

# Staub in Bahntunneln: Ursachen, Risiken und Gegenmaßnahmen

Lassy, Robert; Ing., Wiener Linien GmbH & Co. KG, Wien/A  
Hagenah, Bernd; Dr.-Ing./Rodler, Johannes; Dipl.-Ing. Dr. techn., Gruner GmbH, Wien/A  
Guth, Didier; Dipl.-Ing., ARCADIS ESG, Straßburg/F

**Zugbedingter Bahnstaub entsteht durch Abriebvorgänge (Bremsen, Rad-Schiene-Kontakt, Stromaufnahme). Während des Betriebes von Bahntunnelanlagen wird der Eintrag von Bahnstaub zunehmend problematisch. Bahnstaub kann zur gesundheitlichen Beeinträchtigung des Wartungs- und Reinigungspersonals führen und aufgrund seiner elektrischen Leitfähigkeit elektronische Komponenten von Schalt- und Sicherungsanlagen gefährden.**

**Durch den Eintrag von Bahnstaub in unterirdische Haltestellen werden hohe Reinigungsaufwendungen notwendig und Auslagen und Produkte in den kommerziellen Ebenen von Haltestellen und Bahnhöfen verschmutzt. Nach den Erfahrungen der letzten Jahre wird die Vermeidung von Staubeintrag zunehmend bedeutend für die Planung von Bahninfrastrukturprojekten, neben der Sicherheit, der Lüftung und dem Stations- und Tunnelklima. Anhand von Betriebsbeispielen einer unterirdischen Straßenbahnhaltestelle der Wiener Linien sowie des Lötschberg-Basistunnels werden Erfahrungen dargelegt und Gegenmaßnahmen beschrieben.**

## Dust in Rail Tunnels: Causes, Risks and Counter-Measures

Dust caused by trains results from friction processes (braking, wheel-track contact and power intake). The influence of dust entering rail tunnels becomes an ever growing problem during their operation. Dust of this nature can lead to health problems for the maintenance and cleaning staff and endanger electronic components of switching and operating installations on account of its electric conductivity.

A high degree of cleaning is required through dust affecting underground stations, which also pollutes the displays and products of the commercial concourses of stations and stops. In keeping with the findings of recent years, avoiding the admission of dust will become increasingly more important for planning rail infrastructural projects in addition to safety, ventilation and the climate of stations and tunnels. On the basis of examples illustrating how an underground tram station belonging to the Wiener Linien and the Lötschberg Base Tunnel operate, findings are presented and counter-measures suggested.

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Quellen von Bahnstaub und Partikelgrößen

Als Bahnstaub werden die durch Schienenverkehr bedingten Abriebe von Bremsen, Fahrdrat und Stromabnehmer sowie durch den Rad-Schiene-Kontakt bezeichnet. Die Klassifizierung von Stäuben erfolgt anhand der Staub-Korngrößen in den PM-Skalen. Zum Beispiel steht PM10 für Stäube mit Partikeldurchmessern kleiner als 10 µm; es handelt sich um Feinstaub.

Die Definition des Feinstaubes geht auf den im Jahre 1987 eingeführten „National Air Quality“-Standard for Particulate Matter (kurz als PM-Standard bezeichnet) der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency) zurück. Die als Feinstaub (PM10) bezeichnete Staubfraktion enthält dem-

nach zu 50 % Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm. Partikel dieser Größe können über den Kehlkopf hinaus bis tief in die Lunge gelangen. Sie sind daher besonders gesundheitsschädlich. Zahlreiche wissenschaftliche Studien belegen einen Zusammenhang zwischen der Partikelkonzentration in der Atemluft und Atemwegserkrankungen sowie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebserkrankungen und Todesfällen. Bremsvorgänge stellen die wichtigste Staubquelle dar, sie führt zu mehr als 60 % der PM10-Emissionen (Tabelle 1).

### 1.2 Besonderheiten des Feinstaubes

Messungen von Massenkonzentrationen in einem Querschlag des Lötschberg-Basistunnels ergaben Werte von 128 bis 455 µg/m<sup>3</sup> in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt [1]. Feinstaub besitzt eine ge-

Quelle	PM10-Emissionen Schienenverkehr 2004 Schweiz			Summe
	Personenverkehr [t/a]	Güterverkehr [t/a]		
Bremsen	354	264	618	60 %
Schienen	90	49	139	14 %
Räder	82	160	242	24 %
Fahrdrat	20	5	25	2 %
<b>Summe</b>	<b>546</b>	<b>478</b>	<b>1.024</b>	<b>100 %</b>
<b>Anteil</b>	<b>53 %</b>	<b>47 %</b>	<b>100 %</b>	

Tabelle 1 PM10-Emissionen des Schienenverkehrs in der Schweiz (aus [2])



1 Bahnhof mit vorgebauter Glasfront

ringe Depositionsgeschwindigkeit (1 bis 2 cm/s). Es kann davon ausgegangen werden, dass zu Zeiten höheren Verkehrsaufkommens in der Tunnelröhre und den dadurch induzierten permanenten Luftwechsellern z. B. in den Querschlägen nicht nur zusätzlicher Staub in die Querschläge transportiert wird, sondern auch deponierter Staub aufgewirbelt wird. Aus Messungen im Querschlag kann somit nur eingeschränkt auf Verhältnisse im Fahrraum geschlossen werden.

Messungen der Partikelgrößenverteilung ergaben, dass eine etwa gleichmäßige Verteilung der Gesamtmasse auf die Größenklassen 0,3 bis 1, 1 bis 3 und 3 bis 10  $\mu\text{m}$  vorliegt; kleine Partikel treten somit häufiger auf als größere. Der untersuchte Bahnstaub wies starke magnetische Eigenschaften auf und war eisen- sowie kohlenstoffhaltig.

### 1.3 Situationen, die zu besonders hohem Staubeintrag/Akkumulation von Staub führen

Aufgrund der dominierenden bahntauberzeugenden Bremsvorgänge sind folgende Situationen von besonderer Bedeutung:

#### Tunnelgradienten

Während Bergabfahrten kommt es zu zusätzlicher Beschleunigung. Bremsvorgänge sind erforderlich, um die Höchstgeschwindigkeiten nicht zu überschreiten. Bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen kommt es zu Schlupf, wenn die maximale Haftreibungskraft des Rad-Schiene-Kontaktes überschritten wird. Je nach Tunnelgradienten können Bremsvorgänge entlang der gesamten Tunnelstrecke erforderlich sein. Modernes Rollmaterial erfüllt darüber hinaus häufig die Anforderungen, starke Gradienten zu überwinden. Zum Beispiel ist es heute nicht mehr unüblich, Steilstrecken mit Gradienten von bis zu 80 ‰ für Adhäsionsbahnen während Planungsphasen zu prüfen.

#### Haltestellen

Brems- und Beschleunigungsvorgänge bei der Ein- und Ausfahrt von Haltestellen führen zu hohen Staubeinträgen. Dies gilt

auch, wenn sich Haltestellen außerhalb des Tunnels befinden und Bremsvorgänge bereits im Tunnel beginnen.

#### Tunnelsystem

In Einspurtunneln kommt es aufgrund des zugbedingten Kolbenneffektes zu einer Beschleunigung der Luftsäule in Fahrtrichtung; der Tunnel wird durch den Fahrbetrieb belüftet. Bei alternierenden Fahrrichtungen sowie in Doppelspurntunneln kommt es nicht zu länger andauernden Luftströmungen in eine Richtung. Die Luftsäule wird richtungswechselnd beschleunigt. Bahnstaubbelastete Luft verbleibt im Tunnel.

#### Technische Räume, Querschläge

Wird staubbelastete Tunnelluft für die Belüftung und Klimatisierung von bahntechnisch ausgerüsteten Räumen oder Querschlägen genutzt, besteht die Gefahr der Staubakkumulation.

### 1.4 Auswirkungen von Bahnstaub

Der Eintrag von Bahnstaub in unterirdische Verkehrsanlagen kann problematisch sein. Gründe dafür sind z. B.

- Bahnstaub ist elektrisch leitend und gefährdet elektronische Komponenten von Schaltschränken, z. B. für Sicherungs- und Signalanlagen oder Telekommunikationsanlagen. Selbst wenn Gehäuse staubdicht ausgeführt werden, dringt beim Öffnen für Wartungs- oder Reparaturarbeiten Bahnstaub ein.
- Bahnstaub/Feinstaub kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Unterhaltspersonals führen.
- Der Eintrag von Bahnstaub in kommerzielle Ebenen unterirdischer Haltestellen verschmutzt Auslagen.

Durch den Eintrag von Bahnstaub in unterirdische Haltestellen wird hoher Reinigungsaufwand notwendig, z. B. werden Glasflächen einiger Bahnhöfe täglich gereinigt.

Nach Betriebserfahrungen der letzten Jahre wird die Vermeidung von Staubeintrag zunehmend bedeutend für die Planung und den Betrieb unterirdischer Bahnanlagen, neben der Sicherheit, der Lüftung und dem Stations- und Tunnelklima.



2 Zugang zur unterirdischen Haltestelle aus der Halle und Eintrag von Nebel (linkes Bild) sowie eingebrachte Feuchtigkeit zur Bindung bahnstaubbedingter Partikel



## 2 Betriebserfahrungen

### 2.1 Beispiel einer unterirdischen Haltestelle im Bahnhof Straßburg

Unter dem hier beispielhaft betrachteten Hauptbahnhof (Bild 1) verläuft ein Straßenbahn-Doppelspurttunnel ( $l_{\text{Tunnel}} = 1,6 \text{ km}$ , von der Haltestelle ansteigend zu jeder Seite mit bis zu 80 ‰) mit einer unterirdischen Haltestelle im Bahnhofsgebäude. Das Bahnhofsgebäude wurde mittels einer vorgesetzten Glasfront vergrößert. Im Bereich des so überdeckten Bahnhofsgebäudes befinden sich Zugänge zur unterirdischen Haltestelle (Bild 2, links).

Durch die bei der Haltestelleneinfahrt durchgeführten Bremsvorgänge kommt es zu hohem Bahnstaubeintrag. Der gegenläufige Verkehr verhinderte gerichteten Transport der staubbelasteten Luft in Richtung eines Portals. Die Staubkonzentration in der Haltestelle nimmt zu und durch thermische Auftriebe sowie aufgrund des Kolbeneffektes wird Staub in die überdachte Bahnhofsvorhalle gefördert; Auslagen der Geschäfte und Glasflächen verschmutzen. Um die Verwirbelung von abgesetztem Staub zu reduzieren und um den abgesetzten Staub zu binden, wird beidseitig im Haltestellen-Einfahrtbereich Wassernebel während der Einfahrt eingesprüht (Bild 2).

Für die unterirdische Haltestelle wird eine durch Strahlventilatoren erzeugte Längslüftung von der Haltestelle jeweils in Richtung der Portale angestrebt. Die Strahlventilatoren sind so dimensioniert, dass im Mittel eine Grundströmung von der Haltestelle in Richtung der Tunnelportale vorhanden ist. Die Luft dazu strömt aus der darüber liegenden Bahnhofshalle sowie von den Ausgängen (Außenbedingungen) nach. Ursprünglich war der Tunnel auch als Luftwärmetauscher „puits canadien“ oder auch „puits provençal“ vorgesehen. Im Sommer sollte kühlere Tunnelluft das

Bahnhofsgebäude kühlen, im Winter anwärmen. Durch die zur Vermeidung von Bahnstäuben umgekehrte Strömungsrichtung wird die Planung der Klimatisierung der Bahnhofshalle evtl. zu überarbeiten sein.

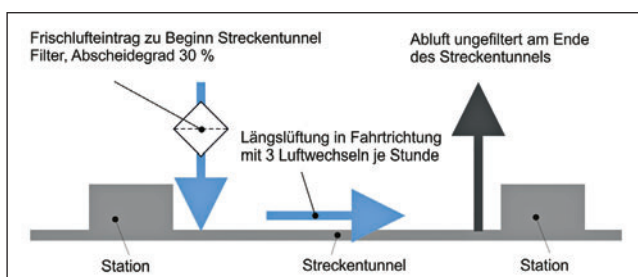
### 2.2 U-Bahn Wien

Das vielschichtige Wiener U-Bahn-Netz besteht aus 5 Linien (U1 bis U4 sowie U6). Die U-Bahn verläuft zum größten Teil unterirdisch, wobei sich die Linien, die tagsüber im 3- bis 5-Minuten-Takt fahren, in den Stationen auf unterschiedlichen Ebenen kreuzen. Viele Brems- und Anfahrtsvorgänge führen zu großem Eintrag von Bahnstaub in die Streckentunnel, Stationen sowie in angrenzende technische Räume. Die Gleis- und Fahrbahnreinigung erfolgt mit dem mobilen Staubsauger „Engelbert“<sup>1</sup>. Die Luftführung wird im Saugteil mit einem Sprühnebel aus Wasser benetzt, um den Staub zu binden. Dadurch wird kein Staub an der Wagenoberseite ausgeblasen. Zusätzlich werden auch größere Gegenstände aufgenommen, z.B. Getränkedosen und üblicher Unrat im Gleisbereich.

Das U-Bahn-Netz der Wiener Linien mit einer Gesamtschienenlänge von 226 km wird 14-täglich komplett gereinigt, besonders betroffene Stationen und Strecken wöchentlich. Während der Reinigung bewegt sich Engelbert mit bis zu 15 km/h. Des Weiteren wird die Akkumulation von Bahnstaub weitgehend durch Längslüftung der Streckentunnel erreicht. Idealerweise wird zu Beginn des Streckentunnels gefilterte Frischluft zugeführt, am Ende des jeweiligen Streckentunnels, vor Beginn der nächsten Station, wird die Luft aus dem Tunnel gefördert (Bild 3). Die Luftmenge ist abhängig von der Ausdehnung des Streckentunnels und beträgt ca. 3 Luftwechsel je Stunde.

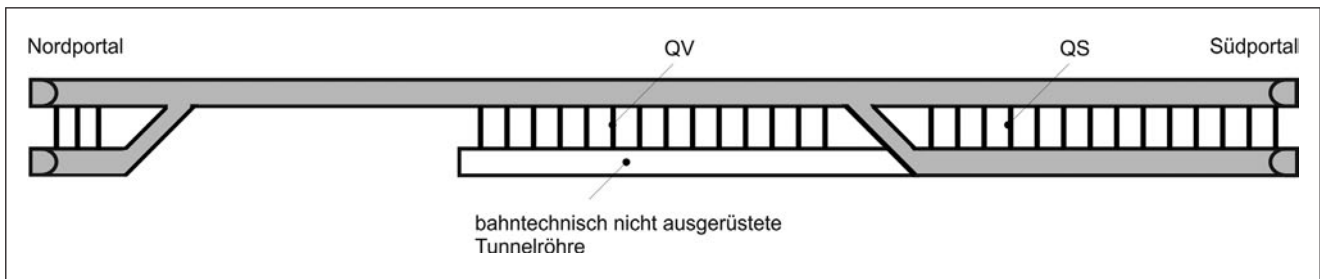
### 2.3 Beispiel eines Querschlages des Lötschberg-Basistunnels

Der Lötschberg-Basistunnel wurde im Dezember 2009 in Betrieb genommen (Bild 4). Der Tunnel mit einer Gesamtlänge von ca. 35 km verbindet Frutigen (Nordportal) mit Raron (Südportal). Vom Scheitelpunkt fällt der Tunnel zu den Portalen mit 3 bis 13 ‰ ab. Der Tunnel wurde für Fahrten mit bis zu 250 km/h frei-



3 Lüftungsmaßnahmen der Wiener Linien

<sup>1</sup> Die technische Bezeichnung des Riesenstaubsaugers ist UGR11. Die Maschine wurde nach seinem Entwickler auf den Namen „Engelbert“ getauft.



4 Übersicht Lötchberg-Basistunnel mit den charakteristischen ein- und zweiröhri gen bahntechnisch ausgerüsteten Abschnitten

gegeben. Das hinter dem Südportal gelegene Brückenbauwerk über die Rhône kann nur mit 160 km/h befahren werden. Bergabfahrende Züge bremsen häufig, um entweder die zusätzliche Beschleunigung des Gradienten zu kompensieren (Hangabtriebskraft) oder um höhere Fahrgeschwindigkeiten auf die zulässigen Portalausfahrtsgeschwindigkeiten zu reduzieren.

Der bei Bergabfahrten entstehende Bahnstaub wird zunächst in Fahrrichtung durch den Kolbeneffekt transportiert. Aufgrund des alternierenden Fahrplans und möglicher thermischer Auf- oder Abtriebskräfte wird der Kolbeneffekt teilweise umgekehrt; Bahnstaub verbleibt im Tunnelsystem. Zwischen den Bahntunnelröhren befinden sich im Abstand von ca. 333 m Querschläge (QS) bzw. Querverbindungen (QV) zur nicht bahntechnisch ausgerüsteten Bahntunnelröhre. Auf beiden QS-Seiten befinden sich Lüftungsöffnungen oberhalb des QS-Abschlusses (Bild 5).

Je nach Fahrplan und zugbedingten Druckverhältnissen kommt es zu einer Druckdifferenz zwischen den Bahntunnelröhren; es stellt sich ein Druckausgleich zwischen den Bahntunnelröhren und dem Querschlag ein. Staubhaltige Luft wird in die Querschläge gefördert, Bahnstaub akkumuliert sich dort. In Bild 6 sind Bahnstaub-Ablagerungen auf den Schaltschränken eines Querschlages dargestellt. Problematisch kann die Staubablagerung auf den Schaltschränken werden, wenn diese geöffnet werden und der elektrisch leitende Bahnstaub auf die elektronischen Komponenten gelangt.

Die QS/QV werden ca. zweimal jährlich gereinigt. In Bild 7 sind Reinigungsarbeiten dargestellt: Bodenreinigungsarbeiten erfolgen mit einem Aufsitzreinigungsg erät, während die Schaltschränke mit einem Handsauger gereinigt werden. Reinigungspersonal ist mit besonderen Helmen ausgestattet; mittels eines Frischluftschleiers unter dem Helmvisier wird das Einatmen der staubhaltigen Luft verhindert.

### 3 Möglichkeiten zur Vermeidung von Staubeintrag

Die Möglichkeiten zur Vermeidung von Bahnstaub in unterirdischen Verkehrsanlagen sind stark von den lokalen baulichen Verhältnissen (Gradienten, aerodynamische Kopplung von Abschnitten etc.), dem Fahrplan sowie dem eingesetzten Rollmaterial abhängig (Tabelle 2).

Im folgenden Abschnitt wird auf den Einsatz von Filtern für die QS und QV des Lötchberg-Basistunnels vertieft eingegangen.

### 4 Untersuchungen im Lötchberg-Basistunnel

Zunächst werden im vorliegenden Abschnitt die Möglichkeiten der Staubabscheidung dargelegt, im Anschluss werden Auszüge der durchgeführten Messungen vorgestellt.

#### 4.1 Staubabscheidung

In Tabelle 3 sind verschiedene Möglichkeiten zur Luftfilterung zusammengestellt.

Gewebefilter sind papierähnliche ringförmige oder rechteckig flache Gebilde, die zickzackförmig gefaltetes Gewebe als Filterelement haben. Die Faltung vergrößert die Filterfläche und verringert den Strömungswiderstand bei gleichzeitiger Erhöhung der Standzeit. Diese Filtereinsätze werden nach einmaligem Gebrauch entsorgt („Wegwerffilter“).

Als Varianten sind auch flächige Luftfilter gebräuchlich. In einem Luftfilterkasten wird das Filterelement durch eine ebene in einem Rahmen fixierte und gefaltete Filtermatte dargestellt. Die Luft strömt meist von unten nach oben durch das horizontal ausgerichtete Filterelement. Abgeschiedene größere Fremdkörper



5 Rechteckige Lüftungsöffnung oberhalb des Querschlagabschlusses



6 Äußere Verschmutzung der staubdichten Schaltschränke



7 Reinigungsarbeiten in einem Querschlag des Lötschberg-Basistunnels

können so bei Stillstand des Luftstromes auf den Boden des Filterkastens fallen und behindern somit den Luftstrom nicht zusätzlich. Papierbasierte Luftfilter sind einfach herzustellen und preisgünstig.

In der industriellen Anwendung werden häufig Schlauchfilter eingesetzt. Mehrere Filterschläuche werden durch Drahtkörbe stabilisiert und hängen senkrecht nach unten. An ihrer zylindrischen Außenseite sammelt sich der Staub, ein Filterkuchen bildet sich aus. Diese Filter werden entweder gemäß ihrem Verschmutzungsgrad (druckgesteuert) oder nach einer gewissen Zeit (zeitgesteuert) abgereinigt.

Fliehkraftabscheider (Zyklonfilter) dienen in großtechnischen Anlagen zur Absonderung von in Gasen enthaltenen festen oder flüssigen Partikeln (z. B. zur Abgasreinigung). Im Fliehkraftabscheider werden die Gase als Träger durch deren eigene Strömungsgeschwindigkeit und entsprechende konstruktive Gestaltung des Abscheiders in eine Drehbewegung versetzt. Die auf die Partikel

wirkenden Zentrifugalkräfte beschleunigen diese radial nach außen. Sie werden dadurch vom Gasstrom getrennt, der nach innen geleitet und abgeführt wird. Der Abscheidegrad von Zyklonfiltern ist stark von der Beschleunigung der Luft abhängig. Dies bedingt einen hohen Energieaufwand. Zyklonfilter sind für kleine Partikel wenig geeignet.

In Elektrofiltern werden Staubpartikel elektrostatisch aufgeladen und an den Elektrodenflächen abgeschieden. Die Verschmutzung wird entweder durch getaktete „Abklopfcyklen“ oder durch regelmäßige Waschvorgänge (Nass-E-Abscheider) beseitigt. Der Vorteil eines Elektrofilters besteht in seinem geringen Druckverlust, sein Nachteil ist die mangelnde Betriebssicherheit. Bei Ausfall der Hochspannungsversorgung werden in aller Regel hohe Mengen Schadstoffe ungefiltert durchgeleitet. Darüber hinaus besteht bei stark schwankenden Durchström-Geschwindigkeiten die Gefahr, dass der auf den Kollektorflächen angesammelte Staub durch plötzlich auftretende starke Volumenströme wieder losgerissen wird. Ein weiteres Problem des E-Filters besteht darin, dass es durch die Hochspannung und die dadurch bedingte Koronaentladung zu Reaktionen mit dem Luftsauerstoff kommt, was zur Ozonbildung (O<sub>3</sub>) führt.

#### 4.2 Praxistest im Lötschberg-Basistunnel

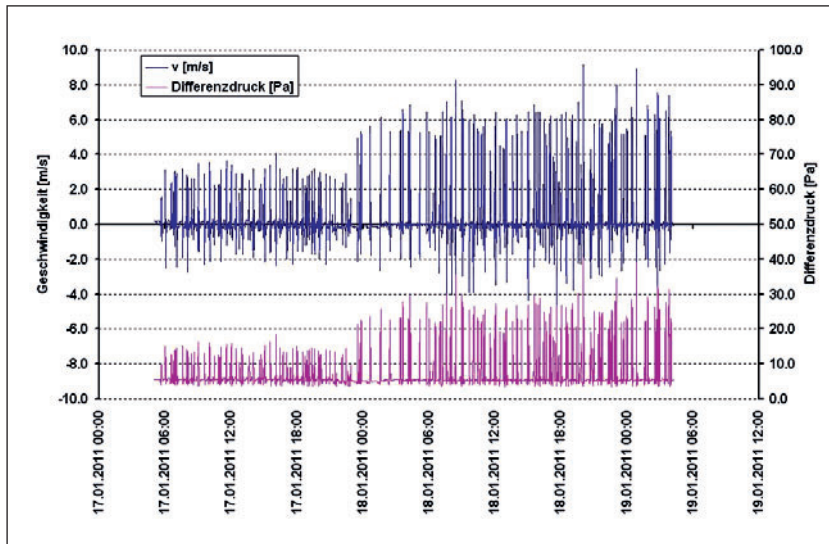
Einige der zuvor beschriebenen Filtermöglichkeiten wurden bzw. werden derzeit im Lötschberg-Basistunnel auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Es wurde ein Filterungskonzept mit Trockenfilter vorgeschlagen und in einem QS umgesetzt/installiert. Erste Versuche verliefen sehr positiv, sodass eine Ausweitung auf mehrere Querschläge beschlossen wurde. Damit der Einsatz von

Maßnahme/Wirkung	Mögliche Vorteile	Mögliche Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>Filterung: Durch den Einsatz von Filtern wird die bahnstaubbelastete Luft aufbereitet, z. B. zur Belüftung technischer Räume und QS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lange Standzeiten und reduzierter Wartungsaufwand</li> <li>einfacher und schneller Filterwechsel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kosten durch Filteranlagen</li> <li>mechanische Luftzufuhr evtl. erforderlich</li> <li>Staub bleibt im System</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Push-pull-Lüftung: Durch die Zufuhr von Frischluft zu Beginn eines Tunnelabschnittes und Abluft am Ende des Abschnittes/Strömungsrichtung in Fahrtrichtung (3 Luftwechsel)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Staub wird aus dem System gefördert</li> <li>häufig sind Lüftungsanlagen vorhanden</li> <li>erprobte Maßnahme</li> <li>der im System verbleibende Staub ist durch gefilterte Zuluft verdünnt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Energiekosten durch Dauerbetrieb von Axialventilatoren</li> <li>reduzierter Nutzen, falls Luft entlang dem Lüftungsabschnitt abgezweigt wird, z. B. zur Belüftung technischer Räume</li> <li>Störung von Passagieren und Anrainern durch Lärm</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Längslüftung: Durch Strahlventilatoren wird Längsströmung hergestellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bahnstaub verlässt System</li> <li>geringe Investitions- und Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Störung von Passagieren und Anrainern durch Lärm</li> <li>reduzierter Nutzen, falls Luft entlang dem Lüftungsabschnitt abgezweigt wird, z. B. zur Belüftung technischer Räume</li> <li>falls Luft via Haltestellen nachströmt: Klimabeeinflussung der Station</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht mechanische Bremsvorgänge: Einsatz von Wirbelstrombremsen und elektromotorischen Bremsen (Umkehrung Motorfunktion)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dominierende Bahnstaubquelle entfällt</li> <li>keine akustische Wirkung</li> <li>keine zusätzliche Beeinflussung der Luftbewegung vorteilhaft im Ereignisfall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht jedes Rollmaterial entsprechend ausgerüstet</li> <li>bei Wirbelstrombremse Gleiserhitzung unerwünscht</li> </ul>

Tabelle 2 Maßnahmen zur Vermeidung/Reduktion von Bahnstaub

Abscheider	Abscheidewirkung	Vorteile	Nachteile
Gewebefilter	sehr gut	einfach, günstig	Temperaturbereich, Druckverlust, Standzeit
Schlauchfilter	sehr gut	einfach, günstig	Temperaturbereich, Druckverlust, Standzeit
Zyklon	ungenügend	einfach, robust	hoher technischer Aufwand, Abscheidegrad lastabhängig
Elektrofilter	gut	geringer Druckverlust, rel. robust	hoher technischer Aufwand, Abscheidegrad betriebsabhängig
Nassabscheider	gut	mit Ad-/Absorptions-Reaktionen kombinierbar	Komplexität, Druckverlust

Tabelle 3 Vergleichende Betrachtung der Staubabscheider für den Einsatz in Bahntunneln



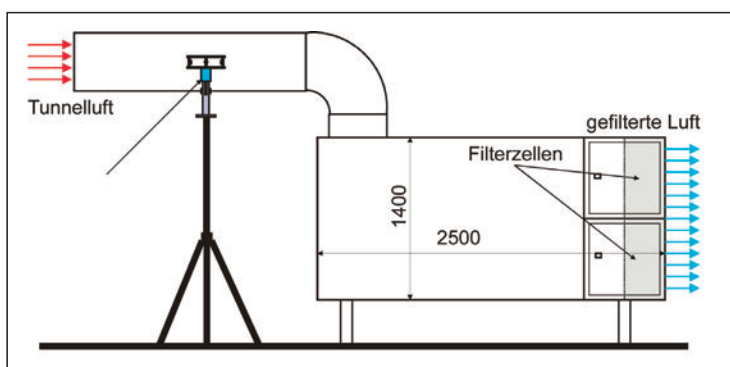
8 Durch die Fahrbewegungen erzwungene Luftwechsel im Querschlag des Lötschberg-Basistunnels vor bzw. nach Veränderung des Querschnittes in der Absperrklappe

Trockenfiltern zum Erfolg führt, muss den Luftwechseln in den Querschlägen sowie den Filter-Standzeiten besonderes Augenmerk gelten.

### 4.3 Luftwechsel in den Querschlägen

Der Luftwechsel spielt in den Querschlägen und Querverbindungen des Lötschberg-Basistunnels eine wesentliche Rolle. Die technische Abwärme in den QS/QV ist abzuführen, um die Temperaturgrenzwerte der Ausrüstung einzuhalten. Zum Zweck der QS-Lüftung und -Wärmeabfuhr sind oberhalb der Querschlagabschlüsse Öffnungen, durch welche aufgrund der zugbedingten Druckschwankungen Luftwechsel erfolgen.

Messungen der Luftwechselraten in einem Querschlag haben gezeigt, dass durch die Druck-/Sogwirkung der Züge erhebliche Volumenströme durch den Querschlag stattfinden. Einschränkend wirkt dabei der Öffnungsquerschnitt, welcher speziell in den Querschlägen durch relativ kleine Rückschlagklappen (Durchmesser 150 mm) stark reduziert wird (Bild 8). Durch die nachträglich installierten Rückschlagklappen erfolgt der Eintrag von Frischluft nur aus der steigenden Röhre. Im Laufe der Versuche wurde daher der Klappenquerschnitt vergrößert, um größere Luftmengen zu erreichen.



9 Filterkasten mit eingesetzter Messtechnik (Strömungsmessung im Rundrohrkanal)

### 4.4 Versuche mit einem Trockenfilter (Gewebefilter)

Die Lüftungsöffnung des Querschlags hin zu der steigenden Fahröhre wurde mit einem Filter versehen, die Lüftungsöffnung zu der fallenden Fahröhre ist mit einer Überdruckklappe verschlossen, sodass zwar Luft aus dem Querschlag in die Fahröhre, aber nicht in die umgekehrte Richtung strömen kann. Es wurden die Strömungsgeschwindigkeit im Lüftungsstrang sowie der Druckverlust im Filter gemessen. Der Druckverlust gibt Aufschluss über die Filterbelegung und damit über die mögliche Standzeit des Filters. Als wichtige Randbedingung wurde auch die Temperatur im Querschlag kontinuierlich überwacht.

In Bild 9 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt (links), daneben ist eine Abbildung des Prüfstandes zu sehen (rechts). Von der quadratischen Querschlagöffnung wird ein Luftkanal auf das Maß zweier Filterzellen

aufgeweitet. Der Filterkasten, welcher die beiden Filterzellen aufnimmt, besitzt eine ausreichende Länge, um eine gleichmäßige Anströmung der beiden Filterzellen zu gewährleisten. Der Volumenstrom durch die Öffnung in den Querschlag resp. aus dem Querschlag wird mittels eines zweidimensionalen Ultraschall-Anemometers bestimmt.

Zum Einsatz kommen Feinstaubfilter, wie sie auch in raumlufttechnischen Anlagen zur Abscheidung von Feinstaub eingesetzt werden. Für die Versuche wurden Plisseefilter-Zellen der Filterklasse F6 ausgewählt. Diese haben eine ausreichende Abscheidewirkung für die im Tunnel vorwiegend auftretenden Staubfraktionen.

## 5 Messergebnisse

Die Messungen und anschließende Berechnungen ergaben, dass durch die Erweiterung der Querschnittsfläche in der Rückschlagklappe die durchschnittlich umgewälzte Luftmenge auf ca. 350 m<sup>3</sup>/h angehoben werden konnte. Für einige QS im Lötschberg-Basistunnel ist dies nicht ausreichend. Die Temperatur im betrachteten Querschlag konnte durch diese Maßnahme bei ca. 30 °C konstant gehalten werden. Demnach war im Quer-



schlag das thermische Gleichgewicht (technische Abwärme + Felswärme = abgeführte Wärme) erreicht.

Aufgrund der relativ geringen Luftvolumina (der Nennvolumenstrom der beiden Filterzellen wird bei Weitem nicht erreicht) ist der Druckverlust im Filter sehr gering. Bei dem umgesetzten Luftvolumen ist daher mit Standzeiten der eingesetzten Filter von mehreren Jahren zu rechnen. In den weiteren Versuchen soll der Luftumsatz deutlich erhöht werden. Eine Messung der Abscheidewirkung wurde nicht durchgeführt, allerdings werden vom Hersteller bestimmte Abscheidewerte garantiert, sodass davon ausgegangen werden kann, dass diese auch erreicht werden.

## 6 Erkenntnisse und Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die durchgeführten Untersuchungen im Lötschberg-Basistunnel haben gezeigt, dass im betrachteten Querschlag ein ausreichender Luftaustausch auch nach dem Einbau des Filters gegeben ist und dass die eingesetzten Trockenfilter den Druckbelastungen im Tunnel standhalten. Hinreichend lange Standzeiten der Filter sind ein weiteres Kriterium für die Einsetzbarkeit dieser Methode.

Da der Volumenstrom für einige QS im Lötschberg-Basistunnel zu gering sein dürfte, um die gesamte anfallende Wärme abzuführen, werden zur Erhöhung des umgewälzten Volumenstromes folgende Maßnahmen betrachtet:

- eine weitere Vergrößerung der freien Querschnittsfläche
- die Ermöglichung des Luftaustausches in beide Richtungen
- die aktive Unterstützung des Luftaustausches mittels Rohrventilator

Für einen standardmäßigen Einbau in einen Querschlag kann die Aufnahme von Filterzellen verbessert werden, Zielgrößen sind z. B.

- einfacher, robuster Aufbau
- geringer Materialeinsatz
- gute Zugänglichkeit zum Filter
- einfache Handhabung beim Wechsel (geringer Aufwand)
- einfache Überwachung der Standzeit

Möglich ist beispielsweise ein Aufbau über der Querschlagtüre im Firstbereich. In jenen Querschlägen, in denen die zugbedingten Luftwechsel nicht ausreichen, ist mechanische Lüftung, z. B. durch den Einsatz eines Rohrventilators, vorzusehen.

## 7 Fazit

Der Eintrag von elektrisch leitendem Bahnstaub in unterirdische Verkehrsanlagen kann zu hohen Reinigungsaufwendungen und zur Einschränkung der Verfügbarkeit/Funktionalität der elektro-mechanischen Ausrüstung führen. Am Beispiel unterschiedlicher Anlagen (unterirdische Bahnhofstestelle, U-Bahn Wien, Lötschberg-Basistunnel) wurden die dort auftretenden Bahnstauberfahrungen mit den ergriffenen Verbesserungsmaßnahmen dargestellt.

Tiefer gehende Untersuchungen an einem Querschlag des Lötschberg-Basistunnels haben gezeigt, dass durch geeignete Filterwahl der Staubeintrag in die QS deutlich reduziert werden kann. Weitere Untersuchungen werden durchgeführt, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Querschläge zu prüfen.

## 8 Danksagung

Für die freundliche Unterstützung, den Informationsaustausch sowie die Zusammenarbeit mit der BLS AG bedanken wir uns bei Hans Stadelmann sowie Daniel Suter. Beat Brügger von der Unternehmung Brügger-HTB GmbH danken wir für die Möglichkeit der Bildnutzung sowie den Erfahrungsaustausch.

## Literatur

- [1] Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt – EMPA: Physikalisch-chemische und mineralogische Charakterisierung von Feinstaubimmissionen; Lötschberg-Basistunnel (LBT); Querschlag QS68; Prüfbericht Nr. 453.633; Dübendorf; 23. November 2009
- [2] INFRAS: PM10-Emissionen Verkehr, Teil Schienenverkehr; Schlussbericht; Bern, 10. Januar 2007