## EG-Prüfverfahren nach TSI Energie und weitere Sicherheitsnachweise auf der Neubaustrecke (NBS) Mattstetten – Rothrist der SBB

Manfred Lörtscher, Bern; Patrick Hayoz, Bern; Jürg Lauber, Luzern; Matthias Schwendimann †, Bern; Heinz Voegeli, Uetendorf; Otto Wüest, Bern

Auf der neuen Strecke wurde im Rahmen der nationalen Betriebsbewilligung erstmals ein Teilsystem Energie nach der Richtlinie 96/48/EG und der zugehörigen Technischen Spezifikation Interoperabilität (TSI) in Betrieb genommen. Die Messergebnisse und ihre Bewertungen werden dargestellt, ferner wird über die verfahrensseitigen Erfahrungen mit der EG-Prüfung berichtet.

# Assessment of the suitability following the TSI relating to the energy subsystem and other safety reports on the new high-speed line (NBS) Mattstetten – Rothrist of Swiss Federal Railways (SBB)

Within the national procedure for securing the definitive licence to operate the new line, the energy subsystem was assessed following the Directive 96/48/EC and the referred Technical Specification Interoperability (TSI) for the first time. The results of the measurements and assessments are reported. Further the article deals with the first experiences got with the assessment procedure of suitability for use.

Evaluation de l'aptitude à l'emploi suite à la spécification technique d'interopérabilité (STI) relative au sous-système énergie selon la Directive 96/48/CE et autres rapports de sécurité sur le nouveau tronçon à haute vitesse (NBS) Mattstetten – Rothrist des chemins de fer fédéraux suisses (CFF)

Dans le cadre de l'autorisation nationale à exploiter la nouvelle ligne, la directive 96/48/CE et sa spécification technique (STI) pour le sous-système énergie a été appliquée pour la première fois. Les résultats des mesurages et des évaluations de la conformité de l'interopérabilité sont représentés. En suite aussi les expériences avec les nouvelles procédures concernant l'évaluation selon la directive de la CE sont commentées.

## 1 Einführung

Seit dem 12. Dezember 2004 steht die 45 km lange Neubaustrecke (NBS) Mattstetten – Rothrist als infrastrukturseitiges Herzstück des Angebotskonzeptes von Bahn 2000, 1. Etappe, in Betrieb. Gleichzeitig wurde auch die 9 km lange Ausbaustrecke (ABS) von Solothurn zur NBS nach Wanzwil sowie eine neue 2 km lange Verbindungslinie (VL) von Rothrist nach Zofingen in Betrieb genommen (Bild 1). Die elektrische Ausrüstung dieser neuen Strecke ist in [1] umfassend beschrieben. Die Bahntechnik wurde nach einer funktionalen Ausschreibung durch einen Totalunternehmer geplant und erstellt. Gemäß dieser Ausschreibung hatten die Anbieter bereits beim Angebot für alle Gewerke und Teilsysteme, Typenzulassungen der Aufsichtsbehörde Bundesamt für Verkehr (BAV) beizulegen, wenn sich deren Bauarten nicht bereits bei anderen europäischen Vollbahnen im Einsatz bewährt haben. Da die Projektrisiken für die NBS mehr im logistischen Bereich lagen – nicht gleichzeitig fertig werdende Teilstrecken, Transport von Schienen, Schwellen und Schotter zu den Teillosen usw. – hielten sich die von den SBB erhofften Innovationen im Bereich der Bahntechnik in Grenzen: Bei den Oberleitungen musste das BAV insgesamt fünf neue Bauarten prüfen und mit einer Typenzulassung bewilligen.

Sowohl für die Bauherrschaft SBB wie auch für die Aufsichtsbehörde BAV führte die neue Ausschreibungsform zu vorerst noch ungewohnten Verhältnissen in den verschiedenen Verfahren wie Typenzulassungen und Plangenehmigungsverfahren sowie schließlich in allen Inbetriebnahme- und Abnahmephasen bis hin zur Erteilung der Betriebsbewilligung. Insbesondere unter dem starken Zeitdruck, der auf dem Projekt lastete, war diese Organisationsform nicht unbedingt einfach und zeitsparend in den Abläufen. Als Vorteil für die Nachweise und



**Bild 1:** Situationsplan der Neubaustrecke Mattstetten – Rothrist (NBS, 45 km), Ausbaustrecke Wanzwil – Solothurn (ABS, 9 km) und Verbindungslinie Rothrist – Zofingen (VL, 2 km) zwischen Bern und Olten.

Abnahmetätigkeiten erwies sich, dass die Strecke abschnittsweise in den elektrischen Probebetrieb gehen konnte: Die ersten 16 km ab Mattstetten bereits im Mai 2003 [2], danach bis zu 20 km im September 2003 und zum Schluss ab Ende Mai 2004 die ganze NBS und die ABS.

Im vorliegenden Aufsatz werden sowohl technische Ergebnisse dargestellt als auch über die verschiedenen, teilweise ineinander laufenden Verfahren berichtet. Im verfahrensrechtlichen Teil erhält die erstmalige Anwendung der TSI Energie [3] nach der Richtlinie 96/48/EG neben der nationalen Gesetzgebung besondere Bedeutung. Die Schweiz verhandelt bilateral mit der EG in einem so genannten comité mixte. In diesem Gremium wird festgelegt, welche EG-Richtlinien von der Schweiz in vollem Umfang oder mit spezifischen Änderungen übernommen werden. Die Schweiz hat dabei vorgeschlagen, die beiden Eisenbahnpakete neben anderen Paketen ohne Einschränkungen zu übernehmen. Zur Zeit sind die Verhandlungen wegen Uneinigkeit bei der Trassenvergabestelle etwas verzögert. Bereits seit längerem sind die Bahn-2000-Neubaustrecken (nach EG werden diese wegen der maximalen Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h Ausbaustrecken genannt) sowie die beiden neuen Alpentransittunnel Lötschberg (Inbetriebnahme 2007/2008) und Gotthard (Inbetriebnahme nach 2015) Bestandteil des europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes. Es scheint deshalb verfehlt, auf den Abschluss der bilateralen Verhandlungen zu warten und beim heutigen Bau von neuen Strecken auf die Anwendung der Interoperabilitätsrichtlinien zu verzichten. Auf der Neubaustrecke Mattstetten - Rothrist werden deshalb die TSI Zugsteuerung, Zugsicherung, Signalgebung mit ETCS Level 2, Infrastruktur und Energie [4] erstmals in der Schweiz angewandt

#### 2 Verfahren der Nachweisführung

Mit der Ende November 2004 erteilten Betriebsbewilligung nach Art. 8 der Eisenbahnverordnung (EBV) [6] durch die Aufsichtsbehörde kamen verschiedene eisenbahnrechtliche Verfahren zum Abschluss, nämlich:

- Plangenehmigungsverfahren nach Artikel 18 Eisenbahngesetz [5] und Artikel 6 der EBV [6]
- Kontrolle, dass die rund 1 200 Auflagen, davon betrafen rund 300 die Bahntechnik, aus den verschiedenen

Plangenehmigungsverfahren mit Schwergewicht Prüfung der von den SBB einzureichenden Sicherheitsnachweisen nach Artikel 8a EBV [6] erfüllt sind

- Kontrolle, ob sämtliche Bestimmungen und Vorschriften aus [6] und [7] eingehalten sind
- Typenzulassung der Oberleitung nach Art.7 der EBV [6] mit Kontrolle, dass alle Auflagen erfüllt sind

Neben dem eigentlichen Hauptplangenehmigungsverfahren, in Deutschland Planfeststellung genannt, welches die generelle Streckenführung und die Randbedingungen für den Rohbau regelt, wurden verschiedene zusätzliche Verfahren für Detailprojekte notwendig. Für nahezu alle Gewerke der Bahntechnik hat die Aufsichtsbehörde von den SBB das Einreichen von Detailunterlagen zur Plangenehmigung verlangt. Nach [6] entscheidet die Aufsichtsbehörde beim Erteilen der Plangenehmigung, welche als alleinige Baubewilligung für Bauten und Anlagen gilt, ob die Inbetriebnahme des Werkes zusätzlich einer Betriebsbewilligung bedarf. Wegen der großen Komplexität und Ausdehnung der NBS sowie der erhöhten Betriebsgeschwindigkeiten wurde verfügt, dass die NBS nur mit einer umfassenden Betriebsbewilligung in Betrieb gehen darf. Wenn diese angeordnet wird, muss die Bahnunternehmung Sicherheitsnachweise einreichen, welche zeigen, dass die im Rahmen der Plangenehmigung im Sicherheitsbericht dargestellten sicherheitsrelevanten Maßnahmen folgerichtig und vollständig umgesetzt wurden.

Die Forderung zum Verwirklichen der Interoperabilität im transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems ist heute in der Schweiz im Eisenbahngesetz [5] in Artikel 17 enthalten. In der revidierten Eisenbahnverordnung [6] stehen ebenfalls neu die Artikel 8b zur Betriebsbewilligung Interoperabilität von strukturellen Teilsystemen nach den Richtlinien 96/48/EG oder 2001/16/EG und Artikel 8c über die Interoperabilitätskomponenten. Nach diesen neuen Artikeln prüft die Aufsichtsbehörde einerseits das Einhalten der grundlegenden Anforderungen nach Artikel 2e der EG-Richtlinien und andererseits, ob die übrigen bundesrechtlichen Vorschriften eingehalten werden. Prüfungen, die eine benannte Stelle während des Verfahrens zur Ausstellung einer EG-Prüferklärung oder einer EG-Konformitätserklärung vorgenommen hat, werden von der Aufsichtsbehörde anerkannt. Einem allfälligen Vorwurf der Eisenbahninfrastrukturunternehmung, dass zusätzliche neue Verordnungsartikel erst während eines bereits angelaufenen Verfahrens erlassen wurden, konnte rechtzeitig begegnet werden: Bereits Anfang 2003 wurden die in der EG-Nomenklatur benannten Sicherheitsnachweise für die Betriebsbewilligung nach EBV [6] eingefordert.

Mit dem Plangenehmigungsverfahren stellt eine Eisenbahninfrastrukturbetreiberin den Antrag auf Genehmigung der vorgelegten Pläne und Unterlagen. Die Behörde prüft projektbezogen, ob die eisenbahnrechtlichen Verordnungen eingehalten werden, die technische Sicherheit gewährleistet ist sowie die Rechte Dritter gewahrt werden und die Umweltgesetzgebung, unter anderem zu Lärmschutz und nichtionisierender Strahlung, beachtet wird.

Im Gegensatz zum Plangenehmigungsverfahren kann von der Industrie ein Antrag auf eine Typenzulassung einer Komponente, eines Bauteils oder eines Systems gestellt werden. Bei neuen Teilen, zum Beispiel einer neuen Oberleitungsbauart, erfordert die Typenzulassung eine vertiefte sicherheitstechnische Prüfung. Diese Prüfung und deren Ergebnis ist eher grundsätzlicher Art und hat nur in seltenen Fällen bereits etwas mit einer konkreten Anwendung in einem Projekt zu tun.

Beide Verfahren werden vom BAV als Aufsichtsbehörde im Departement (Ministerium) für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) durchgeführt. Bei der Neubaustrecke wurde im Sommer/Herbst 2000 eine Typenzulassungsprüfung für die in der Schweiz noch nie eingesetzte Oberleitungsbauart ELINCAT E230 durchgeführt und mit einer Verfügung im Dezember 2000 abgeschlossen. Die Verfügung enthielt neben einigen wenigen Punkten, die bei der späteren Projektierung zu beachten waren, die wichtigen Auflagen, dass im Rahmen der Inbetriebnahme sowohl die Kontaktkraft zwischen Fahrdraht und Stromabnehmer wie auch der Anhub auf der freien Strecke und im Tunnel gemessen werden und die Ergebnisse ausreichend mit den Simulationsergebnissen übereinstimmen müssen. Bis vor wenigen Jahren haben die europäischen Staatsbahnen jeweils in eigener Verantwortung neue Oberleitungsbauarten entwickelt, geprüft und in Betrieb genommen. Dementsprechend stehen auch in der Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen (VEAB) [7] lediglich grundlegende Anforderungen an Oberleitungsanlagen, die nur ansatzweise ausreichen, um eine neue Oberleitungsbauart vertieft auf ihre sicherheitsrelevanten Teile, Kriterien und Einsatzbedingungen zu prüfen. Wenn die Verordnungen im Eisenbahnrecht der Schweiz nichts enthalten, werden als anerkannte Regeln der Technik insbesondere die CENELEC-Normen verwendet. Für die Beurteilung der Oberleitung sowohl beim Typenzulassungsverfahren wie auch bei der Plangenehmigung wurden die folgenden Normen wie EN 50119, EN 50122-1, EN 50149, EN 50317, EN 50318 sowie die Entwürfe prEN 50367 und prEN 50388 mit ihrem jeweiligen Entwurfsdatum angewandt. Sowohl bei der Plangenehmigung wie auch bei der Typenzulassung wurden die Interoperabilitätskriterien, im Herbst 2000 noch gemäß den Entwürfen der TSI, in vollem

Umfang geprüft, was in diesen Verfahren ohne Probleme möglich war. Allerdings zeigte sich dabei, dass die TSI bereits Verfahrensschritte im Entwurfsstadium vorsieht; also in einem frühen Zeitraum des Projektes, wo die Aufsichtsbehörde normalerweise noch nicht tätig wird. Um für alle Betroffenen die Planungssicherheit zu erhöhen, müsste hier folgerichtig noch ein weiteres eisenbahnrechtliches Verfahren mindestens auf der Stufe Vorprojekt entwickelt werden.

Das eigentliche Detailplangenehmigungsverfahren zur Oberleitung auf der NBS wurde im Frühjahr 2002 durchgeführt und im Juli 2002 mit einer Verfügung abgeschlossen. Die Oberleitung ist in ([1], Tabelle 3) beschrieben, dort sind ihre Hauptdaten zusammengefasst. Zusätzliche Angaben sind in der nachstehenden Tabelle 1 enthalten.

Die verschiedenen Nachweisverfahren sind in der Tabelle 2 dargestellt. Das Vorliegen der von der Aufsichtsbehörde geprüften und genehmigten Nachweise sowie die erfolgreiche Abarbeitung aller Auflagen bilden die unabdingbare Voraussetzung zum Erteilen der Betriebsbewilligung.

#### 3 Konformitätsbewertung und EG-Prüfverfahren für das Teilsystem Energie NBS

#### 3.1 Umfang

Die Inbetriebnahme eines strukturellen Teilsystems nach den Artikeln 2c der Richtlinien 96/48/EG oder 2001/16/EG setzt eine Betriebsbewilligung durch das BAV für Bauten, Anlagen (und Fahrzeuge) voraus. Das Teilsystem Energie umfasst die Unterwerke (Uw), Schaltstellen und Oberleitung, wie sie in Tabelle 3 aufgelistet sind. Die beiden bestehenden Uw Bern-Wylerfeld und Olten werden nur in folgenden Punkten bewertet: Mittlere nutzbare Spannung in den Speiseabschnitten (TSI Abschnitt 4.3.1.1), Abschalten der Energieversorgung bei Gefahr (4.3.1.10) und Fortsetzung der Energieversorgung bei Störungen (4.3.1.11).

Neben den eigentlichen Oberleitungen in Tabelle 3 gehören alle Arten von Speise-, Versorgungs- und Rückleitungen zur Oberleitungsanlage (siehe auch Art. 3 VEAB [7]). Auf der Neubaustrecke kommen folgende Leitungen vor:

- Speiseleitungen
  - 15-kV-Speiseleitung Uw Bern-Wylerfeld Hauptschaltposten Löchligut (Querschnitt im Frühjahr 2004 verstärkt)
  - 15-kV-Speiseleitung Uw Olten Einspeisung Bornlinie (Olten)
  - 15-kV-Speiseleitung Uw Olten Aarburg Einspeisung Strecke Rothrist
- 15-kV-Einspeisekabel ab Uw Wanzwil
- Umgehungsleitungen
  - Einspeisung Grauholztunnel ab Hauptschaltposten Löchligut

Tabelle 1: Hauptdaten der Oberleitung.		
Parameter/Kriterium/Kennwert	Wert	Bemerkungen
Betriebsgeschwindigkeit	200 km/h	Abnahme mit 230 km/h
Fahrdrahthöhe	5,40 m	
Fahrdraht	120 mm² CuAg 0,1 (RiS 120)	15,3 kN Abspannkraft
Tragseil	70 mm² CuAg 0,1	10,8 kN Abspannkraft
Y-Seil freie Strecke	35 mm <sup>2</sup> Bz-Seil, Länge 16 m	2,8 kN Abspannkraft
Y-Seil Tunnel	35 mm <sup>2</sup> Bz-Seil, Länge 12 m	2,5 kN Abspannkraft
Hänger	10 mm <sup>2</sup> Bz II (CuMg 0,5)	> 500 mm lang
Spannweite	$\leq$ 60 m freie Strecke $\leq$ 51 m in Tunnel	
Wellenausbreitungsgeschwindigkeit	431 km/h	TSI: Betriebsgeschwindigkeit < 0,7 · 431 km/h = 301 km/h
Elastizität und Gleichförmigkeit der Elastizität	freie Strecke: 14,3% Tunnel: 16,7%	TSI: für 200 km/h < 20 %
Verstärkungsleiter pro Gleis/ auf der ganzen Strecke	260/23 mm <sup>2</sup> Alu-Stalum-Seil	Einspeisung am Ende der Nachspannungen und beim Festpunkt
Stromtragfähigkeit	900 A dauernd und halbstündlich 1800 A während 150 s	bei 40°C Umgebungstemperatur
Kurzschlussstromfestigkeit	39 kA, 60 ms	
Erdseil	260/23 mm <sup>2</sup> Alu-Stalum-Seil	etwa alle 300 m über die Maste und Cu-Verbindun- gen mit den Schienen verbunden.
Stromabnehmerkontaktkraft	$0 \leq F \leq 250 \mathrm{N}$	F <sub>m</sub> nach prEN 50367

Tabelle 2: Prüftätigkeiten und Nachweise in den verschiedenen Verfahrensschritten auf dem Weg zur Betriebsbewilligung.

Merkmal Komponente	Entwurf, Planung Typenzulassung	Abnahme, Nachweise, Inbetriebnah langenehmigung Messungen Messfahrten statisch mit Messzug		ne Besondere Messanordnungen	Berechnungen	
Oberleitung	Х	х	Lage statische. Kontaktkraft	Lage Kontaktkräfte	Stromverteilung Erwärmung Impedanz	Mittlere nutzbare Spannung
Stromabnehmer	(X)		Х	Х	Frequenzgang EN 50317	
Teilsystem Energie		Pro Gewerk nicht gesamthaft	Sicherheit, Erdung, Berührungsspan- nungen		Schutz Netz, Bahnstromleitungen und Oberleitungen	

Tabelle 3: Unterwerke, Schaltstellen und Oberleitungsbauarten im Teilsystem Energie NBS (Bild 1).

Unterwerke (Uw)	Schaltstellen	Oberleitungsbauarten <sup>1)</sup>	Bemerkungen
Bern-Wylerfeld ~ km 3 Transformatoren 2×21,8 MVA	HSP Löchligut (km 5) HSP Mattstetten (km 12)	SBB R 250 mit Feeder (Verstärkungsleiter) und Rückleiterseil	HSP: Hauptschaltposten mit Leistungs- und Lastschaltern [9]
	PSP Aespli (km 12) PSP Emmequerung (km 21) PSP Recherswil (km 28)	ELINCAT E230 mit Verstärkungs- leiter und Rückleiterseil	PSP: Parallelschaltposten mit Lastschaltern
Wanzwil [8, 9] ~ km 36 Transformator 1×21,8 MVA	Schaltposten Wanzwil, dem Uw vorgelagert, bei den Streckeneinspeisungen	ELINCAT E230 mit Verstärkungs- leiter und Rückleiterseil	
	HSP Brunnmatte (km 44) mit fakultativer Schutzstrecke HSP Rothrist (km 56)	ELINCAT E230 mit Verstärkungs- leiter und Rückleiterseil	Fak. Schutzstrecke [9] = Phasentrennstrecke nach TSI Energie
Olten ~ km 52 Transformatoren 2×21,8 MVA		SBB R-FL 140 mit Feeder (Verstärkungsleiter) und Rückleiterseil	
Deitingen (Notspeisung über Solothurn – ABS)			

<sup>1)</sup> Durchgehende Messfahrten über alle Oberleitungsbauarten mit den entsprechend zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten plus 10%

- beidseitig des Hauptschaltpostens Aespli (Mattstetten) teilweise verkabelt
- beidseitig des Hauptschaltpostens Brunnmatte (Roggwil) [9]
- beidseitig des Hauptschaltpostens Rothrist
- Rückleitungen
  - alle vier Schienen der Doppelspur f
    ühren R
    ückstrom (keine Gleisstromkreise, Achsz
    ähler)
  - beidseitig der Gleise sind die Oberleitungsmasten durchgehend mit einem Erdseil verbunden
  - Masten alle rund 340 m an beiden Schienen geerdet, (Abfangung, Mitte Nachspannung, Festpunkt, Mitte Nachspannung, Abfangung)
  - Masten im Bereich von 3 km um das Uw Wanzwil alle 170 bis 200 m an den Schienen der NBS und ABS geerdet
  - beidseitige Erdung der Kabelschirme der 15-kV-Speisekabel ab Uw Wanzwil [9]
  - parallele Rückleiterkabel zu den 15-kV-Speisekabeln zum Uw Wanzwil [10]
  - Ringleitungen (Verbindungen Gleis Gleis bei den vorgenannten Masterdungen)
  - Ringleitungen bei den Tunnelportalen
  - zusätzlicher Erdleiter in den Tunnel beidseitig im Kabelkanal des Banketts (ähnlich Banderder)
  - besondere einseitige Erdseilführung in der Überdeckung Rüdtligen (Emmi-Tunnel etwa bei km 18)
  - kein Einbeziehen der Armierungen von Kunstbauten (Brücken, Stützmauern, Überdeckung Rüdtligen usw.) in die Rückstromführung
  - teilweise besondere Maßnahmen zur Verhinderung von Streustromkorrosion im Bereich der N\u00e4herungen und Kreuzungen mit der Gleichstrombahn ASm (Aare-Seeland-mobil Betriebsspannung DC1200V [11, 12])
  - Schutzdächer gegen die Gefahren des elektrischen Stromes isoliert am Bauwerk versetzt und Schutzdach direkt am Erdseil der Oberleitung geerdet (Bild 18 in [1])
  - Wildschutz- und sonstige Zäune mechanisch aufgetrennt oder isoliert, damit das Schienenpotenzial nicht verschleppt wird

Das Pflichtenheft für die Oberleitung der NBS enthält die im Gegensatz zum Anhang H der TSI stehende Forderung, dass bei 200 km/h zwei gehobene Stromabnehmer im Abstand von nur 18,5 m vorkommen können. Dies entspricht der Doppeltraktion von zwei Lokomotiven der Reihe Re 460 an der Zugspitze oder am Zugschluss. Die Simulationen des Kettenwerk-Entwurfs wurden mit einem Modell eines üblichen Schunk-Stromabnehmers WBL 85 mit einer 1 450-mm-Wippe durchgeführt. Die Abnahmefahrten fanden mit zwei Stromabnehmer WBL 85 mit einer 1 450-mm-Wippe und optimierten Leitblechen statt (Bilder 2 und 4).

Die Stromabnehmer sind mit einer Vorrichtung zum Erkennen von Schäden an der Stromabnehmerwippe nach Anhang H TSI Tabelle H. 2 Rubrik 6 ausgerüstet. Die Abnahmefahrten mit einer Europawippe sind für das Jahr 2005 vorgesehen (Anhang H TSI, Bild H. 1). Die SBB Infrastruktur hat im Rahmen der Netzzugangsbedingungen die zugelassenen Stromabnehmer und deren Schleifstücke zu bestimmen.

#### 3.2 Bewertung der Konformität

Die Konformität der Interoperabilitätskomponente Oberleitung wurde nach dem Modul B als Bauartprüfung bewertet. Das BAV hat diese Bewertung für jedes zu bewertende Merkmal nach Tabelle B.1 im Anhang B [3] in vollem Umfang bei der Typenzulassung und der Plangenehmigung vorgenommen. Die Lieferfirma hat zusätzlich einen entsprechenden technischen Bericht zur Interoperabilität als Antrag auf Bewertung eingereicht. Die Gesamtbewertung stützt sich auf folgende Unterlagen ab: Zulassungsdossier für die Typenprüfung und entsprechende BAV-Zulassungsverfügung mit Auflagen, Bericht über die Berechnung der Strombelastung und Erwärmung der Oberleitungsanlage, Bericht über die mechanische Beanspruchung der Oberleitung auf der freien Strecke und in den Tunnel usw. Im Rahmen der Inbetriebnahme der NBS wurden Versuchsberichte über die Kontaktkraftmessungen bis 230 km/h und zu den Erwärmungsversuchen eingereicht. Die Merkmale Wellenausbreitungsgeschwindigkeit, Elastizität und Gleichförmigkeit der Elastizität wurden bei der Entwurf- und Baumusterprüfung kontrolliert. Die entsprechenden Werte stehen in der Tabelle 1. Über die Messungen der Kontaktkraft und der Erwärmung wird in den Abschnitten 4.1 und 4.3 berichtet. Für die Instandhaltung liegen die notwendigen Unterlagen vor, das Wartungspersonal wurde entsprechend ausgebildet. Das BAV hat diese Unterlagen geprüft und festgestellt, dass die Oberleitungsbauart ELINCAT E230 auf der NBS die Kriterien der Interoperabilität erfüllt. Allerdings wird die Kontaktkraft bei den für 2005 geplanten Fahrten mit der Europawippe vermutlich die Grenzwerte nach prEN 50367 erreichen.

Die Abnahmefahrten wurden mit einem Stromabnehmer Typ Schunk WBL 85 mit optimierten Windleitblechen durchgeführt (Bild 4). Inwieweit sich diese Ergebnisse auf andere Stromabnehmer übertragen lassen, die auf den im Netzzugang auf der NBS verkehrenden Triebfahrzeugen eingesetzt werden, ist sehr fraglich. Damit stellt sich die Grundsatzfrage, wie die Infrastrukturbetreiberinnen mit dieser Schnittstelle Stromabnehmer – Fahrdraht umgehen sollen.

### 3.3 EG-Prüferklärung

Die EG-Prüfung wurde nach Modul SG als Einzelprüfung für die Anlagen in einem definierten Teilbereich auf der NBS/ABS und den angrenzenden Strecken und Bahnstromeinrichtungen vorgenommen. Da verschiedene Stellen (Totalunternehmer, zusätzliche andere Ersteller, Projektierende der neuen Anlagen und Betreiber von bereits bestehende Anlagen usw.) betroffen waren, hat das BAV die SBB beauftragt, als Antragsteller für die Betriebs-

Tabelle 4: Infrastrukturangaben nach TSI Energie.		
Parameter/Kriterium/Kennwert	Wert	Bemerkungen
Stromsystem	1 AC15 kV 16,7 Hz	
Fahrdrahthöhe	5,40 m	
Zu beachtende maximale Windgeschwindigkeit	29,2 m/s	Windabtrieb in größter Spannweite (60 m)
Höchste Umgebungstemperatur	40°C	Drahtwerkerwärmung
Kleinste Windgeschwindigkeit	0,4 m/s	Drahtwerkerwärmung
Stromabnehmerkontaktkraft	maximal < 250 N minimal > 0 N	F <sub>m</sub> nach prEN 50367
Phasentrennstrecken (Hauptschalter aus durch Triebfahrzeugführer)	zwischen Wanzwil und Rothrist	fakultative Schutzstrecke [9] mit Einspeise- möglichkeit der neutralen Abschnitte
Abstände zwischen gehobenen Stromabnehmern	18 m < <i>x</i> < 35 m oder <i>x</i> > 180 m	
Streckenart	III a	gemäß Anhang F TSI
Erforderliche Leistungs- oder Strombegrenzungen	keine	
zulässiger Fahrleitungsstrom	900 A dauernd	bei 40°C Umgebungstemperatur
Höchstmöglicher Kurzschlussstrom	35 kA	Abschaltzeit maximal 60 ms
Zugelassene Stromabnehmerwippen	1 320 mm, 1 450 mm, 1 600 mm	

bewilligung nach EBV [6] auch für die Inbetriebnahme des Teilsystems Energie die entsprechenden Nachweise zu erbringen und den entsprechenden Antrag zu stellen. Die umfassende und lückenlose Anwendung des Anhangs C [3] zur Bewertung des Teilsystems Energie zeigte sich als sehr aufwändig, aber damit auch als ein sehr wirksames Instrument zur Kontrolle des ganzen (Teil-) Systems Bahnstromversorgung. Bei den oben angeführten verschiedenen Stellen bestünde sonst die Befürchtung, dass nur sektoriell oder gar nicht geprüft wird und vor allem wichtige Schnittstellen nicht beachtet würden.

Unter anderen wurden folgende Unterlagen dem Antrag auf EG-Prüfung zu Grunde gelegt: Technischer Bericht über das Teilsystem Energie, BAV-Typenzulassung der Oberleitung, Schema und Pläne zur 132-kV-Bahnstromversorgung mit den Bahnstromleitungen und Unterwerken für (n-1)-Betrieb, die Streckenschaltpläne der Oberleitung, Berechnungen zur Netzbelastung, Versuchsberichte über die Kontaktkraftmessungen, Erwärmungsmessungen, Stromverteilungsmessungen und Messungen der Erdimpedanz und der Berührungsspannungen im Uw Wanzwil. Im Weiteren liegen die Prüfprotokolle der Schutzprüfungen auf der 132-kV- wie auch auf der 15-kV-Ebene lückenlos vor. In den folgenden Abschnitten wird über einzelne Messungen genauer berichtet.

Die Angaben gemäß Anhang D [3] für das Infrastrukturregister sind in der Tabelle 4 aufgelistet.

Das BAV hat diese Unterlagen geprüft und kommt dabei zum Ergebnis, dass das Teilsystem Energie NBS konform zur entsprechenden TSI in Betrieb gehen kann. Der Bescheid wird in die Betriebsbewilligung nach EBV [6] integriert. Aus verschiedenen Gründen konnten die Messfahrten mit einer 1600-mm-Wippe noch nicht ausgeführt werden. Da die NBS vorerst nur mit maximal 160 km/h in Betrieb ging, werden die SBB mit einer Auflage in der Betriebsbewilligung beauftragt, diese Messungen noch vor der Betriebsaufnahme mit 200 km/h abzuschließen. Die noch erforderlichen zahlreichen Messfahrten mit ETCS level 2 können hierzu nutzbringend einbezogen werden.

#### 4 Ausgewählte Messergebnisse

#### 4.1 Kontaktkraft Fahrdraht – Stromabnehmer und Fahrdrahtanhub

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die auftretende Kontaktkraft zwischen Fahrdraht und Stromabnehmer sind die folgenden beiden Komponenten, die direkt in Interaktion treten: Fahrleitung ELINCAT E230 und der Stromabnehmertyp WBL 85, der im Lastenheft der funktionalen Ausschreibung gefordert wurde. Die Kontaktkraft wird weiter durch die aerodynamischen Strömungsverhältnisse beim Stromabnehmer beeinflusst, die auch stark abhängig sind vom Einbauort des Stromabnehmers, der Bauform der Triebfahrzeuge und der übrigen Fahrzeuge im Zugverband. Zusätzlich verursachen streckenabhängig Überführungen und Tunnel durch ihre Luftverdrängung starke Kräfte auf die Stromabnehmer. Bei mehreren gehobenen Stromabnehmern sind zudem die gegenseitigen Beeinflussungen durch Schwingungsanregungen des Kettenwerks zu berücksichtigen. Die zulässigen Kontaktkräfte sind jedoch einzeln durch jeden gehobenen Stromabnehmer einzuhalten. Bild 2 zeigt den Messzug mit dem kurzen Abstand von nur 18.5 m zwischen den gehobenen Stromabnehmern. Bei dieser Komposition mit den Triebfahrzeugen an der Spitze werden die Messstromabnehmer im Kniegang angeströmt und in der Gegenrichtung mit dem Steuerwagen voraus im Spießgang. Bei den Messungen im Sommer 2003 waren

## AC-Bahnenergieversorgung



**Bild 2:** Messzug für Laufwerk- und Kontaktkraftmessungen im Sommer 2004 in Rothrist. Lokomotive Re 460 vorn mit Messradsätzen am vorlaufenden Drehgestell und Messstromabnehmer nachlaufend, zweite Lokomotive Re 460 mit Messstromabnehmer nachlaufend, Messwagen (EW-IV), zusätzlicher Zweitklasswagen (EW-IV) und Steuerwagen IC Bt.



Bild 3: Messstromabnehmerwippe mit eingebauten Kraftsensoren (Stromabnehmer Schunk WBL 85 mit Wippe 1 450 mm).

14(

12

42

43



Bild 4: Messstromabnehmer mit zusätzlichen Windleitblechen am Zentralrohr der Wippe.

die Triebfahrzeuge anders eingereiht, so dass der Messstromabnehmer im Spießgang direkt von der Frontwelle des führenden Triebfahrzeugs erfasst wurde. Die Ergebnisse der Messreihen 2003 und 2004 sind dementsprechend sehr unterschiedlich. Für die Messung der Kontaktkraft Fahrdraht - Stromabnehmer wurden zwei Messstromabnehmer der SBB-Messtechnik eingesetzt. Die Messungen wurden nach EN 50317 durchgeführt: Dazu ist besonders zu erwähnen, dass die aerodynamischen Kräfte an den Wippen sowie der Einfluss der Massenträgheit der Schleifleisten online kompensiert werden. Diese Stromabnehmer verfügen über Sensoren zur Erfassung der Schnittkräfte, die weitgehend beeinflussungsfrei in den Stromabnehmer integriert sind. Bild 3 zeigt hierzu die Ansicht der Wippenkonstruktion: die Kraftsensoren sind vollständig in die Längsstege eingebaut. Der Mess-



**Bild 5:** Kontaktkraftverlauf Stromabnehmer – Fahrdraht bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten bis 230 km/h, gemessen am nachlaufenden Stromabnehmer bei Doppeltraktion mit Stromabnehmerabstand von 18,5 m (beide Stromabnehmer in Kniegang).





47

48

51

**Bild 6:** Aerodynamischer Auftrieb (1) bei den Einfahrten in verschiedene Tunnels (*grau* hinterlegt) der NBS: km 42,8 bis 43,8 Langenthal-Tunnel mit an Anfang und Ende rechteckigem und in Tunnelmitte rundem Querschnitt; km 48,0 bis 48,6 Aegerten-Tunnel mit rundem Querschnitt; km 49,1 bis 54,0 Murgenthal-Tunnel mit rundem Querschnitt (Messschrieb-Ende bei km 51,0); 2 Geschwindigkeit.

stromabnehmer verhält sich somit nahezu gleich wie der Serienstromabnehmer. Für die angestrebten hohen Geschwindigkeitsbereiche war eine Voreinstellung der Stromabnehmerauftriebskräfte gemäß prEN 50367 mittels Windleitblechen nach der Formel  $F_m = 70 + 0,00097$  $v^2$  ( $F_m$  in N und v in km/h) notwendig. Die Windleitbleche am Zentralrohr der Wippe (Bild 4) sollen einen optimalen Anpressdruck am Fahrdraht über den ganzen Geschwindigkeitsbereich sicherstellen.

Der Stromabnehmerabstand von nur 18,5 m stellt hohe Anforderungen. Die Beanspruchung des nachlaufenden Stromabnehmers ist normalerweise höher als die des vorlaufenden: Erstens muss der nachlaufende Stromabnehmer die Schwingungsanregung des vorlaufenden übernehmen und zweitens haben die aerodynamischen Turbulenzen – verursacht durch den vorlaufenden Stromabnehmer – einen starken Einfluss. Die Kraftverläufe Fahrdraht – Stromabnehmer für den hinteren Stromabnehmer in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit sind in Bild 5 dargestellt: Die grünen Kurven zeigen die Maximalund Minimalkräfte sowie die Mittelwerte auf freier Strecke. Die schwarzen Kurven zeigen die Kraftverläufe im Tunnel. Die Kräfte im Tunnel sind aufgrund der Luftströmungsverhältnisse rund um ein Drittel höher. Bei den Einfahrten in die Tunnel treten zudem Spitzenwerte infolge von Luftturbulenzen auf, die nach etwa 500 m abklingen. Das Bild 6 zeigt dies deutlich.

Der Fahrdrahtanhub wurde im Tunnel und auf der freien Strecke mit je einer Messstelle überwacht. Die entsprechende Messeinrichtung mit einem Seilpotenziometer am Fahrleitungsmast der freien Strecke ist aus Bild 7 ersichtlich: über einen Nylonfaden wird die mechanische Verbindung zum Fahrdraht hergestellt. Ein Messcomputer vor Ort verarbeitet die Spannungssignale des Poten-



Bild 7: Fahrdrahtanhub-Messstelle bei km 38,543 in der Nähe des Festpunktes.



Bild 8: Zeitlicher Verlauf des Fahrdrahtanhubes über der Ruhelage auf der freien Strecke bei km 38,543 (Bild 7), Befahrung mit zwei gehobenen Stromabnehmern (Kniegang) mit 18,5 m Abstand und 230 km/h Geschwindigkeit.

Bild 9: Zeitlicher Verlauf des Fahrdrahtanhubes über der Ruhelage im Tunnel Murgenthal bei km 49,680; etwa 200 m vom Festpunkt entfernt, Befahrung mit zwei gehobenen Stromabnehmern (Kniegang) mit 18,5 m Abstand und 230 km/h Geschwindigkeit. ziometers. Die ermittelten Anhubwerte können vor Ort am Messcomputer eingesehen oder telefonisch abgefragt werden. Bild 8 zeigt den zeitlichen Verlauf des Anhubs auf freier Strecke bei einer Geschwindigkeit von 230 km/h. Bild 9 zeigt zum Vergleich den Anhubverlauf im Tunnel. Die gemäß TSI und EN 50119 zulässigen Anhubwerte wurden sowohl im Tunnel wie auf offener Strecke auch bei Doppeltraktion mit dem kurzen Stromabnehmerabstand eingehalten. Das Schwingungsverhalten bezüglich Vor- und Nachschwingungen unterscheidet sich an beiden Messstellen deutlich. Es kann größtenteils durch die unterschiedliche Spurhaltung erklärt werden.

#### 4.2 Besondere Versuchsschaltungen

Die wichtigsten elektrischen Eigenschaften der Bahnstromversorgung und der Oberleitung wurden im Rahmen einer konzentrierten Messreihe auf der gesamten Strecke innerhalb von fünf Tagen überprüft. Die Messreihe umfasste die Messung der Stromverteilung in der Oberleitung und in den Rückleitern, Impedanzmessungen, Erdungsmessungen, Kurzschlussversuche mit Nominalspannung, Erwärmungsmessungen an der Oberleitung sowie Messungen der nichtionisierenden Strahlung (NIS) [13, 14]. Dazu waren umfangreiche Vorbereitungsarbeiten erforderlich. Zu koordinieren galt es die Netzspeisung vom erzeugenden Frequenzumformer über eine eigens für die Versuche freigeschaltete Übertragungsleitung zum Uw Wanzwil, die Netzschaltungen und Messaufzeichnungen im Uw Wanzwil, die Oberleitungswartungsmannschaft, das Messteam auf der Strecke sowie das NIS-Messteam an den Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) sowie die Liegenschaftsbesitzer und -bewohner dieser Orte [13]. Es konnten sämtliche Messungen erfolgreich und mit vielen wertvollen Ergebnissen durchgeführt werden.

Bei sämtlichen in den folgenden Abschnitten beschriebenen elektrischen Messungen wurde vom Frequenzumformer Rupperswil [8] über die 132-kV-Übertragungsleitung mit einer reduzierten Spannung das Uw Wanzwil gespeist, das etwa in der Mitte der Neubaustrecke liegt. Die Oberleitung wurde auf der Strecke an den gewünschten Stellen mit hochstromfesten Erdungsstangen an den Schienen geerdet. Der Frequenzumformer wurde derart betrieben, dass in der Oberleitung die gewünschte Stromstärke erreicht wurde.

Zur Messung der Ströme in den einzelnen Leitern dienten Strommesswandler mit Rogowski-Spulen (Ringspulen), deren Ringe sich öffnen und so um die Leiter legen lassen. Es wurden Wandler der Typen LEM-flex II und AmpFLEX verwendet. Mit den AmpFLEX können, dank größerem Durchmesser, auch die Schienen umfasst werden. Die Wandler liefern erdfreie Analogsignale, welche mit einem PC-Messsystem mit 16 Kanälen aufgezeichnet wurden. Das auf der Basis von LabVIEW entwickelte Messprogramm ist in einem Laptop installiert, als A/D-Wandler wurde eine PCMCIA-Karte mit 16 Kanälen und 16-Bit-Auflösung eingesetzt (National Instruments,

DAQCard-AI-16XE-50, gemeinsame Erde, Eingangsbereich ±10 V). Die eigens für solche Messungen von ENOTRAC entwickelte Software erlaubt, die Stromstärke online zu verfolgen und für die spätere Verarbeitung aufzuzeichnen. Die Daten wurden als Rohdaten im 16-bit-Format und als Sekundenmittelwerte im ASCII-Format abgespeichert. Die Abtastrate war mit 6000 Hz relativ hoch, was aber zur zuverlässigen Bestimmung des Phasenwinkels erforderlich war. Bei den Erwärmungsmessungen (siehe Abschnitt 4.3) waren nur drei, bei den übrigen Messungen meist alle Kanäle belegt.

#### 4.3 Erwärmungsmessung der Oberleitung

Für die Erwärmungsmessungen musste die Erdung (Kurzschluss) der Oberleitung besonders sorgfältig ausgeführt werden: Wegen der langen Dauer der teilweise hohen Ströme musste vermieden werden, dass die Oberleitung an den Kontaktstellen Schaden nimmt. Der Belastungszyklus war durch die Spezifikation gegeben, die pro Gleis eine Dauerbelastung von 900 A<sub>eff</sub> mit einer zusätzlichen Belastung von 1800 A<sub>eff</sub> über 150 Sekunden fordert. Die der Dauerbelastung überlagerten 1800 A<sub>eff</sub> sollen den ebenfalls über die Neubaustrecke verkehrenden Güterzügen mit einer Anhängelast von 4000t Rechnung tragen. Die Erwärmungsmessungen wurden auf der freien Strecke (Bild 10) wie auch in einem Tunnel (Oenzberg) durchgeführt.

Die Temperaturen wurden mit einem 4-Kanal-Datenlogger vom Typ ECOLOG TN4-L mit einer Abtastrate von 1 Wert pro Sekunde und Kanal aufgezeichnet. Während der Messung befanden sich Messfühler und Datenlogger auf Oberleitungspotenzial. Mit NTC-Fühlern wurden die Temperaturen von Fahrdraht, Tragseil und Feeder (Verstärkungsleiter) sowie der Umgebung gemessen. Zur Eliminierung allfälliger Einflüsse durch direkte Sonneneinstrahlung oder Regen wurden die Messstellen durch kleine Dächer (Bild 10) geschützt. Die Stromstärke wurde mit Ringspulen gemessen, wie dies im Abschnitt 4.2 beschrieben wurde.

Synchron zur Temperaturmessung wurden die Windstärke und Windrichtung gemessen und mit einem PC-Messsystem aufgezeichnet. Die Windmesseinrichtung befand sich auf einem Stativ auf der Höhe zwischen Fahrdraht und Tragseil. Auf der freien Strecke herrschte ein



Bild 10: Messaufbau für die Erwärmungsmessuna der Oberleitung, sichtbar sind die Sonnenschutzdächer über den drei Temperaturmessfühlern, dahinter die Strommesswandler der jeweiligen Leiter; links von der Bildmitte ist der Windmesser auf einem Stativ aufgestellt.



Bild 11: Verlauf der Ströme /, der Leitertemperaturen T und der Windgeschwindigkeit vw während den Erwärmungsmessungen im Tunnel Oenzberg.

- Verstärkungsleiterstrom
- 2 Fahrdrahtstrom
- 3 Tragseilstrom Fahrdrahttemperatur

4

- 5 Verstärkungsleitertemperatur Tragseiltemperatur
- 6 7 Umgebungstemperatur
- 8
  - Windgeschwindigkeit

leichter Wind von 1 bis 7 m/s, im Mittel etwa 2,5 m/s. Sobald der Wind etwas zunahm, verlangsamte sich die Erwärmung oder die Abkühlung beschleunigte sich leicht. Da demgegenüber im Tunnel außerordentlich stabile Verhältnisse herrschten, werden nachstehend die dort gewonnenen Ergebnisse diskutiert. Die Luftströmung war dort mit konstanten 0,5 m/s, teilweise gar weniger, bis 1 m/s gering und verlief in Längsrichtung des Tunnels. Das weitgehend störungsfreie Umfeld macht die Ergebnisse dieser Erwärmungsmessungen besonders wertvoll (Bild 11): Bei einer Lufttemperatur von 18°C und einer Dauerbelastung von 900 A stabilisierte sich die Fahrdrahttemperatur auf 38,2°C. 150s nach der Erhöhung auf 1800 A stieg die Fahrdrahttemperatur auf 56,6°C. Tragseil und Feeder (Verstärkungsleiter) wurden deutlich weniger erwärmt.

Die Hochrechnung auf die spezifizierte Umgebungstemperatur von 40°C und Fahrdrahtabnützung von 30 % ergibt eine Fahrdrahttemperatur von 80°C. Wird berücksichtigt, dass das Auffahren des Stromes von 900 auf 1800 A eine gewisse Zeit in Anspruch nahm, so liegt die maximale Temperatur der Oberleitungsanlage gemäß spezifiziertem Lastzyklus unter 80°C.

Gleichzeitig zu den Temperaturmessungen wurde auch das Absenken der Abspanngewichte aufgezeichnet. Die Fahrdrahtverlängerung und der Lauf der Gewichte entsprach dabei den Erwartungen.

#### 4.4 Impedanzmessung der Oberleitung

Zur Messung der Schleifenimpedanzen der Oberleitungsabschnitte wurde mit einer reduzierten Spannung ab Uw Wanzwil mit 16,7 Hz auf einen mit Erdungsstangen erstellten Kurzschluss zwischen Oberleitung und Gleis gespeist, so dass etwa 400  ${\rm A}_{\rm eff}$  flossen. Die Messung der Schleifenimpedanzen erfolgte im Uw Wanzwil am jeweiligen Speisepunkt mit einem NORMA-Präzisions-Impedanzmessgerät D5155. Die Spannungs- und Stromsignale

Tabelle	5:	Spezifische	Schleifenimpedanz	für	die	zweigleisige
NBS.						

Messgröße		Bandbreite der Mess- werte	über weite Strecken
Betrag	mΩ/km	5561	57
Realteil	mΩ/km	3034	32
Imaginärteil	mΩ/km	4651	47
Phasenwinkel induktiv	0	5459	56

wurden von den Wandlern des Oberleitungsschutzes abgegriffen.

Die Kurzschlussorte wurden derart über die gesamte Strecke verteilt, dass allfällige Einflüsse aus Besonderheiten einzelner Streckenabschnitte in den Impedanzwerten erkennbar wären. Beispielsweise wurden dabei die Abschnitte Überdeckung Rüdtligen [1] die Emmequerung, Oenzbergtunnel, die Parallelführungen mit der Stammlinie, Tunnel Langenthal und Tunnel Murgenthal besonders beachtet (Bild 1). Dazu bestand die Absicht, durch Differenzbildung von gemessenen Impedanzwerten den einzelnen Streckenabschnitten in einer Näherung einen Impedanzwert zuordnen zu können. Die aus den Messergebnissen abgeleiteten spezifischen Impedanzen (Impedanz pro Kilometer) sind allerdings derart homogen, dass keine für die einzelnen Streckenabschnitte typischen Werte erkennbar sind (Tabelle 5).

Der resultierende spezifische Impedanzwert für die doppelspurige NBS mit den in den Parallel- und Hauptschaltposten parallel geschalteten Oberleitungen der beiden Gleise ist mit einem Betrag von rund 57 m $\Omega$ /km sehr gering. Ein Vergleich mit den aus den früheren Modellrechnungen resultierenden Impedanzwerten zeigt, dass die Messwerte generell niedriger sind. Durch Veränderung von Parametern im Simulationsmodell können dafür folgende Gründe vermutet werden:

- Die Messungen wurden mit nur 2×200 A durchgeführt, was zu einem kleinen Schienenstrom und dementsprechend geringen Einfluss auf die magnetische Permeabilität führt;
- Der Gleichstromwiderstand der Schienen wurde mit Werten aus der Literatur eingesetzt. Allenfalls weisen die nun verlegten Schienen eine bessere Leitfähigkeit auf;
- Das gesamte Modell beruhte nach den damaligen Vorgaben darauf, dass die Bauwerkstrukturen keine Verbindungen mit der Bahnerde haben und damit wenig Traktionsrückstrom führen;
- Für die Erdstromtiefe wurde allenfalls ein zu hoher Wert eingesetzt.

Die Ergebnisse der Impedanzmessungen auf der eingleisigen ABS lassen etwas weniger grundsätzliche Schlussfolgerungen zu als diejenigen auf der NBS. Der Betrag der spezifischen Schleifenimpedanz der ABS liegt bei 100 m $\Omega$ /km, der Phasenwinkel bei 46°.

#### 4.5 Stromverteilung in der Oberleitung und Rückstromverhältnisse

Die Stromverteilung in der Oberleitung und in den Rückleitern wurde an sämtlichen Stellen gemessen, an denen auch die nichtionisierende Strahlung gemessen werden musste. In einigen Tunneln konnte an den Messstellen nur ein geringer Anteil des Gesamtstroms in den Rückleitern erfasst werden, so dass dann in den Tunnel zusätzlich an weiteren Stellen der Strom in den Schienen, den Erdleitern in der Kabeltrasse und in den Ringleitungen punktuell gemessen wurde. Darüber hinaus wurden im Bereich des Uw Wanzwil auf der Strecke sowie im Uw selbst die Rückstromverhältnisse detailliert gemessen.

Die Stromverteilungen auf der Strecke wurden jeweils in einem Bereich außerhalb der Übergangslängen gemessen, das heißt, die Oberleitung wurde genügend weit vom Messort entfernt geerdet, so dass am Messort der Erdstrom maximal war. Eine für die zweigleisige NBS typische Stromverteilung auf der freien Strecke ist in der Tabelle 6 zusammengestellt: Der Anteil des in den Rückleitern fließenden Rückstromes beträgt bei der NBS rund 80 %; bei der ABS sind es etwas weniger. In den Tunneln übernehmen zusätzlich die Erdseile in den Kabelkanälen, die Kabelschirme sowie das Funkkabel und dessen Tragseil einen Anteil des Rückstroms. Die Stromverteilung im Tunnel Oenzberg ist ebenfalls in der Tabelle 6 zusammengestellt.

Wie eingangs erwähnt, wurde in einigen Tunneln lediglich ein geringer Anteil des eingespeisten Stroms in den Rückleitern gemessen. Es zeigte sich, dass der Rückstrom offenbar über die Tragwerke auf die Bewehrung der Tunnel übertritt. Vor und nach den Ringleitungen war der Strom in den Schienen unterschiedlich, die Differenz fließt über die Ringleitungen auf die Erdseile und dann über die Tragwerke ins Bauwerk. Dies lässt sich anhand der gemessenen Werte beispielsweise im Tunnel Langenthal sehr schön zeigen (Bild 12): An der Stromverteilungsmessstelle bei km 43,800 sind lediglich 35 % des eingespeisten Stromes in den Rückleitern zu finden. Wie Bild 12 zeigt, ist dieser Anteil weiter im Tunnelinnern noch geringer. Im Tunnel Emmequerung betrug der Rückstromanteil in den Rückleitern lediglich 22 % des eingespeisten Stromes.

Bei der NBS/ABS ist es gelungen, über weite Strecken einen sehr hohen Anteil des Traktionsstroms in den dafür vorgesehenen Rückleitern der Bahntrasse zurückzuführen. Einzig in einigen Tunneln fließt ein beträchtlicher Teil des Rückstroms in der Bewehrung des Bauwerks oder noch weiter von der Trasse entfernt.

Das Uw Wanzwil [8, 9] liegt beim Verzweigungsbauwerk der NBS und ABS, etwa beim NBS Streckenkm 36,650 (Bild 1). Die drei Speisepunkte (NBS West, NBS Ost und ABS) werden am Schaltposten Wanzwil bei km 36,380 eingespeist, die Streckentrennung befindet sich bei km 36,369, also rund 350 m vom Uw in Richtung Bern verschoben. Der Schaltposten ist mit dem Uw über Cu-Kabel 630/70 mm<sup>2</sup> und ein Rückleitersystem bestehend aus den Kabelschirmen und je einem je Speisekabel

<b>Tabelle 6:</b> Stromverteilung und Phasenverschiebung $\varphi$ in den Hinleitern der Oberleitung und in den Ruckleitern.										
	NBS freie Strecke		NBS Tunnel C	NBS Tunnel Oenzberg		ABS freie Stre	ABS freie Strecke			
	A <sub>RMS</sub>	%	٥	A <sub>RMS</sub>	%	٥	A <sub>RMS</sub>	%	٥	
Hinleiter <sup>1)</sup>										
Fahrdraht J	66,0	16,8	0,0	69,2	17,5	0,0	66,4	33,6	0,0	
Tragseil J	42,1	10,8	9,9	44,9	11,4	10,9	46,9	23,7	11,9	
Feeder J	87,7	22,3	4,0	83,4	21,1	2,0	85,1	43,0	2,0	
Fahrdraht A	67,3	17,1	0,6	69,0	17,5	-1,0				
Tragseil A	42,2	10,8	9,9	44,5	11,3	10,2				
Feeder A	88,4	22,5	3,5	85,2	21,6	2,0				
Hinleiter total	393,0	100,0	3,9	395,2	100	3,1	197,7	100	3,7	
Rückleiter <sup>1)</sup>										
Erdseil J	74,7	19,0	-155,4	78,8	20,0	-161,8	63,3	32,0	-156,1	
Erdseil A	78,2	19,9	-155,1	82,0	20,7	-161,6				
Linke Schiene J	44,7	11,4	172,0	33,3	8,4	164,1	39,0	19,7	172,3	
Rechte Schiene J	41,0	10,4	171,2	32,6	8,3	166,9	39,0	19,7	172,5	
Linke Schiene A	41,3	10,5	171,5	33,2	8,4	167,3				
Rechte Schiene A	43,9	11,2	172,8	33,6	8,5	165,2				
Erdseil Kabeltrasse J				18,2	4,6	-167,9				
Erdseil Kabeltrasse A				19,3	4,9	-161,9				
Funkkabel				3,3	0,8	-161,9				
Kabelschirme J	5,1	1,3		4,2	1,1	-141,3	3,8	1,9	-124,7	
Kabelschirme A			-124,8	0,7	0,2	-5,0				
Rückleiter total	314,1	79,9	171,9	324,7	82,2	174,4	138,6	70,1	172,3	

Tabelle 6: Stromverteilung und Phasenverschiebung  $\varphi$  in den Hinleitern der Oberleitung und in den Rückleitern

Der Prozentsatz der Einzelleiterbelastung bezieht sich auf den vektoriell gerechneten Gesamtstrom. Der gesamte Rückleiterstrom ist vektoriell gerechnet und dessen Betrag wurde durch den Gesamtstrom dividiert. Als Referenzphase wird die Phasenlage (0°) des Fahrdrahtstroms angenommen

<sup>1)</sup> Die Leiter des südlichen Gleises, Seite Alpen, sind mit Index A bezeichnet, diejenigen des nördlichen Gleises, Seite Jura, mit J.



parallel verlegten Cu-Rückleiter 240 mm<sup>2</sup> verbunden. Der Rückleiter-Sammelpunkt beim Schaltposten ist zudem mit 4 zusätzlichen, separat geführten Kabeln 185 mm<sup>2</sup> Cu mit der Erdsammelschiene im Uw verbunden [10]. Im Übrigen wird die Stammlinie (STL) in Herzogenbuchsee über weitere, separate Speisekabel und Rückleiter vom Uw Wanzwil versorgt.

Für die Messungen wurde vom Uw Wanzwil über die einzelnen Speisepunkte der NBS und ABS auf zuvor auf der Strecke gesetzte Kurzschlüsse mit konstanten Stromstärken gespeist. Die Stromwerte in den einzelnen Leitern wurden über Stromwandler LEM-flex II und AmpFLEX erfasst (Bild 13) und mit dem PC-Messdatenerfassungssystem aufgezeichnet (Strombeträge und deren Phasenlagen). Es wurde dieselbe Messausrüstung wie bei den Messungen auf der Strecke verwendet. Der Schalt-

Bild 12: Rückstromverteilung im Langenthal-Tunnel.

- *blau* Stromwerte in A
- ES Erdseil KTES Erdseil Kabeltrasse
  - Strom in den Anschlüssen zu ES, KTES

## AC-Bahnenergieversorgung



Bild 13: Uw Wanzwil: Messanordnung der Kabelleiter-, Kabelschirm- und Rückleiter (verdeckt) mit Wandlern LEM-Flex II und AmpFLEX (Rogowski-Spulen) im Doppelboden der 15-kV-Schaltanlage.

Bild 14: Messung der magnetischen Flussdichten auf 1, 2, 3 und 4m Höhe ab Fußboden in besonderer Umgebung: Käsezentrum Emmi neben der Überdeckung Rüdtligen.



posten und die Streckenspeisungen liegen vom Uw etwa 350 m entfernt in Richtung Bern. Dadurch ist die Rückstromführung aus dieser Richtung auch sehr homogen. 87 % des eingespeisten Stroms konnten in den Rückleiterseilen und Gleisen zum Schaltposten gemessen werden. Ein weiterer Teil gelangt auf Umwegen zum Schaltposten. Vom Schaltposten zum Uw übernehmen die Parallelrückleiter und die vier zusätzlichen Rückleiter je etwa 15 % des eingespeisten Stroms, was insgesamt 75 % ausmacht. In den Kabelschirmen fließen rund 20 % des eingespeisten Stroms.

Bei der Speisung in die entgegengesetzte Richtung, also in Richtung Olten, liegt das Uw näher beim Kurzschlussort als der Schaltposten. Dementsprechend ist der Stromanteil in den *regulären* Rückleitern wesentlich geringer und beträgt lediglich etwa 55 %. Der Rest fließt auf direktem Weg ins Uw zurück. Es ist dabei allerdings zu beachten, dass die Bewehrung des unmittelbar beim Uw in Richtung Olten liegenden Tunnels Gishübel mit der Bahnerde verbunden ist.

Die Messungen haben bestätigt, dass sich mit dem erstmals beim Uw Zürich [10] konsequent angewandten Konzept der Kabelanspeisung und den unmittelbar neben den Kabeln verlegten Rückleitern ein außerordentlich großer Anteil des Rückstromes in definierten Leitern ins Uw zurückführen lässt.

#### 4.6 Nichtionisierende Strahlung (NIS)

Beim Vollzug der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung [13] musste die magnetische Flussdichte an denjenigen Orten (OMEN, Orte mit empfindlicher Nutzung) gemessen werden, bei denen die Berechnungen im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens [14, 15] ein Überschreiten des Anlagegrenzwertes (AGW) der magnetischen Flussdichte von 1 µT gemittelt über 24 Stunden ergab. Bei der Überdeckung Rüdtligen wurden bauliche Maßnahmen (Bild 17 in [1]) umgesetzt, die ein Überschreiten des Anlagegrenzwertes verhindern sollten. Auch hier wurde die effektive Situation nun mit aufwändigen Messungen verifiziert. Darüber hinaus wurde an der NBS und ABS je eine Typenfeldmessung ausgeführt.

Entlang der NBS ist gemäß Berechnungen in insgesamt neun Gebäuden mit einer Überschreitung des AGW zu rechnen: drei Wohngebäude, ein Stall sowie fünf Gewerbebetriebe. Die meisten Gebäude befinden sich an Stellen, an denen die NBS in einem Tunnel verläuft. In den Wohngebäuden und in einem kleineren Gewerbegebäude wurde die magnetische Flussdichte in allen bewohnten Stockwerken auf 1 m Höhe über Boden gemessen. In den übrigen Gebäuden erlaubte die Raumhöhe Messungen auf 0 m bis maximal 4 m über Boden in allen Stockwerken (Bild 14).

Die Magnetfelder wurden mit Messgeräten der Typen EFA-2, EFA-3 und EFA-200 erfasst. Zur genauen Positionierung in der Höhe wurden die Geräte auf speziellen Rohrgestellen montiert. Zur Abkürzung der Messdauer wurde gleichzeitig mit zwei oder gar drei Geräten gearbeitet.

Die gemessenen magnetischen Flussdichten stimmten entweder mit den Berechnungen überein oder sie ergaben deutlich niedrigere Werte. Überall dort, wo der größere Rückstromanteil nicht in der Bahntrassee fließt, sind die Verhältnisse hinsichtlich NIS besser als berechnet. Für die anfänglichen Berechnungen war vorgegeben, dass keine leitenden Verbindungen zwischen Bahnerde und Bauwerksbewehrung bestehen würden, dies wurde aber beim Bau nicht überall so ausgeführt. Der Strom in der Bewehrung führt zu einer Verkleinerung des resultierenden Magnetfeldes. Wo die gemessene Stromverteilung den Berechnungen entspricht, stimmen auch die magnetischen Flussdichten von Messung und Berechnung überein.

Bei der Überdeckung Rüdtligen wurden die beiden Erdseile und Rückleiter in den Kabelkanälen auf die dem Gebäude zugewandte Seite verlegt und dort etwa auf der Höhe der Oberleitung isoliert dem Gewölbe entlang geführt. Der Strom in den derart gebündelten Rückleitern bewirkt ein gezieltes Gegenfeld zum Feld des Hinstroms in der Fahrleitung. Die Messungen (Bild 15) haben den erwarteten Nutzen dieser Maßnahme in vollem Umfang bestätigt

Die Typenfeldmessungen wurden auf der freien Strecke fernab irgendwelcher bekannter leitender Strukturen durchgeführt. Hier wurde die magnetische Flussdichte in einem größeren Umkreis um die Bahntrasse in Schritten von jeweils 1 m und auf Höhen von 1 m bis 4 m über Schienenoberkante gemessen.

Die Messergebnisse zeigen sehr deutlich eine Problematik des NIS-Grenzwertes von 1 µT: Die Kurven verlau-

## AC-Bahnenergieversorgung



**Bild 15:** Magnetischer Flussdichtenverlauf in  $\mu$ T rund um die Überdeckung Rüdtligen und beim Käsezentrum Emmi; *rot* 1- $\mu$ T-Kurve, welche gerade außerhalb der Hausfassade des Käsezentrums verläuft.



**Bild 16:** Magnetische Flussdichte bei der Typenfeldmessung an der NBS (2×200 A). Stromverteilung pro Gleis: Fahrdraht 68 A, Tragseil 43 A, Verstärkungsleiter 89 A und Rückleiterseil 76 A sowie beide Schienen 85 A. Darstellung der magnetischen Flussdichte auf Höhe Schienenoberkante (SOK, *schwarz*) sowie in den Höhen 1 m (*rot*), 2 m (*blau*), 3 m (*grün*) und 4 m (*orange*) über SOK.

fen im Bereich von 1  $\mu$ T außerordentlich flach (Bild 16). Dies bedeutet, dass Werte unwesentlich höher oder tiefer als 1  $\mu$ T sich über eine verhältnismäßig große räumliche Ausdehnung verteilen. Damit sind sowohl berechnete wie gemessene Werte um die 1  $\mu$ T nicht unproblematisch.

#### 4.7 GSM-R-Übertragungsverhältnisse nach EIRENE

Erstmalig musste in der Schweiz als Auflage in einer Plangenehmigungsverfügung die Funktionstüchtigkeit für das GSM-R-Netz der NBS, ABS und den zugehörigen Zulaufstrecken gemäß den Vorgaben aus dem UIC Projekt EIRENE [16; 17] und den GSM-Standards [18; 19] nachgewiesen werden. Unabhängig davon sind dynamische Werkabnahme-Messungen zur Überprüfung der Funknetzplanung und der Systemlieferqualität für jede in Betrieb zu nehmende Strecke vorgesehen. Werkabnahmen und EIRENE-Nachweis beinhalten gleichartig zu messende Parameter. Deshalb konnten die beiden Messkampagnen zusammengelegt werden. Eine große Herausforderung bei den dynamischen Messungen war die Planung der zahlreichen Fahrten. Unterschiedliche Projektgebiete, das GSM-R-Netz reicht weit über die bauliche Grenzen der NBS und ABS hinaus, und zum Zeitpunkt der Messfahrten nicht vollständig zur Verfügung stehende Sicherungsanlagen auf den neuen Strecken sowie das Ein- und Ausfahren in Betrieb stehenden Strecken bedingten eine minuziöse Planung. Das GSM-R-Messkonzept beschreibt, welche Parameter zu messen sind, die zu fahrenden Geschwindigkeiten, die Häufigkeit der Messungen pro Parameter, Messanordnungen und Methoden. Ebenfalls wird die Auswertung beschrieben. Diese Methodik stellt sicher, dass jede Messung reproduzierbar ist. Da bis heute erst wenige Erfahrungen von GSM-R-Werkabnahmen für Voice- und Datenfunk (ERTMS / ETCS) vorliegen, wird das Messkonzept mit zunehmender Anzahl von Messergebnissen optimiert.

Die Messfahrten wurden mit dem railcom-Messwagen ausgeführt. Die Spezifikationen des Messwagens sind unter www.railcom.ch ersichtlich. Für Fahrten über 160 km/h wurde ein mit Messantennen und einer mobilen Messausrüstung versehener Reisezugwagen temporär ausgerüstet und eingesetzt.

Für Werkabnahmen hat SBB Telecom ein dreistufiges Vorgehen definiert:

- Phase 1 / Lieferanten-Messung 1:
  - GSM-R-Systemlieferant erhält die Gelegenheit, sein Werk erstmalig zu überprüfen. Lieferant definiert die zu messenden Parameter
- Phase 2 / Lieferanten-Messung 2: GSM-R-Systemlieferant erhält die Gelegenheit, Veränderungen zu überprüfen, die er nach der ersten Phase durchgeführt hat
- Phase 3: Werkabnahmen einschließlich Messungen, Nachweis nach EIRENE

Zwischen der zweiten und dritten Phase fanden stationäre Werkabnahmen statt. Mit diesen Abnahmen wurden die Installationen an den GSM-R-Standorten überprüft. Dem Systemlieferanten ist es untersagt, nach erfolgter Abnahme weitere Tuning-Maßnahmen vorzunehmen.

Damit die Messresultate die notwendige Aussagekraft haben, ist jeder Parameter pro Geschwindigkeit mindestens sechsmal zu messen. Die Messungen fanden bei drei Geschwindigkeiten statt: Halbe Streckengeschwindigkeit (80 km/h oder minimal 40 km/h), derzeitig maximale Streckengeschwindigkeit bis 160 km/h und Streckengeschwindigkeiten >160 km/h mit maximal zugelassener Geschwindigkeit plus 15% (Anforderungen für ETCS level 2). Umgesetzt auf das Projekt Bern – Wanzwil – Olten / Zofingen – Rothrist – Wanzwil – Solothurn – Grenchen-Süd bedeutete dies, dass total 610 Messfahrten notwendig wurden.

Nachstehend sind aus dem Messkonzept auszugsweise Angaben zur Messmethode und Auswertung der erfolgten Messungen wiedergegeben. Es wurden zwei unterschiedliche Messmodi angewandt: Entweder mit einem Dauersignal im Zustand dedicated oder im Modus 2 wechselnd zwischen idle und dedicated in Abständen von jeweils 25 s und 30 s. Die Test Mobile Station (TMS) ist im GSM-R-Netz eingebucht und befindet sich im Dedicated Mode innerhalb einer Zelle des zu messenden GSM-R-Netzes. Bei den Auswertungen im Messmodus 2 wird der RxLevel-Wert erfasst. Die Werte nach [18] setzen sich aus mehreren Werten zusammen, die über 480 ms gemittelt werden. Im Monitor-Report werden zwei Werte ausgewiesen: nämlich RxLevel full und RxLevel sub. Für die Auswertung wird der RxLevel sub-Wert verwendet. Für die Berechnung der Feldstärke werden folgende Größen, die ebenfalls im Messfile gespeichert sind, berücksichtigt: Dämpfung der Installation, Korrekturwert der TMS, Antennenfaktor und weitere genau definierte Umrechnungsfaktoren. Die Messresultate zeigen, dass das GSM-R-Netz die Systemanforderungen gemäss EIRENE erfüllt.

Die Abnahmen der Tunnelfunkanlagen bilden keinen Bestandteil der GSM-R-Messfahrten. Diese werden ebenfalls mit dem railcom-Messteam und -Wagen abgenommen. Tunnelfunkabnahmen müssen zwingend vor den GSM-R-Abnahmen durchgeführt werden.

Parallel zu den GSM-R-Abnahmen und QoS-Messungen (Quality of Services) wurde die GSM-900/-1800-Versorgung der Public Providers überprüft.

#### 5 Schlussfolgerungen

Bei der Inbetriebnahme der NBS mussten viele Nachweise zur sicheren Funktion der elektrischen Ausrüstung – insbesondere auch der Bahnstromversorgung und des neuen Übertragungssystems GSM-R - von den SBB eingereicht und von der Aufsichtsbehörde eingehend geprüft werden. Dazu wurden teilweise recht aufwändige Messanordnungen und Versuche erforderlich. Die umfassende Anwendung der TSI Energie - vor allem der vollständige Nachweis und die Bewertung bei der EG-Prüferklärung – stellt sicher, dass nicht nur einzelne Teile und Funktionen geprüft werden, sondern die Bahnstromversorgung als ganzes (Teil-) System Energie. Die vorliegenden Erfahrungen mit den bestehenden, nationalen eisenbahnrechtlichen Verfahren auf der NBS haben gezeigt, dass die Beurteilung der Interoperabilität der Oberleitung ohne großen Aufwand in den auch sonst erforderlichen rechtlichen Verfahren wie Typenzulassungsverfahren, Plangenehmigungsverfahren und Betriebsbewilligung durch die Aufsichtsbehörde erfolgen kann. Der Einsatz einer Benannten Stelle konnte auf diese Weise entfallen. Für das Teilsystem Energie beträgt der Prüfaufwand für die Interoperabilität knapp 10 % während die übrigen 90 % für die sicherheitsrelevanten Prüfungen sowieso anfallen. Eine etwas schwierigere Aufgabe liegt bei der Bewertung der Interoperabilitätskomponente Stromabnehmer vor, weil hier zurzeit korrekterweise jeder im freien Netzzugang einsetzbare Stromabnehmertyp einzeln bewertet werden müsste. Um diesen Aufwand zu reduzieren, sind europäisch genormte oder auf einer gemeinsamen Basis geprüfte Stromabnehmer (zumindest pro Bauart) und zugehörige einfachere Verfahren wie cross acceptances anzustreben. Die Norm EN 50317 legt dabei das Vorgehen bei den Messungen fest.

Für das neue Übermittlungssystem GSM-R hat sich die Nachweisführung nach EIRENE bewährt.

#### Literatur

- [1] Lörtscher, M.; Baier, HP.; Lauber, J.; Meuli, M.; Münster, M;. Schwander, R.; Winter, H.: Elektrische Anlagen auf der Neubaustrecke (NBS) Mattstetten – Rothrist der SBB. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 12, S. 515–531.
- [2] Beginn der Testfahrten auf der Bahn-2000-Neu-



baustrecke der SBB. In: Elektrische Bahnen 101 (2003) H. 8, S. 393.

- [3] Technische Spezifikation f
  ür die Interoperabilit
  ät des Teilsystems "Energie" des transeurop
  äischen H o c h g e s c h w i n d i g k e i t s systems vom 30. Mai 2002 (TSI Energie).
- [4] 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.
- [5] Eisenbahngesetz [EBG] vom 20. Dezember 1957 (Stand am 25. Januar 2000). SR 742.101.
- [6] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung [EBV]) vom 23. November 1983 (Stand am 9. Dezember 2003). SR 742.141.1.
- [7] Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen (VEAB) vom 5. Dezember 1994 (Stand am 28. März 2000). SR 734.42.
- [8] Eggimann, A.; Fasel, N.; Guillelmon, B.; Marti, A.; Riatsch, J.: Geschäftseinheit Energie und Bahnstromversorgung der SBB AG – Teil 2. In: Elektrische Bahnen 102 (2004) H. 3, S. 123–133.
- [9] Basler, E.:Schaltungsaufbau im 16,7-Hz-Oberleitungsnetz der SBB. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 4, S. 164–173.
- [10] Lörtscher, M., Voegeli, H.:Bahnrückstromführung und Erdung beim Unterwerk Zürich. In: Elektrische Bahnen 99 (2001), H. 1-2, S. 51–63.
- [11] *Stolz, T.:*Gleichstromtraktion in der Schweiz, Vielfalt an Fahrzeugen und Betreibernetzen – Teil 1. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 1-2, S. 79–87.
- [12] *Stolz, T.:* Gleichstromtraktion in der Schweiz, Vielfalt an Fahrzeugen und Betreibernetzen – Teil 2. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 3, S. 134–141.
- [13] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 23. Dezember 1999 (Stand am 1. Februar 2000). SR 814.710.
- [14] Lörtscher, M.: Vollzug der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) bei Eisenbahnanlagen in der Schweiz. In: SCHWEIZER EISENBAHN-REVUE (2002), H. 5, S. 221–227.
- [15] Lörtscher, M., Aeberhard, M., Oehry, M.:Messung und Modellierung von Magnetfeldern um 16,7-Hz-Oberleitungsanlagen. In: Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 7, S. 267–280.
- [16] UIC Projekt EIRENE, Spezifikationen der Systemanforderungen
   Stand Version V 13.0, MDA029D010G vom 15. 12. 2000.
- [17] UIC Projekt EIRENE, Spezifikation der funktionalen Anforderungen

Stand Version V 5.0, MDA029D009 vom 18. 12. 2000.

 [18] Digital cellullar telecommunications system (Phase 2+); Radio subsystem link control (GSM05.08 version 6.3.0 Release 1997). [19] Digital cellullar telecommunications system (Phase 2+); Mobile radio interface layer 3 specification (GSM04.08 version 7.8.0 Release 1988).

Die Literaturstellen [5], [6], [7] und [13] können unter www.bk.admin.ch (SR) eingesehen und bei Bedarf herunter geladen werden.



Dipl. El.-Ing. ETHZ *Manfred Lörtscher* (57), Studium Elektrotechnik an der ETH Zürich bis 1971; 1985 bis 2000 Leiter Elektrische Anlagen bei den Schweizerischen Bundesbahnen in Zürich; seit 2000 Leiter Zulassung Anlagen beim Bundesamt für Verkehr (BAV).

Adresse: Bundesamt für Verkehr, Bollwerk 27, CH-3003 Bern; Fon: +41 (0)31 323 55 04, Fax: -322-08 98;

E-Mail: manfred.loertscher@bav.admin.ch



Dipl. El.-Ing. FH *Patrick Hayoz* (40), Studium Elektrotechnik an der FH Bern bis 1994; bis 2000 Projektleiter bei SBB Energie Sekundärtechnik, 2000 bis 2002 als Elektroingenieur beim Bundesamt für Verkehr (BAV); seit 2002 als Projektleiter bei SBB-Infrastruktur-Fahrstrom.

Adresse: SBB AG, Infrastruktur, Schanzenstr. 5, CH-3000 Bern 65; Fon: +41 (0)512 20 27 41, Fax: -20 38 89, E-Mail: patrick.hayoz@sbb.ch

ohne Foto

Jürg Lauber, Projektleiter Telecomanlagen, Schweizerische Bundesbahnen AG, SBB, Luzern.



Dipl. El.-Ing HTL *Matthias Schwendimann* (54) †, Studium Elektrotechnik bis 1979 an der Ingenieurschule Grenchen-Solothurn, 1999 Nachdiplomstudium "Systematisches Projektmanagement" FH Bern, 1995 bis 1998 Projektleiter Messungen Kabeltechnik SBB in Bern. 1998 bis 2004 Projektleiter elektrische Messungen bei der Messtechnik SBB in Bern.



Dipl. El.-Ing. ETHZ *Heinz Voegeli* (48), Studium Elektrotechnik an der ETH Zürich bis 1981; Geschäftsleitung ENOTRAC AG, Engineering – Organisation – Traction.

Adresse: Postgässli 23, CH-3661 Uetendorf; Fon: +41 (0)31–345 62 22, Fax: -62 25; E-Mail: info@enotrac.com, Internet:www.enotrac.com



Dipl. El.-Ing. ETHZ *Otto Wüest* (40), Studium Elektrotechnik an der ETH Zürich bis 1991; 1991 bis 1995 Projektleiter Fahrleitungsanlagen bei den Schweizerischen Bundesbahnen in Luzern; 1997–2000 Leiter elektrische Anlagen bei der Bauregion Goldau, seit 2000 Projektleiter elektrische Messungen bei der Messtechnik SBB in Bern

Adresse: Messtechnik SBB, Stöckackerstr. 25, CH-3018 Bern;

Fon: +41 (0)51 220 45 34, Fax: -220-44 88; E-Mail: otto.wueest@sbb.ch

Co-Autor *Matthias Schwendimann* ist am 15. Oktober 2004 bei Messungen von einem vorbeifahrenden Güterzug erfasst und tödlich verletzt worden.

Er war mit Leib und Seele Eisenbahner: Nach abgeschlossenem Studium beschäftigte er sich bei den SBB zunächst mit der Kabeltechnik und später mit der aufwändigen Messtechnik der EMV-Verhältnisse an Triebfahrzeugen wie auch an den festen Anlagen. In den letzten sechs Jahren setzte er sich mit voller Kraft für eine möglichst wirklichkeitsnahe Messung der Kontaktkräfte zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht ein. Neben der klassischen Messung der Schnittkräfte wurden von ihm die Themen aerodynamischer Auftrieb mit Schnurmessungen und Massenträgheit und Beschleunigung der Schleifleiste intensiv und aussagekräftig bearbeitet und bei den Messungen umgesetzt. Insbesondere mit den Abnahmefahrten auf der NBS kam er diesem Ziel, nämlich der vollständigen Umsetzung der EN 50317 sehr nahe. Dabei kam ihm seine pragmatische Art beim Suchen eines passenden gangbaren Weges zwischen exakter Wissenschaft und praxisbezogener Umsetzung sehr entgegen.