

# Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal



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



DR. SPANG  
INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR  
BAUWESEN, GEOLOGIE UND  
UMWELTTECHNIK MBH

Stadt Wuppertal  
Ressort Straßen und Verkehr  
Abteilung Straßenerhaltung und Ingenieurbau  
Konstruktiver Ingenieurbau  
Johannes-Rau-Platz 1  
42275 Wuppertal

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
30.2445	P2445B090306Dorp.docx	CSp / Fe	Witten	06.03.2009

## Nordbahntrasse Wuppertal

### Tunnel Dorp

#### - Gutachten zur Tunnelanierung mit Kostenschätzung -

**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 Ingenieuresellschaft 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

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 2

06.03.2009

---

<b>INHALT</b>	<b>SEITE</b>
<b>1. Veranlassung</b>	<b>4</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Unterlagen	4
2.2 Bauwerksbeschreibung	5
<b>3. Ausgangssituation</b>	<b>6</b>
3.1 Baugeschichte	6
3.2 Geotechnischer Überblick	8
<b>4. Untersuchungen</b>	<b>10</b>
4.1 Untersuchungsmethode	10
4.2 Zustandsbeschreibung	11
4.3 Erkundung	12
<b>5. Bewertung</b>	<b>15</b>
5.1 Zustandsbeurteilung / Schadensursache	15
5.2 Bewertung der Standsicherheit	15
5.3 Bewertung der Verkehrssicherheit	20
5.4 Bewertung der Dauerhaftigkeit	21
<b>6. Sanierungsmaßnahmen und Kosten</b>	<b>22</b>
6.1 Sanierungsmaßnahmen	22
6.2 Kosten	27
6.3 Kosten / Gegenüberstellung Pöyry	28
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>31</b>

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 3

06.03.2009

---

## 8. ANLAGEN

- Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 50.000 (1)
- Anlage 2: Tunnelabwicklung, 1 : 100 (5)
- Anlage 3: Ergebnisse der Erkundung
  - Anlage 3.1: Erkundungsquerschnitt 1 : 100 (entfällt)
  - Anlage 3.2: Bohrprofile (entfällt)
  - Anlage 3.3: Schurfaufnahme (entfällt)
  - Anlage 3.4: Bohrkernprüfung (11)
  - Anlage 3.5: Punktlastversuche (1)
  - Anlage 3.6: Chemische Wasseranalytik (5)
  - Anlage 3.7: Fotodokumentation (11)
  - Anlage 3.8: Aufnahme der Nischen (2)
- Anlage 4: Sanierungskonzept (1)
- Anlage 5: Kostenschätzung (2)

# Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 4

06.03.2009

---

## 1. VERANLASSUNG

Von der Wuppertal Bewegung e.V. wurde ein Bürgerprojekt zur Umnutzung einer rund 22 km langen ehemaligen Bahnstrecke in einen Geh- und Radweg, die sog. „Nordbahntrasse“ initiiert. Ziel der Untersuchungen ist es, ein praxisorientiertes Umsetzungskonzept zur Sanierung der 7 Tunnelbauwerke einschließlich Kostenschätzung zu erarbeiten. Als Sanierungsziel wird ein stand- und verkehrssicheres Tunnelbauwerk 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. Im gegenständlichen Gutachten wird der Tunnel „Dorp“ von Bahn-km 26+049 bis 26+537 der ehemaligen Bahnstrecke 2423 behandelt.

Die Ingenieurgesellschaft IMM / Dr. Spang wurde von der Stadt Wuppertal mit der Erstellung der Gutachten zur Tunnelsanierung beauftragt. In diesem Gutachten wird der Tunnel Dorp behandelt.

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 uns folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt.

**[U 1] Unterlagen der DB AG zum Dorp Tunnel, km 26,049 – 26,537.**

**[U 2] Rheinische Strecke Wuppertal, Umnutzung als Radweg, Überprüfung und Aktualisierung der Kostenschätzung; Pöyry Infra GmbH, Duisburg, 06.11.2008.**

Des Weiteren wurden die folgenden Unterlagen zur Bearbeitung herangezogen.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 5

06.03.2009

---

**[U 3] Geologische Karte und Erläuterungen, Blatt Wuppertal-Elberfeld (4708), M 1 : 25.000;**  
Geologisches Landesamt Nordrhein – Westfalen, Krefeld, 1979.

**[U 4] Kartierung der Karstobjekte an der Nordbahntrasse zwischen Dorper Tunnel und Eckstein;** Voigt GmbH, Wuppertal, 2008.

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

## 2.2 Bauwerksbeschreibung

Bei dem Tunnel Dorp handelt es sich um einen ehemaligen zweigleisigen Bahntunnel der Strecke 2423 von Düsseldorf nach Hörde zwischen den ehemaligen Bahnhöfen Varresbeck und Ottenbruch. Seit dem 08.04.1993 ist ein Gleis ausgebaut und somit nur noch ein Gleis im Tunnel vorhanden. Der Tunnel beginnt am Bahn-km 26+049 und reicht bis zum Bahn-km 26+537 und ist somit ca. 488 m lang. Der Tunnel liegt in einer Kurve ( $R = 1.000 \text{ m}$ ) und weist überwiegend kein Gefälle auf. Im westlichen Drittel des Tunnels liegt ein leichtes Gefälle von 0,232 ‰ in Richtung Hörde vor. Die Überdeckung beträgt nach [U 1] maximal ca. 32 m.

Der Tunnel weist überwiegend ein offenes Hufeisenprofil auf mit einer maximalen Breite von ca. 8,4 m und einer Ausbruchhöhe von ca. 7,3 m auf. Im westlichen Bereich des Tunnels zwischen km 26,049 und km 26,220 wurde aufgrund des druckhaften Gebirges ein Sohlgewölbe eingebaut. Hier beträgt die Höhe zwischen Sohlgewölbe und Firste ca. 7,9 m. Ebenso soll bei ca. km 26,2 ein ca. 5 m langer Abschnitt mit Sohlgewölbe ausgebildet worden sein.

Nach [U 1] wurde der Tunnel mit insgesamt 3 unterschiedlichen Profilen, davon zwei mit offenem Hufeisenquerschnitt und eines mit Sohlgewölbe, für die Tunnelschale errichtet. Die Tunnelschale soll demnach stärken zwischen 0,6 m und 1,42 m aufweisen. Das Firstgewölbe wurde demnach mit Stärken zwischen 0,6 m und 0,9 m erstellt. Die Widerlager wurden mit einer Stärke von 0,6 m bis 1,42 m errichtet.

Die beiderseitigen Widerlager der östlichen Tunnelhälfte (km 26,260 – 26,345 und 26,395 – 26,495) sind über große Längen in Sparbögen ausgemauert. Das Gebirge ist in diesem Abschnitt

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 6

06.03.2009

---

zu großen Teilen sichtbar. Die Mauerwerkspfeiler sind hier wesentlich schmaler als die Bögen / Nischen, in denen das Gebirge ansteht.

In der rechten Tunnelseite sind 56 Nischen eingebaut, in der linken Tunnelseite befinden sich 54 Nischen. In Summe wurden somit 110 Nischen im Tunnel Dorp eingebaut. In den Nischen ist überwiegend der anstehende Fels anzutreffen. 23 Nischen sind rückseitig mit Mauerwerk verschlossen, dies insbesondere im Bereich des Tunnelabschnitts mit Sohlgewölbe.

Das Westportal (Düsseldorfer Seite) ist in Ziegelmauerwerk errichtet. Das Tunnelportal ist vollständig verputzt. Der hohe Wandabschnitt über dem Portal hat einen Kopfbalken aus Beton.

Das Ostportal (Hörder Seite) wurde ebenfalls in Ziegelmauerwerk errichtet. Das Tunnelportal ist auch hier vollständig verputzt. Wie am Westportal ist auch hier ein Kopfbalken aus Beton als Abschluss der hohen Wand über dem Portal vorhanden.

Über dem Tunnel verläuft die BAB A 46 auf einer Brücke. Die Brücke und die Gründung wurde Anfang der 70-er Jahre des letzten Jahrhunderts errichtet. Die Brücke ist über Pfeiler auf Bohrpfähle gegründet. Im unmittelbaren Bereich des Tunnels wurden Bohrpfähle jeweils neben der Tunnelchale ausgeführt und mit Kopfbalken über dem Tunnel verbunden, auf die dann die Brückenspfeiler stehen. Die Bohrpfähle (D = 1,3 m) wurden mindestens bis 10 m unter Tunnelsohle abgeteuft. Die Querung liegt im Bereich des gestörten Gebirges, in dem der Tunnel ein Sohlgewölbe aufweist. Im oberen Bereich konnten die Pfähle im Spülbohrverfahren bis unter die Tunnelsohle ausgeführt werden. Es unter der Tunnelsohle musste auf Sprengvortrieb in den Pfählen umgestellt werden.

## **3. AUSGANGSSITUATION**

### **3.1 Baugeschichte**

Nach [U 1] wurde der Tunnel Dorp in den Jahren 1868 – 1872 vermutlich in der sogenannten belgischen Tunnelbauweise erstellt und etwa 1876 dem Betrieb übergeben.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 7

06.03.2009

---

Bei der belgischen Bauweise wurde normalerweise mit dem Ausbau und der Abstützung der Firste (= Kalotte) begonnen. Daran schließt sich die Ausführung der Widerlager abschnittsweise durch seitliches Einschlitzen von einem Richtstollen aus an.

Nach [U 1] soll das Gewölbe und die Widerlager aus Grauwackenbruchsteinen in Trassmörtel hergestellt worden sein. Die Portale sollen ebenfalls mit Grauwackenbruchsteinen in Kalk- und Zementmörtel ausgeführt worden sein. Tatsächlich ist aber die Tunnelschale und die Portale in Ziegelmauerwerk ausgeführt worden. Im Tunnel befindet sich eine mittig angeordnete Längsdrainage. Die Längsdrainage ist an den Portalen an keine weiterführende Drainage oder Vorflut angebunden.

Im Tunnel Dorp wurde nach [U 1] im Jahr 1900 ein Innenputz als Pressputz (Torkret-Putz System Wolfsholz) eingebracht. Neben der Vergütung der Tunnelschale sollte damit auch eine gewisse Abdichtung der Schale erreicht werden.

In den Jahren 1949 bis 1952 wurden Instandsetzungsarbeiten im Tunnel ausgeführt. Dabei wurde abschnittsweise das z. T. stark verwitterte Mauerwerk zwischen 0,25 – 0,51 M tief ausgemauert und erneuert. Zu Abführung von Durchsickernden Wasser wurden an einigen nicht näher bezeichneten Stellen „Kabelabdeckhauben“ in ca. 25 cm tiefe Schlitze eingemauert und bis auf die Tunnelsohle heruntergeführt. An den Portalen wurde die Entwässerung instand gesetzt. Außerdem wurden 3 schadhafte Nischen neu ausgemauert und verfügt.

Das Ostportal wurde im Jahr 1954 instand gesetzt. Dabei wurde nach dem Abstemmen von Schadhafte Mauerwerksteilen ein Stahlbetonbalken (H = 1,0 m, B = 0,4 m, L = 10 M) unmittelbar vor die Ansichtsfläche verlegt und durch Anker mit der Portalwand verbunden. Die schadhafte Portalabdeckung wurde abgetragen und durch eine Betonplatte ersetzt.

In den Jahren 1957 und 1958 wurden am westlichen Portal Instandsetzungsarbeiten ausgeführt und die ersten 10 m vom westlichen Portal ab mit Spritzputz erneuert.

Im Jahr 1962 wurden im Tunnel nach dem regelmäßigen Prüfbefund ca. 500 m<sup>2</sup> mit herabgefallenen Putz festgestellt. Im Jahr 1968 wurden einige Putzflächen im Tunnel im Torkretverfahren ausgebessert.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 8

06.03.2009

---

Im Jahr 1982 wurden beide Tunnelportale instand gesetzt.

Zwischen den Jahren 1982 und 1985 wurden Messpunkte in den Bereichen der querenden Störungszonen eingerichtet, da mit den Tunnelmesswagen ein Minderprofil festgestellt wurde. Solange die Messungen ausgeführt wurden, konnte allerdings keine Bewegung im Tunnel festgestellt werden.

Ende der 70-er Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde der Tunnel im Auftrag der DB AG hinsichtlich des erforderlichen Aufwands für eine Elektrifizierung untersucht. Im Ergebnis wurde u. a. auf die Elektrifizierung verzichtet, da der Tunnel für eine Elektrifizierung zu feucht ist und daher erhebliche Sanierungsmaßnahmen zur Abhaltung des Bergwassers nötig geworden wären.

Die Strecke wurde 1999 von der DB AG stillgelegt. Die weiterhin stattfindenden Regelbegutachtungen der DB weisen zahlreiche Schäden an dem Tunnel auf, sodass der Tunnel zuletzt am 09.11.2006 in die Kategorie „C“ nach Ril 853 eingestuft wurde. Der zugehörigen Schadensklasse „c“ steht für größere Mängel und/oder Schäden, die möglichst bald, aber spätestens innerhalb von 3 Jahren zu beseitigen sind.

## **3.2 Geotechnischer Überblick**

Der Tunnel Dorp liegt in einem Bereich mit wechselnden Gebirgsverhältnissen, der zusätzlich durch zwei Verwerfungen, die den Tunnel queren, geprägt wird. Die beiden Verwerfungen kreuzen den Tunnel ca. in km 26+150 und in km 26+330. Beide Verwerfungen verlaufen in Nordwest-/Südost-Richtung. Im Voreinschnitt Richtung Hörde schließt sich bei km 26+600 eine weitere Verwerfung an.

Vom Westportal aus bis zur ersten Verwerfung in km 26+150 (ca. die ersten 100 m des Tunnels) steht nach [U 1] r.d.B. oberdevonischer Massenkalk an, der in diesem Bereich als Dorper Kalk bezeichnet wird, l.d.B. wird Flinzschiefer angetroffen. Bis zum Ende des Tunnels wird im Wesentlichen Flinzschiefer angetroffen, der lokal mit dem Dorper Kalk verzahnt ist. Der Flinzschiefer wird zu den Adorfer Schichten des unteren Oberdevons gezählt.



# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 9

06.03.2009

---

Der Flinzschiefer besteht vorwiegend aus dunkelgrauen bis grauschwarzen kalkigen Mergelschiefer, in dem feinkristalliner Kalk eingelagert sein kann. Im Tunnelbereich sind die Flinzschiefer in den Nischen häufig festzustellen, die dünnplattige Schieferung fällt hier besonders auf. Die Schieferungsflächen weisen eine nahezu senkrechte Stellung auf. Der Flinzschiefer ist im frischen Zustand schwer spaltbar. Bei der Verwitterung wird er relativ schnell weich und leicht spaltbar.

Der Dorper Kalk gehört zu den Massenkalken und ist dickbankig oder auch massig anzutreffen. Der Dorper Kalk besitzt einen reinen Kalkgehalt von 98,5 – 99,5 CaCO<sub>3</sub>.

Nach [U 1] und [U 3] fallen die Schichten mit ca. 60° in Richtung SE ein. Die Streichrichtung liegt etwa in Richtung NE und steht damit ca. im 45°-Winkel zu Tunnelachsrichtung.

Der Tunnel durchfährt von km 26,049 bis km 26,150 druckhaften Flinzschiefer. Nach den Untersuchungen des Grundbauinstituts Sommer ([U 1]) handelt es sich dabei um mürben Tonstein mit eingelagerten Kalksteinen. Ebenso liegt demnach am östlichen Tunnelende von km 26,500 bis km 26+537 druckhafter Flinzschiefer vor. Dazwischen wird standfester Flinzschiefer durchfahren, der mit zahlreichen Klüften und Karsthohlräumen durchsetzt ist.

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.

Am 11.10.1961 wurde in dem Tunnel in km 26,444 ein Loch im Schotterbett festgestellt. Das Loch vergrößerte sich trichterförmig nach unten. Der obere Durchmesser betrug ca. 40 cm. In ca. 7 m Tiefe wurde ein Durchmesser von ca. 2 m festgestellt. Das Tiefste des Hohlraums konnte nicht gelotet werden. Der Karsthohlraum zieht sich schräg von der Tunnelachse zum rechten Widerlager unter ca. 75° Neigung. In dem Hohlraum wurde ca. 4,5 m unter Schienenoberkante ein Wasserspiegel festgestellt. Nach [U 1] wurden in das Loch ca. 180 to Schotter, Bruchsteine und Kies, im oberen Teil Kiesbeton, eingefüllt. Das Loch lässt sich nur mit einem Karsthohlraum (Doline) erklären. Bemerkenswert ist, dass der Karsthohlraum sich in einem Bereich befindet, in dem die Tunnelschale weitgehend mit Sparbögen erstellt wurde. Nur in diesem Bereich wurden rechts der Bahn keine Sparbögen eingebaut, sondern die Tunnelschale im Widerlagerbereich bis zur Sohle geführt. Dies deutet darauf hin, dass bereits beim Bau des Tunnels hier Karsterscheinungen bekannt waren.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 10

06.03.2009

---

In [U 1] ist für den Bereich der Autobahnquerung eine Kartierung von Erdenbrüchen und Karsthöhlen enthalten. Demnach sind aus der unmittelbaren Nähe des Tunnels bzw. über dem Tunnel 3 Erdenbrüche an der Oberfläche bekannt. Aus dem westlichen Voreinschnitt ist eine Karsthöhle bekannt.

Nach den Untersuchungen der Voigt GmbH ([U 4]) ist mit zahlreichen Krastspalten und Karsthöhlen im Bereich des Dorper Tunnels zu rechnen. Bei der Kartierung wurden Krastspalten bis zu einer Länge von ca. 50 m seitlich zum Tunnel erkundet. Über die Ausbrüche in der Nische 104 (r.d.B.) kann man auf die Tunnelschale gelangen und ca 25 m auf der Tunnelschale langkriechen. Bezüglich einer genaueren Darstellung wird auf [U 4] verwiesen.

## 4. UNTERSUCHUNGEN

### 4.1 Untersuchungsmethode

Der Tunnel wurde zur Feststellung des Zustands begangen und vollständig fotografisch aufgenommen. Zusätzlich wurde eine visuelle Begutachtung durchgeführt und feststellbare Schäden kartiert. Ein Abklopfen der Tunnelschale mit Feststellung von Hohlstellen war aus artenschutzrechtlichen Gründen (Winterschlaf von Fledermäusen) nicht möglich. Die fotografische Aufnahme sowie die Schadenskartierung sind in Anlage 2 dargestellt. Hohlstellen sind, wie die Erkundung in den Tunnel Dorrenberg, Engelnberg und Rott gezeigt haben, grundsätzlich im Bereich von Putzabplatzungen und durchfeuchteten Stellen anzutreffen. Darüber hinaus sind aber auch Hohlstellen an ansonsten befundfreien Bereichen zu erwarten.

Zur Erkundung der Tunnelschale wurde bereits ein umfangreiches Erkundungsprogramm ausgeführt, das im Gutachten des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) in [U 1] enthalten ist. Im Dorp Tunnel wurden im Jahr 1979 drei Erkundungsquerschnitte (km 26,075, km 26,2,5, km 26,290, km 26,420 und km 26,519) abgebohrt. Aus o. g. artenschutzrechtlichen Gründen konnten während der aktuellen Erkundungsphase keine Bohrungen oder Schürfe im Tunnel Dorp ausgeführt werden.

## 4.2 Zustandsbeschreibung

Die Tunnelschale ist fast vollständig in Ziegelmauerwerk ausgeführt worden. Am westlichen Tunnelanfang ist ein Teil des Tunnelgewölbes in Natursteinquadermauerwerk (Ruhsandstein) ausgeführt worden, wie aus dem frei liegenden Mauerwerk bei km 26,060 r.d.B. zeigt. Nach [U 1] soll das Widerlager r.d.B. vom westlichen Portal ab etwa auf einer Länge von 25 m und l.d.B. auf etwa 50 m und bis in eine Höhe von 3 m über der Sohle in Quadermauerwerk ausgeführt worden sein. Auf die Tunnelschale ist durchgehend ein Putz aufgebracht, der an einigen Stellen erneuert wurde und an einigen weiteren Stellen abplatzt, sodass das Mauerwerk frei liegt. Insgesamt handelt es sich bei den ausgebesserten Stellen aber um einen vergleichsweise geringen Flächenanteil von weniger als 10 %, wobei im westlichen Tunnelabschnitt, der mit einem Sohlgewölbe ausgeführt worden ist, die meisten Ausbesserungsarbeiten bislang ausgeführt worden sind. Die ausgebesserten Putzbereiche wurden überwiegend mit Handputz z. T. auch mit Spritzputz ausgeführt. Die Lage und Größe der ausgebesserten Stellen und der Putzabplatzungen ist Anlage 2 zu entnehmen.

Die **Tunnelauskleidung** ist an vielen Stellen durch Wasserzutritte feucht, bereichsweise nass. Feuchte und nasse Stellen wurden während der Begehung im Februar 2009 insbesondere zwischen dem Tunnelanfang und den Nischen 1 und 2 (gesamter Tunnelquerschnitt), zwischen den Nischen 3 und 8 und den Nischen 11 und 18 (gesamter Tunnelquerschnitt), zwischen den Nischen 17 und 24 und den Nischen 37 und 48 (gesamter Tunnelquerschnitt), zwischen den Nischen 51 und 62 und den Nischen 61 und 72 (gesamter Tunnelquerschnitt), über der Nische 69 (l.d.B.), zwischen den Nischen 77 und 88 und den Nischen 85 und 90 (gesamter Tunnelquerschnitt), über den Nischen 91, 93, 94 und 96 (gesamter Tunnelquerschnitt) sowie ab der Nische 108 bis zum östlichen Tunnelportal (gesamter Tunnelquerschnitt) angetroffen (siehe Anlage 2).

An dem Ziegelmauerwerk wurden zahlreiche Ausbrüche bzw. tiefe Abschalungen am Ziegelmauerwerk aufgetreten. Die größten Ausbrüche befinden sich bei km 26,135 l.d.B., 26,203 l.d.B. sowie über der Nische 28 bei km 26,262 r.d.B.

In den Rückseiten der Nischen steht überwiegend das Festgestein an. Vielfach wurden in den Nischen Spalten und Hohlräume zwischen der Tunnelschale und dem Gebirge festgestellt. In Nische 60 r.d.B. wurde eine größere offene Kluft angetroffen. In der Nische 104 enden zwei be-

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 12

06.03.2009

---

kriechbare Karsthöhlen in der Nische. Eine Übersicht zum Zustand der Nischen liegt in Anlage 3.8 diesem Gutachten bei.

Bei ca. km 26,185 r.d.B. wurde bei der Begehung im Februar 2009 eindringendes Wasser am Fuß des rechten Widerlagers beobachtet. An dieser Stelle dringt offensichtlich schon seit geraumer Zeit Wasser in den Tunnel ein. Mit dem Wasser ist ein Eintrag von Lehm zu beobachten. Am Widerlager und im Schotter des rückgebauten Gleises ist eine geraume Menge Lehm abgelagert. Der sichtbare Lehmeintrag wird auf ca. 0,5 m<sup>3</sup> bis 1,0 m<sup>3</sup> geschätzt (siehe Fotodokumentation in Anlage 3.7). Es steht zu erwarten, dass der Lehm auch in den Schotter eingedrungen ist und tatsächlich eine deutlich größere Menge Lehm eingespült wurde. Während der Begehung des Tunnels konnte ein kontinuierlicher Zufluss beobachtet werden. Die eintretenden Wassermengen werden voraussichtlich mit der Niederschlagssituation, ggf. zeitverzögert, stark schwanken.

Die **Stirnwand des Westportals** besteht aus Ziegelmauerwerk und ist vollständig verputzt. Die Portalstirnwand und die Betonkopfbalken sind bemoost. Der aufgebrauchte Spritzputz ist fest und klingt an vielen Stellen hohl. Die Entwässerung hinter dem Westportal funktioniert und führt Wasser.

Die **Stirnwand des Ostportals** besteht nach den Fotos in [U 1] ebenfalls aus Ziegelmauerwerk, das vollständig verputzt ist. Die Portalstirnwand und die Betonkopfbalken sind bemoost. Der aufgebrauchte Putz klingt an einigen Stellen hohl. Die Entwässerung hinter dem Ostportal funktioniert und führt Wasser.

## 4.3 Erkundung

Die Tunnelschale besteht nach den Erkundungsergebnissen fast vollständig aus Ziegelmauerwerk. Am westlichen Tunnelanfang wurde ein kurzer Abschnitt mit Quadermauerwerk (Sandstein) angetroffen. Ein Einbau von Grauwackenmauerwerk, wie aus dem Tunnelbuch [U 1] zu vermuten wurde nicht angetroffen. In dem Gutachten des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) sind insgesamt 28 Kernbohrungen im Tunnel dokumentiert. Abgesehen von drei Bohrungen am westlichen Tunnelanfang, in denen im Widerlagerbereich Sandsteinmauerwerk erbohrt wurde, konnte ansonsten jeweils nur Ziegelmauerwerk festgestellt werden. Eigene Bohrungen konnten wie oben erwähnt nicht ausgeführt werden.

# Ingenieurgesellschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 13

06.03.2009

---

Die Dicke der Tunnelschale beträgt nach [U 1] in der Firste ca. 70 cm bis 92 cm, in den Ulmen ca. 52 cm bis 122 cm und in den Widerlagerbereichen ca. 80 cm bis 128 cm.

Nach den in [U 1] dokumentierten Bohrungen wurde z. T. ein Hohlraum zwischen Tunnelschale und Gebirge erkundet. Der Hohlraum kann demnach bis zu 59 cm betragen. Z. T. war der Hohlraum mit einer Packlage aus Kalksteinen und Lehm (vermutlich eingeschwennt) ausgefüllt.

Auf der Leibung des Ziegelmauerwerks ist ein Putz mit einer Stärke von 1 bis 5 cm aufgetragen. Nach [U 1] handelt es sich dabei um einen 1 bis 4 cm starken Putz aus Trassmörtel, der mit einem 2 bis 4 mm dicken Auftrag aus reinem Zementmörtel versehen und mit einem Zieheisen abgezogen wurde, sodass eine Zementsteinschicht mit glatter Oberfläche vorliegt.

Nach dem Gutachten des Baugrundinstituts Dr.-Ing. H. Sommer (1979) wurde an einer Festgesteinsprobe des anstehenden Flinzschiefers eine Festigkeit von 27,6 MN/m<sup>2</sup> ermittelt. Die Druckfestigkeit des Ziegelmauerwerks lag in den damaligen Untersuchungen zwischen 2,2 MN/m<sup>2</sup> und 35 MN/m<sup>2</sup>. Die Festigkeit ist somit weitgehend mit den Tunneln Dorrenberg und Engelnberg vergleichbar. Örtlich kann das Mauerwerk aber auch stark geschädigt sein, wie die an einer Probe bestimmt, geringe Festigkeit von 2,2 MN/m<sup>2</sup> beweist.

Aus den aktuell ausgeführten Untersuchungen an den Tunneln Dorrenberg, Engelnberg und Rott sind folgende Festigkeiten bekannt:

- Mauerwerk, gesamt: 11,0 MN/m<sup>2</sup> – 44,7 MN/m<sup>2</sup>,
- Mörtel: 4,8 MN/m<sup>2</sup>,
- Ziegelstein: 16,3 – 44,7 MN/m<sup>2</sup>.

Eigene Schürfe konnten im Tunnel nicht ausgeführt werden, daher wird auf die Untersuchungen des Ing.-Büro Dücker + Oberländer aus dem Jahre 1978 (siehe [U 1]) zurückgegriffen. Im Tunnel wurden seinerzeit insgesamt 32 Sondierungen mit der leichten Rammsonde und 12 Schürfe zur Feststellung der Schottermächtigkeit ausgeführt und dokumentiert. Demnach wurden im Wesentlichen Schottermächtigkeiten zwischen 0,42 m und 0,89 m angetroffen.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 14

06.03.2009

---

Nach den vom Ing.-Büro Dücker + Oberländer durchgeführten Schürfen wurde beim Schurf in km 26,049 in einer Tiefe von 69 cm ein Felsstein in Mörtel eingebettet angetroffen. Im Schurf km 26,150 wurden in einer Tiefe von 79 cm Ziegelsteine angetroffen, wobei ein Ziegelstein aus dem Verbund gelöst werden konnte. Es wird somit voraussichtlich um ein in Ziegelmauerwerk erstelltes Sohlgewölbe handeln, das bereichsweise auch mit Felsbruchstücken in Mörtel ausgeführt sein könnte. Eine besonders gute Druckübertragung im Sohlgewölbe kann wahrscheinlich nicht erwartet werden. In einem Schurf bei km 26,26 wurde wiederum ein Sohlgewölbe aus Ziegelmauerwerk angetroffen. Die Lage entspricht den Angaben der Bauwerkszeichnung in [U 1]. Die Tunnelchale ist nach den Schürfergebnissen direkt auf das Festgestein aufgesetzt. Ein Fundamentbalken wurde nicht erkundet.

Im Tunnel Dorp war der aktuelle Wasserandrang ausreichend groß, sodass aus diesem Tunnel Wasserproben gewonnen werden konnten. 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 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 **Stahlangriffsgrads** 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 Mangan-gehalt 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 4.3-1 zusammengestellt.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 15

06.03.2009

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 4.3-1:** Chemische Grundwasseranalyseergebnisse zur Beurteilung von Versinterungs- und Verockerungsgefährdung

## 5. BEWERTUNG

### 5.1 Zustandsbeurteilung / Schadensursache

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

### 5.2 Bewertung der Standsicherheit

#### Allgemeines

Im Tunnel wurden keine offensichtlichen Schädigungen der Tunnelschale angetroffen, die die Standsicherheit des Tunnels gefährden. Nach dem Gutachten des Ing.-Büro Sommer ([U 1]) soll der westliche Teil des Tunnels, der mit einem Sohlgewölbe im druckhaften Gebirge ausgeführt wurde, erhebliche Verformungen erlitten haben. Die Firste soll demnach ca. 40 cm tiefer als die

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 16

06.03.2009

---

Soll-Lage liegen. In den 80-er Jahren des letzten Jahrhunderts wurden dann Kontrollmessungen an der Firste durchgeführt, die keine weiteren Verformungen gezeigt haben. Es wird daher nicht von einem akuten Standsicherheitsproblem ausgegangen, es wird aber empfohlen, die Firste mit geodätischen Kontrollmessungen zu beobachten. Es ist eine mindestens jährliche Kontrollmessung auf den ersten (westlichen) 150 Tunnelmetern vorzusehen.

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 / Überschlägige 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



# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 17

06.03.2009

---

Die Beurteilung der Standsicherheit der gemauerten Tunnelschale erfolgt 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).

## **Gebirgsdruckansatz**

Bei dem angetroffenen Gebirge, dem Dorper Kalk, handelt es sich um einen im Wesentlichen standfesten Fels, der im Grundsatz auch ohne Tunnelausbau tragfähig ist. Aufgrund des Trennflächengefüges des Massenkalks kommt es jedoch dazu, dass sich am Hohlraumrand kleine Kluftkörper 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 gemäß des Leitfadens zur Ril 853 der halbe Ausbruchsquerschnitt als Überdeckung angesetzt.

Im druckhaften Flinzschiefer kann für die vertikale Belastung der selbe Gebirgsdruck angesetzt werden. Zusätzlich ist hier ein horizontaler Druck auf die Tunnelschale zu berücksichtigen, der im standfesten Kalkfelsen nicht auftritt. Der horizontale Druck wird durch das Sohlgewölbe aufgenommen, sodass hierzu kein gesonderter Nachweis erforderlich wird. Der Nachweis für die Tunnelschale im Flinzschiefer kann somit analog dem Nachweis im Kalkfelsen geführt werden. Die nachfolgende Berechnung gilt daher für beide Bereiche.

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

## Beanspruchung der Tunnelschale

Von einem Gebirgsdruck von  $140 \text{ kN/m}^2$  ausgehend, zuzüglich eines großzügig angesetzten Eigengewichts der Mauerwerksschale von  $20 \text{ kN/m}^2$  ergibt sich eine überschlägige Drucknormalkraft in der Mauerwerksschale von  $D = 0,5 \times 10 \times (140 + 20) = 800 \text{ kN/m}$ .

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, sodass die Momentenbeanspruchung folgerichtig sehr gering sein muss oder bereits durch das Mauerwerksgewölbe vollständig aufgenommen wird. 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. Diese Annahme ist sowohl für den Ausbruch im Kalkfelsen ohne Seitendruck als auch im Flinzschiefer mit Seitendruck auf die Tunnelschale und einem durchgehenden Sohlgewölbe gerechtfertigt.

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

- $D = 60 \text{ cm}$ :  
 $\sigma_M = 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,60 \text{ m}) = 2,0 \text{ MN/m}^2$   
 $\sigma_R = 2 \times 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,60 \text{ m}) = 4,0 \text{ MN/m}^2$
- $D = 80 \text{ cm}$ :  
 $\sigma_M = 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,80 \text{ m}) = 1,5 \text{ MN/m}^2$   
 $\sigma_R = 2 \times 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 0,80 \text{ m}) = 3,0 \text{ MN/m}^2$
- $D = 100 \text{ cm}$ :  
 $\sigma_M = 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 1,00 \text{ m}) = 1,2 \text{ MN/m}^2$   
 $\sigma_R = 2 \times 0,800 \text{ MN} / (\frac{2}{3} \times 1,00 \text{ m}) = 2,4 \text{ MN/m}^2$

## 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 der Bohrkampagne 1979 Bohrkern aus der Tunnelschale entnommen und beprobt. Die Erkundungsergebnisse sind bereits in Kapitel 4.3 dargestellt worden. Das Ziegelmauerwerk könnte in die Mauerwerksfestigkeitsklasse

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 19

06.03.2009

M9 oder M11 zugeordnet werden. Demnach kann der Rechenwert der Druckfestigkeit mit  $\beta_R = 7,7$  bzw.  $9,0 \text{ MN/m}^2$  angesetzt werden.

Gemäß Ril 805 kann der Rechenwert der Mauerwerksdruckfestigkeit anhand der Steindruckfestigkeit  $\beta_{Dst}$  und der Mörteldruckfestigkeit  $\beta_{Dm\ddot{o}}$  nach DIN 18 554 wie folgt abgeschätzt werden:

$$\beta_{mw} = 0,8 \cdot \beta_{Dst}^{0,7} \cdot \beta_{Dm\ddot{o}}^{0,2}$$

Aus den Erkundungsergebnissen für die Ziegelsteine ( $\beta_{Dst} = 16,0 - 44,0 \text{ MN/m}^2$ ) und dem Kalkmörtel ( $\beta_{Dm\ddot{o}} = 4,8 \text{ MN/m}^2$ ) ergibt sich folgende Rechenwerte der Mauerwerksdruckfestigkeit:

$$\Rightarrow \beta_{mw} = 0,8 \cdot 16,0^{0,7} \cdot 4,8^{0,2} = 7,7 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{unterer Wert})$$

$$\Rightarrow \beta_{mw} = 0,8 \cdot 30,0^{0,7} \cdot 4,8^{0,2} = 11,8 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{mittlerer Wert})$$

$$\Rightarrow \beta_{mw} = 0,8 \cdot 44,0^{0,7} \cdot 4,8^{0,2} = 15,5 \text{ MN/m}^2 \quad (\text{oberer Wert})$$

In der weiteren Betrachtung wird der Rechenwert auf der sicheren Seite der Druckfestigkeit mit  $\beta_R = 7,7 \text{ MN/m}^2$  angesetzt.

## 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  $\beta_R$  einzuhalten ist.

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

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

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 20

06.03.2009

---

Die niedrigste rechnerische Sicherheit ergibt sich bei der Kantenpressung der Schale  $d = 60$  cm mit  $\gamma = 2,56$ .

$$\gamma = \frac{1,33 * 7,7}{4,0} = 2,56 \geq 2,0$$

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. Dies geht auch aus dem Gutachten des Ing.-Büro Sommer (1979, [U 1]) hervor, in dem es heißt: „Der schlechte bauliche Zustand erfordert also eine grundlegende Instandsetzung des Tunnels, die nicht lange verzögert werden darf.“ Auch das Gutachten von Pöyry ([U 2]) weist darauf hin, dass der Tunnel Dorp als „nicht verkehrssicher eingestuft werden“ muss. Es besteht großflächig die Gefahr das sich von der Tunnelschale Putzflächen lösen und auf Personen herabfallen. Die im Tunnel auf der Tunnelsohle aufgefundenen Putzbrocken weisen überwiegend Abmessungen von faustgroß bis zu einer Kantenlänge von ca. 10 cm auf. Vereinzelt wurden aber auch größere Putzbrocken mit Kantenlängen von bis zu ca. 30 cm angetroffen. Beispiel hierzu sind der Fotodokumentation (Anlage 3.7) zu entnehmen.

Der Putz weist zahlreiche Hohlstellen auf. Insbesondere an feuchten und nassen Stellen wurde der Putz i. d. R. hohl klingend angetroffen. Im Bereich von bereits bestehenden Putzabplatzungen befinden sich naturgemäß großflächig hohle Bereiche. Darüber hinaus weist aber auch der augenscheinlich intakte Putz zahlreiche Hohlstellen auf. Bei den Hohlstellen besteht grundsätzlich die Gefahr, dass sich Putzteile ablösen und herabfallen. 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.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 21

06.03.2009

---

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 festgestellten Wasserzutritten nicht unerheblich und z. B. aus der in Anlage 3.7 beiliegenden Fotodokumentation abzuschätzen.

Darüber hinaus führt Nässe und Feuchtigkeit im Putz zu einer langsamen, fortschreitenden Schädigung des Putzes und damit auch zu fortschreitenden Abplatzungen von Putzteilen, die dann herabfallen können. Im Winter wird dieser Prozess durch Frost und die Sprengwirkung von gefrierendem Wasser verstärkt.

Eine Auswertung der kartierten durch Putzabplatzungen oder Feuchtigkeitszutritte gefährdeten Bereiche ergibt eine Fläche von ca. 63 % der gesamten Tunneloberfläche, welche unmittelbar sanierungsbedürftig ist.

Aus dem verkarsteten Gebirge kann sich eine zusätzliche Gefährdung der Verkehrssicherheit ergeben, wie der Sohleinbruch im Jahr 1961 gezeigt hat. Derzeit liegen keine Hinweise auf eine Gefährdung vor. Der Tunnel und insbesondere die Sohlfläche ist aber auf Anzeichen für einen solchen Erdeinbruch regelmäßig zu kontrollieren.

## **5.4 Bewertung der Dauerhaftigkeit**

Um die Standsicherheit der Tunnelschale dauerhaft zu erhalten, sind starke Durchströmungen und Durchfeuchtungen der Tunnelschale zu vermeiden.

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.

## **6. SANIERUNGSMABNAHMEN UND KOSTEN**

### **6.1 Sanierungsmaßnahmen**

Aufgrund des hohen Schädigungsgrads der Putzbekleidung 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 Sanierung (geringe Bauzeit) erfolgen. Insbesondere auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist bei dem vorliegenden hohen Anteil der geschädigten Fläche einer Vollsanierung 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 Vollsanierung 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 Teilsanierung nicht vollständig lösen. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Teilsanierung durch die Verlagerung der Wasserwegigkeiten sich über die Jahre neue Wasserzutritte, insbesondere in den noch nicht sanierten Bereich bilden werden, die dann die Verkehrssicherheit gefährden und weitere Sanierungsmaßnahmen sowie entsprechend hohe Unterhaltskosten nach sich ziehen.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 23

06.03.2009

---

Die 5 innerstädtischen Tunnel (Dorp, Dorrenberg, Engelberg, 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 signifikant unterscheiden, können die im Folgenden vorgestellten Sanierungsmaßnahmen bei diesen 5 innerstädtischen Tunneln gleichermaßen angewendet werden.

## 6.1.1 Portale

Die Portalstirnwände an beiden Portalen sind zu reinigen. Loser Putz ist zu entfernen. Der Portalbereich ist von Bewuchs freizuschneiden. Loses Material, welches über die Portalstirnwände abrutschen könnte, ist zu entfernen. Die Entwässerungen hinter den Portalstirnwänden sind instand zu setzen. Im Tunnel Dorp wurde im Anschluss an die Portale nicht wie bei den anderen innerstädtischen Tunneln eine nasse Fuge festgestellt. Eine Abdichtungsmaßnahme der Tunnelschale im Portalbereich von oben ist daher an diesem Tunnel nicht erforderlich. Die bei der letzten Sanierung eijngebaute Abdichtung ist noch funktionstüchtig.

## 6.1.2 Tunnelausbau

Insbesondere aus den bereits oben dargelegten Schadensbildern der schadhafte Putzstellen 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 beheben. 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: 8,4 m / Höhe: 7,3 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. Technisch ist heute ein Strahlvorgang

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 24

06.03.2009

---

bis ca. 500 bar möglich, sodass unter Verzicht auf eine Fräse in einem Arbeitsgang der Putz gelöst und die Oberfläche gesäubert werden kann. Ziel des AbfräSENS und der Reinigung ist es die Verbundeigenschaften der Oberfläche für den späteren Spritzbetonauftrag zu optimieren. Das Ablösen der nicht mehr im Verbund vorliegenden Putzflächen (ca. 63 %) ist darüber hinaus aus Gründen der Verkehrssicherheit ohnehin erforderlich.

- Auf das gereinigte Mauerwerk werden zur Abführung von zutretendem Wasser Noppenbahnstreifen fixiert. Die Noppenbahnstreifen werden gitterförmig auf der Tunnel-schale angeordnet. Das Raster besteht einerseits aus radialen Streifen, die sich jeweils um die komplette Abwicklung erstrecken. Der Abstand dieser radialen Noppenbahnstreifen be-trägt ca. 1,0 - 2,0 m in Tunnellängsrichtung. Diese radialen Streifen werden in den Fuß-punkten, in den oberen Ulmenbereichen und ggf. in der Firste durch horizontale Noppenbahnstreifen verbunden. Die Noppenbahnstreifen weisen eine Breite von ca. 30 bis 50 cm auf. Die Aufgabe dieser Noppenbahnstreifen ist es, das durch die Tunnelschale ein-gedrungene Bergwasser auf der Innenseite (Luftseite) zu fassen und nach unten abzu-führen. Die Noppenbahnen sind von der Konstruktion her nicht wesentlich zusammen-drückbar, sodass sie dauerhaft eine hohe Durchlässigkeit aufweisen und die Drainfunktion erfüllen.
- An augenscheinlich besonders nassen Bereichen werden zusätzliche Entwässerungs-bohrungen 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 aus Karstspalten zu verhindern.
- Eine verzinkte Betonstahlmatte (N94 oder N121) wird über die gesamte Tunnelleibung an mindestens 4 Stellen je Quadratmeter mit Edelstahlankern an der Mauerwerksschale be-festigt. Die Edelstahlanker binden tief in das Mauerwerk ein, sodass 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 verfahrenbaren Gerüstkonstruktion oder eines Hubsteigers erforderlich.



# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 25

06.03.2009

---

- 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 Tunnelleibung bewehrt ausgeführt wird, über eine Schalentragswirkung, die die Tragsicherheit langfristig sicherstellt. Selbst 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 ausgeschlossen.

Die Drainstreifen aus den Noppenbahnen enden offen in der Schotterauffüllung, sodass 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.

## 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. Wesentlich ist, dass die Nischen Winterquartiere bzw. Zugänge zu Winterquartieren der Fledermäuse darstellen. Darüber hinaus stellen sie aus baugeschichtlichen Gründen und aus Gründen der Erfahrbarkeit 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.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 26

06.03.2009

---

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.

Zum Teil weisen die Leibungen der Nischen Schadstellen in Form von ausgebrochenen Ziegeln, offenen Fugen, etc. auf. Es wird aus bautechnischer Sicht empfohlen, die Leibungen der Nischen auszubessern. Hierzu sind lose Steine zu ersetzen und die Fugen neu auszufugen. Da es sich bei den offenen Fugen zum Teil um Fledermausquartiere handelt, sind diese Maßnahmen noch mit den Fledermausgutachtern im Detail abzustimmen. Bei einem Verzicht auf eine Sanierung sind Nachteile für die Dauerhaftigkeit zu erwarten. Eine akute Gefährdung der Verkehrssicherheit ist jedoch durch die Vergitterung der Nischen ausgeschlossen.

Die Bereiche der vorhandenen Nischen werden nicht mit Spritzbeton verschlossen. Insbesondere die Rückwände der Nischen sollen im derzeitigen Zustand erhalten bleiben, unabhängig davon, ob sie aus Festgestein bestehen oder aus Ziegelmauerwerk errichtet wurden. 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 abzuschlauchen. Hierzu wird der Einbau eines Drainrohrs vorgesehen. Die Felspartien bleiben dann im Sinne eines erfahrbaren Festgesteinstunnels den Besuchern zugänglich.

## 6.1.4 Tunnelentwässerung

Für den Tunnel wird beidseitig eine Längsentwässerung vorgesehen. Hier wird ein vollständig geschlitztes Drainrohr an den Fußpunkten der Tunnelschale empfohlen. 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 verkarstete Gebirge versickern. Im Bereich des Tunnels mit durchgehendem Sohlgewölbe kann das anfallende Wasser nicht in das Gebirge versickern. Hier ist in der Mitte des Tunnels, an der tiefsten Stelle ein Drainrohr einzubauen, das das anfallende Wasser in andere Bereiche des Tunnels ableitet, in denen es versickern kann. Dieses Vorgehen bietet die Vorteile, dass kein Wasser aus dem Tunnel abgeführt wird und nicht weiter entsorgt werden muss und das bezüglich des Wasserhaushalts keine Änderung im Bereich des

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 27

06.03.2009

---

Tunnels erfolgt. Die Versickerung des anfallenden Wassers über die Schotterschicht entspricht dem derzeitigen Zustand.

Bezüglich der Umweltbedingungen für die Fledermäuse ist festzustellen, dass die derzeitige hohe Luftfeuchtigkeit im Tunnel 2 Ursachen hat. Zum einen ergibt sich insbesondere in der warmen Jahreszeit aus dem Temperaturunterschied zwischen dem Tunnel und der Außentemperatur eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit, zum anderen verdunstet ein Teil des Bergwassers auf der Innenseite der Tunnelleibung. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Luftfeuchtigkeit im Tunnel zwar etwas ändern wird, da die Verdunstung über die derzeit vorhandenen zahlreichen Wasserzutritte in der Tunnelschale verhindert wird. Die Temperaturverhältnisse werden sich nicht ändern und die abgeführte Wassermenge wird in Teilen weiterhin über die Schotterschicht zu Verfügung stehen, sodass sich auch weiterhin eine gewisse Luftfeuchte ergeben wird. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aus bautechnischer Sicht eine ständige, vollflächige Durchfeuchtung der Tunnelschale aus Gründen der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit nicht zulässig ist. Ein lokaler Durchtritt von Bergwasser mit unmittelbarer Ableitung des Wassers stellt hingegen kein Problem bezüglich der Standsicherheit oder Dauerhaftigkeit dar.

Es wird empfohlen, die nicht mehr funktionstüchtige Mittenentwässerung mit Magerbeton zu verschließen.

## **6.2 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.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 28

06.03.2009

---

Der Unterhaltungsaufwand des Tunnels setzt sich im Grundsatz aus zwei Positionen 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 Tunnel Dorp wie folgt zusammen:

Sanierung Tunnel	748.200,00 €
Sanierung Westportal	16.100,00 €
Sanierung Ostportal	11.000,00 €
Baunebenkosten (15 %)	116.295,00 €
<u>Unterhaltskosten in 20 Jahren inkl. Inspektionen</u>	<u>215.060,00 €</u>
<b>Gesamtkosten in 20 Jahren</b>	<b>1.106.655,00 €</b>

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

## 6.3 Kosten / Gegenüberstellung Pöyry

Von der Pöyry Infra GmbH wurden die Instandsetzungs- und Umbaukosten für alle Bauwerke der Nordbahntrasse in einer Kostenschätzung untersucht. In [U 2] werden für den 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.

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 29

06.03.2009

---

## **Variante „Erhaltung der Bausubstanz“**

Bei der Sanierungsvariante „Erhaltung der Bausubstanz“ wird von Pöyry vorgesehen, alle Hohlstellen punktuell zu erfassen, diese abzuspitzen und mit bewehrtem 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 Sanierungsumfangs wird mit 25 % der Tunnelleibung und 10 Wasserabschlauchungen gerechnet. Das zu erwartende Sanierungsergebnis wird von Pöyry als nur bedingt verkehrssicher bewertet. Es wird von Pöyry 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 Pöyry ausdrücklich in der Kostenschätzung nicht berücksichtigt. Der verbleibende 100 Jahre alte Putz, der in der ersten Sanierungswelle nicht erfasst wird, stellt auf längere Sicht ein Gefahrenpotenzial für die Verkehrssicherheit da.

Die von Pöyry gewählten Kostenansätze sind im Hinblick auf den hohen manuellen Aufwand nachvollziehbar. Der zugrunde gelegte Sanierungsaufwand (25 % der Tunnelleibung / 10 Wasserabschlauchungen) ist nach den nun vorliegenden Ergebnissen der Schadenskartierung deutlich zu gering (vergleiche Kapitel 6.1).

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 Pöyry- Gutachten ausdrücklich keine Angaben zu Unterhaltungskosten der Variante „Erhaltung der Bausubstanz“ gemacht werden, mussten in diesen Punkten Annahmen getroffen werden. Über den zu betrachtenden Zeitraum von 20 Jahren wurden die Erhaltungskosten für 5 Jahre mit jährlich ca. 25 % der von Pöyry ermittelten Sanierungskosten und in den verbleibenden 15 Jahren mit ca. 5 % angesetzt. Die angesetzten Prozentsätze sind hier deutlich höher, da der Tunnel nach der Sanierung „Erhaltung der Bau-

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 30

06.03.2009

---

substanz“ einerseits nicht nachhaltig saniert ist zum anderen von niedrigeren Sanierungskosten als Basis ausgegangen wurde.

In einer zweiten Variante wurde der Massenvordersatz für die Ausbesserung der Innenschale in der Kostenaufstellung nach Pöyry auf das nun bekannte Schädigungsmaß von ca. 63 % angehoben. Da die bekannten Schäden dann saniert sind, wird der Unterhaltungsaufwand mit einem verringerten Satz von 2,5 % der Sanierungskosten angesetzt. Da es sich nicht um eine vollständige Sanierung der Tunnelschale handelt, liegt der Unterhaltungsaufwand mit 2,5 % deutlich über dem Aufwand bei einer vollständigen Sanierung (1 %).

Der Unterhaltungsaufwand für die Portale wird für die Fortschreibung der Kosten nach Pöyry mit 1,5 % der Sanierungskosten jährlich angesetzt. Er 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 begründete, 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:

<b>Kostenschätzung IMM / Dr. Spang</b>	<b>1.106.655,00 €</b>
Pöyry (06.11.2008) + Unterhaltungskosten	1.321.152,19 €
Pöyry mit korrigierten Massen + Unterhaltungskosten	1.430.023,73 €

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

## Weitere Sanierungsvarianten Pöyry

Um die Verkehrssicherheit im Tunnel ganzjährig sicherzustellen, wird von Pöyry in [U 2] als zusätzliche Maßnahme der Einbau einer „aktiven Entwässerung“ vorgestellt, die als Ergänzung zur oben

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 31

06.03.2009

---

vorgestellten Variante „Erhaltung der Bausubstanz“ verstanden wird. Bei einer Kombination beider Varianten verdoppeln sich die in Anlage 5 ausgewiesenen Sanierungskosten „Erhaltung der Bausubstanz“ etwa. Auch bei der Kombination der Varianten verbleibt das Gefahrenpotenzial des un-sanieren 100 Jahre alten Putzes.

Als technisch hochwertigere Sanierungsvarianten werden von Pöyry zwei weitere Varianten, die jeweils den Bau einer neuen Innenschale vorsehen vorgestellt. In beiden Varianten wird eine selbsttragende Innenschale mit einer Dicke von 30 cm vorgeschlagen, einmal als Spritzbeton-innenschale mit Kunststoffdichtungsbahn, einmal als Ortbetoninnenschale aus wasserundurch-lässigem Beton. Bei beiden Varianten ist mit einem aus technischer Sicht guten Ergebnis zu rechnen. Aufgrund der hohen Kosten von ca. 2,2 Mio. Euro wurden die Varianten nicht weiter ver-folgt.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Der Tunnel Dorp ist ein ehemaliger, zweigleisiger Bahntunnel der Strecke 2423 von Düsseldorf nach Hörde und liegt zwischen den ehemaligen Bahnhöfen Varresbeck und Ottenbruch. Der Tunnel weist eine Gesamtlänge von ca. 488 m auf und wurde in den Jahren 1868 – 1872 vermut-lich in der sogenannten belgischen Tunnelbauweise erstellt und etwa 1876 dem Betrieb über-geben.

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

Der Tunnel ist insgesamt standsicher. Aufgrund erheblicher Schäden in der Putzbekleidung der Tunnelschale und zahlreicher Durchfeuchtungen ist die Gebrauchstauglichkeit und Verkehrs-sicherheit des Tunnels aktuell nicht gegeben.

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

# Ingenieurgemeinschaft Nordbahntrasse Wuppertal Tunnel Dorp

Projekt: 30.2445

Seite 32

06.03.2009

---

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

Es wird 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 Leibungen nur mit einem Gitter verschlossen werden. In der Sohle des Tunnels soll eine Tunnellängsdrainage eingebaut werden. Mit diesen Maßnahmen kann die Verkehrssicherheit und die Gebrauchstauglichkeit wieder hergestellt werden.

Die von der Ingenieurgemeinschaft 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.

i.V.

Dipl.-Ing. Christian Spang  
(Geschäftsführer)

Dr.-Ing. Gerd Festag  
(Projektleiter)

**Verteiler:**

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