

## Betriebliche Unterhaltung von Straßentunneln

FA 3.354

Forschungsstelle: Durth Roos Consulting GmbH, Karlsruhe

Bearbeiter: Holldorb, C. / Bories, C.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Februar 2005

### 1. Aufgabenstellung

Die betriebliche Unterhaltung von Straßentunneln ist aufgrund zusätzlicher Tätigkeiten, z. B. Reinigung der Tunnel, ihrer besonderen Ausstattung (Beleuchtung, Belüftung, Wechselverkehrszeichen etc.) und der besonderen verkehrlichen Situation erheblich aufwändiger als bei normalen Streckenabschnitten. Wachsende Verkehrsbelastungen und gestiegene Umwelthanforderungen führen zu weiteren Kostensteigerungen bei der betrieblichen Unterhaltung der Straßentunnel.

Es war Ziel des FE-Vorhabens, das vorhandene Know-how bei der betrieblichen Unterhaltung von Straßentunneln systematisch zu analysieren, um in einer ersten Stufe die Aufgaben und die dazu notwendigen Tätigkeiten und Aufwendungen qualitativ und quantitativ zusammenstellen zu können. Hierbei sollten neben den nationalen Erfahrungen auch internationale Erkenntnisse berücksichtigt werden. Bestandteil dieser Analyse war das Aufzeigen von Problemfeldern und von möglichen Maßnahmen, um die Tätigkeiten effizienter durchzuführen zu können. In einer zweiten Stufe wurden dann ausgewählte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung detailliert in der Praxis analysiert, um sie unter betrieblich-organisatorischen Kriterien, Aspekten der Verkehrssicherheit und -qualität sowie nach betriebs- und gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten bewerten zu können. Hierauf aufbauend sollten in einer dritten Stufe Empfehlungen zur Organisation und Durchführung von Tätigkeiten der betrieblichen Unterhaltung von Straßentunneln sowie für Planung und Bau von Straßentunneln und ihrer Ausstattung gegeben werden, die den Unterhaltungsumfang reduzieren und eine effizientere Durchführung der notwendigen Unterhaltungsarbeiten gewährleisten. In die Untersuchung sollten sowohl Tunnelabschnitte mit einer als auch mit zwei Röhren einbezogen werden.

### 2. Untersuchungsmethodik

Zur Analyse des vorhandenen Know-how wurden in einer systematischen Literaturrecherche das deutsche Regelwerk sowie relevante Gesetze und Verordnungen hinsichtlich der Aussagen zur betrieblichen Unterhaltung von Straßentunneln analysiert. Daneben wurden bundesdeutsche und internationale Veröffentlichungen, insbesondere aus Österreich und der Schweiz, zu dieser Thematik zusammengestellt. Die Literaturrecherche stützt sich auf Literaturdatenbanken, z. B. Dokumentation Straße, und eine Internet-Recherche. Für ausgewählte Tunnel wurden Einsatzdaten der Straßenbauverwaltungen über einen Zeitraum von 2,5 Jahren ausgewertet. Hierfür wurden zehn repräsentative Tunnel (Autobahn und nachgeordnetes Netz) in drei Bundesländern ausgewählt.

In einem weiteren Schritt wurden Interviews mit Praktikern und Experten geführt, die mit Hilfe eines Gesprächsleitfadens vorbereitet wurden. Interviewpartner waren Autobahn- und Straßenmeister sowie die für die betriebliche Unterhaltung zuständigen Mitarbeiter in Straßenbauämtern und Autobahnbetriebsämtern bzw. vergleichbaren Dienststellen. Neben den Interviews mit nationalen Gesprächspartnern wurden auch Gespräche mit kompetenten Ge-

sprächspartnern in Österreich und der Schweiz geführt. Neben den vorgenannten Ansätzen wurden auch die Ergebnisse einer bereits vor dem FE-Vorhaben bei den Straßenbauverwaltungen der Länder durchgeführten Befragung zur Reinigung von Straßentunneln berücksichtigt, um die Aufgaben der betrieblichen Unterhaltung von Straßentunneln zusammenzustellen und in Abhängigkeit unterschiedlicher Randbedingungen zu quantifizieren.

Auf Basis der Literaturrecherche sowie der Interviews und Expertengespräche wurden mögliche Lösungsansätze zur Behebung erkannter Probleme aufgezeigt. In Abstimmung mit dem Betreuerkreis wurden hieraus zwei Lösungsansätze für eine vertiefende Analyse ausgewählt, die in zwei einmaligen Untersuchungen im Engelbergtunnel bei Stuttgart sowie im Tunnel Farchant bei Garmisch-Partenkirchen durchgeführt wurden. Die beiden Untersuchungen wurden durch den Forschernehmer vorbereitet und vor Ort begleitet. Hierbei wurden alle betrieblich-organisatorischen, verkehrlichen, sicherheits- und umweltrelevanten Aspekte dokumentiert.

Für die Untersuchung im Engelbergtunnel erfolgten zusätzlich chemische Analysen des anfallenden Schmutzwassers sowie Messungen der Fahrbahnleuchtdichte durch kompetente Forschungseinrichtungen. Für die Bewertung der Maßnahmen wurden die ermittelten Einsatzstunden und Aufwendungen, gesamtwirtschaftliche Kriterien sowie betrieblich-organisatorische und umweltrelevante Aspekte herangezogen. Besondere Bedeutung bei der Bewertung hatten die sicherheitsrelevanten Kriterien (Ausschlusskriterium). Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Spezialfahrzeugen wurde mit Hilfe einer Vollkostenrechnung auf Basis der in der durchgeführten Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse ermittelt.

Die Ergebnisse aus den beschriebenen Untersuchungsansätzen wurden zu Gesamtempfehlungen zusammengefasst. Hierbei wurde differenziert nach:

- Optimierung bei Planung, Bau und Ausstattung von Straßentunneln aus betrieblicher Sicht,
- Empfehlungen zur Reinigung von Straßentunneln,
- Empfehlungen zur Durchführung von Wartungsarbeiten.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Bundesweite Erhebung zur Tunnelreinigung in Deutschland

Im Rahmen einer bundesweiten Erhebung zur Tunnelreinigung und dem Verbleib des Tunnelabwassers wurden mit Stand 2002 Daten zu insgesamt 159 Tunneln erfasst. Vollständige und plausible Angaben zur Tunnelreinigung liegen von lediglich 111 Tunneln vor; die in der weiteren Analyse berücksichtigt wurden. Hiervon sind ein Drittel Autobahntunnel, die Hälfte Bundesstraßentunnel und der Rest Landes-, (Staats-), Kreis- und Stadtstraßentunnel. Die analysierten Tunnel haben eine Gesamtlänge von 63 km, dies entspricht ca. 57 % aller Straßentunnel in Deutschland.

Die Wände von 70 % der ausgewerteten Tunnel werden ein- oder zweimal pro Jahr gereinigt; die anderen Tunnel werden zum Großteil häufiger gereinigt – besonders häufig in den Stadtstaaten sowie in Niedersachsen. Der Elbtunnel in Hamburg mit einer Verkehrsbelastung von 120.000 Kfz/24 h wird bis zu zehnmal pro Jahr

gereinigt. Nur für 22 Tunnel (20 %) wurde angegeben, dass die Tunneldecke gewaschen wird.

Die Mehrzahl der Bundesfernstraßentunnel wird durch die zuständigen Straßen- und Autobahnmeistereien gereinigt, bei Tunneln im nachgeordneten Netz ist das Verhältnis zwischen der Reinigung durch eigenes Personal und Fremdunternehmern ausgewogen.

Tenside als Zusatzmittel werden bei der Tunnelreinigung eher bei Bundesstraßen und sonstigen Straßen eingesetzt. Es ist auffällig, dass Autobahnen tendenziell ohne Tenside gereinigt werden. Länderspezifische Bestimmungen zur Vermeidung von Zusatzmitteln bei der Tunnelreinigung existieren nicht. In fast allen Bundesländern gibt es Tunnel, die mit Tensiden gereinigt werden.

Das Tunnelabwasser wird bei dem überwiegenden Teil der Tunnel in ein Rückhaltebecken geleitet; bei Autobahnen ist dieser Anteil größer als bei Bundes- und sonstigen Straßen. Etwa ein Viertel aller Tunnel leitet das Tunnelabwasser direkt in eine Kläranlage ein. Bei einem kleinen Teil der Tunnel wird das Reinigungswasser durch Fremdfirmen entsorgt.

### 3.2 Erhebung bei ausgewählten Tunneln zu Umfang und Kosten der Unterhaltungsarbeiten

Kosten von verschiedenen Tunneln lassen sich nur bedingt miteinander vergleichen, da die betrachteten Tunnel zum einen zwar ähnliche Ausstattungen besitzen, diese jedoch aufgrund des Alters der einzelnen Tunnel auf einem unterschiedlich technischen Stand sind. Auf Grundlage von Erhebungen zu zehn ausgewählten Tunneln lässt sich daher lediglich die Größenordnung der Aufwendungen angeben. Es wurden die Aufwendungen des Betriebes und der Unterhaltung von Straßentunneln hinsichtlich der Reinigung, Wartung, Betriebskosten und der Gesamtkosten ausgewertet. Hierbei wurden neben direkten Kosten für Fremdleistungen auch alle Aufwendungen für verwaltungseigene Mitarbeiter, Fahrzeuge und Großgeräte berücksichtigt, die über verwaltungsspezifische Kostensätze monetär bewertet wurden.

Die Kosten der Reinigung für einröhrige Tunnel liegen in etwa in der Größenordnung von 30 bis 35 €/m Tunnelröhre; die Beschaffenheit der Wandoberfläche ist hierbei nur von untergeordneter Bedeutung. Bei Tunneln mit zwei Röhren können keine eindeutigen Aussagen zu den Reinigungskosten getroffen werden; es ist jedoch erkennbar, dass die spezifischen Kosten je Meter Tunnelröhre nicht höher als bei Tunneln mit einer Röhre liegen.

Für die Wartungskosten bei einröhrigen Gegenverkehrstunneln kann die Tendenz abgeleitet werden, dass mit der Tunnellänge auch die Kosten für Wartungen überproportional steigen, da die Anzahl, Größe und Komplexität der Anlagen für den Tunnel zunehmen, um erhöhten Sicherheitsanforderungen von längeren Tunneln zu genügen. Die Betriebskosten steigen mit der Länge eines Tunnels häufig überproportional, dies erklärt sich durch die längenabhängigen Anforderungen an die Ausstattung von Straßentunneln.

Aus den o. g. Reinigungs-, Wartungs- und Betriebskosten wurden die Gesamtkosten unter Berücksichtigung von sonstigen Kosten errechnet. Auch die Gesamtkosten einer Tunnelanlage steigen mit zunehmender Tunnellänge überproportional. Dies lässt sich u. a. mit einem höheren Energieverbrauch für elektrotechnische Anlagen, mit einer umfangreicheren Ausstattung der Tunnellüftung, der Tunnelüberwachungsanlage sowie den Sicherheits- und Verkehrsleiteneinrichtungen begründen.

### 3.3 Zugabe von Tensiden bei der Reinigung der Tunnelwände

Aus dem Versuch im Engelbergtunnel auf der A 81 bei Stuttgart lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Der betriebliche Mehraufwand beim Einsatz von Tensiden ist gering, wenn auch bei Reinigung ohne Zusätze mit zwei nacheinander fahrenden Reinigungsfahrzeugen gearbeitet wird. Allerdings wird in der Praxis vielfach auf das erste Fahrzeug verzichtet. Vergleicht man den betrieblichen Aufwand mit dieser Reinigungsmethode, ist der betriebliche Aufwand natürlich weitaus höher, da ein zusätzliches Fahrzeug und zwei Straßwärter zum Einsatz kommen.
- Wenn Tenside eingesetzt werden, ist das Befüllen des Wasertanks aufgrund der Schaumbildung schwieriger und zeitaufwendiger. Daher sollten entsprechende Vorrichtungen vorgesehen werden, die eine gute Durchmischung des Reinigungsmittels und die Schaumbildung vermeiden.
- Die Analyse des anfallenden Schmutzwassers lässt eine deutlich bessere Reinigungswirkung durch die Tenside erkennen, da weitaus mehr Schmutzstoffe im Abwasser enthalten sind. Somit werden andere Untersuchungen, z. B. aus der Schweiz bestätigt, dass nur durch die Zusätze die Schmutzstoffe richtig gelöst werden können. Allerdings ist diese bessere Reinigungswirkung optisch kaum wahrnehmbar, so dass die subjektive Wahrnehmung des Tunnelumfeldes durch die Verkehrsteilnehmer voraussichtlich nicht positiv beeinflusst wird.
- Auch die Messungen der Fahrbahnleuchtdichte lassen keine signifikante Verbesserung durch die Reinigung erkennen, unabhängig davon, ob Tenside verwendet wurden oder nicht. Berücksichtigt man, dass die Reflexion der Tunnelwände nur einen geringen Anteil von ca. 5 % auf die Fahrbahnleuchtdichte hat, so ist auch dieses Messergebnis plausibel, auch wenn die Wasseranalysen gleichzeitig einen deutlichen Reinigungseffekt der Tenside erkennen lassen.
- Das anfallende Waschwasser war bei der Verwendung der Tenside erheblich höher belastet, was hinsichtlich der Umweltauswirkungen negativ zu bewerten ist. Zwar war auch das Schmutzwasser der Reinigung ohne Zusätze stark belastet, allerdings kann die Belastung allein durch die Absetzvorgänge im Rückhaltebecken ggf. soweit reduziert werden, dass das Schmutzwasser in eine Kläranlage einleitbar ist. Werden Tenside verwendet, so ist u. a. auch der Grenzwert für die CSB-Belastung zu hoch, der durch Sedimentation kaum reduziert werden kann.

Aus der Untersuchung lässt sich ableiten, dass der Einsatz von Tensiden bei Tunnelwänden aus Beton ohne Beschichtung oder Anstrich nicht unmittelbar zu empfehlen ist. Allerdings lassen sich hieraus keinerlei Empfehlungen für beschichtete Tunnel ableiten, da hierbei der Reinigungsvorgang, aber auch das Reinigungsergebnis, d. h. die optische Wahrnehmung durch die Verkehrsteilnehmer und der Effekt auf die Fahrbahnleuchtdichte, völlig anders sein können.

Auf Grundlage der Untersuchung im Tunnel Farchant sowie der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde deutlich, dass das auch bei günstigen Voraussetzungen nur geringe Einsparpotenzial den Einsatz von Spezialfahrzeugen zur Tunnelreinigung im größeren Umfang in Deutschland nicht rechtfertigt. Im Vergleich zu anderen Ländern, wie Österreich und der Schweiz, wird deutlich, dass trotz des Anstiegs der Straßentunnellängen in Deutschland die Tunneldichte so gering ist, dass der umfassende Einsatz von Spezialfahrzeugen für die Tunnelreinigung aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist.

Von Vorteil beim Einsatz des Spezialfahrzeugs ist die kürzere Reinigungsdauer, die vor allem aufgrund der doppelt angeordneten Waschbürsten um ca. 30 % reduziert wird, da hierdurch der Eingriff in den Verkehrsraum minimiert werden kann. Nachteilig aus betrieblicher Sicht sind die größeren Fahrzeugabmessungen

des Spezialfahrzeugs im Vergleich zu einem Mehrzweck-Geräteträger mit Anbaugerät, durch die die Wendigkeit und die Erreichbarkeit besonderer Bereiche (Nischen, im Bereich von Einbauten, Querschläge) im Tunnel eingeschränkt wird, sodass mehr manuelle Reinigungsarbeiten notwendig werden. Von Vorteil ist das große Fassungsvermögen des Wasserfasses, das aufgrund besserer Schlauchverbindungen auch erheblich schneller befüllt werden kann. Signifikante Unterschiede im Reinigungsergebnis zwischen den beiden eingesetzten Fahrzeug-Geräte-Kombinationen waren nicht erkennbar, sodass der Einsatz des Spezialfahrzeugs in diesem Aspekt neutral bewertet wird.

Aufgrund der nur unter sehr günstigen Randbedingungen geringen wirtschaftlichen Vorteile und unter Berücksichtigung der weiteren vorgenannten Kriterien wird der Einsatz von Spezialfahrzeugen für die Tunnelreinigung in Deutschland derzeit nicht empfohlen.

## 4. Folgerungen für die Praxis

### 4.1 Optimierung bei Planung, Bau und Ausstattung von Straßentunneln aus betrieblicher Sicht

Zur Vermeidung von Versinterungen in Bergdrainageleistungen ist bei neuen Tunneln zu überlegen, ob generell ein Schlammfang in den Revisionschächten der Bergdrainageleitungen angeordnet wird, damit Calcitausfällungen hier sedimentieren und entfernt werden können. Weitere Maßnahmen zur Bekämpfung von Versinterungsablagerungen sind die fachgerechte Ausführung der Bergdrainageleitungen und der Verzicht auf kalkhaltige Filtermaterialien, in denen die Drainageleitung eingebettet ist. Der Einsatz von Depotsteinen zur Stabilisierung des Härtegrades kann nur in Ausnahmen empfohlen werden, da diese nur eine geringe Verweildauer haben, sodass oftmals eine häufigere Spülung notwendig ist, um die Verfestigung des ausgefallenen Calcitschlammes zu verhindern. Weiterhin können sich an den Depotsteinen leicht Schimmel und Bakterien bilden, sodass ihr Einsatz gesundheitlich bedenklich ist. Neu entwickelte Depotsteine können dies unter Umständen verhindern; ausreichende Erfahrungen liegen hierzu jedoch noch nicht vor.

Für die Minimierung der Eingriffe in den Verkehrsraum sowie zur Vermeidung umfangreicher Sanierungsmaßnahmen ist es notwendig, alle in Längsrichtung verlegten Rohre, Kabel etc. möglichst einfach zugänglich im Tunnelquerschnitt zu installieren. Aus betrieblicher Sicht ideal ist die Verlegung aller Elemente in einem separaten, begehbaren Ver- und Entsorgungstollen unterhalb der Fahrbahn. Die Einstiege in diesen separaten Stollen sollten außerhalb der Fahrbahn im Bereich des Standstreifens, der Querschläge oder der Nothaltebuchten angeordnet werden.

Ist ein separater Ver- und Entsorgungstollen nicht möglich, wird empfohlen, ausreichende Schächte anzuordnen, um die Rohre und Verkabelung ohne Schwierigkeiten erreichen zu können. Insbesondere bei versinterungsanfälligen Drainagewässern ist es zweckmäßig, kurze Haltungslängen zu betreiben, die vor allem an Abzweigungen und Richtungswechseln gut zugänglich sind.

Um die Verkehrsbehinderungen bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten der Tunnelbeleuchtung zu minimieren, sollte die Beleuchtung, so wie in der RABT empfohlen, asymmetrisch an der Tunneldecke installiert werden. Aus betrieblichen Gründen ist jedoch eine stärker außermittige Anordnung wünschenswert, um nur einen Fahrstreifen sperren zu müssen.

Bei der Reinigung der Tunnelwände mit Waschbürsten oder Hochdruck-Wasserstrahl sind alle an den Wänden installierten Ausstattungselemente störende Hindernisse, durch die die Reinigungsgeschwindigkeit sinkt und eine ausreichende Reinigungsqualität nur durch aufwändige manuelle Nacharbeiten gewährleistet werden kann. Daher ist es zweckmäßig, die Ausstattungselemente soweit

möglich in vorgesehene Ausparungen in den Tunnelwänden einzulassen. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass die Sicherheit abkommender Fahrzeuge nicht durch Nischen, Rücksprünge etc. zusätzlich gefährdet wird.

### 4.2 Empfehlungen zur Durchführung von Wartungsarbeiten

Bei großen Revisionsarbeiten an Tunneleinrichtungen ist es zum Kennenlernen einer Anlage durch das eigene Wartungspersonal zweckmäßig, die Wartung unter Aufsicht der Lieferantenfirma durchzuführen, damit in Zukunft Wartungen zum Teil auch durch das eigene Personal selbstständig durchgeführt werden können. Für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten größeren Umfangs empfiehlt sich jedoch in der Regel die Hinzuziehung von spezialisierten Fremdunternehmern.

Die Einrichtung von eigenen elektrotechnischen Abteilungen hängt vom Umfang der zu wartenden Ausstattungen ab. Bei der Vergabe von Wartungsarbeiten, wie es bisher in Deutschland eher der Fall ist, ist der Tunnelbetreiber vom Vertragspartner stark abhängig. Wird durch den Tunnelbetreiber vom Fremdunternehmer eine hohe Flexibilität und kurze Reaktionszeit gefordert, so treibt dies die Kosten für die Wartung der Tunnelausstattung in die Höhe. Aus diesen Gründen ist abzuwägen, ob es im Einzelfall sinnvoll ist, eine eigene elektrotechnische Abteilung zu unterhalten.

### 4.3 Empfehlungen zur Reinigung von Straßentunneln

Generelle Empfehlungen, ob für die Reinigung der Tunnelwände der Einsatz von Waschbürsten sinnvoll ist oder die Reinigung mit Hochdruck-Wasserstrahl ausreicht, lassen sich nicht geben. Weiterhin wird bei unbeschichteten Betonwänden empfohlen, auf den Einsatz von Tensiden zu verzichten. Über den Einsatz bei beschichteten oder gefliesten Wänden können jedoch keine Aussagen getroffen werden. Solange keine eindeutigen Aussagen möglich sind, welche Wandhelligkeit notwendig ist, kann vielfach auch eine jährliche Reinigung der Tunnelwände ausreichend sein.

Es wird empfohlen, insbesondere die Frage der Reinigungshäufigkeit vertieft zu untersuchen, wobei neben der Erhöhung der Fahrbahnleuchtdichte durch eine verbesserte Reflexion vor allem die Auswirkungen auf das Fahrerverhalten zu analysieren sind. Ebenso wird empfohlen, den Einfluss unterschiedlicher Reinigungshäufigkeiten auf die Helligkeit der Tunnelwände in einer Langzeituntersuchung zu ermitteln. Hierbei sollten unbeschichtete und beschichtete Tunnelwände einbezogen werden.

Der Einsatz von Spezialfahrzeugen zur Tunnelreinigung erscheint in Deutschland aufgrund der geringen Tunneldichte nicht wirtschaftlich, da der Aufgabenumfang nur verwaltungsübergreifend und mit langen An- und Abfahrten zwischen den Einsatzstellen in einer vertretbaren Größenordnung liegen kann. Somit ist die Nutzung von Anbaugeräten an Mehrzweck-Geräteträgern als Regelausstattung für die Tunnelreinigung zweckmäßig. Einsparungen beim Einsatz dieser Geräte können vor allem dann erzielt werden, wenn das Gerät direkt vom Fahrer bedient werden kann. Dies ist vor allem bei Hochdruck-Sprühbalken der Fall.

Für eine effiziente Tunnelreinigung sollten Nachtankvorgänge für Frischwasser möglichst minimiert werden. Hierfür empfiehlt sich das Mitführen eines Anhängers mit zusätzlichem Wasserfass, auf das während des Reinigungsvorgangs unmittelbar zugegriffen werden kann. Bei langen Tunneln kann es sinnvoll sein, an ausgewählten Stellen, z. B. im Bereich von Querschlägen, auch auf der linken Fahrbahnseite Hydranten zu installieren.

Sollte im Einzelfall der Zusatz von Tensiden vorgesehen sein, z. B. bei der Reinigung beschichteter Tunnelwände, wird empfohlen, diese nicht unmittelbar dem Wasser im Wassertank, sondern dosiert dem Waschwasser unmittelbar vor dem Ausbringen zuzugeben. Werden Tenside zur verbesserten

Schmutzlösung eingesetzt, so sollten sie nicht unmittelbar beim Waschvorgang, sondern durch ein vorausfahrendes Fahrzeug mit Sprühbalken in kurzem Abstand vor dem Waschfahrzeug auf die Tunnelwand aufgebracht werden, sodass sie einwirken und den Schmutz anlösen können. Um einem Eintrocknen vorzubeugen, sollte der Abstand zwischen Aufbringern und anschließender Reinigung ca. 50 m betragen.

Vereinzelt werden Beleuchtung und Tunnelausstattungen mit einem Warmwasserdampfstrahlgerät gereinigt. Allerdings liegen derzeit keine gesicherten Erkenntnisse über die Wirksamkeit dieser Reinigungsmethode und den damit verbundenen Aufwand vor, sodass keine Empfehlungen diesbezüglich möglich sind.

Die regelmäßige Reinigung der Tunnelbeleuchtung erscheint zur Aufrechterhaltung der Fahrbahnleuchtdichte zweckmäßig. Empfehlungen, wie häufig die Tunnelbeleuchtung gereinigt werden sollte, können nicht ausgesprochen werden, doch kann es je nach Verschmutzungsgrad durchaus sinnvoll sein, die Beleuchtung ggf. häufiger als die Tunnelwände zu reinigen.

Auch wenn Tunnelwände nur jährlich gereinigt werden, kann die Reinigung der Tunnelausstattung in kürzerem Turnus erforderlich sein. Beispielsweise sind die Sensoren der Trübungsmessgeräte regelmäßig zu reinigen, da bereits wenige Ablagerungen zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen können, durch die sowohl die Beleuchtung als auch die Belüftung verstärkt werden müssen. Aber auch Notrufeinrichtungen und andere Ausstattung, die regelmäßig durch das Unterhaltungspersonal gewartet oder bei Bedarf durch Verkehrsteilnehmer genutzt werden, sollten zweimal im Jahr gereinigt werden.

Es ist nicht notwendig, Tunneldecken regelmäßig zu reinigen. Nur vor Bauwerksprüfungen kann die Reinigung der Tunneldecken erforderlich sein, um Risse und andere kleine Schäden an der Tunneldecke zu erkennen. Ebenfalls ist eine regelmäßige Reinigung der Zu- und Abluftkanäle nicht notwendig; auch diese müssen jedoch ggf. vor Bauwerksprüfungen gereinigt werden.

Je nach Schmutzeintrag ist eine regelmäßige und weitaus häufigere Reinigung der Fahrbahn mit einer selbstaufnehmenden Kehrmaschine bei Anfeuchtung der Fahrbahn zu empfehlen. Hierdurch werden Schmutzablagerungen aufgenommen, die anson-

sten verwirbeln und damit die Lufttrübung erhöhen können. Weiterhin ist regelmäßiges Kehren in den nicht oder selten befahrenen Randbereichen notwendig, um die Erkennbarkeit der Markierung zu gewährleisten. Neben dem Einsatz der selbstaufnehmenden Kehrmaschine ist es oftmals zweckmäßig, die Fahrbahnen zusätzlich zu waschen, um Schmutz- und Staubaufwirbelungen wirksam zu unterbinden und die Erkennbarkeit der Markierung sicher zu stellen. Auf jeden Fall sollten Fahrbahn und Hochbord nach der Reinigung der Tunnelwände gereinigt werden. Bei starker Verschmutzung von Fahrbahn oder Hochborden ist zu empfehlen, diese auch vor der Wandreinigung zu kehren, um den Eintrag der Schmutzstoffe in die Entwässerung zu vermeiden.

Neben den Fahrbahnen sind auch die Nothaltebuchten, weitere Nischen, Querschläge und die Hochborde regelmäßig zu kehren. Hierdurch kann die Schmutzbelastung für das Betriebspersonal bei den regelmäßigen Wartungsarbeiten reduziert werden.

den Tunnelwänden notwendig, die – wenn auch selten – durch Verkehrsteilnehmer und Wartungspersonal begangen werden. Werden auf den Hochborden Leiteinrichtungen zur optischen Führung installiert, z. B. Reflektoren oder selbstleuchtende LED, so ist zu beachten, dass diese regelmäßig zu reinigen sind, um ihre Funktion zu gewährleisten.

Die Entsorgung des Tunnelwaschwassers kann in vielen Fällen nicht über eine kommunale Kläranlage geschehen; die Einleitung in einen Vorfluter nach Absetzvorgängen im tunneleigenen Rückhaltebecken ist die einfachere Alternative zur Entsorgung des Abwassers nach einer Tunnelreinigung. Die Behandlung des Abwassers durch eine mobile Waschwasserreinigungsanlage kann im Verhältnis zu den Zulaufwerten zufrieden stellende Ablaufwerte bewirken. Ihr Einsatz ist daher immer dann zu erwägen, wenn der Anschluss an eine Kläranlage sehr aufwändig ist und hohe Anforderungen an die Wasserqualität gestellt werden.

Um sicher zu sein, die umweltrechtlichen Auflagen an die Einleitung des Schmutzwassers in Vorfluter oder Abwasserreinigungsanlage einzuhalten, sollten durch die Tunnelbetreiber bei Bedarf Schmutzwasseranalysen durchgeführt werden. Notwendig erscheinen sie immer dann, wenn sich das Reinigungsverfahren, der Reinigungsturnus oder andere Einsatzbedingungen signifikant verändern. □