

---

# BETONSANIERUNG UND BRANDSCHUTZTECHNISCHE ERTÜCHTIGUNG EINES BESTANDS-STRASSENTUNNELS

---

## CONCRETE RENOVATION AND ENHANCING OF FIRE PROTECTION OF AN EXISTING TUNNEL WITH SPRAYED CONCRETE

Carsten **Peter**, IMM Maidl & Maidl, Beratende Ingenieure, Bochum, Deutschland  
Ulrich **Versen**, IMM Maidl & Maidl, Beratende Ingenieure, Bochum, Deutschland

Die Bestandserfassung eines in den 1970er Jahren erbauten Straßentunnels (2-zelliger Rechteckrahmenquerschnitt) hat gezeigt, dass verschiedene Forderungen der einschlägigen Regelwerke wie z.B. RABT [1], ZTV-ING [2] nicht erfüllt werden. An der Betonkonstruktion des Tunnelbauwerks wurden u.a. verschiedene Mängel und Schäden wie z.B. Risse, Betonschadstellen, erhöhte Chloridkonzentrationen und eine unzureichende Betondeckung festgestellt. Des Weiteren ist der konstruktive bauliche Brandschutz für den Tunnel nicht gegeben. Für die Betonsanierung und die brandschutztechnische Ertüchtigung des Konstruktionsbetons ist im Wesentlichen ein großflächiger Auftrag von Schutzschichten (Betonersatz / Brandschutzmörtel) vorgesehen. Der Beitrag beschreibt das vorgesehene Sanierungs- und Ertüchtigungskonzept. Neben den technischen Anforderungen an die Produkte der Schutzschichten sind die baurechtlichen Vorgaben ein wichtiges Kriterium.

*The stocktaking process of a two-cell rectangular frame section tunnel built in the 1970<sup>th</sup> showed that different demands of technical standards like the RABT, [1], ZTV-ING [2] are not met. Different damages in the concrete structure like cracks, defects in the concrete, high chloride concentrations and an insufficient concrete cover have been discovered. Moreover, the tunnel construction lacks of a structural fire protection. For the concrete renovation and the enhancing fire protection of the constructional concrete an extensive application of additional protection layers is intended (concrete replacement, fire protection coating). The report describes the intended renovation and enhancing concept. Besides technical demands of the proposed products, building regulations and requirements should be met.*

### 1. Einleitung

Der ca. 342 m lange Rathaustunnel im Zuge der L530 in Lüdenscheid wurde im Jahr 1971 als 2-zelliger Rechteckrahmen mit offener Sohle in offener Bauweise erstellt. Der Tunnel im Stadtzentrum tangiert in Teilen die bereits vor Baubeginn vorhandene Bebauung und wurde nach Fertigstellung in verschiedenen Bereichen überbaut.

Das Tunnelbauwerk besteht aus 11 bzw. 12 Tunnelblöcken mit Blocklängen zwischen 15 m und 35 m; die Regelblocklänge beträgt 30,00 m. Gemäß den Bestandsunterlagen sind als Baustoffe Beton B300 / B450 und Betonstahl IIIb / IVb bei einer planmäßigen Betondeckung von 3 cm verwendet worden. Nahezu die gesamten sichtbaren Betonoberflächen im Tunnel wurden bereits in den 1970er Jahren mit einem Anstrich bzw. Oberflächenschutzsystem (Feinspachtel + farbgebende Beschichtung) versehen.

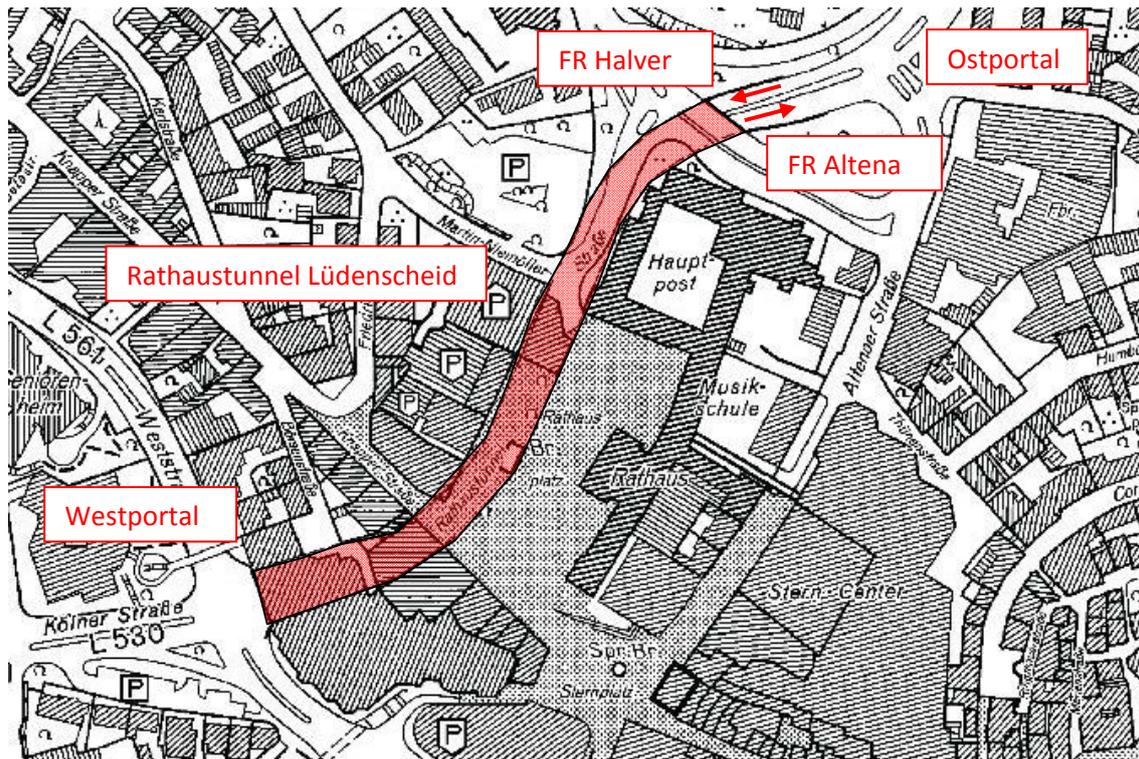


Bild 1: Lageplan Rathaustunnel (DGK 5)

Im Jahr 2014 ist die Zuständigkeit von der Stadt Lüdenscheid an den Landesbetrieb Straßenbau NRW übergegangen. Im Rahmen der Bauwerksübernahme wurde eine Bestandserfassung durch den Landesbetrieb durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass verschiedene bauliche und betriebstechnische Forderungen der einschlägigen Regelwerke wie z.B. RABT, ZTV-ING, RIZ-ING augenscheinlich nicht erfüllt werden, wie z.B. die Tunnelentwässerung und die betriebstechnische Ausstattung. Im Hinblick auf eine systematische Erfassung der baulichen und betriebstechnischen Mängel wurden zunächst folgende weitergehende Untersuchungen durchgeführt:

- Sicherheitsdokumentation [3] und Sicherheitsbewertung gemäß RABT 2006 [4]
- Bauwerkshauptprüfung (DIN 1076) [5]
- Objektorientierte Schadensanalyse (OSA) zum Konstruktionsbeton [6]

Als Ergebnis dieser Untersuchungen ergibt sich Handlungsbedarf, um mittel- bzw. langfristig einen regelkonformen Betrieb des Tunnels zu gewährleisten. Die für die Stahlbetonkonstruktion relevanten Inhalte und Ergebnisse dieser Untersuchungen und das geplante Sanierungskonzept werden in diesem Bericht näher vorgestellt.

## 2. Ergebnisse der Untersuchungen

### 2.1 Sicherheitsdokumentation [3] und Sicherheitsbewertung [4]

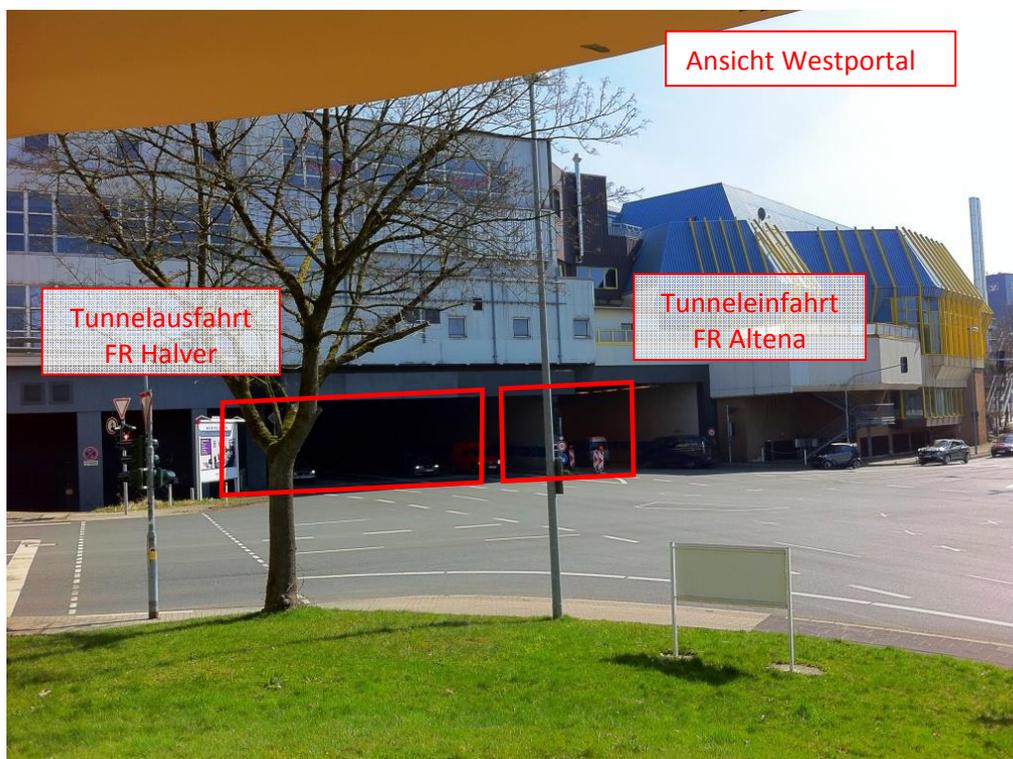
Die durchgeführte Sicherheitsdokumentation und Sicherheitsbewertung gemäß RABT 2006 hat die verschiedenen betriebstechnischen und baulichen Defizite präzisiert, diese bewertet und verschiedene Empfehlungen zum weiteren Vorgehen formuliert. Die Schwerpunkte dieser Empfehlungen liegen in der betriebstechnischen Ausstattung und der betrieblichen

Organisation des Tunnels, was zu verschiedenen Sofortmaßnahmen (z.B. 1-streifiger Betrieb) und zu einem Planungsauftrag für eine Erneuerung der gesamten betriebstechnischen Tunnelausstattung führte.

Im Hinblick auf die Themenschwerpunkte dieses Berichtes, der Betonsanierung und der brandschutztechnischen Ertüchtigung des Tunnels, wird in der Sicherheitsbewertung folgende, für die Rohbaukonstruktion des Tunnels wesentliche Empfehlung ausgesprochen:

- Veranlassung einer Nachrechnung des Tunnelbauwerks im Brandfall unter Berücksichtigung der darüber liegenden Bebauung.

Maßgebend für die Empfehlung einer Nachrechnung des Tunnelbauwerks im Brandfall waren mögliche sekundäre Schäden, die sich aus einem Versagen der Tunnelkonstruktion im Brandfall ergeben könnten. Wie in den Bildern 1 und 2 ersichtlich ist, wurde der Tunnel mit verschiedenen privaten und öffentlichen Gebäuden überbaut, die verbleibenden Freiflächen oberhalb des Tunnels werden als öffentliche Verkehrsfläche (Fußgängerzone, Straßen) genutzt.



*Bild 2: Ansicht Westportal des Tunnels mit vorhandener Überbauung*

## 2.2 Nachrechnung des Tunnels für den Brandfall [7]

Der o.g. Empfehlung der Sicherheitsdokumentation / Sicherheitsbewertung folgend wurde ein rechnerischer Brandschutznachweis mit einem genaueren rechnerischen Verfahren durchgeführt. Als maßgebende Einwirkung wurde die verlängerte ZTV-ING Brandkurve zu Grunde gelegt.

Das genauere rechnerische Nachweisverfahren und der Ansatz der verlängerten ZTV-ING-Kurve wurden entsprechend den Regelungen in der ZTV-ING [2] aufgrund der besonderen

örtlichen Randbedingungen über dem Tunnelbauwerk (Überbauung und Nutzung als öffentliche Verkehrsfläche / Fußgängerzone) gewählt. Die Anwendung des genaueren rechnerischen Verfahrens ist im BAST Heft B94 [8] im Rahmen einer Musterstatik mit Leitfaden erläutert.

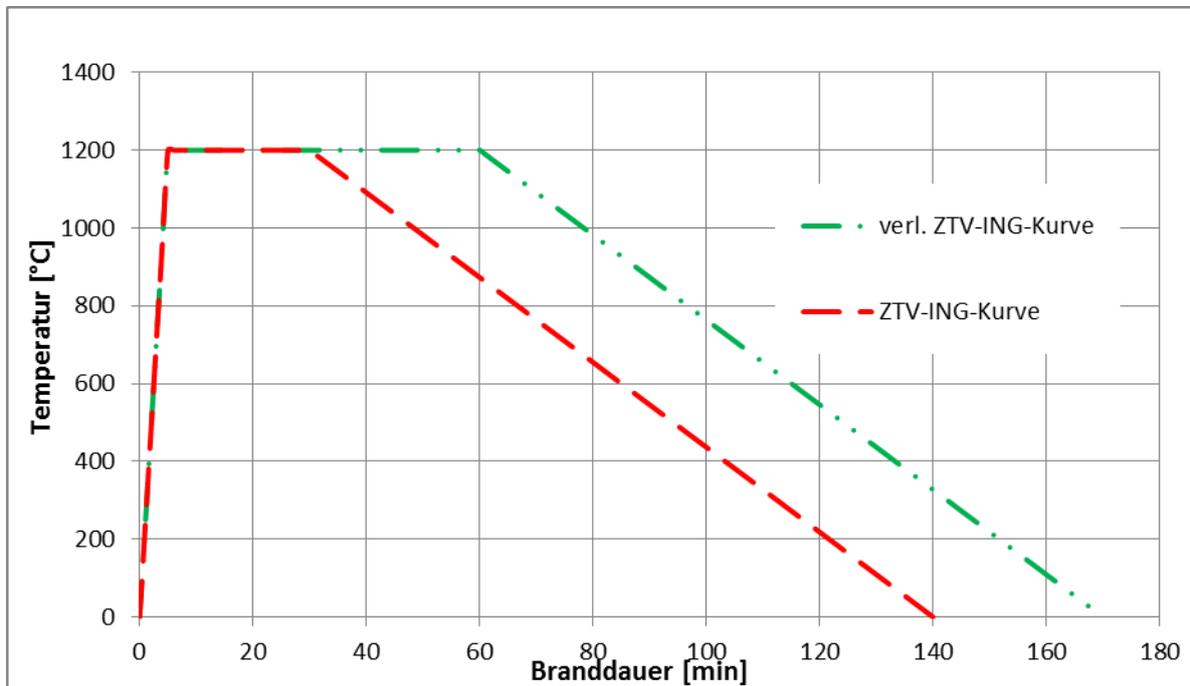


Bild 3: Brandkurven für Verkehrstunnel [2]

Das genauere rechnerische Verfahren beruht auf dem Allgemeinen Rechenverfahren der DIN EN 1992-1-2 [9]. Beim diesem Verfahren wird im ersten Schritt mit einer thermischen Analyse die zeitabhängige Temperaturverteilung im Bauteil aufgrund der Brandeinwirkung bestimmt. Bei der anschließenden mechanischen Analyse werden die resultierenden Zwängungen aus der Temperaturverteilung der thermischen Analyse mit den maßgebenden Gebrauchslastfällen (Kaltbemessung) überlagert und über ein iteratives, nichtlineares Berechnungsverfahren die Schnittgrößen berechnet. Bei den Berechnungen werden die nichtlinearen, temperaturabhängigen Materialeigenschaften des Stahlbetons berücksichtigt.

Da beim Tunnel Lüdenscheid bisher keine konstruktiven baulichen Brandschutzsysteme vorhanden sind, z.B. passive Schutzschichten, stellen Betonabplatzungen das maßgebliche Schadensbild aus einer Brandeinwirkung dar. Bei den Berechnungen wurde daher basierend auf Erfahrungen von Großbrandversuchen eine Abplatztiefe von 6 cm im Betonquerschnitt oberhalb der Fahrbahnoberkante zugrunde gelegt. Das bedeutet für ein Tunnelbauwerk aus einem herkömmlichen Konstruktionsbeton (hier B300 / B450) und einer Betondeckung von 3,0 cm, dass die vorhandene Betondeckung innerhalb kürzester Zeit abplatzt, und die luftseitige Deckenbewehrung ungeschützt beflammt wird, sich auf über 300 °C erwärmt und sich dem Lastabtrag im Feld entzieht. Die luftseitige Tragbewehrung wurde aufgrund der Abplatztiefe daher nicht im Berechnungsmodell angesetzt.

Der rechnerische Nachweis für den Brandfall unter Berücksichtigung dieser Vorgaben konnte nicht erfolgreich geführt werden. Grund ist ein rechnerisches Versagen der Tunneldecke durch zu hohe Biegebeanspruchung. Durch den Entfall der luftseitigen Bewehrung kann die

Tunneldecke kein Feldmoment aufnehmen und die Stützmomente erhöhen sich dementsprechend deutlich. Die vorhandene erdseitige Bewehrung ist zur Aufnahme der erhöhten Stützmomente nicht ausreichend. Das rechnerische Bauteilversagen tritt zum Zeitpunkt der Abplatzung und Ausfall der luftseitigen Bewehrung ein, was bereits entsprechend den Erkenntnissen aus Großbrandversuchen im Zeitraum von 5 bis 15 min nach Brandbeginn stattfinden kann.

Als Ergebnis der Nachrechnung ist festzuhalten, dass die Standsicherheit des Tunnels im Brandfall nicht gegeben ist und zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind, um diese zu gewährleisten.

### 2.3 Zustand der Stahlbetonkonstruktion

Die Ergebnisse der durchgeführten Bauwerksprüfung [5] und der objektorientierten Schadensanalyse (OSA) zu den Chloriden [6] zeigen deutliche Bauwerksmängel. Neben den offensichtlichen Betonschadstellen, Riss- und Fugenschäden hat die weitergehende OSA folgenden Sanierungsbedarf für den Konstruktionsbeton gezeigt.

- In den unteren Wandbereichen (Spritzwasserbereich) sind Chloride vorzufinden, die aufgrund der ermittelten Menge / Konzentration ( $> 1,0$  M-% bez. auf Zement) im Beton zu Bewehrungskorrosion führen können.
- Die übrigen Bereiche (Wände und Decken) weisen, wenn überhaupt, nur unwesentliche Chloridgehalte ( $< 0,5$  M-% bez. auf Zement) auf.
- Ganzflächig ist von einer minderfesten Betonrandzone auszugehen. Infolge der Porosität der Betonrandzone entsteht eine inhomogene Oberfläche mit ausgeprägt unterschiedlichen Rautiefen. Durch die poröse und teilweise minderfeste Betonrandzone wird der Chlorid-Transport im Beton begünstigt. Es wird vermutet, dass diese inhomogene Oberfläche bereits nach Fertigstellung des Tunnels als Mangel erkannt wurde und der Grund für den vorhandenen Wand- und Deckenanstrich ist.
- An entnommenen Bohrkernen wurden Betondeckungen von 2,0 bis 5,9 cm erkundet. Gemäß den Bestandsunterlagen liegt die ehemals planmäßige Betondeckung bei 3 cm, was die heutigen Vorgaben von 6 cm unterschreitet.
- Durch die offene Fuge zwischen Wand und Gehwegplatten versickert tausalzhaltiges Wasser, welches von den beschichteten Wänden herunterläuft. Daher kann eine hohe Chloridkonzentration im Konstruktionsbeton der Tunnelwände unterhalb OK Gehweg nicht ausgeschlossen werden.

## 3. Sanierungskonzept für den Konstruktionsbeton

Im Hinblick auf mögliche Instandsetzungsmaßnahmen an den Tunneldecken und Wänden ist grundsätzlich in 2 Bereiche zu unterscheiden.

- Bei dem unteren Wandabschnitt ist primär eine Betonsanierung erforderlich. Dabei sind die o.g. Randbedingungen der minderfesten Betonrandzone unter dem vorhandenen Anstrich und der stark erhöhte Chloridgehalt entsprechend zu berücksichtigen. Für die Sicherstellung des konstruktiven baulichen Brandschutzes sind an den unteren Wandabschnitt geringere Anforderungen zu stellen, da hier ein Ausfall der brandzugewandten Tragbewehrung nicht zu einem Bauteilversagen führt.
- Bei den oberen Wand- und Deckenflächen ist eine Abstimmung / Berücksichtigung der Anforderungen des konstruktiven Brandschutzes bei der Wahl des Instandsetzungsverfahrens gefordert. Dafür liegt in diesen Bereichen keine erhöhte Chloridbelastung vor.

Auf diese beiden Bereiche wird im Folgenden näher eingegangen. Auf eine ausführliche Benennung und Erläuterung der weiteren geplanten Instandsetzungsmaßnahmen wie z.B. Riss- und Fugensanierung, Neubau Tunnelentwässerung, Anpassung Notgehwege, Fahrbahnaufbau etc. wird an dieser Stelle verzichtet.

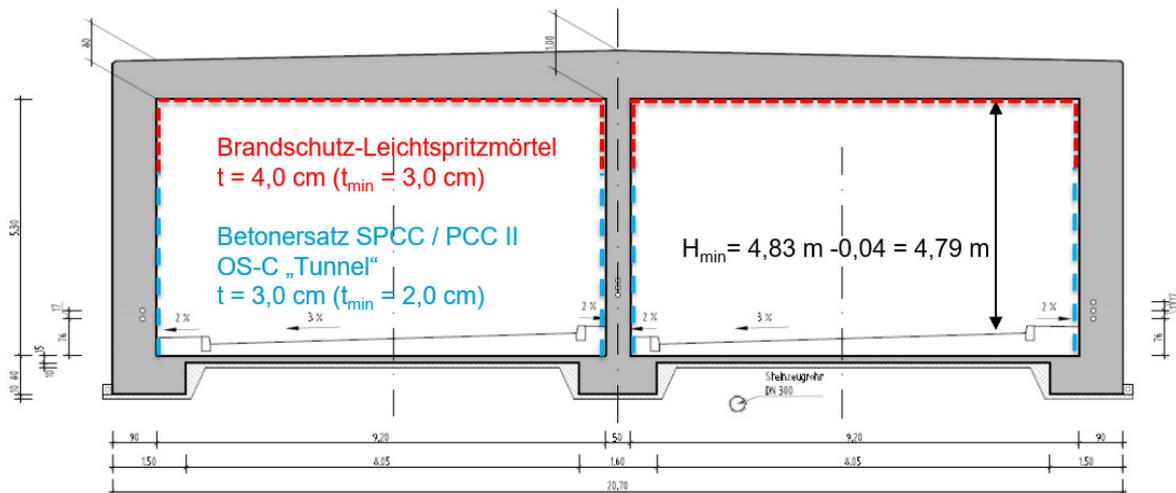


Bild 4: Tunnelquerschnitt

### 3.1 Sanierungskonzept Wände unten (Sohle bis 1,50 m unter UK Decke)

Das vorhandene Oberflächenschutzsystem sowie minderfeste Betonrandzone werden erschütterungsarm abgetragen (z.B. HDW). Es ist vorgesehen den Zustand der Bewehrung in ausgewählten Bereichen im Zuge der Baudurchführung / Oberflächenvorbereitung stichpunktartig zu begutachten. Es gibt insbesondere im Bereich von Trennrissen (Tunnelwände), die im Spritzwasserbereich der Einfahrtbereiche liegen, eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung und durch die erhöhten Chloridkonzentrationen, die vermehrt in diesen Bereichen erkundet wurden. Die Realkalisierung erfolgt durch einen mindestens 2 cm starken Betonersatz SPCC / PCCII (Sprayed Polymer Cement Concrete / Polymer Cement Concrete). Im Hinblick auf die zu erwartende Rautiefe nach einem HDW-Abtrag der minderfesten Randzone ist geplant eine Nennstärke von 3,0 cm Betonersatz bei der Ausschreibung zu Grunde zu legen, um die geforderte Mindeststärke von 2,0 cm und eine ebene Oberfläche zu gewährleisten. Der Betonersatz erhält eine Egalisierung und einen Anstrich (RAL 9010 reinweiß). Als Egalisierung und Anstrich ist ein OS-C (Oberflächenschutzsystem mit erhöhter Dichtigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen; i.d.R. Feinspachtel + Anstrich) mit zusätzlichen „tunnelspezifischen“ Anforderungen vorgesehen. Diese zusätzlichen Anforderungen an das Oberflächenschutzsystem im Tunnel beziehen sich auf die Eigenschaften Nassabriebfestigkeit, Glanzwert und Entflammbarkeit.

### 3.2 Sanierungskonzept Wände oben (ab 1,50 m von UK Decke bis Decke) und Decke

Das vorhandene Oberflächenschutzsystem sowie minderfeste Betonrandzone werden auch hier erschütterungsarm abgetragen (z.B. HDW). Die oberen Wandflächen und die Decke erhalten einen zusätzlichen konstruktiven Brandschutz bestehend aus einer mindestens 3,0 cm dicken Schicht Brandschutz-Leichtspritzmörtel. Zur Gewährleistung der Mindestschichtdicke erfolgt auch hier eine Erhöhung der nominellen Schichtdicken auf 4,0 cm um die verschiedenen Imperfektionen auszugleichen. Die geringste lichte Höhe ergibt sich bei einer Querneigung von 3% mit  $H = 4,79$  m, was eine geringfügige Abweichung zum RABT-konformen Lichtraum bedeutet (vergl. Bild 4). Zur Verbesserung des Haftverbundes zwischen dem Brandschutz-Leichtspritzmörtel und dem Alt-Beton wird eine Haftbrücke

verwendet. Im Weiteren wird als zusätzliche konstruktive Maßnahme ein profiliertes Edelstahlgewebe, das am Alt-Beton verankert wird, vorgesehen. Bei diesen profilierten Edelstahlgeweben handelt es sich um produktspezifische Bewehrungsmatten, die bei einem partiellen Versagen des Haftverbundes ein plötzliches Herunterfallen verhindern.

#### 4. Erläuterung zu den Sanierungskonzepten

##### 4.1 Erläuterungen zu Sanierungskonzept Wände unten

Bei dem Bauwerk handelt es sich um einen Straßentunnel in Deutschland, folglich ist die ZTV-ING [2] das maßgebende Regelwerk für die Instandsetzung. Die oben aufgeführten Maßnahmen sind ZTV-ING konform und entsprechen den Instandsetzungsprinzipien R (Korrosionsschutz durch Wiederherstellung des alkalischen Milieus) und W (Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton) der Instandsetzungsrichtlinie [10].

Die Wiederherstellung des alkalischen Milieus erfolgt durch den Betonersatz (SPCC / PCCII), die Begrenzung des Wassergehaltes erfolgt durch das Oberflächenschutzsystem OS-C, wobei die Wiederherstellung des alkalischen Milieus im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Instandsetzung als maßgebender betrachtet wird. Das gewählte Oberflächenschutzsystem OS-C hat neben der betontechnologischen Wirkung (Verminderung CO<sub>2</sub> und Wassereintrag) auch eine weitere tunnelspezifische Aufgabe, die Aufhellung der Tunnelwände [1]. Durch die Beschichtung in reinweiß wird die Wahrnehmung des Verkehrsraums Tunnel für den Verkehrsteilnehmer verbessert und der Energiebedarf der Tunnelbeleuchtung verringert.

Die Anforderungen an die Betonersatzsysteme und an das Oberflächenschutzsystem einschließlich der tunnelspezifischen Eigenschaften sind in der ZTV-ING [2] u.a. durch den Verweis auf die maßgebenden Technischen Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften geregelt. Inhaltlich finden diese Anforderungen weitestgehend in der europäischen Normenreihe zur Betoninstandsetzung EN 1504 wieder. An dieser Stelle sei angemerkt, dass beim Schutz und bei der Instandsetzung von Betontragwerken im Geltungsbereich der ZTV-ING fast ausschließlich Bauprodukte zum Einsatz kommen, die auf den einschlägigen Listen der BASt benannt werden. Diese Praxis wird seitens der Autoren nicht nur aus Gründen der Übersicht als positiv empfunden.

##### 4.2 Erläuterungen zu Sanierungskonzept Wände oben und Decke

###### Zum Stand der Regelwerke

In der ZTV-ING gibt es die bezüglich des konstruktiven Brandschutzes die maßgebende Forderung, dass die tragende Bewehrung im Brandfall nicht über 300 °C erwärmt wird. Im Neubau gilt diese Forderung mit einer Betondeckung von 6,0 cm und der Verwendung eines Konstruktionsbetons mit PP-Fasern zur Verhinderung von Betonabplatzungen als erfüllt. Bezüglich der nachträglichen Verbesserung des baulichen Brandschutzes in Straßentunneln gibt es derzeit in Deutschland keine eingeführte Regelung.

Den in Deutschland eingeführten einschlägigen Regelwerke zum Brandschutz wie z.B. DIN 4102 [12] bzw. DIN EN 13501 [13] liegt die EKT (Einheitstemperaturkurve) zu Grunde. Diese Kurve wird insbesondere im Hochbau angewendet und ist maßgebend für die Festlegung der Feuerwiderstandsklassen (F30, F60, F90 etc.) von Bauteilen und Baustoffen. Die für Straßentunnel geltende ZTV-ING Brandkurve erreicht in wesentlich kürzerer Zeit höhere Temperaturen als die o.g. ETK in ihrem ganzen Zeitverlauf. Folglich ist die Verwendung von Bauprodukten, die nach der EKT geprüft sind, zum Brandschutz im Tunnel zu hinterfragen.

Neben der ZTV-ING Brandkurve gibt es auch weitere Brandkurven, wie z.B. die EBA-Brandkurve, die Hydrocarbon-Kurve (HC-Kurve), die erhöhte Hydrocarbon-Kurve (HC<sub>inc</sub>-Kurve) und die modifizierte Rijkswaterstaat-Kurve (RWS-Kurve), die ähnliche und zum Teil schärfere Temperatur und Zeitverläufe haben. Bauprodukte, die mit den o.g. Brandkurven erfolgreich getestet wurden, scheinen demnach zur Verbesserung des baulichen Brandschutzes im Tunnel geeignet. Die Bewertung von Brandschutzprodukten erfolgt in der Regel über eine Leitlinie für die europäische technische Zulassung ETAG 018 [14]. Die Anwendung von Brandschutzprodukten in Straßentunneln wird in der ETAG 018 nicht explizit behandelt. Eine Anwendung der ETAG 018 mit der Zusatzanforderung Tunnelbrand ist jedoch möglich.

In Österreich wird der Brandschutz in Straßentunnel und die Verbesserung des Brandschutzes durch Schutzschichten in 2 Regelwerken, der RVS 09.01.45 [15] und der öbv-Richtlinie „Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke“ [16] behandelt. In dieser Richtlinie wird die RWS-Brandkurve zugrunde gelegt. Eine vollumfängliche Anwendung eines österreichischen Regelwerks einschließlich aller dort aufgeführten ÖNORMEN, ÖVBB-Richtlinien und öbv-Richtlinien stößt jedoch bei fast allen deutschen Projektbeteiligten in der praktischen Anwendung auf gewisse Widerstände.

Im Hinblick auf die normative Situation zur Verbesserung des Brandschutzes in deutschen Straßentunneln wird Folgendes zusammengefasst:

- In der ZTV-ING wird die Verbesserung des Brandschutzes nicht explizit behandelt. Außer der ZTV-ING Brandkurve und der Forderung, dass die tragende Bewehrung nicht über 300 °C erhitzt werden soll, finden sich keine Angaben, wie z.B. die maximal zulässige Temperatur zwischen Alt-Beton und Brandschutzschicht.
- Die DIN 4102 regelt das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen im Hochbau. Eine Bewertung nach der ZTV-ING Brandkurve findet sich nicht in diesem Regelwerk.
- Eine Anwendung der ETAG 018 zur Bewertung von Brandschutzprodukten mit der Zusatzanforderung Tunnelbrand ist grundsätzlich möglich. Detailfragen für die Anwendung wären noch zu regeln.
- Die Anwendung von österreichischen Regelwerken erscheint bezüglich der Verbesserung des Brandschutzes in einem Straßentunnel sinnvoll. Eine Erstellung eines ähnlichen Regelwerks mit Geltungsbereich in Deutschland wird als wünschenswert betrachtet.

#### Variantenuntersuchung zur Brandschutzschicht

Im Rahmen einer Variantenuntersuchung wurden die verschiedenen zur Verfügung stehenden Brandschutzschichten für einen Einsatz im Rathaustunnel untersucht.

Brandschutzplatten wurden als grundsätzlich mögliche Brandschutzschicht bewertet. Trotz der vielen Vorteile, wie z.B. der geringen Konstruktionsdicke und dem hohen Vorfertigungsgrad wurden die Brandschutzplatten verworfen. Eine Inaugenscheinnahme und handnahe Prüfung der Tragkonstruktion Tunneldecke ist nicht mehr möglich. Wassereintritte in den Tunnel können nur schwer lokalisiert werden.

Die Verwendung Spritzbetons mit Polypropylenfasern als Brandschutzschicht wurde im Hinblick auf die erforderlichen umfangreichen nicht standardisierten Eignungsprüfungen zur Verarbeitung, zur Brandschutztauglichkeit und zum Verbund, dem Mangel an Referenzprojekten und der verhältnismäßig großen Schichtdicke von 6 bis 10 cm verworfen. Eine weitere Einschränkung des Lichtraumprofils wurde zudem als kritisch bewertet (vergl. Bild 4).

Die BAST-gelisteten Betonersatzsysteme PCC II/SPCC haben aufgrund Ihres Kunststoffanteil (ähnlich des PP-Faser Beton im Neubau) einen positiven Effekt auf den konstruktiven Brandschutz. Verschiedene Hersteller haben hierzu Brandversuche auch mit der ZTV-ING Brandkurve durchführen lassen. Nicht alle gelisteten Betonersatzsysteme wurden getestet oder erfüllen diese Anforderungen, wobei die wiederum Anforderungen nicht eindeutig geregelt sind. Die Verwendung eines erprobten Instandsetzungsmörtels als Brandschutzschicht wurde im Grundsatz als positiv bewertet. Aufgrund der unklaren Regelwerksituation, des Konkurrenzdrucks unter den Herstellern und der nur bedingt vorhandenen Referenzprojekte wurde die Verwendung von PCCII/SPCC als Brandschutzschicht im Straßentunnel verworfen. Die Verfasser der Regelwerke und die Hersteller seien jedoch aufgefordert, die Verwendung von Instandsetzungsmörteln als Brandschutzschicht in deutschen Straßentunneln weiter zu verfolgen.

Es gibt Brandschutz-Leichtspritzmörteln, die ursprünglich zum Schutz von Industrie- und Off-Shore-Anlagen entwickelt wurden und auch bereits mehrfach als Brandschutzputz in Tunneln eingesetzt wurden. Bei diesen Brandschutz-Leichtspritzmörteln handelt es sich um mineralisch gebundenen Spritzmörtel auf Vermiculit-Zement Basis. Der pH-Wert liegt bei den betrachteten Produkten bei 12,0 bis 12,5. Die Dichte der Leichtspritzmörtel beträgt im Endzustand zwischen 600 und 800 kg/m<sup>3</sup>, daraus resultiert eine geringe Wärmeleitfähigkeit, was eine verhältnismäßig geringe erforderliche Schichtdicke der Brandschutzschicht zur Folge hat. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde der Brandschutz-Leichtspritzmörtel als Vorzugsvariante bewertet. Den Herstellerempfehlungen folgend ist die Verwendung einer Haftbrücke und eines profilierten Edelstahlgewebes vorgesehen. Ein Verzicht auf die rückverankerte Bewehrung des Brandschutz-Leichtspritzmörtels ist ohne weiterführende Untersuchungen des Haftverbundes insbesondere bei Temperaturwechselbeanspruchungen (Frost-Tau, Gewitterregen, trockene Wärme etc.) nicht zu empfehlen. Weitere Untersuchungen / Bewertungen der Spritzmörtel auf Vermiculit-Zement Basis hinsichtlich Karbonatisierungswiderstandes werden im Hinblick auf eine Prognose der „Lebensdauer“ des Ingenieurbauwerks als wünschenswert betrachtet. Zur Verlängerung der Lebensdauer der Brandschutzschicht aus dem Vermiculit-Zement-Spritzmörtel ist die Verwendung eines Oberflächenschutzsystems OS-C denkbar. Untersuchungsergebnisse zu einer Kombination beider Systeme aus betontechnologischer und brandschutztechnischer Sicht liegen derzeit nicht vor.

## 5. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag werden die typischen Mängel an der Betonkonstruktion eines älteren Straßentunnels sowie deren mögliche Sanierung beschrieben. In Hinblick auf die Regelwerkskonformität der vorgesehenen Sanierungskonzepte zeigt sich, dass die deutschen Regelwerke hinsichtlich der brandschutztechnischen Ertüchtigung von Straßentunneln einer Fortschreibung bedürfen.

## 6. Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:  
RABT - Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln. Ausgabe 2006.
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen BAST:  
ZTV-ING – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke.  
Ausgabe 02/2017.
- [3] Gruner:  
Sicherheitsdokumentation, Phase Planung (Nachrüstung), Sicherheitstechnische Nachrüstung  
L530 Rathaustunnel Lüdenscheid. Gruner AG, 2014.

- [4] Gruner:  
Sicherheitsbewertung gemäß RABT 2006, Sicherheitstechnische Nachrüstung L530 Rathaustunnel Lüdenscheid. Gruner AG, 2014.
- [5] Ahlenberg Ingenieure:  
Prüfbericht 2013 H nach DIN 1076, Bauwerk Rathaustunnel Lüdenscheid. Ahlenberg Ingenieure GmbH, 2013.
- [6] Prüfcenter Straßen.NRW:  
Chloriduntersuchungen an den Wänden des Rathaustunnels in Lüdenscheid. Prüfbericht – Nr.: 1-11894/14, Prüfcenter Straßen.NRW, 2015.
- [7] Ingenieurbüro Maidl & Maidl:  
Überprüfung der Standsicherheit des Tunnels nach einem Brandfall: Rathaustunnel L530 – Lüdenscheid. Ingenieurbüro Maidl & Maidl GmbH & Co. KG, 2015.
- [8] Bundesanstalt für Straßenwesen BAST:  
Heft B94 Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise - Rechnerischer Nachweis. Ausgabe 05/2013.
- [9] DIN EN 1992-1-2:  
Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall: Ausgabe 12/2010.
- [10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton:  
DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Ausgabe 10/2001.
- [11] Normenreihe DIN EN 1504:  
Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken.
- [12] Normenreihe DIN 4102:  
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.
- [13] Normenreihe DIN EN 13501:  
Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten.
- [14] Normenreihe ETAG 018:  
Leitlinie für die europäisch technische Zulassung, Brandschutzprodukte.
- [15] RVS 09.01.45:  
Baulicher Brandschutz in Straßentunnel, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Ausgabe 10/2015.
- [16] öbv Richtlinie:  
Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke. Ausgabe 01/2017.

## Zu den Autoren

Dr.-Ing. Carsten Peter

Studium des Bauingenieurwesens an der Ruhr-Universität Bochum, Dissertation an der Bergischen Universität Wuppertal, seit 2014 Gesellschafter des Ingenieurbüros Maidl & Maidl  
*c.peter@imm-bochum.de*

Dipl.-Ing. Ulrich Versen

Studium des Bauingenieurwesens an der Ruhr-Universität Bochum, Bauwerksprüfer nach DIN 1076, zertifizierter sachkundiger Planer in der Betoninstandhaltung  
*u.versen@imm-bochum.de*