



Bild: BMVI/Legrand

8. BASt Tunnelsymposium

6. Juni 2018

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

Handout

Begrüßung und Eröffnung

Tunnelbau und –betrieb in Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bonn



Deutschland besitzt ein im internationalen Vergleich hervorragend ausgebautes Straßennetz. Diesen Bestand zu erhalten und dort, - wo nötig – bedarfsgerecht auszubauen, ist eine wesentliche Aufgabe. Mit dem Investitionshochlauf werden die finanziellen Spielräume für Verkehrsinvestitionen nachhaltig gesichert. Dies kommt auch dem Tunnelbau zugute.

Die Anzahl der Tunnel nimmt in Deutschland stetig zu. Deutschland kann inzwischen auf 415 Tunnel mit einer Gesamtröhrenlänge von mehr als 350 km verweisen. Davon befinden sich 269 Tunnel im Bereich der Bundesfernstraßen mit einer Gesamtröhrenlänge von fast 270 km.

Straßentunnel in Deutschland zählen mit ihrer umfangreichen Sicherheitstechnik zu den sichersten Tunneln Europas. Dieses wurde im Wesentlichen durch ein 1,2 Mrd. Euro teures Nachrüstungsprogramm, bei dem ältere Tunnel an die neuesten Sicherheitsstandards angepasst wurden, erreicht. Inzwischen müssen die ersten nachgerüsteten Tunnel wegen der geringen Lebensdauer vieler Ausrüstungsteile der betriebstechnischen Ausstattung wieder instandgesetzt oder gar erneuert werden und werden somit Teil der üblichen Erhaltungsplanung.

Weitere zukunftsweisende Entwicklungen im Tunnelbau betreffen die Nutzung der Geothermie zur Verbesserung der Verkehrssicherheit vor und in den Tunneln sowie praxisnahe Hilfestellungen zur Kostenermittlung und Kostensicherheit bei Planung und Umsetzung von Tunnelprojekten. Dabei spielt auch BIM eine tragende Rolle. Mehrere Pilotbauwerke mit unterschiedlicher Intension und Ausrichtung beleuchten Möglichkeiten und Potenziale dieser Zukunftstechnologie unter realen Bedingungen.

Aktuelles aus Forschung und Entwicklung

ECORoads - Mehr Sicherheit für den Tunnelnutzer?

Ingo Kaundinya & Christof Sistenich

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach



Kurzfassung

Im Ergebnis des europäischen Forschungsvorhabens ECORoads unter Mitwirkung der BASt sind insbesondere die Übergangsbereiche zwischen Tunnelbauwerk und freier Strecke als Abschnitte identifiziert worden, denen besondere Aufmerksamkeit im Rahmen von „Sicherheitsüberprüfungen“ zu schenken ist. Mit der im Projekt vorgenommenen Zusammenführung von Verfahren des Sicherheitsmanagements für die Straßenverkehrsinfrastruktur und für die Tunnelsicherheit gemäß europäischer Richtlinien besteht nun ein integrierter Ansatz für eine zukünftige Anwendung nach dem nationalen Regelwerk sowohl in Tunneln als auch den Übergangsbereichen zur freien Strecke.

1. Einleitung und Hintergrund

Zum Schutz der Verkehrsteilnehmer ist eine sichere Gestaltung der Verkehrsinfrastrukturen unverzichtbar. In Bezug auf die Straßeninfrastruktur haben Straßentunnel eine besondere Bedeutung, da im Vergleich zur freien Strecke auch schon kleinere Ereignisse größere Auswirkungen nach sich ziehen können, verbunden mit weiteren negativen Einflüssen auf die Verfügbarkeit einer hochbelasteten Straßeninfrastruktur.

Im Rahmen des von der europäischen Kommission geförderten Projekt ECORoads (Effective and Coordinated Road Infrastructure Safety Operations), www.ecoroadsprojekt.eu, ein Horizon 2020 Projekt, das von einem Konsortium aus insgesamt 16 Partnern unter Beteiligung der BASt durchgeführt wurde, wurde ein praktischer Ansatz für gemeinsame Sicherheitsüberprüfungen sowohl in Tunneln als auch in den Übergangsbereichen zur freien Strecke, wobei der Schwerpunkt auf der Verkehrssicherheit liegt, entwickelt [1]. Dabei befasst sich die im Rahmen von ECORoads vorgeschlagene Methodik mit der Ermittlung, Analyse und Bewertung von Schwachstellen insbesondere im Übergangsbereich zwischen freier Strecke und Tunnel, welche sich nach dem derzeitigen Regelwerk als „Unstetigkeitsstelle“ darstellt, da sich der Anwendungsbereich europäischer Richtlinien mit Anforderungen an die Sicherheit in Tunneln [2] und der freien Strecke [3] bei formaler Auslegung gegenseitig ausschließen (Bild 1).

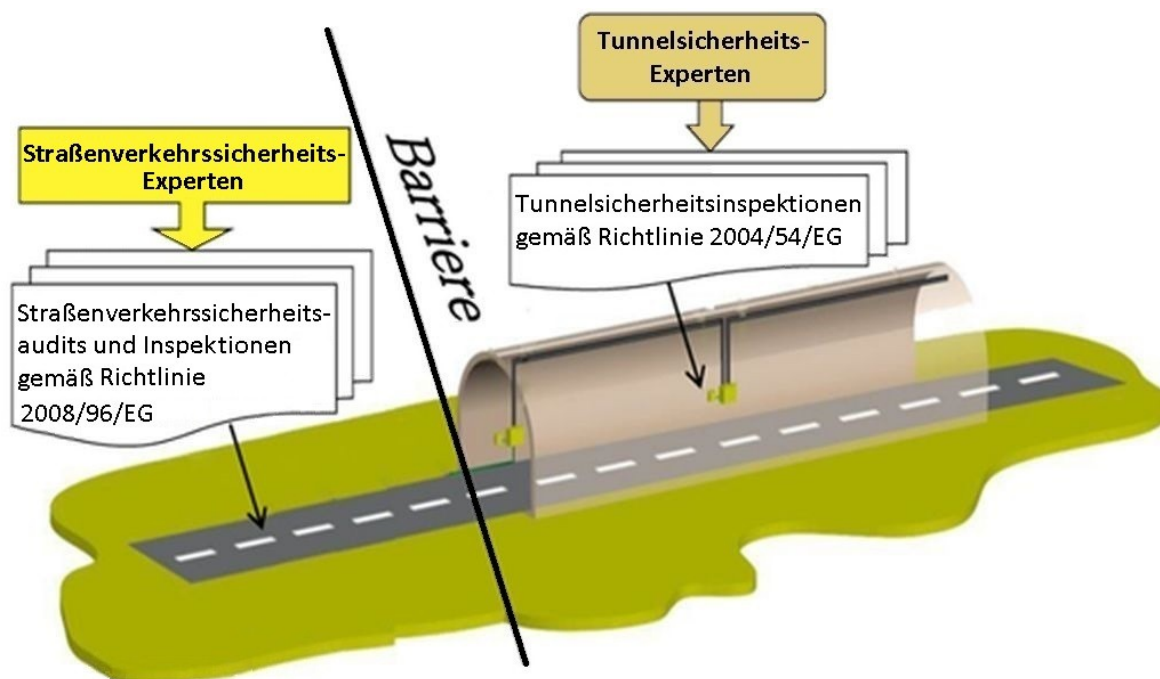


Bild 1: Derzeitiger Status der Richtlinien 2008/96/EG und 2004/54/EG [1]

Mit dem entwickelten Untersuchungsansatz, der Zusammenführung von Konzepten zur Verkehrssicherheit und Tunnelsicherheit, besteht nunmehr ein integrierter Ansatz für eine spätere Anwendung im Rahmen von „Wiederkehrenden Inspektionen“ nach Tunnelrichtlinie bzw. „Sicherheitsüberprüfungen“ nach Infrastrukturrichtlinie sowohl in Tunneln als auch auf der freien Strecke, wobei der Schwerpunkt auf der Verkehrssicherheit liegt. Der Wert des Ansatzes liegt insbesondere in der Festlegung der Übergangsbereiche, der an der Inspektion Beteiligten sowie deren Aufgaben und Zuständigkeiten bei der Durchführung von gemeinsamen Sicherheitsüberprüfungen durch Verkehrssicherheits- und Tunnelsicherheitsexperten.

2. Leitfaden

Die Projektergebnisse von ECORoads [1] wurden durch den BASt in einem „Leitfaden für die Durchführung von Inspektionen zur Verkehrssicherheit auf Streckenabschnitten mit Tunneln“ zu praxisorientierten Handlungsempfehlungen zusammengefasst. Diese werden ergänzt durch Checklisten zur umfassenden Ermittlung des Ist-Zustandes als Grundlage für weitere Maßnahmen und Empfehlungen.

Literaturverzeichnis

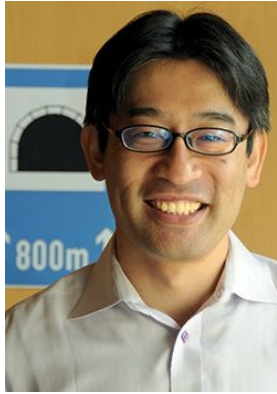
- [1] ECORoads Deliverable D6.2 „Guidelines and recommendations“, <http://www.ecoroadsproject.eu/library?id=59>, 31.05.2017
- [2] Richtlinie 2004/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz, Amtsblatt der Europäischen Union vom 7.6.2004, Seiten L 201/56 bis L 201/76
- [3] Richtlinie 2008/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßeninfrastruktur, Amtsblatt der Europäischen Union vom 29.11.2008, Seiten L 319/59 bis L 319/67

Längsneigungsabhängige modellmaßstäbliche Rauchausbreitungsuntersuchungen

Shoichi Kume¹, Christof Sistenich², Felix Wawrzyniak²

¹Hanshin Expressway Company Ltd., Osaka, (Jap)

²Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach (D)



Kurzfassung

1. Aufgabenstellung

Wesentliche Aufgabe der Tunnellüftung im Brandfall ist die Verringerung von Rauch und Hitzeeinwirkungen im Tunnel, um die Selbstrettung der Tunnelnutzer auf den gegebenen Fluchtwegen zu ermöglichen. Dabei soll die Lüftung bereits in der Brandentstehung die Rauchausbreitung so beeinflussen, dass der Tunnelnutzer durch den Rauch möglichst nicht beeinträchtigt wird und den Tunnel sicher verlassen kann. Insbesondere in städtischen Straßentunneln kann die wirksame Beeinflussung der Rauchausbreitung dann eine Herausforderung darstellen, wenn bei Richtungsverkehr sich Fahrzeuge in den Tunnel zurückstauen und am Stauende ein Brand entsteht, hinter dem sich weitere Fahrzeuge aufstauen. Der Rauch kann dann wie bei Gegenverkehr nicht einseitig abgetrieben werden sondern sollte durch Unterdrückung der Rauchausbreitung möglichst im Bereich des Entstehungsorts gehalten werden. Das Hauptziel der Untersuchung ist, das Verhalten der Rauchströmung unter dem Einfluss einer Tunnellängsneigung und einer von der Lüftung erzeugten, dem Auftrieb der Rauchgase entgegengesetzt gerichteten Längsströmung aufzuzeigen. Das zugrunde gelegte Szenario stellt einen Pkw-Brand mit einer Brandleistung von 5 MW in einem Tunnel mit gestauten Fahrzeugen auf beiden Seiten des Brandorts dar. Auf der Basis modellmaßstäblicher Versuche und begleitender numerischer Berechnungen sollen im Ergebnis Erkenntnisse für die Steuerung der Lüftung abgeleitet werden. Es sollen diejenigen von der Lüftung zu erzeugenden Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt werden, mit denen sich die Rauchausbreitung am wirkungsvollsten beeinflussen und das Absinken des Rauchs im Bereich der Tunneldecke möglichst lange hinauszögern lässt.

2. Untersuchungsansatz

Im Rahmen der Studie werden experimenteller Untersuchungen in einer modellmaßstäblichen Tunnelumgebung (Modelltunnel) im Maßstab 1:18 zum Rauchausbreitungsverhalten bei einer Längsneigung von 0 % und 3 % sowohl ohne als auch mit einer von der Lüftung erzeugten tunnelabwärts gerichteten Gegenströmung mit einer Geschwindigkeit von

0,12 m/s (entsprechend 0,5 m/s im realen Tunnel) und 0,24 m/s (1,0 m/s) durchgeführt. Temperatur bzw. Auftriebsverhalten und optische Dichte des realen Brandrauchs wird im Modelltunnel durch ein Gasgemisch aus Luft, Helium und Tracerpartikeln nachgestellt und die Strömungsverhältnisse mittels eines lasergestützten Mess- und Auswerteverfahrens ermittelt. Bei einer modellmaßstäblichen Versuchsdurchführung lassen sich die Strömungsgeschwindigkeiten und das Auftriebsverhalten realer Brandgase in der Realität mittels Ähnlichkeitsbedingungen im Modell anpassen. Da durch den Modelltunnel lediglich für den vom Brandort gesehen tunnelaufwärts gerichteten Tunnelbereich die experimentelle Untersuchung der Fluchtbedingungen möglich war, sollen fehlende Daten im tunnelaufwärts gerichteten Bereich über eine Simulation ermittelt werden. Der Untersuchungsansatz sieht hierfür die Entwicklung eines geeigneten Simulationsmodells in mehreren Schritten und deren Validierung anhand der experimentellen Ergebnisse vor. Auf Basis dieser Ergebnisse soll durch die Simulation in dem vom Brandort gesehenen abwärtsgerichteten Bereich bis zum nächsten Notausgang die Rauchausbildung auch für diesen Tunnelbereich abgebildet werden. Die Ergebnisse der Rauchausbildungssimulationen bei unterschiedlicher Höhe der Rauchsichtung sollen mit den Positionen flüchtender Tunnelnutzer überlagert werden um diejenige tunnelaufwärts gerichtete Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln, bei der günstige Fluchtbedingungen am längsten erhalten bleiben.

3. Untersuchungsergebnisse

Auf Basis der gewonnenen Versuchsergebnisse konnte ein Simulationsmodell entwickelt, validiert und um einen Bereich unterhalb des Brandortes bis zum nächsten Notausgang erweitert werden. Hierdurch konnte die Rauchausbildung zu beiden Seiten des Brandortes abgebildet werden und die Fluchtbedingungen zu den oberhalb und unterhalb des Brandortes gelegenen Notausgängen ermittelt werden. Durch Überlagerung der Rauchausbildung mit der Bewegung der flüchtenden Tunnelnutzer konnte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der tunnelaufwärts gerichteten Längsströmung von Raucheinwirkungen unbeeinflusste Bereiche ermittelt werden, die den Tunnelnutzern eine sichere Flucht zum nächsten Notausgang ermöglichen. Die Simulation ermöglichte weiterhin eine Einschätzung der Rauchausbildung in Augenhöhe des Flüchtenden. Aus den Ergebnissen lässt sich numerisch eine ideale Längsluftströmung von 0,5 m/s verifizieren, die eine sichere Selbstrettung in Brandsituationen in Tunneln mit einer Neigung von 3 % unterstützt.

4. Folgerungen für die Praxis

Im Falle eines Brandes in einem Straßentunnel mit Längslüftungssystem sollte die Lüftung bereits zu einem sehr frühen Brandzeitpunkt die Rauchausbildung so beeinflussen, dass sichere Selbstrettungsbedingungen für den Tunnelnutzer erreicht und während der Selbstrettungsphase gehalten werden können. Aus den gewonnenen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass für reale Gegenverkehrs- und staugefährdete Richtungsverkehrstunnel eine abwärtsgerichtete Längsströmung von 0,5 m/s bei einer Neigung von 3% zur Schaffung günstiger Fluchtbedingungen bei einem Brand von 5 MW anzustreben wäre.

Weitere Untersuchungen bei anderen Längsströmungen und Brandleistungen werden jedoch notwendig sein, da zu erwarten ist, dass die geeignete Längsströmung in Abhängigkeit von Längsneigung und Brandleistung variieren wird.

Grundlagen für Planung und Bau

Betriebstechnisches Regelwerk für Straßentunnel Stand der Fortschreibung

TOAR Martin Kostrzewa

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) , Bonn



Zusammenfassung

Die Vorgaben zur Festlegung der technischen Ausstattung von Straßentunneln in Deutschland sind in den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Ausgabe 2006 geregelt. Diese wurde vom zuständigen Arbeitsausschuss der FGSV überarbeitet, jedoch entschied sich das BMVI aufgrund nicht rechtssicherer Anforderungen, den fortgeschriebenen Entwurf der RABT aus dem Jahr 2016 nicht für den Bundesfernstraßenbereich einzuführen. Stattdessen wurde dieser in Abstimmung zwischen FGSV und BMVI in eine Empfehlung für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h (EABT-80/100) überführt.

Eine Unterarbeitsgruppe Tunnelbetrieb des Koordinierungsausschusses Entwurf erarbeitet derzeit den Teil 3 Tunnel der Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten (RE-ING), in dem die Anforderungen des Bundes an die Tunnelausstattung zukünftig festgelegt werden. Mit seiner Fertigstellung soll dieser die RABT, Ausgabe 2006, als Regelwerk ersetzen.

Kostenansätze für Straßentunnel

Dr.-Ing. Götz Vollmann

Ruhr-Universität Bochum - Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Bochum



Kurzfassung

Die Kostenermittlung von Tunnelbauwerken unterliegt zahlreichen Unsicherheiten, aus denen Abweichungen zwischen den geplanten und den festgestellten Kosten resultieren können. Derzeit existiert kein aktuelles Modell zur Kostenschätzung eines Tunnelbauwerks. In diesem Beitrag werden die Untersuchungen des Forschungsvorhabens FE 15.0577/2012/FRB „Verfahren für Kostenansätze von Straßentunnel“, welches durch die BASSt beauftragt und durch das BMVI begleitet wurden, kurz vorgestellt. Der Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität Bochum, unterstützt durch die Ingenieurbüros Schüssler-Plan und BUNG, untersuchte dabei die Kostenentwicklung in den einzelnen Phasen von Straßentunnelprojekten der jüngeren Zeit. Neben einer Analyse der baubegleitenden Risiken wurde aus der Vielzahl der Daten ein stochastisches, softwaregestütztes Rechenmodell entwickelt, mit dem künftige Kostenschätzungen und -berechnungen exakter durchgeführt werden können.

1. Untersuchungskonzept

Im Rahmen der Untersuchungen wurde zunächst ein Blick auf die Entstehung von Kostensteigerungen in den einzelnen Projektphasen geworfen sowie die zu untersuchenden Dokumente von 17 Straßentunnelprojekten ermittelt (siehe Bild 1). In einem weiteren Schritt wurden Basisvarianten sowie neue einheitliche Kostenstrukturen, in Anlehnung an den E-RABT 2016 [1], die RABT 2006 [2] i. V. m. der ZTV-ING Teil 5 [3], entwickelt. Dies ermöglichte eine projektübergreifende Analyse und war für ein allgemein einsetzbares Tool zur Prognose der Projektkosten notwendig.

Vor der eigentlichen Entwicklung der Modelle und Tools wurden Vorab-Analysen durchgeführt. Zuerst wurden die wesentlichen Preisdifferenzen in den Bieterpreisen sowie die Bandbreiten der Bieterpreise für eine anschließende zielgerichtete Datenauswertung analysiert und ausgewertet. Anschließend wurde für alle Projekte die Kostensteigerung über den Projektverlauf analysiert und berechnet. Die Ergebnisse der Vorab-Analysen gingen zur Berechnung des wirtschaftlichsten Preises und des Preises einschließlich Risiko, als Kostensteigerung, in die Berechnungen des entwickelten Kostenberechnungs-Tools ein.

	Planung	Ausschreibung / Vergabe	Schlussrechnung
Dokumente	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Kostenschätzung</u> und <u>Kostenberechnung</u> • STUVA-Untersuchungen (1996) 	<ul style="list-style-type: none"> • Submissions-ergebnisse (<u>Preisspiegel</u> und <u>Leistungsverzeichnisse</u>) • Anfrage-LVs 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Schlussrechnung</u> bzw. Abschlagszahlungen • <u>Nachträge</u> (positionsscharf) einschließlich Anspruchsgrundlagen • <u>Experteninterviews</u>
Analysen	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich der Kosten • Analyse der Abweichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich der Bieterpreise / Marktpreise (Positionsebene) • Neustrukturierung • Einheitspreise 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Nachträge und Vergleich mit den Vergabedaten • Ermittlung und Bewertung von Nachtragsrisiken

Bild 1: Struktur der Kostenanalyse

2. Untersuchungsergebnis

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Hilfsmittel zur Kostenprognose, jeweils für die geschlossene und die offene Bauweise sowie für die betriebstechnische Ausstattung als Berechnungs-Tools entwickelt. Diese wurden um ein Risiko- und ein Lebenszykluskosten-Tool ergänzt.

Die ersten entwickelten Hilfsmittel sind **Kostendiagramme**, welche zur groben Bestimmung eines ersten Kostenrahmens eingesetzt werden können. Diese ermöglichen in Abhängigkeit der Bauweise, des Regelquerschnitts, der Tunnellänge und einer Einstufung nach Schwierigkeitsgraden die Abschätzung eines ersten groben Rohbaupreises des reinen Tunnelbauwerks als Nettopreis. Im Rahmen einer ersten Validierung wurde eine Genauigkeit von in etwa $\pm 40\%$, bezogen auf das Submissionsergebnis, ermittelt.

Die zweite Entwicklung sind **Kostenschätz-Tools**, welche für eine erste grobe Kostenschätzung eingesetzt werden können. Das Tool basiert auf Excel und ermöglicht im Vergleich zu den Kostendiagrammen eine etwas detailliertere Berechnung der Tunnelrohbaukosten (Netto). Im Rahmen einer ersten Validierung wurde eine Genauigkeit von in etwa $\pm 25\%$, bezogen auf das Submissionsergebnis, ermittelt.

Die dritte Entwicklung sind **Kostenberechnungs-Tools**, welche auf Basis der Angaben aus einer Machbarkeitsstudie angewendet werden können. In diesem Tool sind jegliche analysierten Daten (Nettopreise der einzelnen Bieter) hinterlegt und werden automatisch statistisch ausgewertet. Eine zukünftige Ergänzung des Tools durch weitere Daten ist möglich und aufgrund der sich stetig ändernden Marktsituation sinnvoll. Als Ergebnis erhält der Anwender den häufigsten Preis (Netto) als Wert und als Häufigkeitsverteilung. Zudem kann der voraussichtliche wirtschaftlichste Preis sowie ein Preis einschließlich eines Risikozuschlags angezeigt werden. Im Rahmen einer ersten Validierung konnte eine Genauigkeit von $\pm 3\%$ erreicht werden. Die in nachfolgendem Bild 2 dargestellte Häufigkeitsverteilung zeigt

exemplarisch das Ergebnis. Die angegebenen Genauigkeiten basieren auf einer ersten Validierung anhand eines Projekts mit einem Regelquerschnitt 10,5 T (11t) (RABT 2006 (2016)).

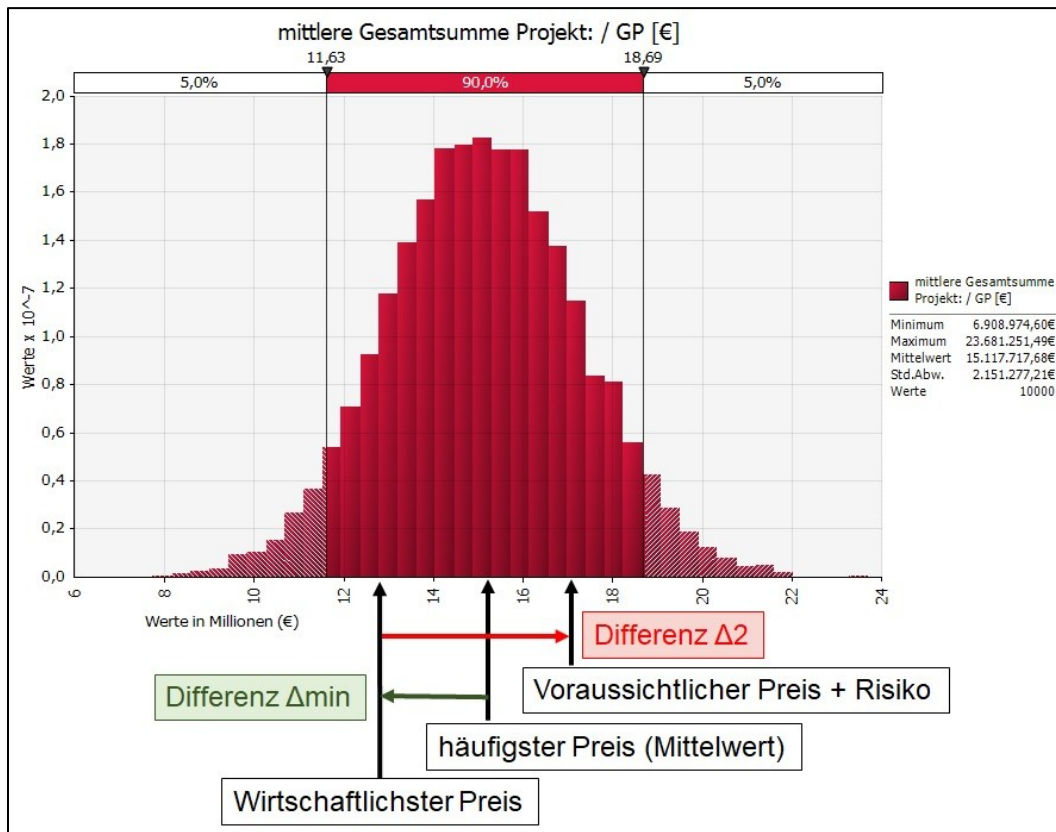


Bild 2: Ergebnis des Kostenberechnungs-Tools als Häufigkeitsverteilung

Literaturverzeichnis - *Bibliography*

- [1] E-RABT 2016, Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (Entwurf), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln, Entwurf 2016, noch nicht veröffentlicht.
- [2] RABT 2006, Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln, Ausgabe 2006.
- [3] ZTV-ING Teil 5, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Stand 2018/01.

Feste Fehmarnbeltquerung – Herausforderungen bei Planung, Bau und Betrieb des Tunnels

Dipl.-Ing. Friedrich Hilgenstock

WTM Engineers International GmbH, Hamburg,
Rambøll-Arup-TEC JV und Femern A/S, Kopenhagen



Kurzfassung

Seit dem 19. Jahrhundert gibt es Bestrebungen für eine gut ausgebaute Verbindung zwischen Fehmarn, Deutschland und Lolland, Dänemark. Auch im aktuellen europäischen Verkehrsnetzplan hat der Ausbau der Verbindung eine hohe Priorität, wie schon die Einstufung der Hinterlandanbindung als vordringlicher Bedarf im neuen Bundesverkehrswegeplan 2030 zeigt.

Die Umsetzung des Vorhabens soll als feste Verbindung in Form einer Absenktunnellösung ausgeführt werden. Aufgrund der Länge und Lage der Verbindung des Unterwassertunnels sind diverse Herausforderungen in Planung, Bau und Genehmigung anzunehmen.

1. Planerische und bauliche Herausforderungen

1.1 Geologie

Sowohl auf der deutschen als auch auf der dänischen Seite fallen die küstennahen Bereiche seicht ab. Der zentrale Bereich im Belt ist annähernd eben. Die deutsche Seite charakterisiert sich durch paläogenen Ton und Geschiebemergel und das Zentralbecken durch Gyttja, Sand, Schluff und Ton. Auf der dänischen Seite dominieren dicke Ablagerungen von Geschiebemergel.

Die Topographie ist sehr gut für einen Absenktunnel geeignet. Die anstehenden Bodenschichten verlangen jedoch eine sorgfältige Berücksichtigung, um langfristiges Setzungs- und Hebevverhalten in dem Bauwerk aufnehmen zu können.

1.2 Bauwerk

Auch die Länge des Tunnels führt zu Herausforderungen, die bei bisherigen Absenktunneln noch nicht aufgetreten sind.

Neben einem Sicherheitskonzept, welches dieser Länge Rechnung trägt, bedarf auch die Versorgung des Tunnels mit Strom, Luft, Löschwasser und Entwässerung neuer Konzepte. Bei einem Tunnel von 18 km Länge ist eine zentrale Versorgung von den Portalen allein aus nicht möglich. Da der Tunnelquerschnitt so optimiert ist, dass er vollständig für die reguläre Nutzung gebraucht wird, wurden neben den Standardelementen Spezialelemente entwickelt,

die Räumlichkeiten außerhalb des normalen Querschnitts für eine dezentrale Unterversorgung bieten. Aus den Spezialelementen wird auch die Sprühwasserlöschanlage versorgt, die die langen Eingriffszeiten der Rettungskräfte kompensiert.

2. Genehmigungstechnische Herausforderungen

Im Falle der Festen Fehmarnbeltquerung treffen eine Reihe von Faktoren aufeinander, welche das Genehmigungsverfahren besonders komplex werden lassen:

- Als Verbindung zwischen Dänemark und Deutschland sind zwei nationale Genehmigungsverfahren erforderlich.
- Infolge der Querung der Ostsee sind auch internationale Vereinbarungen betroffen, die Genehmigungsverfahren erfordern.
- Die Tunneltrasse quert das FFH-Gebiet „Fehmarnbelt“.
- Durch die Kombination einer Straßen- und Bahnverbindung in einem Tunnelbauwerk treffen zwei Vorhaben aufeinander, die in einem gemeinsamen Verfahren genehmigt werden müssen.
- Die Betrachtung der Umweltverträglichkeit wiederum ist nicht auf nationale Grenzen beschränkt.



Bild 1: Absenkvorgang eines Elements auf das Fundamentbett

Literaturverzeichnis – *Bibliography*

- /1/ Morgen, K.; Hilgenstock, F.: Aktueller Planungsstand der festen Fehmarnbeltquerung - ein 18 km langer Unterwassertunnel. In: Bautechnik 98 (2012), Heft 7, S. 492-501.
- /2/ Europäische Kommission: Trans-European Transport Network TENTEC. <http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/en/maps.html>, 2015-07-10.
- /3/ Morgen, K.; Hilgenstock, F.: Die Feste Fehmarnbeltquerung. In: Jahresausgabe VDI-Bautechnik 2015/2016 der Fachzeitschrift „Bauingenieur“, S. 41–46.
- /4/ Femern A/S: Konsolidierter technischer Bericht. Kopenhagen, 2011.
- /5/ Femern A/S: Genehmigung in Dänemark. www.femern.de.
- /6/ Morgen, K.; Hilgenstock, F.: Fehmarn-Belt-Fixed-Link, ein 18 km langer Unterwassertunnel, In: Münchner Tunnelbausymposium, 2016

Tunnelbetrieb

Risikobewertung unterschiedlicher Längslüftungsstrategien bei Bränden in Richtungsverkehrstunneln mit Verkehrsstau

Dipl.-Ing. Bernhard Kohl

ILF Consulting Engineers, Linz (A)



Kurzfassung

Die Vorliegende Studie untersucht die Wirkung unterschiedlicher Längslüftungsstrategien auf die Personensicherheit bei Tunnelbränden in Richtungsverkehrstunneln während eines Verkehrsstaus. Dazu wird anhand des österreichischen Tunnelrisikomodels TuRisMo [1] das Schadensausmaß eines 30 MW Brandes in einem 1.200m langen Modelltunnel analysiert. Die Wirkung fünf generischer Längslüftungsstrategien (Tabelle 1) auf die Personensicherheit bei Tunnelbränden, wird für unterschiedliche Verkehrsszenarien (frei fließender Verkehr, Stop-And-Go-Verkehr und Vollstau) sowie unterschiedliche Tunnelgeometrien (Tunnellänge, Notausgangsabstand) verglichen.

Tabelle (1): Strategien zur Lüftung im Ereignisfall

Strategien zur Lüftungssteuerung im Ereignisfall	Zielströmungsgeschwindigkeit
Lüftung mit hoher Geschwindigkeit [2]	6,0 m/s
Lüftung mit kritischer Geschwindigkeit [3] [4]	3,0 m/s
Lüftung mit geringer Geschwindigkeit [3] [4]	1,25 m/s
Shut-Down-Lüftung [5]	Abschalten der Strahlventilatoren nach Branddetektion
Zero-Flow-Lüftung [5]	0 m/s

Die Ergebnisse bestätigen die Anwendung gängiger Längslüftungsstrategien (Lüftung mit kritischer Geschwindigkeit bei frei fließendem Verkehr bzw. Lüftung mit verminderter Geschwindigkeit bei stockendem Verkehr). Zusätzlich konnte aufgezeigt werden, dass alternative Lüftungsstrategien (Zero-Flow-Lüftung und Lüftung mit hoher Geschwindigkeit) bei besonderen Parameterkonstellationen (lange Tunnel, langer Notausgangsabstand, Vollstau) eine deutliche Reduktion des vergleichsweise hohen Schadensausmaßes bei Tunnelbränden während eines Verkehrsstaus bewirken können (Bild 1).

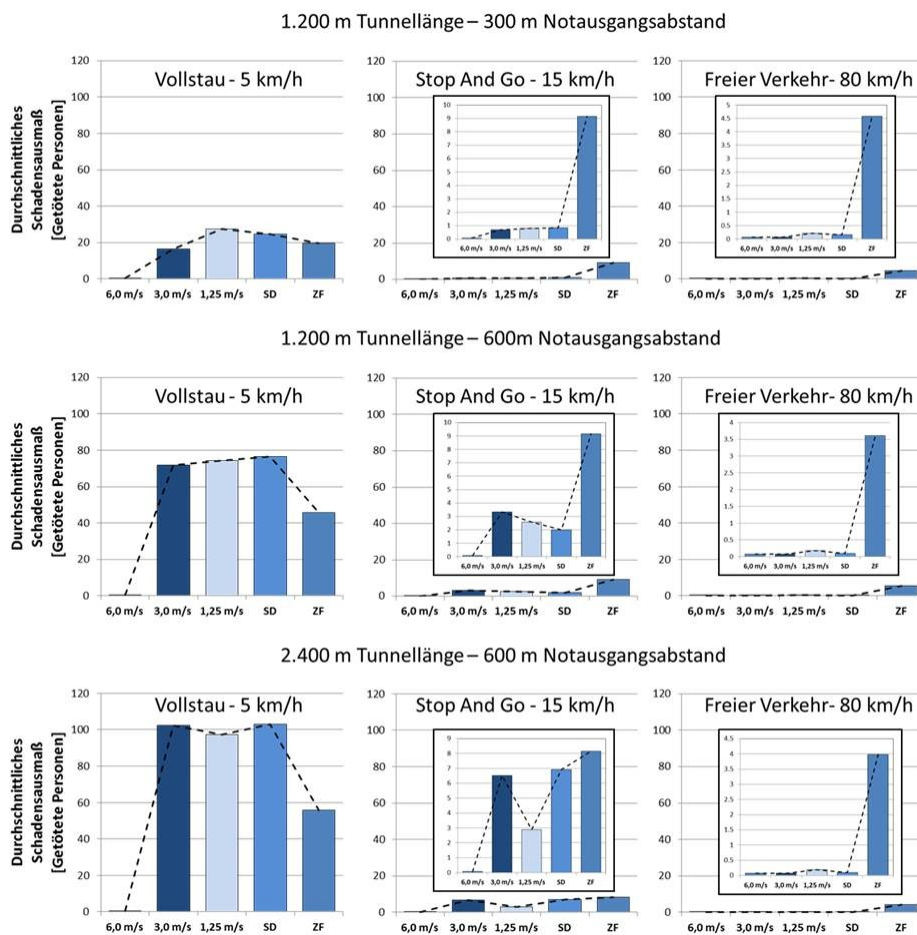


Bild 1: Schadensausmaßwerte der Längslüftungsstrategien für unterschiedliche Kombinationen aus Verkehrszustand und Modelltunnelgeometrie

Literaturverzeichnis – Bibliography

- [1] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, „RVS 09.03.11 Tunnelrisikomodel,“ Wien, 2015.
- [2] Brand R., “Benefits from longitudinal ventilation at fires in bidirectional road tunnels without emergency exits“, 17th ISAVFT, BHR Group, Lyon, 2017.
- [3] Deutsche Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, „RABT 2006 – Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln,“ Köln, 2006.
- [4] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, „RVS 09.02.31-Tunnelausrüstung-Ventilationssysteme,“ Wien, 2014.
- [5] Nakahori I, Sakaguchi T, Kohl B, Forster C and Vardy AE, „Risk assessment of zero-flow ventilation strategy for fires in bidirectional tunnel with longitudinal ventilation“, 16th ISAVFT, BHR Group, Seattle, 2015.

Pilotprojekt Tunnelsimulator Baden-Württemberg

Nikolaus Wolf

Regierungspräsidium Tübingen, Stuttgart



Kurzfassung

Vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur wurden insgesamt drei bundesweite Pilotprojekte „Tunnelsimulator“ genehmigt. Zwei davon in Nordbayern und einer in Baden-Württemberg.

Der Tunnelsimulator in Baden-Württemberg spiegelt die bestehende Tunnelbetriebstechnik in der Visualisierungsoberfläche der Betriebstechnik eins zu eins wieder. Bedient man den Tunnelsimulator, so ist die Reaktion ausgelöster Schaltungen mit den identischen Reaktionen versehen, wie die im Echtbetrieb befindliche Tunnelbetriebstechnik im Tunnel. In der Praxis sollen künftig alle betriebstechnischen Nachrüstungen von unter Verkehr nachzurüstenden und neu zu bauenden Straßentunneln erst auf dem Tunnelsimulator auf Herz und Nieren geprüft werden. Nach bestandenen Tests werden die Änderungen/ Erweiterungen an der betriebstechnischen Ertüchtigung in die bestehende Tunnelbetriebstechnik eingespielt. Mit diesem Vorgehen wird die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer und die Leichtigkeit des Verkehrs noch erhöht. Durch weitere Tests vor Ort wird das Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Technik gestärkt.

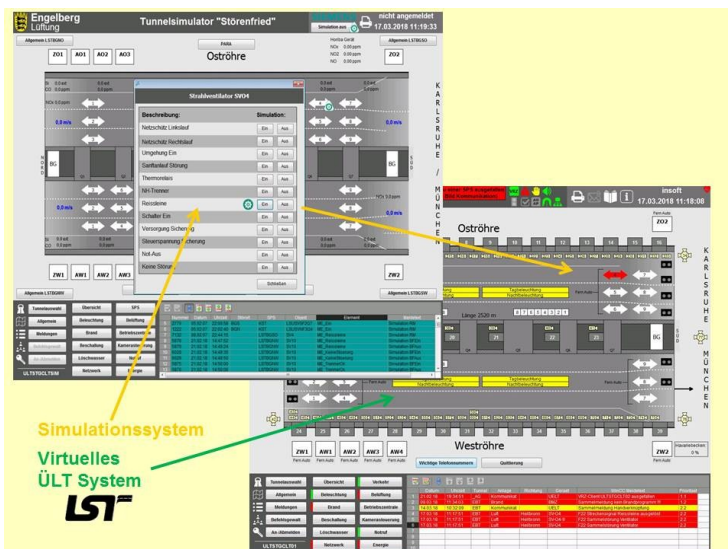


Bild 1: Benutzeroberfläche des Tunnelsimulators

Pilotprojekt Tunnelsimulator in Nordbayern

Dipl.-Ing. (FH) Walter Jäger & Hauptstraßenmeister Frank Heim

Autobahndirektion Nordbayern, Nürnberg



Kurzfassung

Pilotprojekt Tunnelsimulator im Bereich der Autobahndirektion Nordbayern

1. Sachstand

Den Auftakt der Tunnelsimulation im Bereich der Autobahndirektion Nordbayern stellte das erste realisierte Pilotprojekt am Bestandstunnel Schwarzer Berg an der BAB A70 bei Eltmann dar. Verursacht durch den Neubau des Katzenbergtunnels an der BAB A3 bei Würzburg wurde die Erweiterung des Tunnelsimulators beauftragt und mittlerer Weile realisiert. Derzeit läuft die Realisierung des Tunnelsimulators für die Einhausung Goldbach/Hösbach an der BAB A3 bei Aschaffenburg.

2. Ziele und Anforderungen

Die Auslegung des Tunnelsimulators Nordbayern erfolgte auf Grundlage der mit dem BMVI abgestimmten Ziele und Anforderung aus der Länderarbeitsgruppe Tunnelsimulation. Insbesondere standen hier eine sichere Bedienbarkeit sowie die ausführlichen Datenpunkt- und Softwaretests im Mittelpunkt des Interesses

3. Erfahrungen

Im Bestandstunnel Schwarzer Berg kam der Tunnelsimulator bereits bei der SPS-Erneuerung im Jahr 2014 sowie der Optimierung der dort äußerst komplexen Lüftersteuerung in den Jahren 2015 und 2016 zum Einsatz. Durch die ausführlichen Vorprüfungen im Tunnelsimulator und der daraus resultierenden Anpassungen vor Einsatz im Realsystem, konnten beide Maßnahmen reibungslos und ohne Verzögerungen umgesetzt sowie die volle Verfügbarkeit des Tunnels in Idealzeit wiederhergestellt werden. Im Zuge des Neubaus des Katzenbergtunnels wurde der Tunnelsimulator u.a. mit dazu genutzt die Variationen der Brandlüftung zu simulieren. Im Verfahren der beschleunigten Inbetriebnahme zeigte sich der Tunnelsimulator als ideales Werkzeug für die Vorprüfung der Steuerung vor dem Einsatz im Realsystem. Hierdurch konnten enorme Zeiteinsparungen in der Probetriebsphase erzielt und eine zeitnahe Verkehrsfreigabe herbeigeführt werden. Die Inbetriebnahme sowie die Verkehrsfreigabe der Nordröhre verliefen daraufhin problemlos und zügig ab.

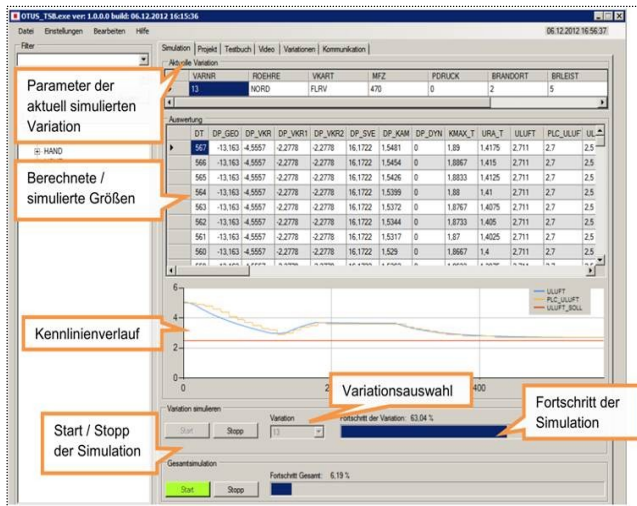


Bild 1: Durchführung von simulierten Variationen der Brandlüftung

Mit dem laufenden Projekt des Tunnelsimulators für die Einhausung Goldbach/Hösbach soll die ideale Vorbereitung für die anstehende sehr komplexe SPS-Erneuerung geschaffen werden. Auf Grund des enorm hohen Verkehrsaufkommens von über 96.000 Kfz/d und fehlender leistungsfähiger Umleitungsstrecken muss diese SPS-Erneuerung ohne Vollsperrung der Einhausung im laufenden Betrieb erfolgen. Durch die große Anzahl von besonderen Charakteristiken, wie z.B. die 1.184 Fenster zur Entrauchung im Brandfall, stellt dieses laufende Projekt einen erneuten Meilenstein in der Realisierung der Tunnelsimulation dar. Zur sicheren Bedienbarkeit ist die Bedienoberfläche des Tunnelsimulators identisch zur realen übergeordneten Leittechnik in der Verkehrs- und Betriebszentrale Nordbayern. Zudem besteht eine Verbindung zur ebenfalls simulierten Verkehrssteuerung. Hierdurch ergibt sich ein hervorragendes Werkzeug für die Schulung der Operatoren, da es zu keinerlei Eingriff ins Realsystem kommen kann. Hiermit kann ein handhabungssicherer und zügiger Ablauf auftretender Ereignisse gemäß den Vorgaben des Alarm- und Gefahrenabwehrplans trainiert und ausgewertet werden. Durch die Ergänzung mit einem weiteren Schulungsmodul am Tunnelsimulator Nordbayern soll die Effektivität in naher Zukunft noch weiter erhöht werden.

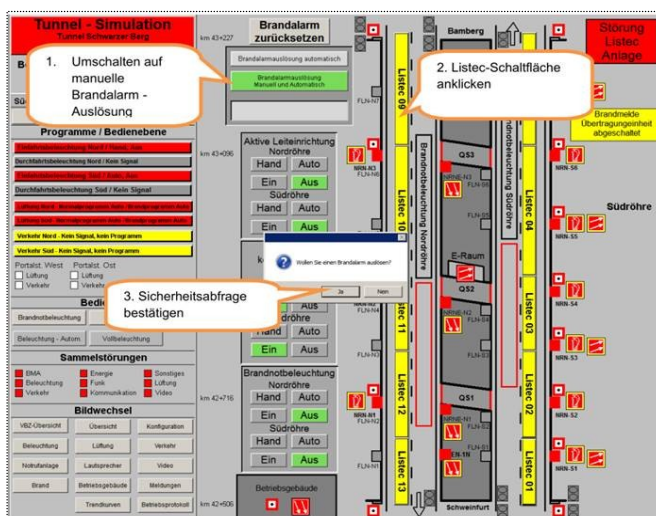


Bild 2: Bedienoberfläche des Tunnelsimulators am Beispiel Tunnel Schwarzer Berg

**Aktuelle Projekte aus Instandsetzung
und Nachrüstung**

Chloridbelastung von Tunnelinnenschalen, Analyse, Vorbereitung, Instandsetzung und Konsequenzen für den Neubau

Prof. Dr.-Ing. Uwe Willberg, Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka

Autobahndirektion Südbayern und Ingenieurbüro Schießl-Gehlen-Sodeikat, München



Kurzfassung

1. Ausgangssituation

Im Zusammenhang mit den Tunnelnchrüstungen nach RABT 2006 wurde der bauliche Zustand verschiedener Tunnel im Zuständigkeitsbereich der Autobahndirektion Südbayern untersucht.

2. Chloridbelastung der Tunnelinnenschalen

Beim in bergmännischer Bauweise hergestellten Tunnel Farchant im Zuge der B2 neu wurden nach rund 10 Jahren in der ersten Tiefenlage (10 mm) stark erhöhte Chloridwerte von bis zu 2,7 M.-%/z und in der zweiten Tiefenlage (23 mm) von bis zu 1,9 M.-%/z festgestellt. In der dritten Tiefenlage (38 mm) lagen die Chloridgehalte größtenteils im unkritischen Bereich (< 0,3 M.-%/z). Aktive Korrosion wurde noch nicht festgestellt.

Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede in Bezug auf die beim Bau verwendeten Bindemittelkombinationen. Die Verwendung von CEM II/B-S in Kombination mit Flugasche führte im Vergleich zu CEM I zu deutlich niedrigeren Chloridgehalten im Beton, insbesondere in den größeren Tiefenlagen. Eine deutliche Abhängigkeit der Chloridwerte vom Abstand zum Tunnelportal konnte trotz der Länge von mehr als 2 Kilometern nicht festgestellt werden.

Bei den Tunneln Eching und Etterschlag im Zuge der A 96 Lindau – München in der Nähe des Ammersees wurden nach ca. 20-jähriger Nutzung sehr hohe Chloridwerte festgestellt. An den Schlitzrinnen und Notgehwegen war die daraus resultierende Bewehrungskorrosion bereits so weit fortgeschritten, dass die Schlitzrinnen ausgetauscht und die Notgehwege zumindest teilweise abgebrochen und neu hergestellt werden mussten.

Der Chloridgehalt in den Tunnelwänden lag auf der Höhe der Bewehrung z. T. ebenfalls deutlich über dem kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehalt für die verwendete Betonstahlbewehrung, allerdings wurde in den Wänden beider Tunnel nur vereinzelt aktive Bewehrungskorrosion festgestellt.

Bei den Untersuchungen zur Bewertung der Gefahr von Bewehrungskorrosion zeigte sich in beiden Tunneln, dass alle Tunnelwände fast über die komplette Höhe sehr hohe Chloridgehalte aufwiesen. Außerdem wurde nur eine vergleichsweise geringe Abnahme der

Chloridgehalte mit zunehmendem Abstand von den Tunnelportalen festgestellt. In den Tunneldecken wurden keine erhöhten Chloridwerte gefunden.

3. Analyse, Vorbereitung und Instandsetzung

Unter Berücksichtigung des Chloridgehaltes über die Tiefe und einer möglichen Chloridumverteilung im Falle einer Beschichtungsmaßnahme ohne Reprofilierung des Betons wurden im Rahmen eines Pilotprojektes für die Tunnel Eching und Etterschlag in Abstimmung mit dem BMVI verschiedene Instandsetzungsprinzipien, wie die Installation eines Fremdstrom-KKS (kathodischer Korrosionsschutz), die Installation eines Probefeldes mit galvanischem KKS, ein elektrochemischer Chloridentzug (ECE) und die Applikation einer Tiefenhydrophobierung mit Aufhellung eingesetzt und mit einem Langzeit-Monitoring ausgestattet.

4. Konsequenzen für den Neubau

Aus den gewonnenen Erfahrungen wurden Lösungsstrategien für den Neubau entwickelt, um Korrosion zu unterbinden oder soweit zeitlich nach hinten zu verschieben, dass die vorgesehene Lebensdauer des Tunnels nicht beeinträchtigt wird:

1. Der Chloridtransport zur Bewehrung sollte durch betontechnologische Maßnahmen verlangsamt werden. Dabei sind insbesondere Zemente mit einem hohen Hütten sandgehalt z.B. CEM II/B-S oder CEM III/A und eine Reduzierung des w/z-Wertes hilfreich. Maßgebender Qualitätsmaßstab für den Beton ist dabei der Chloridmigrationskoeffizient, der im Rahmen der Erstprüfung und einer Kontrollprüfung auf der Baustelle zu bestimmen ist.
2. Der kritische korrosionsauslösende Chloridgehalt kann durch die Verwendung von nichtrostendem Bewehrungsstahl erhöht werden. Die wirtschaftlichste Alternative, bei dem die Erhöhung des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes nachgewiesen ist, stellt derzeit Top12-Stahl dar.
3. Die Chlorideindringung in den Beton kann durch das Aufbringen einer Tiefenhydrophobierung unterbunden werden. Dabei sind Tiefenhydrophobierungen mit einem Wirkstoffgehalt an Silanen von mind. 80% zu verwenden, bei denen die Wassereindringtiefe im Rahmen von Vorversuchen nachzuweisen ist.

Die Wirksamkeit der drei beschriebenen Lösungsansätze wurde durch umfangreiche Untersuchungen an einem Versuchsstand im Naxbergtunnel in der Schweiz nachgewiesen.

5. Das variable 3-Stufenkonzept

Das variable 3-Stufenkonzept beinhaltet die maßgeschneiderte Kombination der drei Lösungsansätze in Abhängigkeit von der Lage des Bauteils und der Umgebungsbedingungen im Hinblick auf die Chloridbelastung. Dazu wurden als Grundlage vollprobabilistische Lebensdauerberechnungen durchgeführt. Dieses Konzept soll im Rahmen des Pilotprojektes Tutting realisiert werden.

Für Tunnelbauwerke können für die einzelnen Bauteile Tunnelwand, Tunneldecke bzw. Tunnelinnenschale sowie Notgehwege dadurch individuelle Maßnahmen realisiert werden. Dabei sind die betontechnologischen Maßnahmen aufgrund der weitgehenden Kostenneutralität in jedem Fall durchzuführen. Der Einsatz von Bewehrungsstahl mit einem erhöh-

ten Korrosionswiderstand kann auf die luftseitige Bewehrung der Tunnelwände begrenzt werden. Für die Tunneldecken reichen allein die betontechnologischen Maßnahmen aus, um die geplante Lebensdauer zu erreichen.

Tunnelnachrüstung in Köln

Dipl.-Ing. Ute Buchmann & Dipl.-Ing. Uwe Grimsehl

Stadt Köln/Amt für Brücken, Tunnel und Stadtbahnbau, Köln

Kurzfassung

Bei der sicherheitstechnischen Nachrüstung der städtischen Straßentunnel in Köln ist als eine wichtige Randbedingung sowohl die organisatorische Einbindung in die städtischen Strukturen als auch bauwerksbezogen die jeweilige örtliche Situation der unterschiedlichen Bauwerke zu berücksichtigen.

1. Organisation und Zuständigkeiten

Zuständige städtische Dienststelle ist das Dezernat für Mobilität und Verkehrsinfrastruktur, in dem das Amt für Brücken, Tunnel und Stadtbahnbau für die Sanierung, Nachrüstung und den Betrieb der Straßentunnel zuständig ist. Das Amt plant, baut und unterhält mit insgesamt ca. 170 Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen die städtischen Ingenieurbauwerke. Aktuell befinden sich ca. 1000 unterschiedlichste Bauwerke in der Unterhaltung. Neben dem Straßentunnel Kalk sind derzeit weitere Großprojekte (Sanierung Mülheimer Brücke, Stadtbahnanbindung Bocklemünd/Mengenich, 3. Baustufe Nord-Süd Stadtbahn) im Bau

2. Städtische Straßentunnel

Die Stadt Köln ist für insgesamt 28 Straßentunnel zuständig. Die Tunnel entstanden i.d.R. aus städtebaulichen Gründen oder aus längeren Eisenbahnunterführungen. Prägnante Beispiele der 7 großen und verkehrsreichen Tunnel sind der Rheinufertunnel von 1981, der mit 590m Länge der längste städtische Tunnel ist, der Straßentunnel Kalk, der im Jahr 1970 als Doppelstocktunnel in eine heute über 100 Jahre alte Eisenbahnunterführung eingebaut wurde oder der Tunnel Herkulesstraße, der als ca. 350 m lange Überbauung am Ende der A 57 im Jahr 1990 errichtet wurde.

Darüber hinaus bestehen 21 kürzere Straßentunnel ($L > 80m$), die zu einem großen Teil historisch bedingt aus Straßenunterführungen entlang des Kölner Eisenbahnringes entstanden sind. Beispiele sind die Tunnelgruppe im Bereich des Hauptbahnhofs sowie diverse Tunnel in verschiedenen Stadtteilen (Tunnel Gottesweg (109m), Tunnel Heidelberger Straße (100m), Tunnel Zollstockgürtel (340m)).

3. Organisation der städtischen Straßentunnel

Die Organisation des Betriebs der Straßentunnel erfolgt angelehnt an die RABT 2006 in einer Verwaltungsbehörde, die im Amt für Brücken, Tunnel und Stadtbahnbau (Amt 69) angesiedelt ist und operativ durch das Sachgebiet 692/0, Sanierung und Betrieb Straßentunnel vertreten wird.

Das Sachgebiet startete mit zwei Mitarbeitern und konnte in den letzten Jahren zu seiner jetzigen Größe von insgesamt 14 Ingenieuren/Ingenieurinnen und Technikern ausgebaut

werden, um zukünftig in der Lage zu sein, die anfallenden Aufgaben regelkonform abzuarbeiten.

4. Sanierungs- und Nachrüstungsprogramm

In allen Tunneln wurden bzw. werden sogenannte Pro 1+ -Maßnahmen durchgeführt (Piktogramme, Notrufsprechstellen, Brandmeldeanlagen) um einen sicheren Zwischenzustand bis zur anstehenden Sanierung zu erreichen.

Bereits 2009 hat der Rat die Planung der Sanierung von 7 Tunnel beschlossen. Die erste Baumaßnahme, die Sanierung des Straßentunnels Kalk begann 2014 und soll - nach erheblichen Bauverzögerungen – 2019 abgeschlossen werden.

Vorab erfolgte für rund 3,5 Mio.Euro von 2012-13 der Bau eines Nottreppenhauses auf dem Gelände des über dem Tunnel liegenden Güterbahnhofs. Der Doppelstocktunnel weist starke Betonschäden auf, so dass eine sehr aufwändige Sanierung mit dem Einbau eines katholischen Korrosionsschutzes erforderlich ist. Zu beachten ist, dass während der Bauzeit jederzeit zwei Fahrspuren pro Richtung zur Verfügung stehen müssen, dies bedingt vier verschiedene Bauphasen. Die Gesamtkosten werden voraussichtlich bei deutlich über 30 Mio. Euro liegen.

Kurz vor dem geplanten Ende der Bauzeit wurden 2016 Mängel (Hohlstellen) festgestellt, die dazu führen, dass alle Bauwerksfugen des unteren Tunnels erneut saniert werden müssen. Da die Schadensursache zwischen Bauherr und ausführender Arge strittig ist, erfolgt eine außergerichtliche Beweissicherung und Schadensanalyse sowie Quotierung durch einen Gutachter.

Im Zuge der städtebaulichen Attraktivierung und des Umbaus der östlichen Domumgebung wurde von 2014 - 2016 die Maßnahme Tunnel Domhof umgesetzt.

Ab 2020 soll die nächste - derzeit in Planung befindliche - Maßnahme Herkulesstraße in den Bau gehen.

Bei allen Baumaßnahmen sind verkehrliche Abhängigkeiten zwischen den städtischen Großprojekten bzw. den auf dem Kölner Autobahnring geplanten und laufenden Maßnahmen zu beachten. So muss die Maßnahme Tunnel Kalk abgeschlossen werden, bevor bei der Maßnahme Sanierung Mülheimer Brücke verkehrseinschränkende Bauphasen erfolgen.

5. Betriebsmanagement

Um auch vor Abschluss der Sanierung einen sicheren Betrieb des Tunnels Kalk zu ermöglichen, wurde eine sogenannte Tunnelwache eingerichtet. Externes Wachpersonal überwacht die Anlage (Videoüberwachung, Brandmelder) und kann vorgeschaltet zu einer Alarmierung der Feuerwehr tätig werden.

In den nächsten Jahren wird eine kombinierte Verkehrs- und Tunnelleitzentrale eingerichtet, die sowohl eine Überwachung und vor allem Steuerung des städtischen Hauptverkehrsnetzes als auch eine RABT-konforme Überwachung und Steuerung der schrittweise aufzuschaltenden Straßentunnel ermöglicht.