

JUBILÄUMS-
AUSGABE

10 Jahre acrps

a.c. rail power supply

Vorträge der Fachtagungen 2003 – 2011



acrps **eb**

Elektrische
Bahnen
Elektrotechnik
im Verkehrswesen

10 Jahre *acrps* – Die ersten fünf Fachtagungen.

Vor nunmehr zehn Jahren fand die erste *acrps* (a.c. rail power supply) in Leipzig statt.

Als sich 13. und 14. März 2003 Fachleute aus zehn Ländern trafen, war der anhaltende Erfolg dieser Konferenz nicht sicher. Die Veranstalter Deutsche Bahn, Eisenbahn-Bundesamt, Eisenbahn-CERT, Balfour Beatty, Siemens, ELBAS und die *eb*, die seit durch die DMG Deutsche Maschinentechnische Gesellschaft und den VDEI Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure ergänzt wurden, erwarteten 150 Teilnehmer. Es kamen weit mehr als doppelt so viele. Obwohl anfänglich geplant, wanderte die Konferenz nicht von einem Ort zum andern, sondern blieb in Leipzig. Mit zunehmendem Erfolg. Dafür sorgten in erster Linie die Teilnehmer. Und es gibt nicht wenige, die sich keine *acrps* entgehen ließen.

Die Teilnehmerzahlen stiegen von Jahr zu Jahr. Bereits 2011 waren knapp 500 Experten gemeldet. 2013 werden es definitiv mehr als 500 Teilnehmer sein. Dabei hätte diese Zahl locker viel größer sein können: Der Ruf der *acrps* ist so, dass sie auch 700 Personen zusammenbringen würde. Die Veranstalter haben sich aber entschlossen, die 500er Grenze nicht zu überschreiten, weil dadurch das wirtschaftliche Risiko der Veranstaltung und damit der Tagungsbeitrag steigen, die Veranstaltung möglicherweise an Attraktivität und Zuspruch verlieren würde. Die Tagung soll nicht nur das Management der Unternehmen ansprechen, sondern gerade auch die Ingenieure, die täglich die Projekte ausführen. Die *acrps* soll Weiterbildung und Gedankenaustausch ermöglichen. Man freut sich auf die *acrps*. Es ist nicht eine Frage ob, sondern wann die *acrps* ausgebucht ist.

Gleichwohl hat es Änderungen gegeben und wird es weiterhin geben. Während die ersten Veranstaltungen rein deutschsprachig unter Einbeziehung der Schweiz und von Österreich waren, hat sich der Charakter geändert hin zu einer zunehmend internationalen Veranstaltung, auch aus dem nicht deutschsprachigen Raum. Das ist im Interesse der beteiligten Firmen, die weltweit tätig sind, aber

auch der nationalen Besucher, für die der Blick über den Tellerrand ein entscheidendes Teilnahmekriterium ist. Voraussetzung dafür ist die seit 2009 angebotene Simultanübersetzung. Der internationale Zuspruch wächst. 2013 werden Teilnehmer aus knapp 20 Ländern erwartet, und zwar erneut nicht nur aus Europa.

Die *acrps* ist erwachsen geworden, sie hat Tradition. Sie ist anerkannt, was die Teilnahme auch von höherem Management der Unternehmen zeigen. Es gibt mehr Anmeldungen für Redebeiträge, als Zeit zur Verfügung steht. Zahlreiche Firmen nutzen die Tagung zur Präsentation und unterstützen sie auf diese Weise.

In diesem Buch sind die Fachbeiträge der ersten fünf Veranstaltungen zusammengestellt. Sie sind im Laufe der letzten zehn Jahre in der Zeitschrift *eb – Elektrische Bahnen* als Aufsätze erschienen. Wohl wissend um den Zeitaufwand, den es bedarf, diese Beiträge zu erstellen, sei an dieser Stelle noch allen Autoren für ihre Unterstützung gedankt. Nicht wenige von ihnen haben sich mehrfach mit Beiträgen an der Konferenz beteiligt.

Möge die *acrps* in den nächsten Jahren so weitergeführt werden und viele interessante Themen zur Diskussion stellen. Die Fachwelt wartet auf dieses Podium.

Im Namen der *acrps*-Organisatoren



Steffen Röhlig

Dirk Behrends



**Elektrische
Bahnen**

**Elektrotechnik
im Verkehrswesen**



Titelbild 2003
British High Speed Train
© Gary Blakeley



Titelbild 2005
Fahrender Zug
© Benik/ClipDealer.com

2003

- 12 *Steffen Röhlig*
acrps 2003
- 14 *Thomas Groh*
Anlagenmanagement, Energieversorgung
und Energieanlagenservice durch DB Energie
- 17 *Christian Courtois, Friedrich Kießling*
Technische Spezifikation Energie und
zugehörige europäische Normen
- 26 *Günter Berthold*
Interoperabilität aus der Sicht des Eisen-
bahninfrastrukturbetreibers
- 30 *Dirk Behrends, Albrecht Brodkorb,
Rainer Matthes*
Konformitätsbewertung und EG-Prüf-
verfahren für das Teilsystem Energie
- 39 *Uwe Resch, Marcus Ruch*
Zugang von Fahrzeugen zur DB-Netz-
Infrastruktur
- 44 *Daniela Levermann-Vollmer, Ralf Klinge*
Pilotprojekt Mehrspannungssystem Prenz-
lau – Stralsund
- 49 *Rainer Schmidt*
Der Standardumrichter bei der Deutschen
Bahn
- 53 *Rainer Braun, Dietwalt Moschkau,
Bernhard Kunert, Ludger Werth*
Gasolierte 15-kV-Bahnstromschaltanlage
im Schaltposten Griebnitzsee
- 59 *Peter Schulze, Bernd-Wolfgang Zweig*
Oberleitungsspannungsprüfung im Berli-
ner Nord-Süd-Fernbahntunnel
- 62 *Beat Furrer*
Deckenstromschiene im Berliner Nord-
Süd-Fernbahntunnel
- 66 *Hans Fischer, Bernd Schimrich,
Steffen Wollny*
Sonderfälle bei Oberleitungen nach dem
Ebs-Regelzeichnungsmerk
- 70 *Robert Grimm, Rainer Puschmann,
Michael Rux*
Oberleitungsabnahme am Beispiel der
Neubaustrecke Köln – Rhein/Main

- 78 *Christian Budde, Gerhard Hofmann, Herrmann Tschiedel*
Innere Bauwerkserdung von Tunneln

- 83 *Wolfgang Braun*
Feste Fahrbahn und AC-Bahnenergieversorgung

2005

- 88 *Steffen Röhlig*
acrps 2005
- 90 *Manfred Lörtscher*
Vergleich der Fahrleitungsschaltungen bei 16,7-Hz-Bahnen
- 96 *Friedrich Moninger*
Europäische Normen – Werdegang und Neuerungen
- 102 *Christian Courtois, Friedrich Kießling*
Überarbeitung der TSI Energie für Hochgeschwindigkeitsstrecken
- 109 *Peter Deutschmann, Steffen Röhlig, Erwin Smulders*
Parallelbetrieb von AC- und DC-Bahnen: Ziele der neuen EN 50122 Teil 3
- 115 *Detlef Lönard, Jens Northe, Andreas Stollberg*
Neue Schaltanlagenkonzepte für AC-Bahn- anwendungen
- 123 *Günther Fischer, Ludger Werth, Jan-Thomas Walther, Kristian Weiland*
Trends in der Schutz- und Stationsleittechnik bei AC-Bahnschaltanlagen
- 129 *Markus Meyer*
Wechselwirkungen Energieversorgung – Triebfahrzeug bei AC-Bahnen
- 135 *Wolfgang Braun, Egid Schneider*
Konzepte für Rückstromführung und Erdung bei AC-Bahnen
- 141 *Wilhelm Baldauf, Michael Kolbe, Werner Krötz*
Geregelter Stromabnehmer für Hochgeschwindigkeitsanwendungen
- 147 *Jörg Große, Axel Schmieder, Heinz Tessun*
Neubearbeitung der Oberleitungsnorm EN 50119

- 151 *Lionel Alain, Christian Courtois, Jean-Paul Mentel*
Energieversorgung der SNCF-Hochgeschwindigkeitsstrecken

- 159 *Henry Schmidt, Axel Schmieder*
Stromabnahme im Hochgeschwindigkeitsverkehr

- 164 *Dirk Behrends, Tomás Vega*
Assessment of interoperable overhead contact line system EAC 350

- 169 *Nicolas Steinmann, Martin Aeberhard, Martin Kuhn*
Bahnenergieversorgung im Gotthard-Basistunnel

- 175 *Martin Altmann, Rainer Matthes, Stephan Rister*
Elektrifizierung der Hochgeschwindigkeitsstrecke HSL Zuid

- 180 *Ralf Klinge, Simone Pietro Fasciolo, Carlo Cattaneo*
Hochgeschwindigkeitsverkehr in Italien am Beispiel Rom – Neapel

- 184 *Günter Berthold*
Innovationen bei Oberleitungsanlagen der Deutschen Bahn AG

- 189 *Bodo Ehret, Oliver Kümmel*
Förderung der Arbeitssicherheit bei Arbeiten an Oberleitungsanlagen

- 193 *Jan-Thomas Walther*
Datenübertragung für die Leitstellen der DB Energie

2007

- 200 *Friedrich Smaxwil*
Schiene auf dem Vormarsch
- 202 *Dieter Klumpp*
Innovationen in der Bahntechnik
- 208 *Michael Pohl*
Eckpunkte der Investitionsstrategie der DB Netz AG



**Elektrische
Bahnen**

**Elektrotechnik
im Verkehrswesen**



Titelbild 2007
Passing Train
© Erik de Graaf



Titelbild 2009
Overhead railway
© Ssuaphoto

- 211 *Wolfgang Feldwisch, Dirk Oelschläger, Gerhard Rügener*
Entwicklungen beim elektrischen Betrieb der DB
- 219 *Kristian Weiland, Stefan Ebhart, Steffen Walter*
Neue technische Entwicklungen für Bahnstromschaltanlagen
- 226 *Jens Northe, Detlef Lönard*
Erste Betriebserfahrungen mit fabrikgefertigten, luftisolierten 1AC-/2AC-Schaltanlagen
- 233 *Harald Schippel, Thomas Näger*
Applikation von Industrielösungen für Anwendungen bei der Bahn
- 239 *Manfred Argus*
Leistungstransformatoren in Hermetikausführung
- 245 *Christian Courtois*
Fifty years of 50 Hz energy supply in France – Development and Solutions
- 254 *Jürgen Leinweber*
Novellierte BAU-STE und Zulassungsrichtlinie
- 259 *Urs Wili, Stephan Zenglein*
Auswirkung der RAMS-Normen auf elektrotechnische Anlagen
- 267 *Dieter Würzler*
RAMS-Prozess für die eisenbahnrechtliche Betriebsbewilligung des Lötschberg-Basistunnels
- 273 *Uwe Resch*
Lastenhefte für Oberleitungsmessfahrzeuge
- 278 *Michael Rux, Axel Schmieder, Bernd-Wolfgang Zweig*
Bahnenergieversorgungskonzepte für den Brenner-Basistunnel (BBT)
- 284 *Jochen Hietzge, Arnd Stephan*
Berührungslose Messung des Oberleitungsanhangs
- 288 *Manfred Irsigler*
Montagetechnologie moderner Oberleitungen

- 293 *Gerhard Hofmann, Walter Kofler*
Bahnenergieversorgungskonzepte für den
Brenner-Basistunnel (BBT)
- 298 *Gunter Hahn*
Oberleitungstechnische Ausrüstung des
Lötschberg-Basistunnels
- 304 *Stefan Krems, Ulrich Matthes*
Neubaustrecke (NBS) Nürnberg – Ingolstadt –
Technische Ausrüstung
- 309 *Thomas Groh, Martin Lemke*
Instandhaltung bei der DB Energie

2009

- 316 *Stefan Garber*
Eisenbahninfrastruktur: Schon heute für
morgen planen
- 318 *Hans Peter Lang*
Technische Entwicklungen bei der DB – Inno-
vationsfelder, grundlegende Anforderungen
und Randbedingungen
- 324 *Joachim Essig*
Regulierungsrahmen der Bahnenergieversor-
gung in der Bundesrepublik Deutschland
- 330 *Martin Altmann, Katja Elschner*
Beitrag der Bahnstromversorgung zur Energie-
effizienz im EU-Projekt Railenergy
- 337 *Ludwig O. Borchard, Michael Lehmann*
Ein- und Mehrspannungssysteme in der Bahn-
energieversorgung mit hohen Spannungen
- 343 *Tetsuo Uzuka, Hiroki Nagasawa*
AC-Energieversorgung für Bahnen in Japan
- 350 *Adrien Bobillot, Christian Courtois,
Stéphane Marie, Jean-Paul Mentel*
World record – 574,8 km/h on rails – Design
of power supply by simulations
- 358 *Claudio Spalvieri, Luca Trinca*
Power supply of high-speed lines in Italy by
2 AC 50/25 kV 50 Hz
- 366 *Klaus Leithner*
Anforderungen an ein TSI-konformes Erdungs-
system am Beispiel des ÖBB-Erdungskonzeptes

- 374 *Nicolas Steinmann, René Schär*
Traktionsenergiebedarf der Gotthard-Basislinie
- 384 *Gerhard Zimmert, Martin Solka*
Elektrifizierung der Hochgeschwindigkeits-
strecke Wuhan – Guangzhou
- 390 *Albrecht Brodkorb, Torsten Tornow*
Elektrische Ausrüstung der Hochgeschwindig-
keitsstrecke Beijing – Tianjin
- 397 *Urs Wili, Mike Wittig*
New overhead line equipment on existing
structures of Great Eastern route
- 405 *Beat Furrer, Markus Paradies, Harald Schneider*
Oberleitungsjoche im Hauptbahnhof
Mannheim

- 412 *Gunter Hahn*
Betriebserfahrungen mit einer Überwachungs-
einrichtung für Oberleitungen
- 418 *Axel Brandt, Jörg Janning*
Neue Bahnstromumrichter für die DB in Lehrte
und Aschaffenburg
- 426 *Adriy Zynovchenko, Gerhard George,
Henning Olsen*
Elektrifizierung von Eisenbahnstrecken mit
Autotransformatorsystemen
- 434 *Matthias Wunderskirchner*
Prozessdatenübertragung über offene
Kommunikationsnetze

2011

- 444 *Volker Kefer*
Ein wesentliches Ziel des DB-Technikressorts:
Verbessern der Qualitätsprozesse für das
System Bahn
- 446 *Ulrich Halfmann, Wolfgang Recker*
Modularer Multilevel-Bahnumrichter
- 452 *Eberhard Sternberg, Thomas Walther*
News in substation control and control centre
technology for 16.7 Hz railway power supply
- 457 *Heinz Voegeli*
Unkonventionelle Verbesserung der Bahnstrom-
versorgung Visp – Zermatt der Matterhorn
Gotthard Bahn



**Elektrische
Bahnen**

**Elektrotechnik
im Verkehrswesen**



Titelbild 2011
Schnelligkeit

© Martina Friedl/pixelio.de

- 465 *Richard Schmedes*
Traction electrification system planning for California high-speed train project
- 470 *Arnaud Bastian, Christian Courtois, Alexandre Machet*
Phase separation sections – passing with minimum constraints
- 478 *Detelf Pfeffermann*
AC 25 kV traction power supply for Airport Rail Link Bangkok
- 485 *Werner Krötz, Uwe Resch*
Oberleitungen und Stromabnehmer – Entwicklungen bei der Deutschen Bahn
- 490 *Franz Kurzweil, Beat Furrer*
Deckenstromschienen für hohe Fahrgeschwindigkeiten
- 496 *Mitsuru Ikeda, Tetsuo Uzuka*
Interaction of pantographs and contact lines at Shinkansen
- 502 *Rico Furrer, Urs Wili*
Reduktion der Bauteile-Vielfalt in Oberleitungsanlagen
- 507 *Kai Schnadhorst, Heinz Tessun*
Oberleitungsanlagen nach TSI Energie – Planung und Abnahme
- 512 *Thomas Reichmann, Johannes Raubold*
Triebfahrzeugzulassung mithilfe der Simulation Fahrdraht/Stromabnehmer
- 521 *Christian Budde, Gerhard Hofmann, Jan Thiemig, Lutz Westphal*
Konformität der DB-Richtlinie 997.02 mit EN 50122-1 231
- 526 *Klaus Leithner*
Messungen an Teilen geringer Abmessung hinsichtlich Spannungsverschleppung
- 533 *Andriy Zynovchenko*
Verfahren zur Verbesserung der Spannungshaltung bei Wechselstrombahnen
- 540 *Jochen Kinscher, Peter Jentzsch*
Kompakte 40-kA-Bahnschaltanlage für AC 15 kV 16,7 Hz

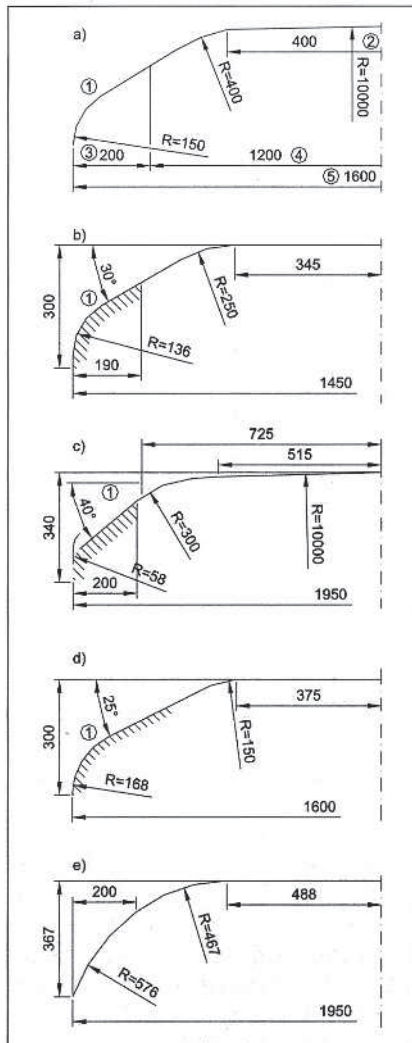
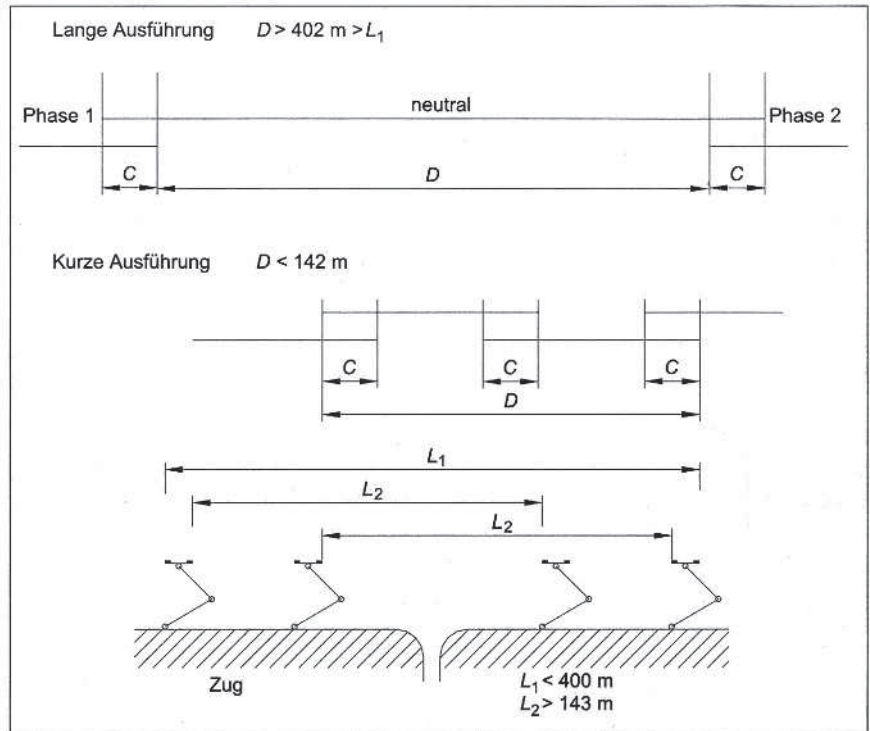


Bild 5: Euro-Wippe im Vergleich mit herkömmlichen Stromabnehmerwippen (nach [7]).

- a) Euro-Wippe;
- b) 1450-mm-Wippe verwendet bei SNCF, CFL, SBB;
- c) 1950-mm-Wippe verwendet bei DB, ÖBB;
- d) 1600-mm-Wippe verwendet bei BR;
- e) 1950-mm-Wippe verwendet bei NS, Renfe;

nien verwendet. Diese beiden Werte ohne Wahlmöglichkeit dazwischen wurden im Zusammenhang mit Anhubbegrenzungen im Stromabnehmer lange diskutiert. Da solche Anhubbegrenzungen als nicht notwendig angesehen werden, kann nach der Revision der TSI vermutlich jede Höhe zwischen 5080 und 5300 mm für eine neue Anlage gewählt werden.

Die Europa-Wippe mit 800 mm langen Schleifstücken bedingte die Begrenzung der Fahrdrachtseitenlage auf ± 400 mm. Bei allen Hochgeschwindigkeitsstrecken muss dieser Wert eingehalten werden. Bei



ist in der TSI Energie eine weitere, insgesamt 142 m lange Variante vorgesehen, die es erfordert, dass der Abstand von drei aufeinander folgenden Stromabnehmern immer größer als 143 m ist (Bild 6).

Trennstrecken zwischen unterschiedlichen Energieversorgungssystemen können entweder mit gehobenem oder gesenktem Stromabnehmer befahren werden. Es muss sichergestellt werden, dass die beiden Netze nicht überbrückt werden. Ausführung und Betriebsweise der Systemtrennstrecken hängen von der Anordnung der Stromabnehmer und den Fahrgeschwindigkeiten ab. Stromabnehmer und Systemumschaltung müssen automatisch durch die Streckensignalisierung ohne Mitwirkung des Triebfahrzeugführers gesteuert werden.

Das Lichtraumprofil der Infrastruktur bestimmt die Anordnung der Oberleitung. Umgekehrt muss bei der Gestaltung der Infrastruktur der Raum für den Einbau der Oberleitung und den Durchgang der Stromabnehmer freigehalten werden. Die Bedingungen hierfür sind auch in EN 50367 [7] behandelt.

Schutz gegen Stromschlag ist bei allen Bahnanlagen unabdingbar, nicht nur bei solchen für den Hochgeschwindigkeitsverkehr. Die Grundlagen sind in EN 50122-1 [13] festgelegt. Maßnahmen hierfür sind auch beim Streckenbau zu ergreifen und betreffen die TSI Infrastruktur. In einer Studie ist nachzuweisen, dass die Anforderungen hinsichtlich Schutz gegen elektrischen Schlag erfüllt werden.

Der Leistungsbedarf der Züge muss durch die Energieversorgung gedeckt werden. In der TSI Energie sind Grenzen für Ströme je Zug vorgegeben (Tabelle 5). Welche Leistungen in den Unterwerken vorzuhalten sind, hängt auch von der

Zugfolge und von der Zahl gleichzeitig in einem Versorgungsabschnitt fahrender Züge ab.

Die TSI Energie verlangt vom Betreiber der Infrastruktur eine für den vorgesehenen Betrieb ausreichende Auslegung der Energieversorgung. Die installierte Leistung muss abhängig von den Leistungsmerkmalen der Strecke gemäß Anhang F errechnet werden. Eine von der Zugfolge, der Leistungsaufnahme der Züge und der Fahrgeschwindigkeit abhängige Anforderung an die zu installierende Leistung, ausgedrückt zum Beispiel in Megawatt je Kilometer, wurde ausführlich diskutiert, aber nicht mehr in der Endfassung der TSI vorgegeben.

Die Güte der Energieversorgung wird durch die mittlere nutzbare Spannung am Stromabnehmer als Qualitätsindex beschrieben. Dieser Qualitätsindex wird durch die Simulation des Betriebes errechnet. Die mittlere nutzbare Spannung muss bei AC 25 kV mindestens 22,5 kV am Stromabnehmer und bei AC 15 kV mindestens 13,5 kV betragen. Im Anhang L und in EN 50388 [5] sind Vorgaben für die Simulation enthalten.

Moderne Eisenbahnfahrzeuge speisen beim Bremsen Energie in das Versorgungsnetz zurück. Bei AC-Systemen für Hochgeschwindigkeitsstrecken muss Nutzbremse durchgehend möglich sein. Bei Ausfall der Stromversorgung müssen die Züge aber in der Lage sein, mit anderen Einrichtungen zu bremsen. Bei DC-Systemen kann der Betreiber der Energieversorgung über die Zulassung der Nutzbremse entscheiden.

Hinsichtlich der Oberwellen, die das Bahnsystem im speisenden Energieversorgungssystem hervorgerufen kann, wird auf die jeweiligen nationalen oder örtlichen Gegeben-

heiten verwiesen. Einzelheiten enthält die TSI Energie hierzu nicht. Oberwellencharakteristik und zugehörige Spannungen auf der Oberleitung sind ein Thema der TSI Energie und werden im Anhang P behandelt.

Die Güte der Stromabnahme wird durch die Vorgabe einer von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen mittleren Kontaktkraft, die die Stromabnehmer auf die Oberleitungen ausüben, und durch eine dem entsprechende Auslegung der Oberleitung erreicht. Die mittlere Kontaktkraft F_m in N wird für neue AC-Anlagen durch die Beziehung

$$F_m = 0,00097 \cdot v^2 + 70 \quad (1)$$

beschrieben, wobei v die Fahrgeschwindigkeit in km/h darstellt. Bild 7 zeigt diese mittlere Kontaktkraft. Zusätzlich zur Abhängigkeit gemäß Beziehung (1) wurden zwei weitere Kurven, genannt C1 und C2, definiert. Die Kurve C1 gilt dort, wo bestehende Oberleitungsanlagen höhere Kontaktkräfte als die Werte nach (1) erfordern, so für Anlagen in Frankreich. Die Kurve C2 gilt für Anlagen, die nur eine geringere Kontaktkraft zulassen, zum Beispiel Anlagen in Deutschland.

Die Kontaktgüte kann anhand der gemessenen oder simulierten Kontaktkräfte bewertet werden. Die Normen EN 50317 [8] und EN 50318 [9] enthalten Einzelheiten hierzu. Die Standardabweichung der Kontaktkräfte muss kleiner als 0,3 mal dem Mittelwert sein.

Des Weiteren kann die Kontaktgüte anhand des Zeitanteils, in dem Lichtbögen beobachtet werden, bewertet werden. Bei AC-Systemen sind während 0,14 % der Zeit Lichtbögen zulässig, bei DC-Systemen während 0,20 %. Diese Festlegungen gehen auf die Ergebnisse von Versuchsreihen zurück, die gemeinsam von SNCF und DB sowohl in Frankreich als auch in Deutschland durchgeführt wurden [14].

Nach der TSI Energie sind die mechanischen Parameter des Oberleitungskettenwerkes, wie Zugkraft im Fahrdrabt und Spannweiten, so zu gestalten, dass die Fahrgeschwindigkeit höchstens 70 % der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit von

Tabelle 5: Zulässige Zugströme.

	Höchste zulässige Zugströme in A		
	HG-Strecken	Ausbaustrecken	Anschlussstrecken
DC 750 V	–	–	6 800
DC 1500 V	–	5 000	5 000
DC 3000 V	4 000	4 000	2 500
AC 15 kV 16,7 Hz	1 700	1 000	900
AC 25 kV 50 Hz	1 500	600	500

2.3 Oberstromgrenzwerte

Der Strom, der von einem Zug aus der Oberleitung entnommen wird, wird als Oberstrom bezeichnet. Sämtliche Angaben zum Oberstrom beziehen sich auf den gesamten Zug einschließlich aller Hilfsbetriebe und Zusatzaggregate von Triebfahrzeug und Wagenzug.

Die Strecken von DB Netz lassen verschiedene maximale Oberströme pro Zug zu. Diese hängen von der Netzkonfiguration bezüglich Schaltanlagenabständen und installierter Leistung, der Oberleitungseinspeisung und -ausführung und dem Oberleitungsschutztyp ab. Dimensionierungskriterien sind Streckenbelastung, Belastungsdauer und Streckengeschwindigkeit.

Hieraus ergibt sich die folgende Einordnung der Strecken beziehungsweise Streckenabschnitte in die Oberstromklassen:

- Oberströme bis 600 A pro Zug für alle Züge im Grundnetz,
- Oberströme bis 900 A pro Zug für Reisezüge über 160 km/h Höchstgeschwindigkeit sowie 600 A pro Zug für alle übrigen Züge auf Ausbaustrecken,
- Oberströme bis 1500 A pro Zug für Reisezüge auf Hochgeschwindigkeitsstrecken,
- Oberstrombegrenzungen in Sonderfällen, zum Beispiel 1050 A/Zug nur für S-Bahn-Triebzüge der BR 420 in bestimmten S-Bahn-Netzen oder 900 A/Zug auch für Güterzüge auf bestimmten Rampenstrecken mit Schiebetrieb.

Die exakte Einordnung sowie Veränderungen und Sonderfälle werden jährlich im *Oberstromrundschriften* sowie der zugehörigen Übersichtskarte (Bild 1) der DB Energie bekannt gegeben. Die hierin enthaltenen aktuellen Angaben können beim Bereich Vertrieb von DB Netz zu den jeweiligen Streckenabschnitten erfragt werden.

Für Züge, die zur Erfüllung des vorgesehenen Betriebsprogramms höhere Oberströme erfordern, als nach den jeweiligen Oberstromklassen zulässig sind, sind Einzel-

falluntersuchungen für deren Zulassung erforderlich, es kann auch eine Oberstrombegrenzung des Zuges erforderlich werden.

Die Einhaltung der jeweiligen Oberstromgrenze ist im Fahrzeug technisch zu überwachen. Die streckenbedingte Oberstromgrenze wird per Hand eingestellt oder zukünftig automatisch über ERTMS/Eurobalise angesteuert. Während der Übergangsphase ist noch der Triebfahrzeugführer allein für die Einhaltung des Oberstroms verantwortlich. Für eine Reduzierung der Oberstromaufnahme bei einer Spannung am Stromabnehmer unterhalb der Nennspannung sind nach Einführung der prEN 50388 [3] die dort festgelegten Werte und Messverfahren zu beachten.

2.4 Leistungsfaktor

Bei einer momentanen Leistung des Triebfahrzeugs von 50 bis 100 % der Nennleistung darf ein Leistungsfaktor von 0,95 nicht unterschritten werden, bei 25 bis 50 % von 0,90. Hierdurch lassen sich auch bei den heutigen Hoch- und Höchstleistungsfahrzeugen die Aufwendungen für die Energieversorgung in einem wirtschaftlich vernünftigen Rahmen halten.

Bei aufgerüstet abgestellten Fahrzeugen darf dagegen der kapazitive Blindstrom maximal 10 A pro Zug betragen, um punktuelle Spannungserhöhungen im Oberleitungsnetz zu verhindern.

Auch bezüglich des Leistungsfaktors sind nach Einführung der Euronorm prEN 50388 [3] die dort festgelegten Werte und Messverfahren zu beachten.

2.5 Verhalten des Fahrzeugs bei Kurzschluss

Kurzschlüsse auf der Oberleitung werden im Allgemeinen innerhalb von maximal 100 ms durch die Leistungsschalter der Streckenschaltanlagen (Unterwerke, Schaltposten, Kuppelstellen) sicher abgeschaltet. Bei weit entfernten Kurzschlüssen mit sehr geringen Kurzschlussstromstärken sowie bei einigen noch vorhandenen Altanlagen kann die Abschaltung des Kurzschlussstromes bis zu 300 ms dauern.

Bei einem Kurzschluss auf der Oberleitung muss sich das Fahrzeug selbsttätig abschalten. Es gelten die im Abschnitt 2.1 zur Abschaltung bei Unterspannung genannten Bedingungen.

Die Rückspeisung des Fahrzeugs auf einen kurzschlussbehafteten Oberleitungsabschnitt muss auch bei Spannungen über 10,5 kV vermieden werden.

Die Kurzschlusserkennung kann im Fahrzeug zum Beispiel über die Erfassung des Phasenwinkels realisiert werden.

Bei Kurzschluss im Fahrzeug muss unterschieden werden zwischen Primärkreis einschließlich Primärwicklung des Transformators und Sekundärkreis. Aufgrund der hohen, das Abschaltvermögen der Fahrzeughauptschalter übersteigenden Kurzschlussströme im Oberleitungsnetz von DB Netz, Prüfbedingung $I_k'' = 40 \text{ kA}$, $t = 100 \text{ ms}$, muss die Auslösung des Fahrzeughalters bei einem Kurzschluss im Primärkreis des Fahrzeugs um mindestens 100 ms verzögert werden, so dass der Kurzschluss allein vom Leistungsschalter der Schaltanlage sicher abgeschaltet wird.

Bei Kurzschlüssen im Sekundärkreis des Fahrzeugs soll der Kurzschluss allein durch den Fahrzeughauptschalter abgeschaltet werden.

2.6 Störstromaussendung des Fahrzeugs

Aus versorgungstechnischer Sicht bestehen keine Restriktionen hinsichtlich der Störstromaussendung. Grenzwerte für die Störstromaussendung werden dagegen von DB Systemtechnik zum Beispiel für den ordnungsgemäßen Betrieb der Signalanlagen im Streckennetz der DB Netz AG vorgegeben. Diese Grenzwerte sind im DB-Richtlinienmodul 810.0250 [8] aufgeführt. Weiterhin sind die Normenreihe EN 50121 [9] und hier insbesondere die Normen EN 50121-3-1 [10] sowie EN 50121-3-2 [11] zu beachten.

2.7 Umweltschutz

Zur Kühlung oder Isolation von elektrischen Betriebsmitteln des Fahrzeugs dürfen keine PCB-haltigen Flüssigkeiten mehr verwendet werden.

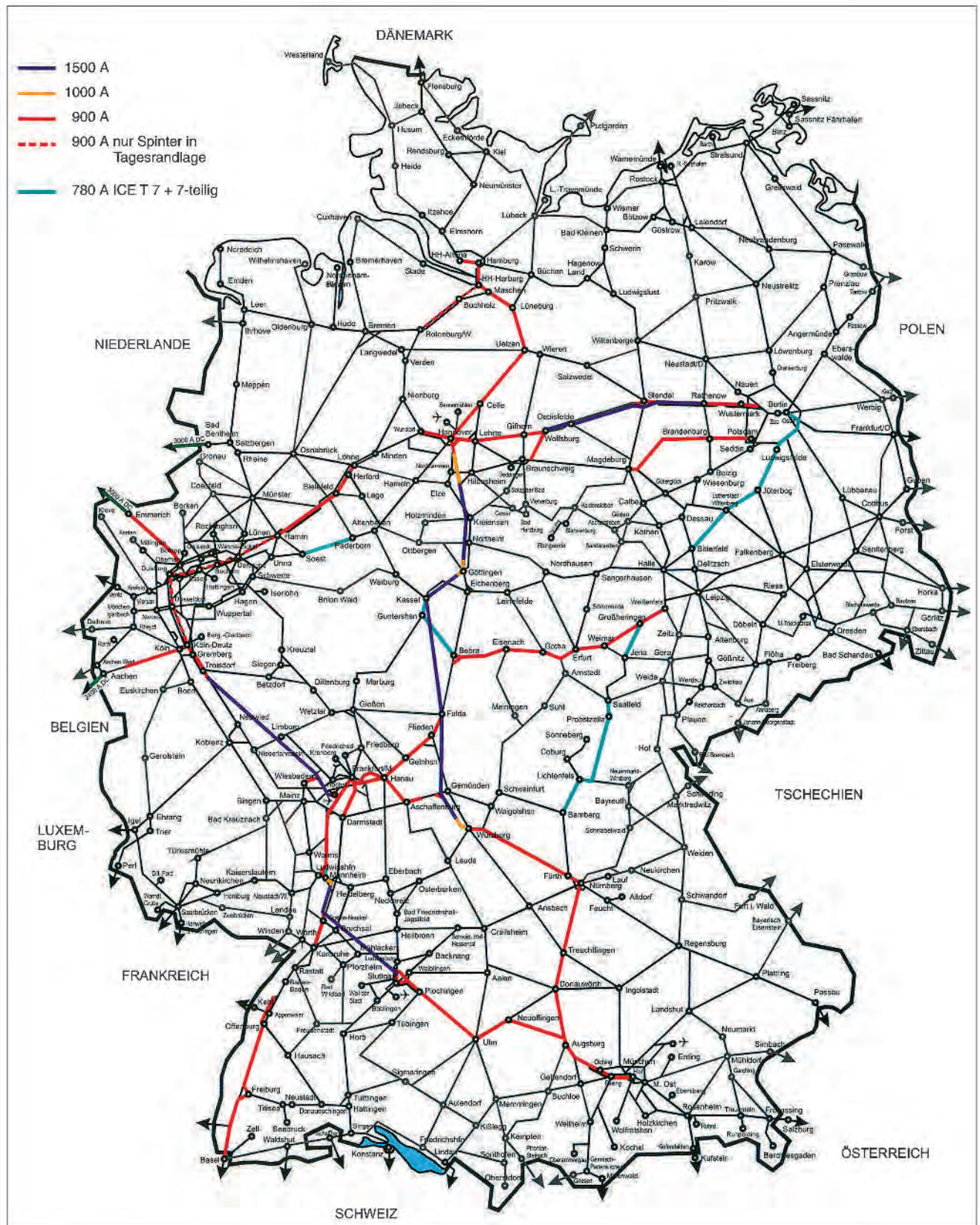


Bild 1: Maximal zulässige Oberstromstärke pro Zug im DB Netz AC 15 kV 16,7 Hz. Stand: 15.12.2002, Maßstab 1 : 3 700 000.

3 Zusammenwirken von Stromabnehmer und Oberleitung

3.1 Grundlagen

Die Kriterien für das Zusammenwirken von Stromabnehmer und Oberleitung sind in der DB-Richtlinie 810.0242 [12] festgelegt. Diese Richtlinie setzt unter anderem folgende Schriftstücke für den Bereich der DB um:

- Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung (EBO) [13]
- TSI Energie [4]
- DIN EN 50119 [14]
- prEN 50367 [15]
- EN 50317 [16]
- UIC-Merkblätter 505-1 [17] und 606-1 [18]

In den folgenden Abschnitten werden ausgewählte Festlegungen der DB-Richtlinie 810.0242 [12] beschrieben.

3.2 Einhaltung der Grenzlinie

Die Grenzlinie stellt die Hüllkurve dar, die ein Fahrzeug durch Eigenbewegungen, Gleiseinflüsse wie Gleislagefehler und Wechsel der Längsneigung einnehmen kann. Die Festlegung basiert auf der kinematischen Begrenzungslinie für Fahrzeuge gemäß dem UIC-Merkblatt 505-1 [17].

Die Grenzlinie bei Oberleitung ergibt sich aus den Bewegungen des Fahrzeuges und dem erforderlichen elektrischen Mindestabstand in Luft. Für die Konstruktion und Anordnung der Oberleitung wurde aufbauend auf der Grenzlinie bei Oberleitung gemäß EBO der Zick-Zack des Fahrdrabtes so festgelegt, dass sich der Fahrdrabt auch in Kurven immer im Arbeitsbereich der Wippe befindet.

Zur Festlegung der Grenzlinie und der kinematischen Begrenzungslinie wurden Annahmen zum Fahrzeugverhalten getroffen.

Der Nachweis über die Einhaltung der Grenzlinie bei Oberleitung muss mit den realen Parametern des Fahrzeuges erbracht werden. Für diesen Nachweis sind zu berücksichtigen:

- Das halbe Breitenmaß des Stromabnehmers,
- der elektrische Mindestabstand in Luft,

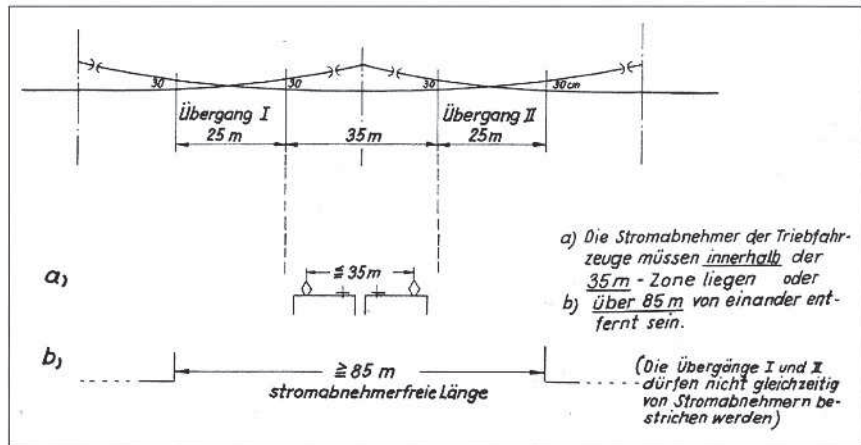


Bild 2: Schutzstrecke nach Zeichnung 2 Ebs 07.31.11.

Tabelle 2: Zulässiger Anhub der Regelbauarten.

bis Re200 $v \leq 200 \text{ km/h}$ 120 mm	Re200mod $v \leq 230 \text{ km/h}$ 150 mm	Re250 $v \leq 280 \text{ km/h}$ 100 mm	Re330 $v \leq 330 \text{ km/h}$ 100 mm
--------------------------------------------------	-------------------------------------------------	----------------------------------------------	----------------------------------------------

- die Schwingungen und Auslenkung des Stromabnehmers,
- die Ausladung des Fahrzeuges in der Kurve,
- die Verschiebungen aus quasistatischer Seitenneigung,
- die zufallsbedingten Verschiebungen.

3.3 Mindestabstände der Stromabnehmer

Zur Bildung von 110-kV-Teilnetzen bei Instandhaltungsarbeiten oder Störungen des zentralen 110-kV-Bahnstromnetzes sind im Oberleitungsnetz Schutzstrecken erforderlich. Die Schutzstrecken gemäß Zeichnungen 2 Ebs 07.31.11 und 2 Ebs 07.31.12 besitzen eine wirksame Länge von 35 m und einen Übergangsbereich von $2 \times 25 \text{ m}$. Bild 2 zeigt den Fahrdrabthöhenverlauf der Schutzstrecke.

Die Übergänge der Schutzstrecke dürfen nicht gleichzeitig von Stromabnehmern befahren werden, um eine Überbrückung und damit Ausgleichströme zwischen den Speisebezirken zu verhindern. Diese Ausgleichströme führen zu einer Lichtbogenbildung und zum Abbrennen des Fahrdrabtes. Der Stromabnehmerabstand muss innerhalb der wirksamen Länge von 35 m liegen oder die Stromabnehmer müssen über 85 m voneinander entfernt sein.

Bei der dezentralen Bahnstromversorgung werden zur Trennung

der Speisebezirke verkürzte Schutzstrecken gemäß Zeichnung DR-M 25-41.510 verwendet. Diese verkürzten Schutzstrecken bestehen aus zwei Streckentrennern und einem bahngeerdetem Mittelteil. Die Streckentrenner dürfen durch die Schleifleisten des Stromabnehmers nicht überbrückt werden, so dass der Abstand der Schleifstücke maximal 643 mm betragen darf.

3.4 maximaler Anhub des Fahrdrabtes am Stützpunkt

Durch die Andruckkraft des Stromabnehmers und die dynamischen Vorgänge im Kettenwerk wird der Fahrdrabt angehoben. Zu diesem Anhub bei üblichen Betriebsbedingungen muss gemäß der Norm EN 50119 [14] noch ein Sicherheitszuschlag für den freien und uneingeschränkten Anhub der Stützpunkt konstruktion berücksichtigt werden.

In Tabelle 2 ist der zulässige Anhub bei üblichen Betriebsbedingungen für die Standard- und Hochleistungsüberleitungen bei der DB angegeben.

Wird der zulässige Anhub des Fahrdrabtes am Stützpunkt überschritten, können die Schleifleisten an Bauteilen des Stützpunktes anschlagen und zerstört werden. Die Einhaltung des maximalen Anhubs ist daher eine wichtige Voraussetzung für den Netzzugang.

Berührungslose Messung des Oberleitungsanhubs

Jochen Hietzge und Arnd Stephan, Dresden

Für die messtechnische Aufnahme von Bewegungen und die Bestimmung von Auslenkungen im Oberleitungskettenwerk entwickelte, verifizierte und erprobte das Institut für Bahntechnik ein optisches Messverfahren. Die berührungslos erfassten Messdaten werden mit einer speziellen Software automatisiert ausgewertet. Die hohe Flexibilität beim Einsatz ohne Sperrpausen und Abschaltungen der Fahrleitungsspannung beim Auf- und Abbau der Messtechnik sind Vorteile gegenüber herkömmlichen Messverfahren. An beliebigen Stellen auch außerhalb der Oberleistungsstützpunkte kann gemessen werden. Das Verfahren wird für Fahrzeug- und Oberleistungszulassungen sowie für Forschungszwecke eingesetzt und hat sich in der Praxis auf unterschiedlichen Strecken und mit zahlreichen Fahrzeugen bestens bewährt.

NON-CONTACT UPLIFT MEASUREMENT AT OVERHEAD CONTACT LINES

The institute for railway technology IFB developed, verified and tested an optical measuring method for the recording of movements and determination of deflections within the overhead contact line. The non-contactly recorded data are automatically processed by specific software. The great flexibility for the application with neither blocking of traffic nor switching-off of the contact line voltage during installation and removing of the measuring device are advantageous compared with conventional procedures. It is possible to measure at any position not only at the contact line supports. Non-contact measurements of overhead contact lines are employed for the approval of vehicles or overhead contact line systems and for research. They have proved their excellent qualification in practice on different lines and numerous vehicles.

MESURE SANS CONTACT DU SOULÈVEMENT DE LA CATÉNAIRE

L'institut technologique ferroviaire IFB a développé, vérifié et attesté une méthode de mesure optique pour l'enregistrement des mouvements et la détermination de la géométrie de la caténaire. Les données enregistrées sans contact sont automatiquement traitées par un logiciel approprié. La grande flexibilité pour la mise en oeuvre sans interception ni consignation de la ligne de contact pendant les phases d'installation ou de dépose des instruments de mesure constitue un avantage par rapport aux procédures conventionnelles. Il est possible de mesurer à n'importe quel endroit, pas seulement aux supports de la caténaire. Les mesures sans contact des lignes aériennes sont utilisées pour l'admission des véhicules ou l'homologation de caténaires ainsi que pour la recherche. Elles ont démontré leur excellence dans la pratique sur différentes lignes et avec nombre de véhicules.

1 Einführung

Die Messung des Fahrdrachtanhubs am Stützpunkt wird gleichermaßen für die Oberleitungs- wie auch für die Fahrzeugzulassung gefordert. Die normativen Vorgaben zur Messung sind in der EN 50317 im Punkt *Messung von Verschiebungen* kurz mit der Forderung nach 5 mm maximaler Toleranz beschrieben.

Die derzeitigen Realisierungen basieren auf Wegaufnehmern, die mechanisch mit dem Fahrdracht verbunden sind. Diese Aufbauten befinden sich im Kettenwerk oder am Fahrleitungsmast. Sie sind in der Regel an ausgewählten Punkten im Netz fest installiert. Messungen des Anhubs mit einer Diodenkamera von einem Standort außerhalb des Gleisbereichs aus sind jedoch bekannt [1].

Im Rahmen der europäischen Normung für die Interoperabilität im Hochgeschwindigkeitsverkehr ist

die Begrenzung des Anhubs als Forderung zur Bewertung der Qualität des Zusammenwirkens von Oberleitung und Stromabnehmer in der TSI Energie [2] verankert.

Anhubmessungen sind außer für die Fahrzeugzulassung für konventionelle Strecken und die Überwachung des Stromabnehmerzustandes auch für Errichtung, Ausbau und Erweiterung des europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehrs gefragt.

Die konventionellen Messsysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass die Messtechnik an einem Mast fest im Kettenwerk eingebaut ist [3]. Dadurch ergeben sich einige Nachteile:

- Für Ein-, Um- und Ausbauten sind Sperrpausen im Eisenbahnbetrieb erforderlich.
- Für Ein-, Um- und Ausbauten ist die Abschaltung der Fahrleitungsspannung notwendig.

- Der feste Einbau der Messtechnik an ausgewählten Standorten befördert eine örtliche Einschränkung bei der Auswahl von Prüf- und Referenzstrecken für die Fahrzeugzulassung.
- Die Flexibilität bei Ortswechsel der Messstelle ist eingeschränkt.
- Die zeitliche Nutzung der Prüfstrecke für Fahrzeugzulassungen ist beschränkt.
- Zusätzliche zeitliche Zwangspunkte ergeben sich für Streckenabnahmen.
- Messungen sind nur an Maststandorten möglich.

Das im Institut für Bahntechnik (IFB) neu entwickelte Verfahren zur Fahrdradhanhubmessung soll die vorhandenen Funktionalitäten beinhalten und die genannten Nachteile aufheben. Bei der Entwicklung waren zu beachten:

- Einhaltung der Genauigkeit nach EN 50317 [4]
- Stationierung der Messtechnik außerhalb des Oberleitungs- und Gleisbereichs
- Kalibrierung der Messtechnik außerhalb des Oberleitungs- und Gleisbereichs
- Realisierung einer optionalen Geschwindigkeitsmessung
- Messung zu jeder Tageszeit, das heißt Messungen auch bei Nacht
- Ersatzbeschaffung der einzelnen Messkomponenten innerhalb von 24 Stunden

Damit sollen folgende Merkmale und Ziele erreicht werden:

- keine Sperrpausen und Schalthandlungen für Auf-, Um- und Abbau der Messtechnik
 - sofortige Messung auf freier Strecke möglich
 - Kosten nur während der Nutzung, keine Standkosten
 - Vereinfachung der Planung komplexerer Inbetriebnahmen
- Flexibler Einsatz im Streckennetz
 - Erhöhung der Anzahl möglicher Prüf- und Referenzstrecken für Fahrzeughersteller
 - gegebenenfalls Verkürzung von Anfahrwegen zur Anhubmessstelle
 - Verringerung zeitlicher Beschränkungen für Zulassungsfahrten
- Messung an jeder Stelle im Kettenwerk möglich

2 Berührungslose Anhubmessung

2.1 Prinzip

Die Idee der berührungslosen Anhubmessung besteht darin, die Bewegungen, die zu den zu messenden Auslenkungen führen, optisch aufzuzeichnen. Das Verfahren ist zum Patent angemeldet.

In der ausgeführten Anwendung werden die während des Stromabnehmerdurchgangs aufgenommenen Bilddaten digital gespeichert und nachfolgend auf einem Rechner ausgewertet. In Bild 1 ist das Prinzip der optischen Messung skizziert. Trotz vergrößerter Darstellung der Auslenkung des Messobjekts ist dieses zu klein und wird in einer Lupe nochmals vergrößert dargestellt. Mit der Kamera wird der Bereich der zu messenden Auslenkung fokussiert. Für den Messbereich des Fahrdradhanhubes kann von annähernd parallelen Visierlinien V_r und V_a ausgegangen werden. Die Winkeldifferenz ist bei sinnvollen Messaufbauten kleiner 1° . Das Messobjekt in der Originalebene wird in die orthogonal zu den Visierlinien verlaufende Bildebene projiziert. Die Abbildung auf der Bildebene wird aufgezeichnet. Der Winkel, um den die Bildebene zur Originalebene verdreht ist, entspricht dem Winkel der Aufnahmeeinheit zur Horizontalen.

2.2 Kalibrierung

Um die Aufnahmen zur Messung verwenden zu können, müssen die Abbildungen des Messobjekts kalibriert werden. Zur Kalibrierung können zwei Verfahren verwendet werden: Die *Selbstkalibrierung* und die *Fremdkalibrierung*.

Bei der selbstkalibrierenden Messung beinhalten die Bilddaten die Kalibrierdaten. Voraussetzung ist, dass in Messrichtung in der Originalebene bekannte Maße sichtbar sind. Diese können dann auch in der Bildebene verwendet werden. Damit ist die Bildebene durch einfache Proportionalitätsbeziehungen kalibrierbar.

Bei der fremdkalibrierten Messung müssen zur Kalibrierung der Bildebene zusätzliche Daten erfasst werden. Es muss die Anzahl der Pixel pro Normallänge und der Winkel zwischen Original- und Bildebene bekannt sein. Mit Hilfe der gegebenen Winkelbeziehungen kann der Winkel zwischen Original- und

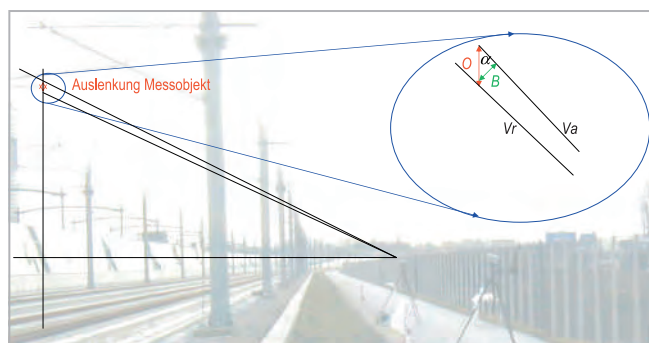


Bild 1:

Prinzip der optischen Fahrdradhanhubmessung.

V_r Visierlinie Fahrdrachtruhelage

V_a Visierlinie Fahrdrachtruhelage

O Auslenkung Messobjekt Original

B Auslenkung Messobjekt Bild

dynamic conditions considering raised wires or pantographs passing.

During peak hours the line is used by 30 trains per track. The annual number of pantograph passes per track is in the region of 172 000.

2 Great Eastern electrification

2.1 Overhead line systems on this line

2.1.1 Overview

Originally, the DC 1,5kV overhead line system consisted of

- a copper catenary wire with 37 strands with 2,64mm diameter each,
- an auxiliary copper catenary wire with 19 strands with 2,85 mm diameter each and

- a copper contact wire of 193 mm² cross section.

All conductors were fixedly terminated and remained that way also after the conversion to AC 25 kV 50 Hz. On the occasion of the conversion, the cables and wires were retained and only the insulators were replaced. On the multi-track sections the span lengths measure up to 67 m and on the double track section up to 73 m. Booster transformers were installed in order to force the return currents from the rails and into the return conductors.

2.1.2 Reasons for conversion

For the 2012 Olympics it is intended to increase both the availability as well as the frequency of train traffic. This could not be achieved with the current overhead line equipment in view of the temperature dependent vertical position of cables and wires, the poor dynamic behaviour and the considerable wind drift in warmer weather as well as the frequent flashovers between catenary wire and the portal booms.

Complete new construction of the system including replacement of the supporting structures would have required more track possessions than were available up to 2012. For this reason there was a need to develop an overhead contact line system which can be mounted on the existing structures.

2.2 Challenges

Several challenges had to be met:

- A great diversity of portal structures with very different types of angle sections and profiles for which it was almost impossible to find any design drawings
- Production of structural calculations for the existing structures which have to be adopted but have to support new types of loads
- Determining at an early stage which structures had to be replaced
- Survey of ideally all existing structures and dimensions at an early stage in the project in order to keep the range of connection components small
- Familiarisation with the specialist terms for the designation of the different components

Detailed requirements for the new overhead contact line were

- Electric clearance:
 - Dynamically more than 200 mm
 - Statically more than 270 mm

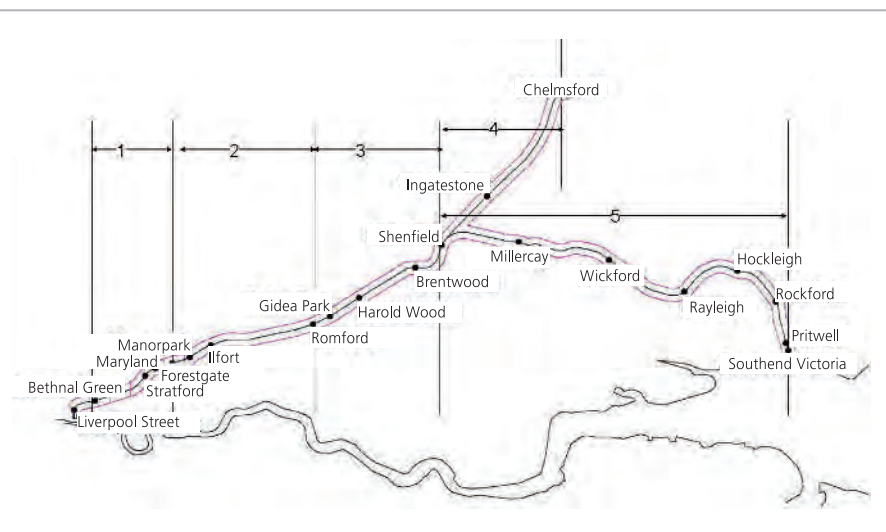


Figure 1:
Sections of the Great Eastern line where electrification will be upgraded.

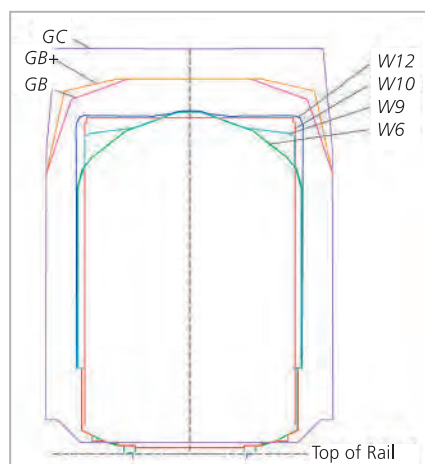


Figure 2:
Comparison of structure gauges.
W10 existing along the GE route, W12 planned along the GE route, GB, GB+, GC in accordance with UIC, realisation on existing UK tracks almost impossible

- Between structure and catenary more than 600 mm plus a reserve of more than 50 mm for future track lifts
- Speed of travel 160 km/h
- Contact wire and catenary fully tensioned
- Structure gauge W12 (see Figure 2)
- Maintenance friendly: When works take place on one pair of tracks, service on the other tracks needs to continue
- Availability 99,5 % and 100 % at peak times
- the mast number: mile and serial number within that mile,
- the mileage, for example the position of the mast in miles and feet,
- the line kilometre,
- the height of the contact wire and catenary wire for each wire run.

2.3 Rationalisation

The first sections of the line, near London, have six or four tracks. They are in service as parallel double tracks with left-hand traffic: UP and DOWN MAIN, UP and DOWN ELECTRIC, UP and DOWN SUBURBAN. There are crossovers that connect the double tracks with each other. There are wire runs that span several tracks. In order to be able to work on them, it is necessary to block all tracks. Such lengthy service suspensions are only available over long weekends.

For this reason, NR are carrying out a so-called rationalisation prior to the renewal of the overhead line equipment. In this process these wire runs are adjusted and shortened so that they only span two tracks each. It is then possible to convert the overhead contact lines in multi-track sections in pairs, thus enabling service to continue on the other tracks.

2.4 Survey

In order to find out the dimensions and positions of the existing portals and overhead line support points, a special instrument container was equipped with laser scanners. This was mounted on a rolling rail truck and pushed by a two-way vehicle; in this way it was possible, independent of the weather, to generate 3D images of the structures (see Figure 3).

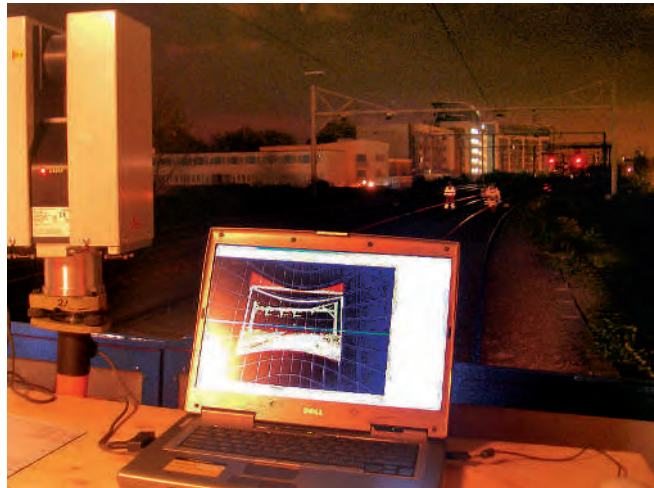


Figure 3:

Instrument container with laser scanning facility, with direct computer evaluation.

View from the Scan-Container. To the left: Laser-Scanner; across the tracks: the portal structure to be depicted; on the screen: the deskewed image of the portal

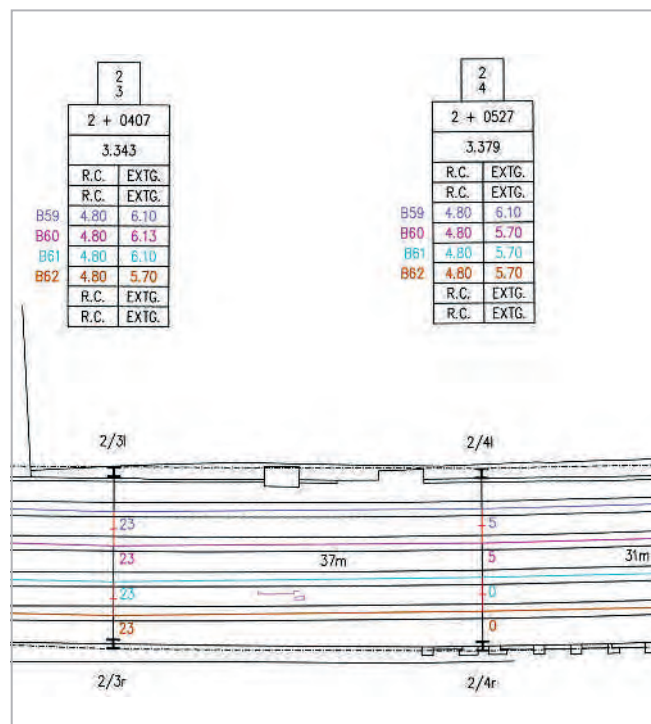


Figure 4:

Detail of four-track section layout.

Above are the mast stamps showing from top to bottom: mast number, mileage, section kilometre, height of contact wire and catenary for each wire run in its colour.

3 New overhead contact line design

3.1 Layout plan

The presentation of the new overhead line design on the drawings was agreed with NR at an early stage. While work was progressing further requirements came to light which had to be met in order to adapt to existing conventions.

The mast details table shows

10 Jahre acrps

a.c. rail power supply Vorträge der Fachtagungen 2003 – 2011

Die acrps-Fachtagungen finden seit 2003 im Zweijahresrhythmus in Leipzig statt und vereinen rund 500 Spezialisten, die sich mit dem Fachgebiet Energieversorgungsanlagen von Wechselstrombahnen beschäftigen. Dieses Buch wurde aus Anlass des zehnjährigen Jubiläums der Fachtagung aufgelegt und erfasst alle Fachbeiträge der Veranstaltungen 2003 – 2011, wie sie in der Zeitschrift eb – Elektrischen Bahnen erschienen sind.


Balfour Beatty
Rail

DB Mobility
Networks
Logistics

DMG

eb Elektrische
Bahnen
Elektrotechnik
im Verkehrswesen

EBC EISENBAHN-CERT
NOTIFIED BODY INTEROPERABILITY

 Eisenbahn-Bundesamt

ELBAS
MEMBER OF TÜV SÜD GROUP

SIEMENS

VDEI