den anstehenden Kalkstein Festigkeiten zwischen 56,4 MN/m² und 62,7 MN/m² ermittelt. Die Druckfestigkeit des Ziegelmauerwerks lag in den damaligen Untersuchungen zwischen 9,2 MN/m² und 20,6 MN/m².

Die **Druckfestigkeit des Mauerwerks**, der **Tunnelschale** sowie des **Festgesteins** wurde aus Proben aus den Kernbohrungen bestimmt. Aufgrund der Gleichartigkeit des Tunnelausbaus des Fatloh-Tunnels mit den Tunneln Rott, Engelnberg und Dorrenberg und aufgrund des vergleichbaren Erhaltungszustands

dieser Tunnel werden die Versuchsergebnisse für diese Tunnel gemeinsam ausgewertet. Die Ergebnisse zwischen den Tunneln zeigen nur eine geringe Streuung. Mit den aktuell ausgeführten Untersuchungen wurden Festigkeiten des Mauerwerks zwischen $11,0 \text{ MN/m}^2$ und $44,7 \text{ MN/m}^2$ festgestellt, wobei die niedrigeren Werte im Verbund von Ziegelsteinen und Mörtel festgestellt wurden und die hohen Werte die Festigkeit der Ziegelsteine an sich darstellen. An einer Mörtelprobe wurde eine Festigkeit von $4,8 \text{ MN/m}^2$ für den reinen Mörtel ermittelt. Die Festigkeit des Festgesteins (Kalkstein) wurde zwischen $31,8 \text{ MN/m}^2$ und $46,8 \text{ MN/m}^2$ bestimmt. Die Festigkeit der Tunnelschale hat sich somit zu den Untersuchungen von 1979 nicht wesentlich verändert. Eine Übertragung der Erkundungsergebnisse der übrigen innerstädtischen Tunnel auf den Fatloh-Tunnel ist hinsichtlich der Mauerwerks- und Gesteinsfestigkeit zulässig. Eine Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Festigkeit gibt Tabelle 4.3-1. Der Versuchsbericht ist in Anlage 3.4 beigelegt.

Zusätzlich zu den einaxialen Druckversuchen wurden an den Kernstücken insgesamt 22 Punktlastversuche nach der Empfehlung Nr. 5 des AK 3.3 der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik) im felsmechanischen Labor ausgeführt. Die Ergebnisse liegen in Anlage 3.5. Für das anstehende Festgestein (Kalkstein) konnten an zwei Kernstücken einaxiale Druckfestigkeiten q_u von $47,9$ und $127,8 \text{ MN/m}^2$ ermittelt werden. Die Ergebnisse des Gutachtens Sommer konnten somit bestätigt werden. An einzelnen Ziegelsteinen wurden einaxiale Druckfestigkeiten zwischen $44,7$ und $102,3 \text{ MN/m}^2$ festgestellt. Für den Mauerwerksverbund aus Mörtel und Ziegelsteinen wurden einaxiale Druckfestigkeiten zwischen $19,2 \text{ MN/m}^2$ und $92,7 \text{ MN/m}^2$ mit einem Mittelwert von $49,1 \text{ MN/m}^2$ ermittelt. Das Mauerwerk an sich befindet sich auch nach diesen Untersuchungen in einem guten Zustand. Signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Tunneln konnten bei den Punktlastversuchen nicht festgestellt werden.

Tunnel	Bohrung	Material	Trocken-Rohdichte [kg/dm ³]	Druckfestigkeit [MN/m ²]
Engelnberg	BK 2	Ziegel	2,05	34,5
Engelnberg	BK 5	Ziegel	1,93	44,7
Rott	BK 6	Ziegel	1,92	16,3
Engelnberg	BK 4	Ziegel + Mörtel	1,91	21,1
Engelnberg	BK 4	Ziegel + Mörtel	1,91	24,3
Engelnberg	BK 4	Ziegel + Mörtel	1,83	20,6
Engelnberg	BK 5	Ziegel + Mörtel	1,86	36,9
Engelnberg	BK 5	Ziegel + Mörtel	1,97	32,4
Dorrenberg	BK 9	Ziegel + Mörtel	1,96	15,2
Dorrenberg	BK 9	Ziegel + Mörtel	1,91	11,0
Rott	BK 8	Mörtel	1,78	4,8
Engelnberg	BK 3	Kalkstein	2,64	46,8
Engelnberg	BK 4	Kalkstein	2,51	31,8
Engelnberg	BK 4	Kalkstein	2,53	37,2

Tabelle 4.3-1: Druckfestigkeit der Bauwerksproben; einaxialer Druckversuch

Schürfen / Sondierungen

Das Ing.-Büro Dücker + Oberländer hat 1978 [U 1] im Tunnel insgesamt 8 Sondierungen mit der leichten Rammsonde und 6 Schürfe zur Feststellung der Schottermächtigkeit ausgeführt und dokumentiert. Demnach wurden im Wesentlichen Schottermächtigkeiten im Tunnel zwischen 0,55 m und 0,82 m angetroffen.

Gemäß Baubeschreibung und Regelquerschnitt [U 1] soll sich in Tunnelmitte eine Entwässerungsrigole befinden. Bei den Schürfungen wurden jedoch entlang der Widerlager Rohrleitungen erkundet, die offensichtlich der Tunnelentwässerung dienen. Das hinter der Tunnelschale anfallende Bergwasser wird demnach über Rohrleitung an den Fußpunkten des Tunnelausbaus durch die Tunnelschale einer längslaufenden Rohrleitung zugeführt. Es gibt jedoch keinen Hinweis auf

Entwässerungsschächte oder eine Zuführung zu einem Vorfluter. Da die Tunnelsohle sowohl bei der Begehung im Februar 2009 sowie bei den Schürfen 1978 trocken war, wird angenommen, dass das Bergwasser in dem klüftigen Kalkstein schnell versickert.

In Tunnelmitte wurde bei den Schürfen ein Kabelschutzrohr aus Guss erkundet. Wir gehen davon aus, dass die Leitungen in diesem Kabelschutzrohr wie auch die Leitungen in dem seitlichen Kabelkanal abgänglich sind.

Rückprallhammer

Im Tunnel wurde die Festigkeit mit dem Rückprallhammer nach E. Schmidt überprüft. Die Prüfung wurde an 6 Stellen, die in Anlage 2 dargestellt sind, ausgeführt. Es ist allerdings anzumerken, dass mit dem Rückprallhammer i. d. R. nur eine Einwirktiefe von wenigen Zentimetern erreicht und somit überprüft werden kann. Somit wurde mit den Prüfungen an 4 Stellen der Torkretputz von 1959 (Prüfstelle 1-4) und jeweils an einer Stelle der „alte“ Putz (Prüfstelle 5) und das Mauerwerk der Nische 1 (Prüfstelle 6) überprüft. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Tabelle 4.3-2 zusammengestellt. Vergleichend wird nach DIN 1048-2 (06/1991) die aus den Messwerten ablesbare Betonfestigkeitsklasse angegeben. Diese Angabe dient aber nur zur vergleichenden Information, da sie an sich weder auf Putze noch auf Mauerwerk anwendbar ist. Die Ergebnisse des Rückprallhammerprüfung zeigen jedoch, dass der Torkretputz von 1959 tendenziell eine geringere Festigkeit aufweist als der „alte“ Putz System Wolfsholz. Bezüglich des Mauerwerks ist die Anwendung des Rückprallhammers in Fachkreisen nicht unumstritten. Bei der Zuordnung des Rückprallwertes zu einer Steindruckfestigkeit wird die Empfehlung aus [U 6] über eine Ausgleichsfunktion zugrunde gelegt. Hier wird auch im Hinblick auf den Bemessungsfall ein Faktor von 1,4 zur Abminderung der Steindruckfestigkeit $f_{D,St}$ zu $f_{D,St,m}$ empfohlen.

Prüfstelle	Mindestwert für jede Messstelle R_m [Skalenteile]	Mittelwert für den Prüfbereich R_{m,mittel} [Skalenteile]	Korrelierte mittlere Festigkeit W_m / Steindruckfestigkeit f_{D,St} [MN/m ²]	Vergleichbare Betonfestigkeitsklasse / Steindruckfestigkeit f _{D,St,m} [MN/m ²]
1	21	29	22	n.a.
2	21	30	25	n.a.
3	21	28	21	n.a.
4	22	31	26	n.a.
5	32	37	36	B 10
6	-	39	12 *	8,5 *

n.a. nicht auswertbar, da zu geringer Mindestwert

fett maßgeblicher Wert für die Festlegung der vergleichbaren Betonfestigkeitsklasse

* Abschätzung der Ziegelsteindruckfestigkeit nach [U 6]

Tabelle 4.3-2: Festigkeitsbestimmung mit dem Rückprallhammer

Wasseranalyse

Aufgrund des geringen Wasserandrangs im Fatloh-Tunnel während der Erkundungsarbeiten konnte aus dem Fatloh-Tunnel keine Wasserprobe gewonnen werden. Im Tunnel Dorp war der aktuelle Wasserandrang allerdings ausreichend groß, so dass aus diesem Tunnel Wasserproben gewonnen werden konnten. Der Tunnel Dorp liegt in vergleichbaren geologischen Verhältnissen, so dass die Analytik der Wasserproben auch auf den Tunnel Fatloh übertragen werden können. Der Wasserandrang in den Tunneln ist aufgrund der geringen Überdeckung und der Lage in einem Karstgrundwasserleiter sehr stark von den Niederschlägen abhängig und daher zeitweise stark schwankend. Nach ergiebigen Niederschlägen ist daher auch im Fatloh-Tunnel mit einem deutlich erhöhten Wasserandrang zu rechnen.

Die Analyseergebnisse des Wassers aus dem Tunnel Dorp zeigen bezüglich des Aspekts des **Betonangriffsgrads** keine Auffälligkeiten, sodass das Wasser als nicht Beton angreifend eingestuft wird. Bezüglich des Aspekts des **Stahlang-**

riffsgrads wurde aufgrund eines erhöhten Sulfat- und Chloridgehalts maximal eine mittlere Wahrscheinlichkeit für Mulden- und Lochkorrosion an unlegierten Stählen festgestellt. Die Analyseergebnisse und die Auswertung ist in Anlage 3.6 beigelegt.

Die im Grundwasser festgestellten Eisen sind vergleichsweise gering. Der festgestellte Mangangehalt in einer Probe liegt mit 0,19 mg/l im Bereich, ab dem im Allgemeinen eine Gefahr der Verockerung von Grundwasserfassungen oder Grundwasserdrainagen gesehen wird. Die bestimmten Calciumgehalte liegen mit bis zu 150 mg/l nahe an der Grenze, ab der im Allgemeinen eine Versinterungsgefährdung gesehen wird. Die relevanten Laborergebnisse zur Versinterung und Verockerung sind in Tabelle 4.3-3 zusammengestellt.

Parameter	Wasserprobe aus Tunnel Dorp		
	Nische 5	Nische 34	Nische 84
pH-Wert [-]	7,61	7,62	8,12
Calcium [mg/l]	150	140	67
Eisen, ges [mg/l]	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Eisen (II) [mg/l]	0,01	0,01	< 0,01
Mangan II [mg/l]	0,19	0,07	< 0,05

Tabelle 4.3-3: Chemische Grundwasseranalyseergebnisse zur Beurteilung von Versinterungs- und Verockerungsgefährdung

5. Bewertung

5.1 Zustandsbeurteilung / Schadensursache

Die Ursache für die festgestellten Schäden an der Bausubstanz sind dem Bergwasser zuzuordnen. Im Folgenden werden die Schäden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Standsicherheit, der Dauerhaftigkeit und der Verkehrssicherheit bewertet. Im Hinblick der vorliegenden Inspektionen und Bauwerksbefunde der DB AG [U 1] und [U 2] sei angemerkt, dass ein Fuß- und Radwegtunnel insbesondere im Hinblick der Verkehrssicherheit andere Bewertungsmaßstäbe aufweist als ein nicht elektrifizierter Eisenbahntunnel.

5.2 Bewertung der Standsicherheit

Allgemeines

Im Tunnel wurden keine Schädigungen der Tunnelschale angetroffen, die die Standsicherheit des Tunnels gefährden. Das anstehende Gebirge ist als weitgehend tragfähig zu beurteilen. Im Gebirge bildet sich ein Gebirgstragring aus, der den ausgebrochenen Hohlraum an sich standsicher ausbildet und nur eine untergeordnete Belastung auf die Tunnelschale abgibt. Die Tunnelschale weist insbesondere Schutzzwecke für den Hohlraum gegen sich ablösende Felsbrocken, Material aus Karsträumen und zutretendes Gebirgswasser auf.

Das Ziegelmauerwerk der Tunnelschale ist weitgehend direkt auf das anstehende Festgestein aufgesetzt. Da auch in diesen Bereich keine konstruktiven Schäden an der Tunnelschale festgestellt wurden, ist die Fundamentierung als dauerhaft standsicher anzusehen.

Abschätzung / Überschlägiger Ermittlung der Standsicherheit

Im Folgenden wird die globale Standsicherheit der bestehenden Tunnelschale bewertet. Da es sich um einen ehemaligen Eisenbahntunnel handelt, erfolgt diese Bewertung in Anlehnung an die Vorschriften und Richtlinien der DB AG. Die Tragsicherheit von bestehenden Bauwerken wird in der Ril 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“ (01.09.2002) behandelt. Die allgemeinen Grundsätze dieser Richtlinie können auch auf bestehende Eisenbahntunnel angewendet werden. Gemäß Ril 805 ist die Tragsicherheit bestehender Bauwerke, unabhängig von der Bauweise, auf Grundlage der in dieser Richtlinie gegebenen Möglichkeiten in einer oder in mehreren der nachfolgenden Stufen zu bewerten.

- Stufe 1: Abschätzung der Tragsicherheit
- Stufe 2: überschlägige Ermittlung der Tragsicherheit
- Stufe 3: genauere Ermittlung der Tragsicherheit
- Stufe 4: messwertgestützte Ermittlung der Tragsicherheit

Die Beurteilung der Standsicherheit der gemauerten Tunnelschale erfolgt beim Rott-Tunnel anhand der Bewertungsstufe 1 und 2 durch eine ingenieurmäßige Abschätzung bzw. einer überschlägigen Ermittlung der Tragsicherheit. Ergeben sich bei Stufe 1 und 2 unbefriedigende oder nicht ausreichende Werte, so ist das Bauwerk nach der höheren Bewertungsstufe 3 oder eventuell 4 zu untersuchen (Ril 805.0101 (1)).

Gebirgsdruckansatz

Bei dem angetroffene Gebirge, dem Schwelmer Massenkalk, handelt es sich um einen standfesten Fels, der im Grundsatz auch ohne Tunnelausbau tragfähig ist. Aufgrund des Trennflächengefüges des Massenkalks kommt es jedoch dazu, dass sich am Hohlraumrand kleine Kluffkörper aus dem Gebirgsverband lösen können und von der Tunnelschale gehalten werden müssen. D. h. die Tunnelschale ist im Regelbereich durch das Eigengewicht des Mauerwerks und der Hinterpackung sowie durch einen geringen „Auflockerungsdruck“ des Gebirges beansprucht. In den Portalbereichen wird dieser „Auflockerungsdruck“ durch eine Überdeckung aus Hangschutt und Auffüllung ersetzt. Als Gebirgsdruck wird ge-

mäß des Leitfadens zur Ril 853 der halbe Ausbruchsquerschnitt als Überdeckung angesetzt.

Mit einem überschlägig angesetzten Ausbruchsquerschnitt von 10 m und einer Wichte von 28 kN/m^3 ergibt sich ein vertikaler Gebirgsdruck $p_v = 0,5 \times 10 \times 28 = 140 \text{ kN/m}^2$. Beim Ansatz der Gesamtüberdeckung ergeben sich $p_v = 6 \times 28 = 168 \text{ kN/m}^2$. Dieser Gebirgsdruckansatz liegt im Hinblick auf die angetroffenen Gebirgsverhältnisse weit auf der sicheren Seite.

Beanspruchung der Tunnelschale

Von einem Gebirgsdruck von 168 kN/m^2 ausgehend, zuzüglich eines großzügig angesetzten Eigengewichts der Mauerwerksschale von 20 kN/m^2 ergibt sich eine überschlägige Drucknormalkraft in der Mauerwerksschale von $D = 0,5 \times 10 \times (168 + 20) = 940 \text{ kN/m}$.

Zu der Normalkraftbeanspruchung erfährt die Tunnelschale zusätzlich eine Biegebeanspruchung, auf deren überschlägigen Ermittlung an dieser Stelle verzichtet wird. Auf Grundlage unserer Inaugenscheinnahme, den Inspektionen der DB AG sowie vorliegenden Erkundungen gibt es keinen Hinweis auf Verformungen oder Verdrückungen der Mauerwerksschale, so dass die Momentenbeanspruchung folgerichtig sehr gering sein muss. Die im Folgenden getroffene Annahme, dass sich eine aus der Momentenbeanspruchung ergebende klaffende Fuge höchstens auf $\frac{1}{3}$ der Schalendicke beschränkt, liegt daher ebenfalls auf der sicheren Seite.

Unter dem Ansatz einer elastischen Spannungsverteilung ergeben sich für die unterschiedlichen festgestellten Schalendicken folgende mittlere Spannungen und Randspannungen:

- $D = 80 \text{ cm}$: $\sigma_M = 0,940 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,80 \text{ m}) = 1,76 \text{ MN/m}^2$
 $\sigma_R = 2 \times 0,940 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,80 \text{ m}) = 3,53 \text{ MN/m}^2$
- $D = 100 \text{ cm}$: $\sigma_M = 0,940 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 1,00 \text{ m}) = 1,41 \text{ MN/m}^2$
 $\sigma_R = 2 \times 0,940 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 1,00 \text{ m}) = 2,82 \text{ MN/m}^2$

Druckfestigkeit der Tunnelschale

Für die Beurteilung der Tragsicherheit der Tunnelschale ist neben den Einwirkungen in erster Linie die Druckfestigkeit des Ziegelmauerwerks entscheidend. Es wurden in zwei Bohrkampagnen (1979, 2009) Bohrkerne aus der Tunnelschale entnommen und beprobt. Die Erkundungsergebnisse sind bereits in Kapitel 4.3 dargestellt worden. Die Erkundung aus dem Jahre 1979 hat das Ziegelmauerwerk als „zum Teil nicht sehr tragfähig“ beurteilt. Es wurden Druckfestigkeiten des Ziegelmauerwerks von 9,2 bis 20,6 N/mm² festgestellt, was im Bereich der bei den übrigen innerstädtischen Tunneln gemachten Erkundungen liegt. Das Ziegelmauerwerk könnte der Mauerwerksfestigkeitsklasse M9 zugeordnet werden. Demnach kann der Rechenwert der Druckfestigkeit mit $\beta_R = 7,7 \text{ MN/m}^2$ angesetzt werden.

Tragsicherheitsnachweis / Spannungsnachweis

Gemäß DIN 1053-1 dürfen im Gebrauchszustand klaffende Fugen rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts entstehen. Bei exzentrischer Beanspruchung darf die Kantenpressung im Bruchzustand $1,33 \beta_R$ betragen, während für die mittlere Spannung β_R einzuhalten ist.

Die rechnerische Sicherheit ergibt sich aus dem Quotienten der vorhandenen Spannung σ zur rechnerischen Druckfestigkeit β_R . Die geforderte Sicherheit beträgt gemäß DIN 1053-1 für Wände $\gamma_w = 2,0$.

$$\gamma = \frac{\beta_R}{\text{vorh}\sigma}$$

Die niedrigste rechnerische Sicherheit ergibt sich bei der Kantenpressung der Schale $d = 80 \text{ cm}$ mit $\gamma = 2,90$.

$$\gamma = \frac{1,33 * 7,7}{3,53} = 2,90$$

Der überschlägige Nachweis der Standsicherheit wird mit einer Reihe von ungünstigen auf der sicheren Seite liegenden Berechnungsannahmen mit ausreichender Sicherheit geführt.

Die Standsicherheit des Tunnels und der Tunnelschale ist somit aktuell gegeben.

5.3 Bewertung der Verkehrssicherheit

Die Verkehrssicherheit des Tunnels für einen geplanten Fußgänger- und Fahrradfahrerverkehr ist derzeit nicht gegeben. Es besteht die Gefahr, dass sich im Bereich des Westportals Mauerwerk von der Tunnelschale löst und auf Personen herabfällt. Im Firstbereich fehlen bereits einzelne Steine und die Fugen sind bis zu einer Steintiefe leer.

Bei dem mittlerweile 50 Jahre alten Torkreputz wurden Hohl- und Feuchtstellen festgestellt. Anders als bei dem in den übrigen innerstädtischen Tunneln vorherrschenden Putz System Wolfsholz wurde beim Torkreputz aufgrund der vorhandenen Bewehrungseinlage ein Herabfallen von größeren Putzflächen nicht beobachtet. Ein plötzliches Versagen bzw. Herabfallen von größeren Putzflächen wird daher zu diesem Zeitpunkt als eher gering eingestuft, d. h. eine unmittelbare Gefährdung der Verkehrssicherheit kann hier im Gegensatz zu den übrigen innerstädtischen Tunneln gegenwärtig nicht erkannt werden.

Es sei jedoch angemerkt, dass auch der Torkreputz Hohl- und Feuchtstellen aufweist und über die Bauausführung von 1959 derzeit keine Unterlagen vorliegen, d. h. es ist nicht bekannt, ob und mit wie vielen Ankern die Bewehrung an der Mauerwerksschale befestigt wurden. Über das verwendete Material (Anker, Bewehrung) gibt es ebenfalls keine Angaben. Aufgrund der augenscheinlichen zwischen Mauerwerk und Torkreputz vorhandenen Nässe und Feuchtigkeit schreitet die Schädigung der Baustoffe (Mauerwerk, Putz, Bewehrung, Anker) langsam aber stetig fort. Im Winter wird dieser Prozess durch Frost und die Sprengwirkung von gefrierendem Wasser verstärkt. D. h. auf längerer Sicht kann eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch den geschädigten Torkret-

putz nicht ausgeschlossen werden. Der genaue Zeitpunkt, wann Putz von einer bereits hohlklingend Stelle abplatzt / abfällt, lässt sich nicht vorhersagen und ist insbesondere auch von den sonstigen Umweltbedingungen abhängig.

Der Tunnel weist zahlreiche feuchte und nasse Stellen auf. Der Wasserzutritt zum Tunnel birgt für die Verkehrssicherheit mehrere Gefahrenpotenziale. Es bilden sich durch herabtropfendes Wasser feuchte / nasse Stellen ggf. auch auf dem Straßenbelag, die zum einen dauerhaft sind und zum andern immer zeitverzögert zu aktuellen Niederschlagsereignissen im Tunnel auftreten. Es ist daher mit nassen Flächen und somit einer Rutschgefahr im Tunnel zu rechnen, wenn außerhalb des Tunnels bereits eine trockene Witterung herrscht und die Verkehrsteilnehmer somit nicht mit nassen Bereichen rechnen.

Zum anderen besteht im Winter durch Tropfwasser die Gefahr von Eisbildung auf den Verkehrsflächen und darüber hinaus die Gefahr von Eiszapfenbildung und bei beginnendem Tauwetter des Herabstürzens von Eiszapfen. Das Gefahrenpotenzial ist bei den in den Portalbereichen festgestellten Wasserzutritten nicht unerheblich.

Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit ergibt eine Auswertung der kartierten durch Mauerwerksschädigungen oder Feuchtigkeitszutritten gefährdeten Bereiche eine Fläche von ca. 20 % der gesamten Tunneloberfläche, welche unmittelbar sanierungsbedürftig ist.

5.4 Bewertung der Dauerhaftigkeit

Um die Standsicherheit der Tunnelschale dauerhaft zu erhalten, sind starke Durchströmungen und Durchfeuchtungen der Tunnelschale zu vermeiden. Dies betrifft insbesondere die Übergangsbereiche zwischen Tunnelportal und Tunnelschale, an denen sich durchnässte Fugen gebildet haben. Auf die Problematik der zwischen Torkreputz und Mauerwerk befindlichen Nässe wurde bereits im Kapitel 5.3 hinreichend eingegangen. Wenn Schädigungsprozess den kritischen

Punkt im 50-jährigen Torkreputz erreicht hat wird, ist unseres Erachtens eine Komplettsanierung der Tunnelleibung zu erwarten.

Die Durchfeuchtung des Tunnels ist auch im Hinblick auf notwendige betriebstechnische Ausstattung wie z. B. Beleuchtung als negativ zu bewerten. Erfahrungsgemäß leiden elektrische Anlagen im feuchten Milieu, was ggf. einen erhöhten Erhaltungsaufwand nach sich zieht. Im Weiteren ist durch die Kombination Licht und Feuchtigkeit auch im Tunnel mit einem biologischen Bewuchs (Moose, Algen etc.) zu rechnen, der bislang verstärkt nur in den Portalbereichen zu beobachten ist. Ob ein solcher Bewuchs einen messbaren Einfluss auf die Verkehrssicherheit oder den Unterhaltungsaufwand hat, kann aus unserer Sicht nicht ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit ergibt eine Auswertung der kartierten durch Mauerwerksschädigungen oder Feuchtigkeitzutritten gefährdeten Bereiche eine Fläche von ca. 60 % der gesamten Tunneloberfläche, welche mittel- bis langfristig sanierungsbedürftig ist.

6. Sanierungsmaßnahmen und Kosten

6.1 Sanierungsmaßnahmen

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Innenschale wird empfohlen, die gesamte Innenfläche des Tunnels zu sanieren. Bei einer vollständigen Innensanierung des Tunnels kann mit weitgehend mechanisierten Verfahren und mit dem Einsatz von Großgeräten eine wirtschaftliche und schnelle (geringe Bauzeit) Sanierung erfolgen. Insbesondere auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist bei dem vorliegenden hohen Anteil der geschädigten Fläche einer Vollsanieung gegenüber einer Teilsanierung der Vorzug zu geben. Bei einer Teilsanierung kann der Einsatz von Großgeräten nicht derart wirtschaftlich erfolgen und es fallen zusätzliche, zum Großteil händische Arbeiten an den Übergangsstellen an, die sich im Einheitspreis deutlich widerspiegeln. Insgesamt ist bei einer Vollsanieung eine deutlich höhere Qualität zu erreichen als bei aneinandergesetzten Teilsanierungen.

Außerdem kann nur bei einer vollständigen Sanierung der Tunnelinnenfläche die Verkehrssicherheit garantiert werden. Wenn nur Teile der Innenfläche saniert werden, verbleibt ein gewisses Risiko an den noch nicht sanierten Flächen. Auch die Problematik des Wasserzutritts zum Tunnel lässt sich durch eine Teilsanieung nicht vollständig lösen. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Teilsanieung durch die Verlagerung der Wasserwegigkeiten sich über die Jahre neue Wasserzutritte, insbesondere in dem noch nicht sanierten Bereich bilden werden, die dann die Verkehrssicherheit gefährden und weitere Sanierungsmaßnahmen sowie entsprechend hohe Unterhaltskosten nach sich ziehen.

Die 5 innerstädtischen Tunnel (Dorp, Dorrenberg, Engelnberg, Rott und Fatloh) wurden alle zwischen 1868 bis 1874 in Ziegelmauerwerk erstellt, liegen in vergleichbaren geologischen Verhältnissen und weisen nahezu ähnliche Schadensbilder und Sanierungshistorien auf. Da sich die Ausgangssituationen nicht signifi-

kant unterscheiden, können die im Folgenden vorgestellten Sanierungsmaßnahmen bei diesen 5 innerstädtischen Tunneln gleichermaßen angewendet werden.

6.1.1 Portale

Die Portalkessel sind von Bewuchs freizuschneiden. Loses Material, welches über die Portalstirnwände abrutschen könnte, ist zu entfernen. Der Bereich unmittelbar hinter der Portalstirnwand ist bis zum anstehenden Fels bzw. bis zur Tunnelschale freizulegen. Dieser Bereich wird von oben mit einer neuen Regenschirmabdichtung, bestehend aus einer Sauberkeitsschicht, einer Abdichtungsbahn und einem Schutzbeton versehen. Das Oberflächenwasser wird auf diese Weise von der Tunnelschale zur Portalentwässerung abgeführt. Die Entwässerungen der Portalstirnwände sind instand zu setzen bzw. neu zu schaffen. Die Entwässerungsöffnungen sind durch eine geeignete Auffüllung (Kiesschüttung) zu schützen.

6.1.2 Tunnelausbau

Insbesondere aus den bereits oben dargelegten Schadensbildern des bereits geschädigten Torkretputzes und der Wasserzutritte mit Tropf- und Eisbildung sowie mit den damit verbundenen Problemen der Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit liegt das Hauptaugenmerk der Sanierung darauf, diese beiden Problemfelder großflächig und langfristig zu entschärfen. Das im Folgenden vorgestellte Sanierungskonzept einer „drainierten Spritzbetonschale“ ist in Anlage 4 zeichnerisch dargestellt.

- Im ersten Schritt wird der vorhandene Putz von dem gesamten Mauerwerksausbau mechanisch entfernt. Im Hinblick auf die großzügigen Raumverhältnisse im Tunnel (Breite: 8,40 m / Höhe: 6,75 m) und der Größe der betroffenen Fläche sollte dieser Arbeitsgang weitestgehend mit einem Großgerät (z. B. Bagger mit Fräswerkzeug) erfolgen. Das freigelegte Mauerwerk wird im Anschluss von Kleinteilen durch Sandstrahlen oder Hochdruckwasserstrahl

gereinigt. Auch für diesen Arbeitsgang wird aus o. g. Gründen der Einsatz von Großgerät als die wirtschaftlichste Lösung bewertet. Ziel des Abfräsens und der Reinigung ist es, die Verbundeigenschaften der Oberfläche für den späteren Spritzbetonauftrag zu optimieren. Das saubere Ablösen von Teilflächen des bewehrten Torkretputzes ist als technisch aufwendiger zu werten.

- Auf das gereinigte Mauerwerk werden zur Abführung von zutretendem Wasser Noppenbahnstreifen fixiert. Die Noppenbahnstreifen werden gitterförmig auf der Tunnelschale angeordnet. Das Raster besteht einerseits aus radialen Streifen, die sich jeweils um die komplette Abwicklung erstrecken. Der Abstand dieser radialen Noppenbahnstreifen beträgt ca. 2,0 m in Tunnellängsrichtung. Diese radialen Streifen werden in den Fußpunkten, in den oberen Ulmenbereichen und ggf. in der Firste durch horizontale Noppenbahnstreifen verbunden. Die Noppenbahnstreifen wiesen eine Breite von ca. 30 bis 50 cm auf. Die Aufgabe dieser Noppenbahnstreifen ist es, das durch die Tunnelschale eingedrungene Bergwasser auf der Innenseite (Luftseite) zu fassen und nach unten abzuführen. Die Noppenbahnen sind von der Konstruktion her nicht wesentlich zusammendrückbar, so dass sie dauerhaft eine hohe Durchlässigkeit aufweisen und die Drainfunktion erfüllen.
- An augenscheinlich besonders nassen Bereichen werden zusätzliche Entwässerungsbohrungen in der Tunnelschale vorgesehen, um den Wasserabfluss aus dem Mauerwerk zu erleichtern und die Mörtelersetzung zu verringern. Die Bohrungen sollten die Schale nicht vollständig durchdringen, um das Einspülen von möglicherweise anstehendem Lehm in Karstspalten zu verhindern.
- Eine verzinkte Betonstahlmatte (N94 oder N121) wird über die gesamte Tunnelaibung an mindestens 4 Stellen je Quadratmeter mit Edelstahlankern an der Mauerwerksschale befestigt. Die Edelstahlanker binden tief in das Mauerwerk ein, so dass ein sicherer Verbund der Spritzbetonschale mit dem Mauerwerk gewährleistet wird. Eine Verdübelung mit dem anstehenden Gebirge ist hingegen nicht erforderlich und nicht vorgesehen. Sowohl für das Fixieren der Noppenbahnstreifen als auch für die Bewehrungsarbeiten ist der

Einsatz einer verfahrbaren Gerüstkonstruktion oder eines Hubsteigers erforderlich.

- Im Anschluss an die Bewehrungsarbeiten wird eine 8 bis 10 cm starke Spritzbetonschicht aufgebracht. Auch hier empfiehlt sich der Einsatz von Großgerät in Form eines Spritzwagens.

Die Spritzbetonschale wird durch Verbundhaftung in den noppenbahnfreien Bereichen sowie durch die flächige Verdübelung der Bewehrung eine Verbundtragwirkung mit dem Mauerwerk ausbilden. Darüber hinaus verfügt die Spritzbetonschale dadurch, dass sie über die gesamte Tunnellaibung bewehrt ausgeführt wird, über eine Schalentragwirkung, die die Tragsicherheit langfristig sicherstellt. Selbst auch wenn die Verbundtragwirkung zwischen Spritzbetonschale und Mauer nachlassen sollte, ist ein plötzliches Versagen ohne Vorankündigung für die Spritzbetonschale und somit eine unmittelbare Gefährdung der Nutzer ausgeschlossen. Ebenso ist durch die Bewehrung ein Herabfallen von größeren Putzteilen oder abgeschalteten Mauerwerk ausgeschlossen.

Die Drainstreifen aus den Noppenbahnen enden offen in der Schotterauffüllung, so dass das anfallende Wasser druckfrei ablaufen kann. Die Noppenbahnen müssen daher tiefer als der Spritzbetonauftrag geführt werden.

Durch das gewählte Sanierungskonzept wird eine Tropfenbildung, die im Winter zu Eiszapfenbildung am Gewölbe und Eisflächen auf der Fahrbahn führt, weitestgehend verhindert. Es wird darauf hingewiesen, dass durch diese Sanierung kein staubtrockener Tunnel entsteht. Mit örtlichen Durchfeuchtungen der neuen Spritzbetonschale ist weiterhin zu rechnen, was jedoch keine Nutzungseinschränkung darstellt.

Die Bereiche der vorhandenen Nischen werden nicht mit Spritzbeton verschlossen. Insbesondere die Rückwände der Nischen sollen im derzeitigen Zustand erhalten bleiben. Ebenso besteht keine Notwendigkeit, die offen stehenden Felsbereiche im Tunnel mit Spritzbeton zu überziehen. Es ist hier ausreichend, an der Oberseite der Felspartien anfallendes Wasser aufzunehmen und abzuschleichen. Hierzu wird der Einbau eines Drainrohrs vorgesehen. Die Felspartien blei-

ben dann im Sinne eines erfahrbaren Festgesteinstunnels den Besuchern zugänglich.

6.1.3 Nischen

Die Nischen im Tunnel stellen bezüglich der Standsicherheit kein Problem dar und können daher erhalten bleiben. Insbesondere aus der neuen Nutzungsanforderung sind die Nischen aber zu verschließen („Angsträume“). Es wird empfohlen, die Nischen zu erhalten. Im Hinblick auf die Fledermäuse gab es seitens des Umweltamtes für den Fatloh-Tunnel keine Auflagen, da hier bislang keine Winterquartiere nachgewiesen wurden. Unsere Untersuchungen bestätigen, dass die Nischen, die sonst gerne von den Fledermäusen als Quartier genutzt werden, im Fatloh-Tunnel in der Regel keine Unterschlupfmöglichkeiten bieten. Eine Ausnahme ist die Nische 3, die einen tieferen Hohlraum aufweist. Darüber hinaus stellen die Nischen aus baugeschichtlichen Gründen und aus Gründen der Erfahrbarekeit der Geologie und des Gebirges durchaus erhaltenswerte Elemente dar. Nicht zuletzt wird über die Nischen auch Bergwasser drucklos abgeführt und die Nischen sind daher auch aus bautechnischen Gründen zu erhalten.

Es wird empfohlen, die Nischen mit einem Gitter abzuschließen. Aus Gründen der Revisionierbarkeit sollten abnehmbare Gitter eingebaut werden. In die Sohle der Nischen ist eine Schotterpackung zur Abführung von anfallendem Bergwasser in die Drainage einzubauen.

Die Nischenrückwände können hingegen im derzeitigen Zustand belassen werden, unabhängig davon, ob sie aus Festgestein bestehen oder aus Ziegelmauerwerk errichtet wurden.

6.1.4 Tunnelentwässerung

Für den Tunnel wird beidseitig eine Längsentwässerung vorgesehen. Hier wird ein vollständig geschlitztes Drainrohr an den Fußpunkten der Tunnelschale emp-

fohlen. Das Drainrohr dient der Aufnahme des über die Noppenbahnen anfallenden Drainwassers. Mit dem Drainrohr wird das Wasser in Tunnellängsrichtung aufgenommen und verteilt in den Schotter wieder abgegeben. Über dem Schotter kann das anfallende Wasser in das verkarstet Gebirge versickern. Dieses Vorgehen bietet die Vorteile, dass kein Wasser aus dem Tunnel abgeführt wird und nicht weiter entsorgt werden muss und dass bezüglich des Wasserhaushalts keine Änderung im Bereich des Tunnels erfolgt. Die Versickerung des anfallenden Wassers über die Schotterschicht entspricht dem derzeitigen Zustand.

Auf die Änderung der Luftfeuchtigkeit, die sich ggf. durch die Sanierungsmaßnahmen ergibt, wird beim Fatloh-Tunnel aufgrund der hier nicht ansässigen Fledermäuse nicht näher eingegangen.

6.2 Kosten / Gegenüberstellung Pyöry

6.2.1 Kosten

Die Kosten für die Sanierung des Tunnels wurden auf der Basis von vergleichbaren, ausgeführten Projekten ermittelt. Es wurde dabei von einer großflächigen Vorgehensweise mit einem hohen Technisierungsgrad ausgegangen, was eine schnelle Sanierung zu einem günstigen Einheitspreis für die zu sanierende Fläche ermöglicht.

Die Ermittlung der geschätzten Kosten ist in Anlage 5 enthalten. In den angegebenen Einheitspreisen sind die Kosten für die Baustelleneinrichtung enthalten. Die Baunebenkosten werden gesondert mit 15 % Aufschlag ausgewiesen. Ein herabgesetzter Kostenansatz von 15 % erscheint gerechtfertigt, da für die Sanierungsmaßnahme voraussichtlich ein reduzierter Aufwand für die zu erstellende Planung erforderlich sein wird.

Der Unterhaltungsaufwand des Tunnels setzt sich im Grundsatz aus zwei Punkten zusammen, den Inspektionen und den Erhaltungsmaßnahmen. Für den in

der Standsicherheit nicht gefährdeten Tunnel und für die Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit weitgehend sanierten Tunnel werden in den nächsten 20 Jahren nach unseren Erfahrungen Erhaltungskosten in Höhe von ca. 1 % der Sanierungsrohbauskosten anfallen. Die Kosten für Kontrollfahrten, kleinere Inspektionen und Bauwerksprüfungen wurden überschlägig nach dem zu erwartenden Aufwand geschätzt.

Die geschätzten Kosten für die empfohlenen Sanierungsmaßnahmen und den Unterhalt setzen sich für den Fatloh-Tunnel wie folgt zusammen:

Sanierung Tunnel	117.830,00 €
Sanierung Westportal	12.950,00 €
Sanierung Ostportal	16.100,00 €
Baunebenkosten (15 %)	22.032,00 €
<u>Unterhaltskosten in 20 Jahren inkl. Inspektionen</u>	<u>53.376,00 €</u>
Gesamtkosten in 20 Jahren	222.288,00 €

In den angegebenen Kosten ist keine Reserve für Unvorhergesehenes enthalten. Hierzu ist üblicherweise ein Zuschlag von 10 - 15 % der Rohbauskosten vorzusehen.

6.2.2 Gegenüberstellung zu Pyöry

Von der Pyöry Infra GmbH wurden die Instandsetzungs- und Umbaukosten für alle Bauwerke der Nordbahntrasse in einer Kostenschätzung untersucht. In [U 3] werden für den Fatloh-Tunnel verschiedene Instandsetzungsvarianten vorgestellt und die voraussichtlichen Kosten je Variante geschätzt. Aus Gründen der Übersicht wird die Gegenüberstellung auf die Hauptkostengruppe, die Sanierung der Tunnelschale, beschränkt.

Variante „Erhaltung der Bausubstanz“

Bei der Sanierungsvariante „Erhaltung der Bausubstanz“ wird von Pyöry vorgesehen, alle Hohlstellen punktuell zu erfassen, diese abzuspitzen und mit bewehr-

ten Spritzbeton zu sanieren sowie das Bergwasser an den bereits vorhandenen Entwässerungsöffnungen und an ausgewählten Stellen mit starken Wasserzutritten zu fassen und gezielt abzuschlauchen. Hinsichtlich des Sanierungsumfanges wird mit 25 % der Tunnelleibung und 2 Wasserabschlauchungen gerechnet.

Das zu erwartende Sanierungsergebnis wird von Pyöry als nur bedingt verkehrssicher bewertet. Es wird von Pyöry eine betriebliche Regelung empfohlen, die vorsieht, den Tunnel in Frostperioden zu sperren und vor Wiedereröffnung das Tunnelgewölbe insbesondere auf Frostschäden am Mauerwerk zu inspizieren. Die Kosten für den erhöhten Unterhaltungsaufwand, die sich aus dieser betrieblichen Regelung ergeben, wie z. B. Sperrung, Inspektionen und ggf. Reparaturarbeiten, werden von Pyöry ausdrücklich in der Kostenschätzung nicht berücksichtigt. Der verbleibende 50 Jahre alte Putz, der in der ersten Sanierungswelle nicht erfasst wird, stellt auf längere Sicht ein Gefahrenpotenzial für die Verkehrssicherheit da.

Die von Pyöry gewählten Kostenansätze sind im Hinblick auf den hohen manuellen Aufwand nachvollziehbar. Der zu Grunde gelegte Sanierungsaufwand (25% der Tunnelleibung / 2 Wasserabschlauchungen) ist nach den nun vorliegenden Ergebnissen der Schadenskartierung im Hinblick auf die derzeitige Verkehrssicherheit angemessen, im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit deutlich zu gering (vergleiche Kapitel 6.1, 6.2).

In der Anlage 5 wird das Sanierungskonzept „drainierte Spritzbetonschale“, das einen ganzjährig sicheren Betrieb des Tunnels ermöglicht, mit dem nur bedingt verkehrssicheren Sanierungskonzept „Erhaltung der Bausubstanz“ tabellarisch gegenübergestellt. Hierbei wurden zwei Varianten untersucht. Zum einen wurde davon ausgegangen, dass wie im Gutachten vom 06.11.2008 enthalten, zunächst nur ca. 25 % der Tunnelinnenfläche ausgebessert werden. Da aber schon jetzt eine erheblich größere Fläche beschädigt ist, wird diese Variante erhebliche Unterhaltskosten nach sich ziehen. Da in dem Pyöry-Gutachten ausdrücklich keine Angaben zu Unterhaltungskosten der Variante „Erhaltung der Bausubstanz“ gemacht werden, musste in diesen Punkten unsererseits Annahmen getroffen werden. Über den zu betrachtenden Zeitraum von 20 Jahren wurden die Erhal-

tungskosten für 2 Jahre mit jährlich ca. 60 % der von Pyöry ermittelten Sanierungskosten und in den verbleibenden 18 Jahren mit ca. 5 % angesetzt. Die angesetzten Prozentsätze sind hier deutlich höher, da der Tunnel nach der Sanierung „Erhaltung der Bausubstanz“ einerseits nicht nachhaltig saniert ist zum anderen von niedrigeren Sanierungskosten als Basis ausgegangen wurde. Die Annahme unterstellt, dass in den nächsten 20 Jahren die bestehende Torkretschale grundhaft saniert werden muss.

In einer zweiten Variante wurde der Massenvordersatz für die Ausbesserung der Innenschale in der Kostenaufstellung nach Pyöry auf das nun bekannte Schädigungsmaß von ca. 60 % angehoben. Da die bekannten Schäden dann saniert sind, wird der Unterhaltsaufwand mit einem verringerten Satz von 2,5 % der Sanierungskosten angesetzt. Da es sich nicht um eine vollständige Sanierung der Tunnelschale handelt, liegt der Unterhaltsaufwand mit 2,5 % deutlich über dem Aufwand bei einer vollständigen Sanierung (1 %). Der Unterhaltsaufwand für die Portale wird für die Fortschreibung der Kosten nach Pyöry mit 3,0 % der Sanierungskosten jährlich angesetzt. Es liegt somit etwas höher als in der in diesen Gutachten vorgeschlagenen Variante, da auch hierbei einige Sanierungskosten ausgespart wurden (Instandsetzung der Portalentwässerung, Beräumen des Portalkranzes, etc.).

In beiden Varianten wurde mit einem erhöhten Aufwand für Kontrollen und Inspektionen gerechnet. Dieser erhöhte Aufwand ist durch den Winterdienst sowie durch das Betriebskonzept begründet, das ein Absperren und Wiedereröffnen des Tunnels in Frostperioden vorsieht. In Summe ergeben sich im Kostenvergleich die nachfolgenden Gesamtkosten:

Gesamtsumme Sanierungskosten + Unterhaltungsaufwand in 20 Jahren:

Kostenschätzung IMM / Dr. Spang	222.888,00 €
Pyöry (06.11.2008) + Unterhaltungskosten	285.982,52 €
Pyöry mit korrigierten Massen + Unterhaltungskosten	294.035,24 €

Die von der Ingenieurgesellschaft IMM / Dr. Spang empfohlene Sanierungsvariante führt somit deutlich zu den niedrigsten Gesamtkosten über 20 Jahre.

Weitere Sanierungsvarianten Pyöry

Um die Verkehrssicherheit im Tunnel ganzjährig sicherzustellen, wird von Pyöry in [U 3] als zusätzliche Maßnahme der Einbau einer „aktiven Entwässerung“ vorgestellt, die als Ergänzung zur oben vorgestellten Variante „Erhaltung der Bausubstanz“ verstanden wird. Bei einer Kombination beider Varianten verdoppeln sich die in Anlage 5 ausgewiesenen Sanierungskosten „Erhaltung der Bausubstanz“. Auch bei der Kombination der Varianten verbleibt das Gefahrenpotentials des unsanierten 50 Jahre alten Putzes.

7. Zusammenfassung und Empfehlung

Der Fatloh-Tunnel ist ein ehemaliger, zweigleisiger Bahntunnel der Strecke 2423 von Düsseldorf nach Hörde und liegt zwischen den ehemaligen Bahnhöfen Heubruch und Wichlinghausen. Der Tunnel weist eine Gesamtlänge von ca. 84 m auf und wurde in den Jahren 1870 – 1874 erstellt und etwa 1876 dem Betrieb übergeben.

Der Tunnel soll zu einem Fahrrad- und Gehweg umgebaut werden.

Der Tunnel ist insgesamt standsicher. Aufgrund erheblicher Schäden des freiliegenden Mauerwerks und in Teilen der Putzbekleidung der Tunnelschale ist die Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit des Tunnels aktuell nicht gegeben. Die Dauerhaftigkeit ist aufgrund der Durchfeuchtungen nicht gewährleistet.

In diesem Gutachten wurde ein praxisorientiertes Umsetzungskonzept zur Sanierung des Fatloh-Tunnels erarbeitet, das einen stand- und verkehrssicheren Betrieb von mindestens 20 Jahren gewährleistet und den Schutz der Fledermäuse, soweit vorhanden, berücksichtigt.

Das erarbeitete Sanierungskonzept sieht eine Komplettsanierung der Tunnelschale mit einer „drainierten Spritzbetonschale“ vor, die die formulierten Sanierungsziele, einen stand- und verkehrssicheren Betrieb von mindestens 20 Jahren, erfüllt.

Es wird im Zuge einer Komplettsanierung empfohlen, den vorhandenen Putz abzulösen, eine gitterförmige Drainierung mit Noppenbahnen aufzubringen und die Tunnelinnenschale vollständig mit einer bewehrten Spritzbetonschicht zu sichern. Die vorhandenen Nischen sollen neben einer Sanierung der Laibungen nur mit einem Gitter verschlossen werden. In der Sohle des Tunnels soll eine Tunnel-längsdrainage eingebaut werden. Mit diesen Maßnahmen kann die Verkehrssicherheit und die Gebrauchstauglichkeit wieder hergestellt werden.

Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal

Projekt: 090203 - Nordbahntrasse Wuppertal

Fatloh-Tunnel

Die von der Ingenieurgesellschaft IMM / Dr. Spang empfohlene Sanierungsvariante führt, bezogen auf die innerhalb von 20 Jahren anfallenden Gesamtkosten, zu einer äußerst wirtschaftlichen Sanierungsvariante und beinhaltet gleichzeitig eine hohe Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit.

Bochum, 6. März 2009

Dipl.-Ing. Hans Mämpel

(IMM GmbH, Bochum)

Dipl.-Ing. Ulrich Versen

(IMM GmbH, Bochum)

Verteiler:

- Stadt Wuppertal, 1 x
- IMM, Bochum, 1 x
- Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x