

# Aerodynamische Bedingungen im einspurigen Lötschberg-Basistunnel

Mike Schweller, Bernd Hagenah, Manfred Lörtscher und Otto Wüest, Bern;  
Rainer Matthes, Erlangen

Der 34,6 km lange Lötschberg-Basistunnel (LBT) ist ein Teil der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT), die zur Verbesserung des Eisenbahn-Transitverkehrs auf der Nord-Süd-Achse dient und mit dem europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz verbunden ist. Der Tunnel besteht aus zwei Einspurrohren, die für 250 km/h betriebliche Höchstgeschwindigkeit ausgelegt sind. Die besonderen aerodynamischen Verhältnisse der engen Tunnelröhren bedingen Anpassungen bei der Anwendung der Interoperabilitätskriterien der TSI Energie.

### **Aerodynamic conditions in the single-track Lötschberg base tunnel**

The 34,6 km long Lötschberg base line is part of the New Railway Links through the Alps (NRLA) built for the improvement of the railway transit traffic in the North-South axis and connected to the European high-speed railway network. The tunnel consists of two single track tubes, designed for a maximum operational speed of 250 km/h. The special aerodynamic conditions in the narrow tubes require adjustments for the assessment criteria for interoperability according to the TSI Energy.

### **Conditions aérodynamiques particulières en tunnel de base du Lötschberg à une seule voie**

Le tunnel de base du Lötschberg fait partie des Nouvelles Lignes Ferroviaires à travers les Alpes (NLFA) qui servent à l'amélioration du trafic ferroviaire sur la ligne Nord-Sud. Il fait part du réseau européen à grande vitesse. Ce tunnel, long de 34,6 km, est composé de deux tubes à une voie, dimensionnés pour des vitesses maximales d'exploitation de 250 km/h. La situation aérodynamique particulière impose des adaptations dans l'application des critères selon les Spécifications Techniques pour l'interopérabilité (STI) énergie.

## 1 Einführung

Die Überquerung der Alpen war immer schon bedeutendes Ziel und zugleich Herausforderung für den Eisenbahnbau in Europa. Mit der Fertigstellung der Brennerbahn 1867, des Gotthardtunnels 1882, des Simplontunnels 1906 und des Lötschberg-Tunnels 1913 waren bedeutende Meilensteine im europäischen Nord-Süd-Verkehr erreicht. Kürzere Fahrzeiten und somit hohe Durchlassfähigkeit der Strecke erfordern hohe Geschwindigkeiten. Auf alten Bergstrecken mit ihren hohen Gradienten, engen Kurven und diversen Kehrtunneln sind höhere Geschwindigkeiten nicht mehr zu erreichen. Deshalb entschloss man sich in der Schweiz im Rahmen des Projektes *Neue Eisenbahn-Alpentransversalen* (NEAT) zum Bau des

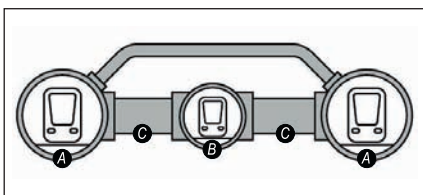
Lötschberg-Basistunnels (LBT) und des Gotthard-Basistunnels (GBT) und in Österreich und Italien zum Bau des Brenner-Basistunnels.

Der LBT ist rund 34 km lang und als Hochgeschwindigkeitsstrecke bis 250 km/h Geschwindigkeit ausgelegt. Er wird im Dezember 2007 in den planmäßigen Betrieb übergehen. Der von der übergeordneten Tunnelsicherheit getriebene Entscheid zum Bau von Einspurtunneln bringt besondere aerodynamische Verhältnisse mit sich, die bei der Gestaltung der Tunnelausrüstung beachtet werden mussten.

## 2 Der Lötschberg-Basistunnel im Vergleich mit anderen Strecken

Der Bau von zwei parallelen, einspurigen Bahntunneln ist keine Besonderheit des LBT und ermöglicht, die zweite Tunnelröhre notfalls zur Evakuierung zu verwenden.

Bereits der Simplontunnel zwischen der Schweiz und Italien wurde Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts mit getrennten Röhren gebaut.



**Bild 1:** Querschnitt des Eurotunnels zwischen Folkestone (Großbritannien) und Calais (Frankreich).  
A Haupttöhren,  
B Serviceröhre,  
C Querschläge

Der Eurotunnel zwischen Folkestone (Großbritannien) und Calais (Frankreich) besteht aus zwei Einspurttunneln, jedoch mit dem Unterschied, dass sich zusätzlich zwischen den beiden Hauptröhren, die 30m Abstand haben, eine Serviceröhre befindet, die mit kleinen Fahrzeugen befahren werden kann, wie in Bild 1 ersichtlich [1]. Sie dient der Instandhaltung, der Evakuierung und zum Druckausgleich. Die aerodynamische Druckwelle kann sich über die Querschläge, die die Hauptröhren alle 375m mit der Serviceröhre verbinden, im gesamten Tunnel ausbreiten. Im 50,45km langen Eurotunnel fahren die Züge mit höchstens 160km/h, es handelt sich also nicht um eine Hochgeschwindigkeitsstrecke.

Der Guadarrama-Tunnel der spanischen Hochgeschwindigkeitsstrecke Madrid – Segovia – Valladolid ist 28km lang, besteht aus zwei Einspurttunneln und ist für Geschwindigkeiten bis 350km/h projektiert. Die Inbetriebnahme ist für 2007/2008 vorgesehen. Der Achsabstand beider Tunnelröhren beträgt 30m, alle 250m wurden Verbindungsstollen angelegt, die belüftet werden können und im Notfall als Rettungsräume dienen.

Andere europäische Hochgeschwindigkeitsstrecken [2; 3], wie

- Köln – Rhein/Main in Deutschland,
- LGV Méditerranée in Frankreich,
- Verona – Neapel in Italien und
- Madrid – Sevilla in Spanien

besitzen keine solch langen Tunnel. Auf diesen Strecken wurden vorrangig zweisepurige Tunnel gebaut.

Die niederländische Hochgeschwindigkeitsstrecke HSL Zuid von der belgischen Grenze über Breda und Rotterdam nach Schiphol besitzt vier Tunnel, die als Doppelspurttunnel gebaut wurden. Anschließend wurde eine Trennwand aus Stahlbeton eingezogen und Druckentlastungsklappen sowie Verbindungstüren installiert. Zur Evakuierung von Personen gibt es Rettungsschächte.

Die deutsche Hochgeschwindigkeitsstrecke Köln – Rhein/Main weist 30Tunnel auf, von denen der Schulwaldtunnel mit 4500m der längste ist. Er besteht aus einer zweisepurigen Tunnelröhre mit fünf Notausgängen, die in drei bis 45m tiefen Notausgangsschächten münden. Dieses Rettungskonzept ist hier möglich, da die größte Überdeckung 61m beträgt.

Auf der Neu- und Ausbaustrecke Karlsruhe – Basel wird der 9385 m lange Katzenbergtunnel gebaut, der aus zwei Einspurttunneln mit Querschlägen alle 500m besteht. Die maximale Überdeckung des Tunnels misst 110m. Die Höchstgeschwindigkeit wird im Tunnel 300km/h betragen.

Der LBT besteht aus zwei einspurigen Tunnelröhren. Diese liegen rund 40m weit auseinander und sind durch Querschläge alle 333m miteinander verbunden. Bild 2 zeigt die

Röhrenquerschnitte [4]. Durch einen Spurwechsel können die Züge von einer Röhre in die andere wechseln. Die Querschläge sind hier, anders als beim Eurotunnel, geschlossen und lassen sich nur im Evakuierungsfall und zu Instandhaltungszwecken öffnen. Die Tore werden über die Tunnelleittechnik überwacht; eine Öffnung unter normalen Betriebsbedingungen hat unmittelbare Auswirkungen auf den Zugbetrieb. Eine Verbindung zwischen den beiden Tunnelröhren gibt es nur am Spurwechsel. Zugbedingte Druckwellen, die während der Tunnellein- und -ausfahrt sowie während der Vorbeifahrt an Änderungen des freien Tunnelquerschnittes entstehen, können sich somit nur entlang der Tunnelröhre ausbreiten [5]. Die maximale Geschwindigkeit der Züge im Tunnel beträgt 250km/h.

Ausgehend von den Eigenschaften der Einspurttunnel sprachen folgende Punkte für die Ausführung des LBT mit zwei Röhren:

- Sicherheits- und Rettungskonzept: Da beide Röhren voneinander getrennt sind, haben Ereignisse der einen Röhre keine unmittelbaren Auswirkungen auf die andere Röhre, so dass diese für Rettungseinsätze und zur Evakuierung zur Verfügung steht. Der Bau eines Rettungstunnels ist nicht erforderlich. Ein Rettungskonzept mit Notausgängen und Schächten war auf Grund der Länge und der Überdeckung nicht geeignet.
- Betriebs- und Instandhaltungskonzept: Durch die Unabhängigkeit beider Tunnelröhren kann während der Instandhaltungsarbeiten in der einen Tunnelröhre in der anderen der Betrieb aufrechterhalten werden.

Die aerodynamischen Verhältnisse werden durch den mit 45m<sup>2</sup> geringen freien Tunnelquerschnitt des Einspurttunnels, die hohe Fahrgeschwindigkeit sowie den fehlenden Druckausgleich zwischen den Tun-

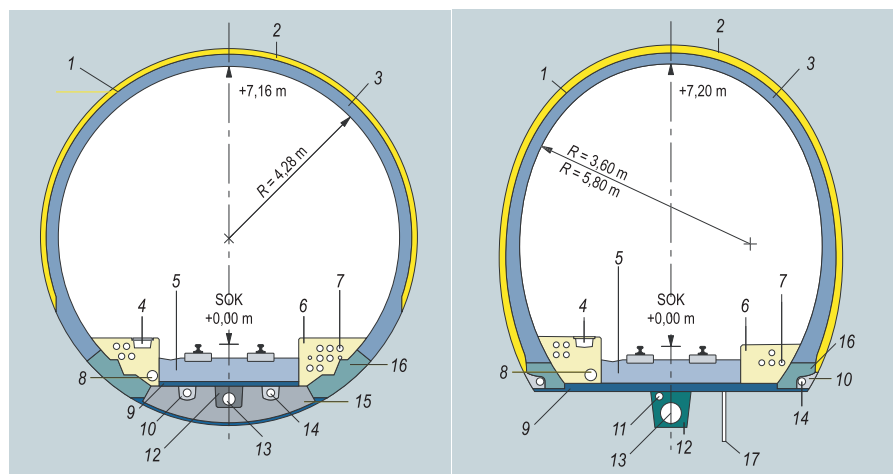
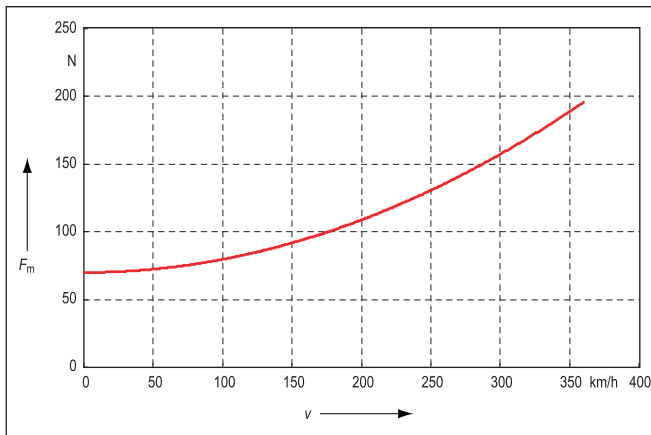


Bild 2: Querschnitte des Lötschberg-Basistunnels; links bei Bohrorttrieb, rechts bei Sprengorttrieb.

- |                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 Abdichtung und Drainage         | 10 Sickerkies                  |
| 2 Ausbruchsicherung               | 11 Sickerleitung               |
| 3 Verkleidungsbeton $\geq 0,28$ m | 12 Hüllbeton                   |
| 4 Kabelkanal                      | 13 Sammelleitung Bergwasser    |
| 5 Beton-Gleisplatte               | 14 Entwässerung Drainagewasser |
| 6 Bankett                         | 15 Sohlübbing                  |
| 7 Kabelrohrblock                  | 16 Kicker                      |
| 8 Tunnelabwasserleitung           | 17 Entlastungsbohrungen        |
| 9 Sohlbeton                       | SOK Schienenoberkante          |



**Bild 3:** Zielvorgabe für die mittlere Kontaktkraft  $F_m$  für AC-Systeme abhängig von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  nach TSI Energie; die Vorgabe entspricht der Funktion  $F_m = 0,000970 \cdot v^2 + 70$ .



**Bild 4:** Stromabnehmer Typ Faiveley AX.

nelröhren bestimmt. Dadurch entstehende aerodynamische Zug- und Drucklasten wirken auf die Tunnelausrüstung sowie auf das Rollmaterial. Von hohem Interesse sind die Auswirkungen auf die Stromabnahme am Stromabnehmer, die die normativen Vorgaben [6; 7] erfüllen und die Interoperabilitätskriterien [8; 9] einhalten muss.

### 3 Fahrodynamik und Aerodynamik in Tunneln

Auch bei der Berechnung der Fahrodynamik der Züge geht die Bauform des Tunnels in den Fahrwiderstand ein. Der Fahrwiderstand  $F_w$  ist die Kraft, die der Zug überwinden muss, um sich mit konstanter Geschwindigkeit in der Ebene zu bewegen. Der Tunnelfaktor  $f_t$  als Verhältnis der Luftwiderstände auf freier Strecke und im Tunnel beeinflusst folglich die quadratischen Anteile der Fahrwiderstandsformel:

$$F_w = k_0 + k_1 \cdot v + k_2 \cdot m + k_3 \cdot v \cdot m + k_4 \cdot f_t \cdot v^2 + k_5 \cdot f_t \cdot v^2 \cdot m \quad (1)$$

mit  $v$  Fahrgeschwindigkeit,  $m$  Zugmasse,  $k_0$  bis  $k_5$  von der Zuggestaltung abhängige Faktoren und ist abhängig von der Tunnel- und Zuglänge, dem Verhältnis von Tunnel- und Fahrzeugquerschnitt und von der Rauigkeit der Tunnelwand. In der Literatur wird der Tunnelfaktor für Doppelspurtunnel mit 1,1 bis 1,3 und für Einspurtunnel mit 1,5 bis 2,0 angegeben.

Anders ausgedrückt, bewirkt das Fahren im Einspurtunnel mitunter das Gleiche wie die Verdoppelung des Luftwiderstandsbeiwertes  $c_w$  des Fahrzeuges. Ursachen dafür sind der Aufbau einer Druckwelle vor dem Zug bei der Einfahrt in den Tunnel, das Vorantreiben einer Luftsäule vor dem Zug und die Beschleunigung der abströmenden Luft.

### 4 Anforderungen nach TSI Energie und EN 50367

Sowohl für die Bewertung der Interoperabilitätskomponenten Oberleitung und Stromabnehmer als auch für die Bewertung des Teilsystems Energie ist unter anderem die Zielvorgabe für die mittlere Kontaktkraft am Stromabnehmer einzuhalten [7]. Die mittlere Kontaktkraft setzt sich aus einem statischen und einem aerodynamischen Anteil zusammen. Bei Messung der Kontaktkraft mit Schnitkraftsensoren sind die zwischen den Sensoren und den Kontaktpunkten wirkenden aerodynamischen Kräfte und die Beschleunigungskräfte der Schleifleisten zu berücksichtigen [10]. Die mittlere Kontaktkraft ist die auf den Fahrdrabt wirkende Kraft. Der Zielwert soll nicht überschritten werden, damit Anhub, Dynamik der Fahrleitung und Verschleiß des Fahrdrabtes und der Schleifstücke auf ein wirtschaftliches Maß begrenzt werden. Eine deutliche Unterschreitung des Zielwertes ist nicht möglich, weil die Stromabnahme ohne unangemessene Lichtbögen gewährleistet werden muss. Die ionisierte Luft des Lichtbogens führt zu einem mechanischen Verschleiß des Fahrdrabtes als auch der Schleifleiste. Fahrzeugseitig erzeugt die schlechte Kontaktabnahme Spannungsunterbrechungen und somit Hauptschalterauslösungen mit Traktionsabbruch.

Hat ein Zug mehrere Stromabnehmer gleichzeitig gehoben, so sind die Kriterien für jeden einzelnen Stromabnehmer einzuhalten. Bild 3 zeigt die Zielvorgabe nach TSI Energie für die mittlere Kontaktkraft für AC-Systeme abhängig von der Fahrgeschwindigkeit.

Für die Bewertung der Interoperabilitätskomponente Stromabnehmer als auch des Teilsystems Energie für mit Wechselstrom betriebene bestehende Anschluss-, Ausbau- und Hochgeschwindigkeitsstrecken, die diese Anforderung nicht erfüllen, muss der Stromabnehmer so ausgelegt sein, dass die mittlere Kontaktkraft zusätzlich nach den alternativen Kurven C1 und C2 eingestellt werden kann. Der Hersteller des Stromabnehmers muss Vorkehrungen dafür treffen, dass eine Umschaltung der Kontaktkraft an Bord durchgeführt werden kann.

## 5 Einflussfaktoren auf die Kontaktkraft

Da die Kontaktkraft zwischen Fahrdrabt und Stromabnehmer wirkt, ist sie folglich vom Typ der Fahrleitung und vom Typ des Stromabnehmers abhängig. Im LBT wurde eine Fahrleitung vom Typ Re 250LBL-T eingesetzt. Das Kettenwerk besteht aus einem Fahrdrabt AC-120CuAg 0,1 und aus einem Trageisil Bz II 70, beide mit je 15 kN nachgespannt. Ein Y-Beiseil ist nicht vorhanden [11]. Als Stromabnehmer werden unter anderen die Typen Schunk WBL 85 und Faiveley AX (Bild 4) eingesetzt, wobei im LBT folgende Anordnungen möglich sind:

- zwei gehobene Stromabnehmer in mindestens 185 m Abstand bei 250 km/h Fahrgeschwindigkeit (Messgeschwindigkeit 280 km/h) bei Triebzügen
- zwei gehobene Stromabnehmer in 18,5 m Abstand bei 200 km/h Fahrgeschwindigkeit (Messgeschwindigkeit 230 km/h) bei lokomotivbespannten Zügen in Doppeltraktion
- Züge, die bis 120 km/h schnell verkehren, können im Zugverband an drei Positionen je zwei Lokomotiven mit gehobenen Stromabnehmern in 18,5 m Abstand aufweisen, wobei der Mindestabstand zwischen den Stromabnehmerpaaren 185 m beträgt (Güterzüge).

Mehrere gleichzeitig gehobene Stromabnehmer können sich gegenseitig über die Schwingungsanregung des Kettenwerkes beeinflussen.

Die Kontaktkraft wird weiterhin durch aerodynamische Strömungsverhältnisse beeinflusst, die vom Einbauort des Stromabnehmers, von der Bauform der Lokomotive und des Zugverbandes abhängig sind. Bauwerke entlang der Strecke, wie Überführungen und Tunnel, bewirken durch die erhöhte Luftverdrängung zusätzliche Kräfte auf den Stromabnehmer. Bei einem 35 km langen Tunnel herrschen also andere Strömungsverhältnisse als auf freier Strecke. Durch die Luftverdrängung in der Tunnelröhre entsteht eine höhere Luftströmung entlang des Zuges, also auch auf dem Dach der Lokomotive, die umso stärker wird, je kleiner der Tunnelquerschnitt ist. Bei einem Einspurtunnel ist demzufolge die größte Luftverdrängung zu erwarten.

## 6 Untersuchung der aerodynamischen Strömungsverhältnisse

Der Einfluss der Aerodynamik auf die Kontaktkräfte wurde durch aerodynamische Messungen am Stromabnehmer erstmalig für Fahrten durch den LBT untersucht. Bild 5 zeigt den Messzug. Mit Hilfe einer Prandtlsonde als Messsonde auf dem Lokomotivdach wurde die Luftgeschwindigkeit am Stromabnehmer gemessen. Auf Grund des großen Versperrungsmaßes  $A_{\text{Zug}}/A_{\text{Tun}}$  wurden höhere Luftgeschwindigkeiten als in Doppelspurtunneln oder auf freien Strecken erwartet.



Bild 5: Messzug mit einer Lokomotive der Baureihe Re 460 mit Faiveley-Stromabnehmer und SBB-Messwagen im Bahnhof Brig.



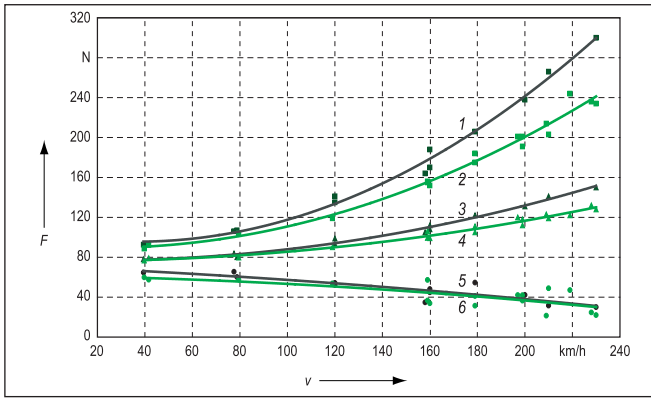
Bild 6: Prandtlsonde am Stromabnehmer mit (a) Druckbohrung am Sondenkopf zur Ermittlung des Totaldruckes und (b) Druckbohrung am Sondenschaft zur Ermittlung des statischen Druckes.

Die zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit am Stromabnehmer montierte Prandtlsonde ist in Bild 6 dargestellt. Die Strömungsgeschwindigkeit  $v_{\text{Luft}}$  ergibt sich aus der Differenz des Totaldruckes  $P_{\text{Tot}}$  am Sondenkopf und des statischen Druckes  $P_{\text{stat}}$  am Sondenschaft unter Berücksichtigung der Luftdichte  $\rho_{\text{Luft}}$  gemäß:

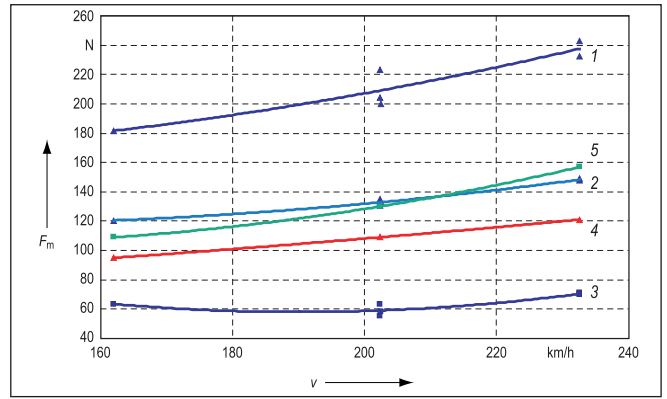
$$v_{\text{Luft}} = \sqrt{2 \cdot \frac{P_{\text{Tot}} - P_{\text{stat}}}{\rho_{\text{Luft}}}} \quad (2)$$

Der Druck wurde mit integrierten Mikrodruckaufnehmern, so genannten Kuliten, gemessen, welche die Druckschwankungen über die Druckbohrungen erfassten. Die Signale wurden anschließend mit 200 Hz Messfrequenz aufgezeichnet.

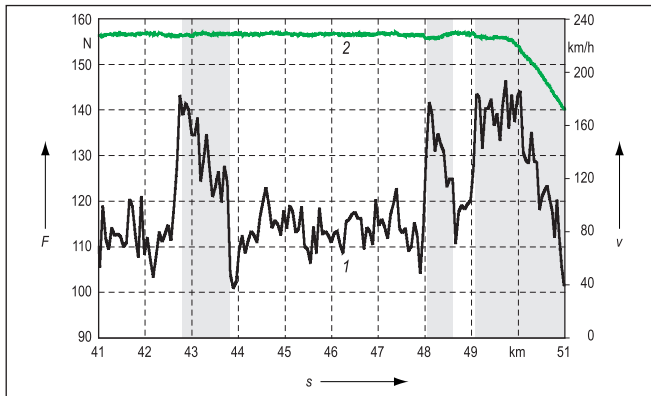




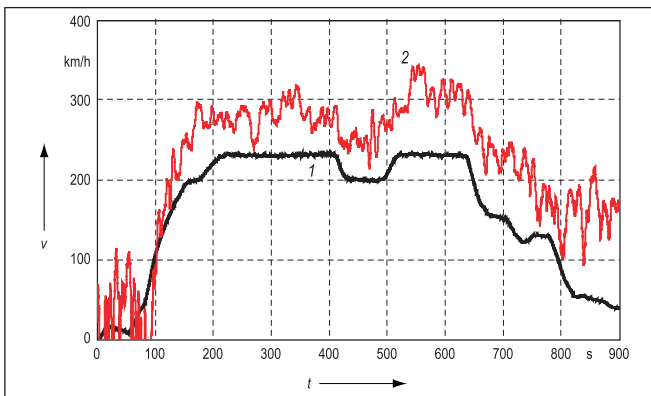
**Bild 7:** Kontaktkraft  $F$  zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt abhängig von der Geschwindigkeit  $v$ , gemessen am nachlaufenden Stromabnehmer bei Doppeltraktion mit 18,5 m Stromabnehmerabstand Kniegang. 1  $F_{max}$  Tunnel, 2  $F_{max}$  offene Strecke, 3  $F_m$  Tunnel, 4  $F_m$  offene Strecke, 5  $F_{min}$  Tunnel, 6  $F_{min}$  offene Strecke



**Bild 10:** Mittlere Kontaktkraft  $F_m$  zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt abhängig von der Geschwindigkeit  $v$ , gemessen am vordersten Stromabnehmer im Spießgang. 1  $F_{max}$ , 2  $F_m$ , 3  $F_{min}$ , 4 Zielkurve bei Geschwindigkeit gleich der Fahrgeschwindigkeit, 5 Zielkurve bei Geschwindigkeit gleich der Anströmgeschwindigkeit am Stromabnehmer



**Bild 8:** Kraftverlauf bei Tunnelleinfahrten der NBS. Tunnelabschnitte sind grau hinterlegt. 1 Kontaktkraft  $F$ , 2 Fahrgeschwindigkeit  $v$



**Bild 9:** Vergleich der Fahrgeschwindigkeit des Zuges (1) und der Luftgeschwindigkeit (2) der axialen Strömung.

## 7 Aerodynamische Messungen und Vergleiche

### 7.1 Neubaustrecke Mattstett– Rothrist

Auf der Neubaustrecke Mattstett–Rothrist wurden in den Jahren 2003 und 2004 ebenfalls Messungen zur Bewertung der Kontaktkraft durchgeführt, die in [12]

beschrieben und nachfolgend kurz zusammengefasst sind. Der nur 18,5 m große Stromabnehmerabstand zwischen den beiden Lokomotiven der Baureihe (BR) Re 460 war ungünstig. Die Beanspruchung des nachlaufenden Stromabnehmers ist in der Regel höher, da dieser an der durch den vorlaufenden Stromabnehmer zum Schwingen angeregten Oberleitung arbeiten muss und sich im Einflussbereich der aerodynamischen Turbulenzen des vorlaufenden Stromabnehmers befindet. Bild 7 zeigt die maximale, mittlere und minimale Kontaktkraft für den hinteren Stromabnehmer in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Die grünen Kurven gelten hierbei für freie Strecke, die schwarzen für Tunnel. Die Kräfte im Tunnel sind auf Grund der aerodynamischen Verhältnisse um rund ein Drittel höher. Bei den Tunnelleinfahrten traten zudem Spitzen im aerodynamischen Auftrieb auf, wie im Bild 8 zu erkennen ist.

### 7.2 Messungen im Lötschberg-Basistunnel

In Bild 9 sind die Fahrgeschwindigkeit  $v_{Zug}$  und die Anströmgeschwindigkeit  $v_{Luft}$  des Stromabnehmers für eine Nord-Süd-Fahrt von Frutigen nach Visp dargestellt, wobei sich die Messsonde am ersten Stromabnehmer auf der vorderen Lokomotive befand. Bei 230 km/h maximaler Fahrgeschwindigkeit wurde die Zuströmgeschwindigkeit in Fahrtrichtung am Stromabnehmer mit rund 300 km/h gemessen. Die Ursache für den Unterschied zwischen Fahrgeschwindigkeit und Anströmgeschwindigkeit sind die aerodynamischen Bedingungen im Lötschberg-Basistunnel mit 45 m<sup>2</sup> freiem Tunnelquerschnitt  $A_{Tun}$  und 11 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche  $A_{Zug}$  des Messzuges. Der enge Ringspalt erhöht die Anströmgeschwindigkeit der Luft relativ zur Anströmung durch die Fahrgeschwindigkeit. Als Näherung für die Anströmgeschwindigkeit im Ringspalt  $v_{RingZ}$  gilt bei ruhender Luft vor dem Zug und bei den oben genannten Voraussetzungen:

$$V_{\text{RingZ}} = \frac{V_{\text{Zug}} \cdot A_{\text{Tun}}}{A_{\text{Tun}} - A_{\text{Zug}}} \quad (3)$$

Für den vorliegenden Messzug mit 230 km/h Geschwindigkeit ergeben sich 304 km/h als rechnerische resultierende Anströmgeschwindigkeit am Stromabnehmer. Dieses Ergebnis kommt den Messwerten sehr nahe.

Ob dieser Zusammenhang für andere aerodynamische Tunnelverhältnisse wie andere Tunnelquerschnitte, Wandrauigkeiten, und andere Fahrzeuge, mit anderen Zugquerschnitten, Positionen und Höhen der Stromabnehmer ebenfalls zutrifft, muss durch ergänzende Messungen nachgewiesen werden.

### 7.3 Messungen mit Lokomotive und Wagen bis 230 km/h

Für die Betriebsaufnahme des LBT mit lokomotivbespannten Zügen wurden Messfahrten zur Bewertung der Kontaktkraft in der 37. Kalenderwoche 2007 durchgeführt. Der Messzug der SBB-Messtechnik bestand aus zwei Lokomotiven BR Re 460 (Bild 5), vier Bremswagen des Typs EW-IV und einem Steuerwagen IC Bt. Die spezielle aerodynamische Gestaltung der BR Re 460 mit rückversetzter Stirnfront, welche die Luft nach oben abführt, hat den Vorteil, dass Reisende auf dem Bahnsteig nur minimale Druckstöße von vorbeifahrenden Zügen erhalten. Der Nachteil dieser Konstruktion ist eine starke Bugströmung, die auf den Stromabnehmer an der vordersten Position im Spießgang einwirkt. Es wurden Messstromabnehmer des Typs Faiveley AX (Bild 4) eingesetzt. Da der Faiveleystromabnehmer nur eine Schleifleiste aufweist, ist die Angriffsfläche der Bugströmung im Vergleich zu einem Stromabnehmer mit zwei Schleifleisten bedeutend kleiner. Die Stromabnahme bei 200 km/h mit BR Re 460 in Doppeltraktion mit zwei gehobenen Stromabnehmern in 18,5 m Abstand findet infolge der Schwingungsanregung durch den vorlaufenden Stromabnehmer schwierige Bedingungen vor (Abschnitt 7.1).

Die Kontaktkräfte wurden unter Beachtung der Norm EN 50317 [10] gemessen. Die aerodynamischen Kräfte an der Wippe und der Einfluss der Massenträgheit der Schleifleisten wurden online kompensiert. Der Messstromabnehmer verfügt über weitgehend einflussfrei in den Stromabnehmer integrierte Sensoren zur Erfassung der Schnittkräfte und zusätzlich der Luftdruckkräfte (Bild 6).

Für alle Stromabnehmerpositionen wurden die minimalen, maximalen und mittleren Kontaktkräfte und die Standardabweichungen  $\sigma$  ermittelt. Die Ergebnisse für die Position an der Spitze des Zuges, vorderster Stromabnehmer gehoben, sind in Bild 10 dargestellt. Die Kurven zeigen die Kontaktkraftverläufe Stromabnehmer-Fahrdraht abhängig von der Geschwindigkeit. Kurve 1 zeigt die maximale Kontaktkraft  $F_{\text{max}}$ , Kurve 2 die mittlere Kontaktkraft  $F_{\text{m}}$  und Kurve 3 die minimale Kontaktkraft  $F_{\text{min}}$ . Die Kontaktkräfte wurden anhand der Tabelle B.5 der EN 50367 bewertet. Die

maximale Kontaktkraft liegt bei allen Stromabnehmerpositionen unter 250 N und hält somit die Vorgaben nach EN 50367 ein. Dasselbe trifft auch für die minimale Kontaktkraft zu, die für alle Stromabnehmerpositionen größer als Null ist. Die Bewertung der Kraftmittelwerte  $F_{\text{m}}$  ist von der Auslegung der Zielkurve gemäß EN 50367 abhängig. Wird an der Abszisse die Zuggeschwindigkeit eingesetzt, wird die resultierende Zielkurve 4 von den gemessenen Kraftmittelwerten deutlich überschritten. Wird an der Abszisse die Luftgeschwindigkeit gemäß Abschnitt 7.2 berücksichtigt, ergibt sich eine korrigierte Zielkurve 5. Die gemessenen Kraftmittelwerte liegen unter 200 km/h leicht über dieser Zielkurve. Über 200 km/h wird die Zielkurve geringfügig unterschritten. Die Beurteilung der Kraftmittelwerte hängt somit von der Interpretation der Zielkurve der EN 50367 ab. In den Abschnitten 8 und 9 werden Ergebnisse und Zielkurven der TSI Energie verglichen und Vorschläge zur Anpassung gemacht.

### 7.4 Messungen mit Triebzug bis 280 km/h

Die ersten Messfahrten zur Bewertung des Kontaktverhaltens mit einem gehobenen Stromabnehmer wurden in der 50. und 51. Kalenderwoche 2006 mit dem ICE-S-

Anzeige

www.hbi.ch

**Wir sind international tätige Planer für**

- **Tunnellüftungen**
- **Immissionsberechnungen und -gutachten**
- **Aerodynamik und Thermodynamik von Tunnelsystemen**
- **Flucht- und Rettungskonzepte**
- **Mechanische Ausrüstung**

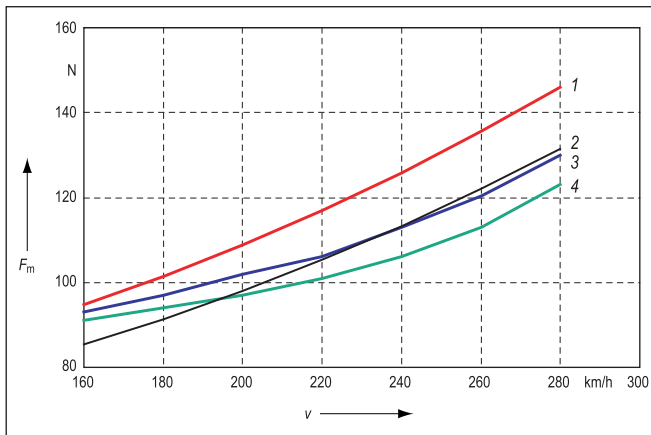
**Unsere Leistungen umfassen:**

- *Strassen-, Bahn- und U-Bahntunnel*
- *Beratung, Expertisen und Studien*
- *Planung, Projektierung und Realisierung*
- *Bauleitung und Messungen*
- *Abnahmetests und Brandversuche*

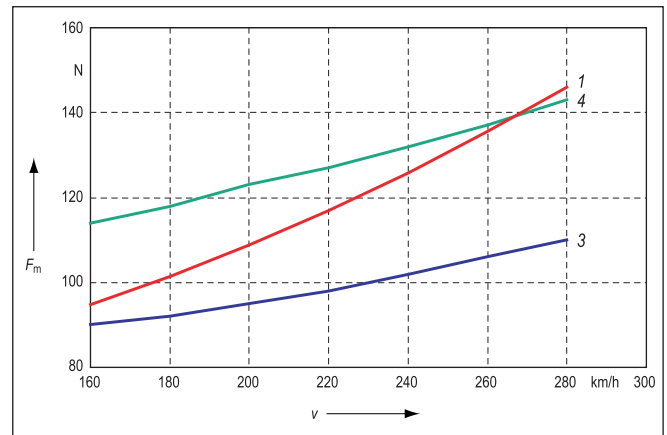
*Von Vorstudien bis zu detaillierten Dimensionierungen und von Ausschreibungen bis zur Inbetriebnahme sind wir der richtige Ansprechpartner.*

**HBI** «Weltweit erfolgreiche Planung und Beratung bei über 500 Tunnellüftungen seit 1963»

**HBI HAERTER AG BERATENDE INGENIEURE**  
 Stockerstrasse 12 CH-8002 Zürich Schweiz  
 Tel. +41 (0)44 289 39 00 E-Mail: info.zh@hbi.ch  
 Fax +41 (0)44 289 39 99 Web: www.hbi.ch  
 Schweiz: Zürich, Bern / Deutschland: Heidenheim



**Bild 11:** Mittlere Kontaktkräfte  $F_m$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  im Vergleich mit den Zielkurven der TSI Energie für den ICE-Kurzzug. 1 TSI-Zielkurve, 2 TSI-C2-Kurve, 3 Messkurve Spießgang, 4 Messkurve Kniegang



**Bild 12:** Mittlere Kontaktkräfte  $F_m$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  im Vergleich mit den Zielkurven der TSI Energie für den ICE-Langzug. Bezeichnung siehe Bild 11

Messzug der DB AG durchgeführt. Der Kurzzug bestand aus zwei Triebköpfen und einem Messwagen dazwischen. Weitere Messungen fanden in der zweiten Kalenderwoche 2007 mit einem Langzug statt, bei dem zusätzlich sechs Wagen zwischen Messwagen und Triebkopf 2 eingestellt wurden. Mit diesem wurde das Kontaktverhalten beim Fahren mit zwei gehobenen Stromabnehmern in 192,5m Abstand bewertet. Bei den Messungen wurden die aerodynamischen Korrekturwerte bestimmt, da diese für Einspurttunnel noch nicht vorlagen. Messstromabnehmer vom Typ SSS 400+ mit Eurowippe 1600 mm wurden eingesetzt.

Bei den Messungen im LBT wurde vom Auftragnehmer zur Bewertung nicht die Zielkurve nach Abschnitt 5.3.1.6 der TSI Energie herangezogen, sondern die C2-Kurve (-10%) nach Anhang Q.4.1.

Bei Betrieb mit einem Stromabnehmer wurde mit 80N eingestellter statischer Andruckkraft für die mittlere Kontaktkraft eine gute Übereinstimmung mit der C2-Kurve festgestellt. Die Qualität der Stromabnahme war bis zur Höchstgeschwindigkeit 280km/h sehr gut. Die aerodynamischen Messungen im Einspurttunnel führten zu keiner Änderung der Windleitbleche. Die Ergebnisse sind im Bild 11 dargestellt. Der Stromabnehmer SSS 400+ zeigt eine flache Auftriebscharakteristik.

Bei Traktion mit zwei Stromabnehmern in 192,5m Abstand und 80N statischer Andruckkraft an beiden Stromabnehmern war die Qualität der Stromabnahme am hinteren Stromabnehmer bei Geschwindigkeiten größer 240km/h ungenügend. Es traten Kontaktkraftunterbrechungen auf, die vereinzelt auch zu Hauptschalterauslösungen führten. Erst bei Einstellung der statischen Andruckkraft 100N am hinteren Stromabnehmer wurde eine gute Qualität der Stromabnahme erreicht. Nur diese Fahrten können für den Vergleich mit der TSI-Zielkurve und damit zur Bewertung der Interoperabilität der Fahrleitung herangezogen werden. Die Tabellen mit den dynamischen Kräften in [13] wurden ausgewertet und die Ergebnisse im Bild 12 dargestellt.

Man erkennt aus Bild 12, dass die Auftriebscharakteristik des Stromabnehmer SSS 400+ geringfügig flacher ist. Für die beiden Richtungen, Kniegang und Spießgang, ist die Charakteristik nahezu identisch. Die Kurven verlaufen im untersuchten Geschwindigkeitsbereich parallel mit 25N bis 30N Abstand. Die Kurve für die Zielvorgabe nach TSI verläuft steiler. Der vordere Stromabnehmer mit der statischen 80N Andruckkraft von Spießgang weicht mit größerer Geschwindigkeit (ab 200km/h) stärker von der TSI-Kurve und deutlich stärker von den Werten bei Messung mit dem Kurzzug ab. Gegenüber der Einzeltraktion sind die Werte im Spießgang auf dem vorderen Triebkopf bei 280km/h um 20N geringer. Die Kontaktkraftmittelwerte des hinteren Stromabnehmers im Kniegang liegen bis 270km/h über der TSI-Kurve.

Die Ergebnisse der Prüfung der Oberleitung im LBT bei 250km/h mit zwei Stromabnehmern entsprechen den Vorgaben für die Interoperabilitätsprüfung für die Infrastruktur [9].

Die Auswirkungen des Einspurttunnels auf die aerodynamische Kraft oder die Kontaktkraft beim Kurz- und Langzug ICE-S sind gering und nicht sicher gegen die Messtoleranz abzugrenzen. Die flachere Auftriebscharakteristik ist offenbar auf die größere Zuglängen zurückzuführen. Bei zukünftigen Messungen im Tunnel könnten ergänzende Messungen der Strömungsgeschwindigkeit am Stromabnehmer, wie in 7.2 erwähnt, Klarheit schaffen. Die Windleitbleche am Stromabnehmer SSS 400+ wurden nicht geändert. Die aerodynamischen Korrekturwerte sind in [13] nicht explizit erwähnt. Leider wurde die Anströmgeschwindigkeit mit dem Langzug am hinteren Stromabnehmer nicht gemessen.

## 7.5 Erfahrungen von anderen Strecken mit Tunneln

Eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse ist nur bei Verwendung des gleichen Fahrzeuges, des gleichen Stromabnehmertyps und von Mess- und Auswerteverfahren nach

der EN 50317 gegeben. Diese Voraussetzungen können aus verschiedenen Gründen, wie Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Messtechnik oder verschiedene Auftraggeber, nicht bei allen Messungen vollständig erfüllt werden.

Zur Abnahme der Oberleitung auf der Strecke Köln – Rhein/Main wurden Messfahrten mit dem ICE 3 in Doppeltraktion mit 200m Stromabnehmerabstand durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für Messfelder im Tunnel und auf der freien Strecke getrennt ausgewertet. Im Bericht [14] sind aerodynamisch korrigierte Schnittkräfte dargestellt. Der Einfluss der Beschleunigungskorrektur auf den Mittelwert der Kontaktkraft wird dabei als gering eingeschätzt.

Erwartungsgemäß sind in Tabelle 1 die Kontaktkraftmittelwerte bei dem aus zwei Einheiten bestehenden Zug am hinteren Stromabnehmer im Tunnel etwas höher als auf der freien Strecke. Der Unterschied ist jedoch gering und liegt innerhalb der 10N Messtoleranz. Bei Einzeltraktion ist kein Unterschied zwischen den Werten im Tunnel und auf der freien Strecke festzustellen.

**Tabelle 1:** Kontaktkraftmittelwerte Messzug ICE 3, Strecke Köln – Rhein/Main.

Geschwindigkeit	Aerodynamisch korrigierte Schnittkraft, Stromabnehmer DSA 380D, Kniegang					
	Einzeltraktion		Doppeltraktion			
	Freie Strecke	Tunnel	Vorderer Stromabnehmer		Hinterer Stromabnehmer	
Freie Strecke			Tunnel	Freie Strecke	Tunnel	
280 km/h	123 N	125 N	121 N	128 N	113 N	121 N
300 km/h	128 N	128 N	128 N	134 N	116 N	123 N

Im Jahr 2003 wurden auf der Strecke Köln – Rhein/Main Messfahrten zur Interoperabilitätsprüfung mit dem Stromabnehmer SSS400+ mit Europawippenprofil durchgeführt [15]. Als Messzug wurde der ICE-S-Messzug bestehend aus zwei Triebköpfen und einem Messwagen ein-

Anzeige

Verstärken Sie unser Team im bundesweiten Einsatz als

## Techn. Projektleiter/in Bahnelektrifizierung

### Unser Angebot:

In dieser ebenso vielseitigen wie verantwortungsvollen Funktion leiten Sie Projekte für die Errichtung von Oberleitungsanlagen für Vollbahnen. Sie übernehmen die fachliche Führung der Projektteams und stellen die ordnungsgemäße Funktion der errichteten Anlagen und Systeme sicher. Dabei berücksichtigen Sie einschlägige Richtlinien, Normen und Vorschriften ebenso wie wirtschaftliche Vorgaben und arbeiten mit dem kaufmännischen Projektleiter eng zusammen. Als vielseitige Schnittstelle für interne und externe Partner von Projektierung bis Sicherheit und von der DB bis zu Privatbahnen gewährleisten Sie einen reibungslosen Projektverlauf. Für die Einhaltung von Termin-, Kosten- und Qualitätszielen tragen Sie ebenso Sorge wie für die Ressourcenplanung. Zudem beteiligen Sie sich an Angebotskalkulationen und Controlling und führen Maßnahmen in den Bereichen Arbeitssicherheit und Umweltschutz durch.

### Ihr Profil:

Sie haben ein Studium (FH/Uni) im Bereich Elektrotechnik, Maschinenbau, Hoch- bzw. Tiefbau abgeschlossen oder verfügen über anderweitig erworbene, vergleichbare Kenntnisse. In der Leitung, Durchführung und Kalkulation komplexer Projekte, idealerweise im Bau von Oberleitungsanlagen, haben Sie bereits Erfahrung gesammelt. Dadurch sind Ihre Methoden- und Prozesskenntnisse in Projekt- und Qualitätsmanagement ebenso fundiert wie Ihr Fachwissen im Bereich Bahntechnologie, vorzugsweise mit dem Schwerpunkt Oberleitungen. Darüber hinaus bringen Sie Basiswissen im Bereich Betriebswirtschaft und Controlling mit und sind mit Claim- und Risikomanagement vertraut. Sie erfassen die Bedürfnisse unserer Kunden schnell und genau, behalten stets das angestrebte Ergebnis im Blick und verbinden Teamgeist mit Durchsetzungsfähigkeit. Zur fachlichen Führung und Motivation von Mitarbeitern sind Sie gut geeignet; entsprechende Erfahrung wäre ein Plus. Innerhalb Ihres Einsatzgebietes Deutschland sind Sie zu Reisetätigkeit bereit.

### Interessiert?

Dann freuen wir uns auf Ihre aussagekräftige Bewerbung:

SPL Powerlines Germany GmbH & Co. KG  
Herrn Hickethier, Dieselstr. 4, 91301 Forchheim  
Telefon 09191 / 977-120



Das anerkannte Know-how für individuelle Planung, Entwicklung und Errichtung von Fahrleitungssystemen von SPL Powerlines Germany sorgt für zuverlässigen Betrieb im Nah- und Fernverkehr. Sicherheit in der Bahnelektrifizierung für alle Geschwindigkeiten steht bei uns an erster Stelle – ob Straßenbahnen, Metros oder Vollbahnen, ob Gleich- oder Wechselspannung.



gesetzt. Der Stromabnehmer wurde mit Strömungshilfen am Scheitelrohr und an den Schleifleisten ausgerüstet; die aerodynamische Einstellung wurde für das Fahrzeug optimiert.

Bei der Auswertung wurde unterschieden nach Messfeldern im Tunnel und auf der freien Strecke. Ergebnis dieser Messreihe ist, dass sich die Kontaktkraftmittelwerte in den Messfeldern Tunnel von denen der anderen Abschnitte nicht unterscheiden. Diese Aussage gilt für beide Fahrtrichtungen. Als aerodynamische Korrekturwerte bei der Geschwindigkeit 280 km/h wurden ermittelt:

- Kniegang, Stromabnehmer auf dem hinteren Triebkopf rund 27 N
- Spießgang, Stromabnehmer auf dem vorderen Triebkopf rund 8 N

Aus den Messreihen bis 300 km/h konnten die Kontaktkraftmittelwerte  $F_m$  bei 280 km/h im Spießgang mit 113 N und im Kniegang mit 136 N interpoliert werden.

Als Besonderheit wurde festgestellt, dass im Spießgang die aerodynamischen Kräfte auf die Schleifleisten in unterschiedlichen Richtungen wirken. Die Schleifleiste I erzeugt aerodynamischen Abtrieb und die Schleifleiste II Auftrieb. Zur aerodynamischen Korrektur ist in der Norm EN 50317 nur die Festlegung enthalten, dass die zwischen den Sensoren und den Kontaktpunkten wirkenden aerodynamischen Einflüsse zu erfassen sind. Ob sich die Korrektur jeweils auf jede Schleifleiste oder auf die Summenkraft des Stromabnehmers zu beziehen hat, ist nicht festgelegt. Die getrennte Erfassung der aerodynamischen Korrekturwerte je Schleifleiste bietet die Möglichkeit einer Korrektur der Kontaktkraft jeder Schleifleiste.

Aus der Untersuchung lässt sich mit den Fahrzeugen ICE-S und ICE 3 im zweigleisigen Tunnel mit großem Querschnitt keine signifikante Vergrößerung der aerodynamischen Kräfte an den Stromabnehmern DSA 380 D und SSS400+ und kein Einfluss der Zuglänge auf die Kontaktkraftmittelwerte feststellen.

## 8 Auswirkungen auf die Bewertung der Konformität

Die Fahrgeschwindigkeit des Zuges und die Strömungsgeschwindigkeit der Luft am Fahrzeugdach unterscheiden sich. Letztere umströmt die Stromabnehmer und ist somit für die dort wirkenden Kräfte, also auch für die Kontaktkraft bestimmend. Auf freier Strecke ist der Unterschied zwischen beiden Geschwindigkeiten hinsichtlich der Kontaktkräfte vernachlässigbar, auf Tunnelabschnitten jedoch kann dieser durchaus von Bedeutung sein.

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit wurde im LBT bislang nur mit Lokomotiven der BR Re 460 durchgeführt. Bei den Fahrten mit dem ICE war keine Prandtlsonde installiert. Die Messungen am ETR 610 werden erst im November/Dezember 2007 stattfinden, wobei Aerodynamikmessungen auf dem Fahrzeugdach vorgesehen sind. Somit liegen derzeit noch keine Vergleichswerte vor, die den Einfluss der Bauform des Zuges auf die Strömungsge-

schwindigkeit der Luft am Fahrzeugdach auf Tunnelstrecken vollständig darstellen.

Die europäische Norm EN 50367 als auch die TSI Energie unterscheiden nicht zwischen freier Strecke und Tunneln. In einem Tunnel mit konstantem Querschnitt kann unter bestimmten Voraussetzungen mit steigender Fahrgeschwindigkeit die Differenz zur Strömungsgeschwindigkeit immer größer werden. Deswegen sollte bei der Bewertung der mittleren Kontaktkraft nach der Zielkurve die Strömungsgeschwindigkeit der Luft am Fahrzeugdach und nicht die Fahrgeschwindigkeit des Zuges verwendet werden. Dieses Vorgehen bedeutet, dass im Tunnel gegebenenfalls höhere Kontaktkräfte als auf freier Strecke zulässig sind. Dies sollte mit den Infrastrukturbetreibern diskutiert werden. Einerseits ist bei höheren Kontaktkräften ein höherer Verschleiß zu erwarten, andererseits ist das Kontaktverhalten besser. EN 50367 lässt dieses Vorgehen zu, da hier nur von der Geschwindigkeit gesprochen wird. Die TSI Energie verwendet zwar die gleiche Zielkurve, spricht aber ausdrücklich von der Fahrgeschwindigkeit.

Es wird schwierig werden, einen für Tunnelabschnitte und freie Strecke gleichermaßen optimierten Stromabnehmer zu bekommen. Kompromisse sind notwendig, es sei denn, die statische Andruckkraft ließe sich während der Fahrt anpassen.

Die im Abschnitt 7.4 erwähnte flache Auftriebscharakteristik des Stromabnehmers SSS400+ zeigt ebenso die Probleme zur Einstellung eines Hochgeschwindigkeits-Stromabnehmers ohne eine Steuer- oder Regelungsmöglichkeit der statischen Andruckkraft. Im Geschwindigkeitsbereich über 200 km/h wird eine möglichst geringe Zunahme der aerodynamischen Kraft gefordert, um die Kontaktkraft nicht mehr als für eine gute Stromabnehmerqualität notwendig zu erhöhen. Der Stromabnehmer wird so eingestellt, dass der Kontaktkraftmittelwert bei der Fahrzeughöchstgeschwindigkeit nahe unter der Zielkurve liegt. Gegensätzlich sind die Auswirkungen der flachen Auftriebscharakteristik im Geschwindigkeitsbereich bis 200 km/h. Da der aerodynamische Auftrieb gering ist, muss die statische Andruckkraft erhöht werden. Die Zielkurve wird überschritten, weil die statische Andruckkraft bereits zu hoch ist.

Die Verwendung einer Steuerungsmöglichkeit für den statischen Anpressdruck des Stromabnehmers in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Stromabnehmeranordnung und -anzahl oder Streckenmerkmalen, zum Beispiel einem langen Einspurttunnel, verbessert die Anpassung der Kontaktkraftmittelwerte der Fahrzeuge an die Zielkurve der TSI.

Die Messungen im LBT mit dem ICE bis 280 km/h haben gezeigt, dass die Fahrleitung für betriebliche Geschwindigkeiten bis 250 km/h geeignet ist. Mit ihr kann die Konformität der Oberleitungsbauart hinsichtlich Interoperabilität bewertet werden [16; 17]. Der ICE wird aber auf dieser Strecke und in dieser Konfiguration nicht eingesetzt. Da es sich um eine Neubaustrecke handelt, ist die TSI-Zielkurve nach Abschnitt 5.3.1.6 der TSI zur Bewertung heranzuziehen. Interessanterweise liegen die Messwerte für die mittlere Kontaktkraft nicht so hoch

wie erwartet. Als Ursache wird die im Vergleich mit der Lokomotive BR Re 460 geringere Fahrzeugfläche vermutet. Somit versperrt der ICE den Tunnel nicht so stark und das verdrängte Luftvolumen ist geringer. Da parallel zu den Messungen mit dem ICE keine Strömungsmessungen stattfanden, lassen sich leider keine Rückschlüsse auf die aerodynamischen Verhältnisse ziehen. Für die zukünftig im LBT verkehrenden Triebzüge BR ETR 470 bis 200 km/h und BR ETR 610 bis 250 km/h sind zusätzliche Messungen nötig.

Die TSI Energie legt fest, wie das Zusammenwirken von Stromabnehmer und Fahrleitung zu prüfen ist. Die Kontaktkraft ist von vielen Faktoren abhängig und kann somit nur unter realen Bedingungen, also mit den eingesetzten Fahrzeugen inklusive Stromabnehmer bewertet werden. Eine gleichzeitige Messung der Strömungsgeschwindigkeit am Fahrzeugdach bringt zusätzliche Informationen über die aerodynamischen Verhältnisse im Tunnel und ist hilfreich bei der Bewertung der mittleren Kontaktkraft. Die Aufnahme der Einhaltung der Interoperabilitätskriterien in die Netzzugangsbedingungen der Infrastrukturbetreiber bedingt somit für jede mögliche Zug- und Stromabnehmerkonstellation einen Nachweis [18].

## 9 Weiteres Vorgehen

Nach den Aerodynamikmessungen an der BR Re 460 soll nun ebenfalls am ETR 610 die Strömungsgeschwindigkeit der Luft auf dem Fahrzeugdach gemessen werden. Damit ergeben sich Rückschlüsse auf den Einfluss der Bauform des Zuges.

Der derzeitige Stand der TSI Energie und der EN 50367 unterscheidet nicht zwischen Tunnel und freier Strecke. Dem Einfluss der Aerodynamik auf die Beurteilung der Kontaktkräfte sollte bei einer Überarbeitung Rechnung getragen werden, da in Zukunft weitere Hochgeschwindigkeitstunnel bewertet werden müssen, zum Beispiel Gotthard-Basistunnel und Brenner-Basistunnel.

### Literatur

- [1] Wikipedia: Freie Internet-Enzyklopädie.
- [2] Richtlinie 96/48/EG: Richtlinie des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften Nr. L235 vom 19.9.1996, S. 6–24.
- [3] Richtlinie 2004/50/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 96/48/EG des Rates über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften Nr. L164 vom 30.4.2004, S. 114–163.
- [4] Radebauer, B.: Lötschberg-Basistunnel – Los Steg/Raron. In: Porr-Nachrichten 147 (2005), S. 11–26.
- [5] Hagenah, B.; Reinke, P.; Vardy, A.: Effectiveness of pressure relief shafts – full scale assessment. BHR Konferenz, Portoroz, Slovenien, 2006.

- [6] EN 50119: 2001: Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb.
- [7] EN 50367: 2006: Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Zugang.
- [8] Entscheidung 2002/733/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften Nr. L245 vom 12.9.2002, S. 280–369.
- [9] Berichtigung der Entscheidung 2002/733/EG: Berichtigung der Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG. In: Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften Nr. L275 vom 11.10.2002, S. 8–10.
- [10] EN 50317: 2002: Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Anforderungen und Validierung von Messungen des dynamischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung.
- [11] Hahn, G.: Oberleitungstechnische Ausrüstung des Lötschberg-Basistunnels. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 4-5, S. 284–289.
- [12] Lörtscher, M. u. a.: EG-Prüfverfahren nach TSI Energie und weitere Sicherheitsnachweise auf der Neubaustrecke (NBS) Mattstetten – Rothrist der SBB. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 12, S. 532–546.
- [13] DB Systemtechnik: Prüfbericht P-004329-TZF74.1-PR-0001 Abnahme der Oberleitung Lötschbergstunnel; BLS Alptransit 07.-TZF 74.1 vom 02.02.2007.
- [14] DB Systemtechnik: Korrekturen und Ergänzungen zum Prüfbericht 741-PR-0002-02 Stromabnehmermessfahrten mit dem ICE-S und Zulassungsfahrten der Oberleitung Sicut H 1.0 mit einem ICE 3 in Doppeltraktion auf der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main. T.ZTF 74.1 vom 29.06.2002.
- [15] DB Systemtechnik: Prüfbericht 741-PR-0012-04 Optimierung des Stromabnehmers Typ 8WLO185-6YH93 SSS400+ mit Euro-rippenprofil 1600 mm für die Interoperabilitätsprüfung von Hochgeschwindigkeitsstrecken. T.ZTF 74.1 vom 27.02.2004.
- [16] Behrends, D.; Brodkorb, A.; Matthes, R.: Konformitätsbewertung und EG-Prüfverfahren für das Teilsystem Energie. In: Elektrische Bahnen 101 (2003), H. 4-5, S. 158–166.
- [17] Voegeli, H. u. a.: EG-Prüferklärung zum Teilsystem Energie der Lötschberg-Basistrecke. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 11, S. 603–614.
- [18] Vouillamoz, J.; Friedli, T.: Netzzugangsbedingungen für Fahrzeuge auf der Lötschberg-Basistrecke. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 11, S. 616–622.



Dipl.-Ing. Mike Schweller (42), Studium der Elektrotechnik an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden bis 1992; 1992 bis 2007 Tätigkeiten als Projektleiter, Fachgruppenleiter und Chief Engineer für Bahnstromanlagen bei Siemens Transportation Systems in Erlangen. Seit 2007 stellvertretender Leiter Elektrische Anlagen im Bundesamt für Verkehr (BAV).

Adresse: Bundesamt für Verkehr, 3003, Bern, Schweiz;  
Fon: +41 31 32-25371, Fax: -41248;  
E-Mail: mike.schweller@bav.admin.ch  
www.bav.admin.ch

# Oberleitungsanlagen



Dr.-Ing. Dipl.-Phys. **Bernd Hagenah** (41), Studium Physik an der Universität Göttingen, Promotion zum Dr.-Ing. an der RWTH-Aachen. Seit 2003 Projektleiter aerodynamischer Messungen und Berechnungen bei der HBI Haerter AG in Bern.

Adresse: HBI Haerter AG Beratende Ingenieure, Thunstr. 9, 3000, Bern, Schweiz;  
Fon: +41 31 357-2422, Fax: -2425;  
E-Mail: bernd.hagenah@hbi.ch, www.hbi.ch



Dipl.-El.-Ing. ETHZ **Otto Wüest** (43), Studium Elektrotechnik an der ETH Zürich bis 1991; 1991 bis 1995 Projektleiter Fahrleitungsanlagen bei den Schweizerischen Bundesbahnen in Luzern; 1997 bis 2000 Leiter elektrische Anlagen bei der Bauregion Goldau; 2000 bis 2006 Projektleiter elektrische Messungen bei der Messtechnik SBB in Bern. Seit 2006 Projektleiter technischer Netzzugang der SBB Infrastruktur in Bern.

Adresse: Infrastruktur SBB, Schanzenstr. 5, 3000, Bern, Schweiz;  
Fon: +41 51 22 0-45 34, Fax: -50 14;  
E-Mail: otto.wueest@sbb.ch, www.sbb.ch



Dipl.-El.-Ing. ETHZ **Manfred Lörtscher** (60), Studium der Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich bis 1971; 1985 bis 2000 Leiter Elektrische Anlagen bei den Schweizer Bundesbahnen in Zürich. Seit 2000 Leiter Elektrische Anlagen im Bundesamt für Verkehr (BAV).

Adresse: Bundesamt für Verkehr, 3003, Bern, Schweiz;  
Fon: +41 31 32-35504, Fax: -41248;  
E-Mail: manfred.loertscher@bav.admin.ch  
www.bav.admin.ch



Dipl.-Ing. **Rainer Matthes** (43), Studium Elektrotechnik/Elektrische Bahnen an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden bis 1990; 1992 bis 1999 Tätigkeiten bei der DB AG; 1994 bis 1999 Leiter der Messgruppe Stromabnehmer/Oberleitung im FTZ München. Seit 1999 Siemens AG, Engineering, Systemtechnik und internationaler Vertrieb Oberleitungen; Sachverständiger für das EBA.

Adresse: Siemens AG, TS EL SI 2, Postfach 3240, 91050 Erlangen, Deutschland;  
Fon: +49 91 31 7-2 03 75, Fax: -2 48 70;  
E-Mail: rainer.matthes@siemens.com  
www.siemens.com

Anzeige

**Neu - besuchen Sie unsere Website!**

Startseite eb Ausgaben eb Informationen eb Impressum eb Kontakt eb Service Sitemap

**eb** Elektrische Bahnen Elektrotechnik im Verkehrswesen

Herausgeber  
Beirat  
Redaktion  
Autoren  
Verlag

A bis H  
I bis Q  
R bis Z

Oldenbourg

Sie sind hier: > Startseite

**eb - Elektrische Bahnen**

**im Internet unter: www.eb-info.org**

Startseite eb Ausgaben eb Informationen eb Impressum eb Kontakt eb Service Sitemap

**eb** Elektrische Bahnen Elektrotechnik im Verkehrswesen

Oldenbourg

Sie sind hier: > Startseite

**eb - Elektrische Bahnen**

ANZIGER

**Oldenbourg Verlag**

Letzte Aktualisierung: 08.05.2005, 18:38 Uhr

Willkommen auf der Website der **eb - Elektrischen Bahnen**

**eb** Elektrische Bahnen Elektrotechnik im Verkehrswesen

Aktuelle Informationen aus den Fachgebieten:  
Erzeugung, Umwandlung, Fortleitung, Verteilung und Anwendung elektrischer Energie in den ortsfesten Anlagen und auf den Fahrzeugen elektrischer Schienenbahnen aller Art, unkonventioneller Bahnsysteme und anderer Fahrzeuge sowie über deren Betriebsführung, Informatik und Betriebsanfragen. Herausgeber und Redaktions sind wertvolle Fachleute der Deutschen Bahn AG und von Unternehmen der Bahnindustrie.

Aktuelles