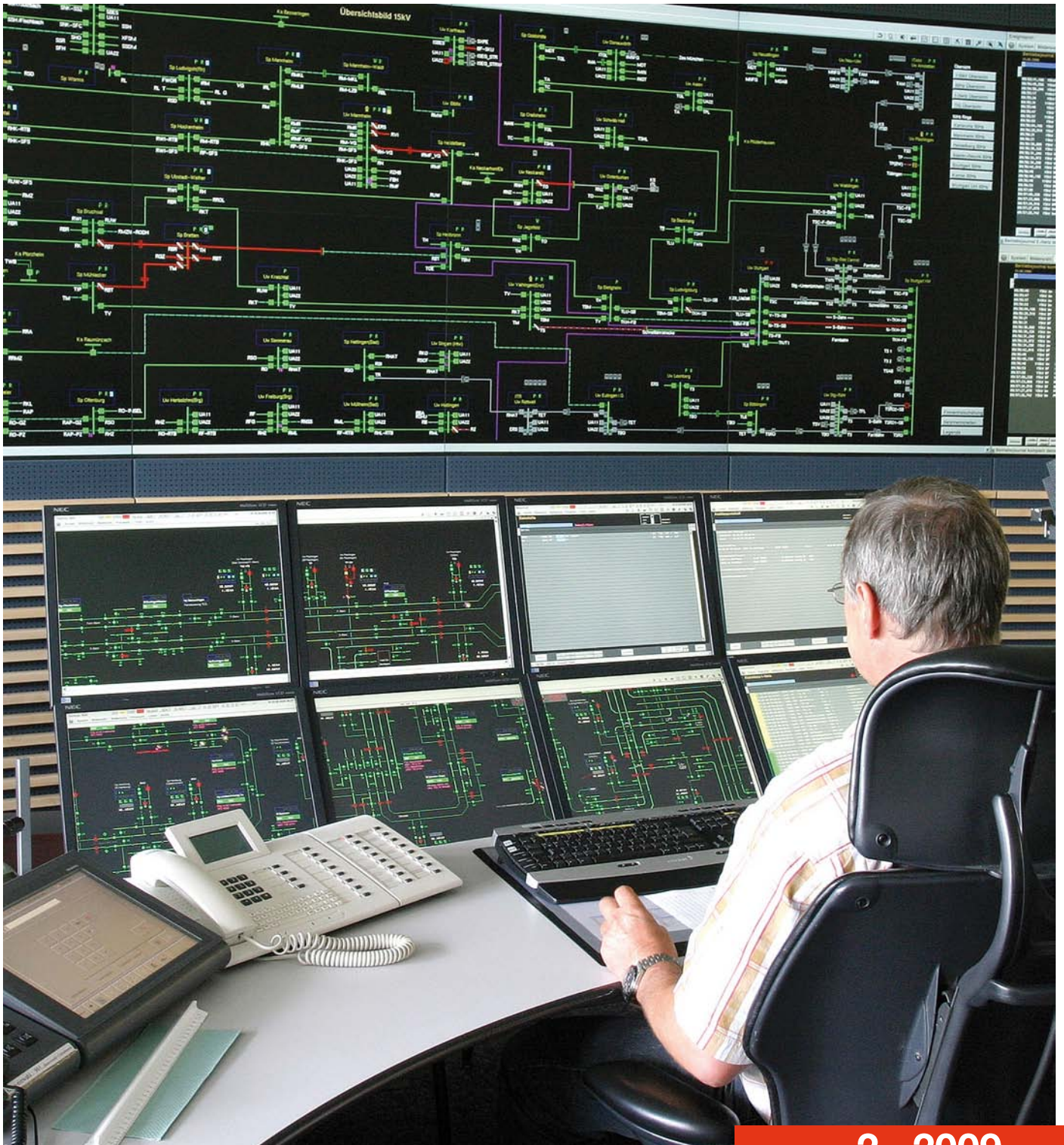


# BahnPraxisE

Zeitschrift für Elektrofachkräfte zur Förderung der Betriebssicherheit und der Arbeitssicherheit bei der DB AG



2 · 2009

- Personalzertifizierung für die Rückgewinnung von Schwefelhexafluorid
- Kommentierung von Anfragen zu Regelwerken und Vorschriften
- Neue Generation von Mittelspannungs-Leistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen

**Liebe Leserinnen und Leser,**

die Beiträge in dem Ihnen jetzt vorliegenden Exemplar der BahnPraxis E beschäftigen sich mit dem Thema SF<sub>6</sub> in den Betriebsmitteln der Hoch- und Mittelspannungsanlagen und den dafür notwendigen Zertifizierungen der Mitarbeiter.

In einem weiteren Artikel wird das Thema der Zweiteinspeisung aus dem Netz eines Versorgungsnetzbetreibers (VNB) und den möglichen Auswirkungen auf die DB AG behandelt.

Abgeschlossen werden die Artikel durch einen Bericht über eine neue Generation von Mittelspannungsleistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen. Das Thema dieses Artikels wird in einer der nächsten Ausgaben noch einmal aufgegriffen, um dann die Entwicklung aus dem Blickwinkel des Arbeitsschutzes zu betrachten.



Unser Titelbild:  
Blick in die  
Zentralschaltstelle  
Karlsruhe der  
DB Energie GmbH.  
Foto: DB AG/  
Anette Koch.

Als Themen für das Heft 2/2009 haben wir für Sie ausgewählt

**Personalzertifizierung für die Rückgewinnung von Schwefelhexafluorid aus Betriebsmitteln von Hoch- und Mittelspannungsanlagen**

Seit dem 04.07.2009 müssen Mitarbeiter, die bei ihrer Arbeit mit Schwefelhexafluorid – SF<sub>6</sub> – in Verbindung kommen, zertifiziert sein. In diesem Artikel wird auf die Gefährlichkeit von SF<sub>6</sub> eingegangen und es wird die Ausbildung, Prüfung und Zertifizierung bei der DB Energie in Zusammenarbeit mit Traffic Cert beschrieben.

**Zweiteinspeisung aus einem öffentlichen VNB Netz parallel zur bahneigenen 50 Hz Stromversorgung in Gebäuden**

Der Autor geht auf die Frage ein, ob – und unter welchen Rahmenbedingungen – Zweiteinspeisungen für lastintensive Kunden in Bahnhofsgebäuden möglich sind.

**Neue Generation von Mittelspannungs-Leistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen**

Dieser Artikel beschäftigt sich mit einer neuen Generation von Mittelspannungsleistungsschaltern für die Bahnstromschaltanlagen, umgangssprachlich die 15 kV-Leistungsschalter in den Unterwerken und Schaltposten der DB Energie.

In einer der nächsten Ausgaben wird dieses Thema noch einmal aufgegriffen und es wird die Entwicklung von den Leistungsschaltern mit Federspeichern bis hin zu den modernen Vakuum-Leistungsschaltern beschrieben und zwar unter dem Blickwinkel der Arbeitssicherheit.

**Impressum „BahnPraxis E“**

Zeitschrift für Elektrofachkräfte zur Förderung der Arbeitssicherheit und der Betriebssicherheit bei der Deutschen Bahn AG.

**Herausgeber**

Eisenbahn-Unfallkasse (EUK) – Gesetzliche Unfallversicherung – Körperschaft des öffentlichen Rechts, in Zusammenarbeit mit der DB Energie GmbH und der DB Netz AG, alle mit Sitz in Frankfurt am Main.

**Redaktion**

Horst Schöberl (Chefredakteur), André Grimm, Martin Herrmann, Marcus Ruch (Redakteure).

**Anschrift**

Redaktion BahnPraxis E  
DB Energie – I.EBV 6  
Energieversorgung West  
Schwarzer Weg 100  
D-51149 Köln.

**Erscheinungsweise und Bezugspreis**

Erscheint in der Regel drei Mal im Jahr. Der Bezugspreis ist für Mitglieder der EUK im Mitgliedsbeitrag enthalten. Die Beschäftigten erhalten die Zeitschrift kostenlos. Für externe Bezieher: Jahresabonnement Euro 7,50 zuzüglich Versandkosten.

**Verlag**

Bahn Fachverlag GmbH  
Linienstraße 214, D-10119 Berlin  
Telefon: (030) 200 95 22-0  
Telefax: (030) 200 95 22-29  
E-Mail: mail@bahn-fachverlag.de  
Geschäftsführer: Dipl.-Kfm. Sebastian Hüthig.

**Druck**

Meister Print & Media, Werner-Heisenberg-Straße 7,  
D-34123 Kassel.

# Personalzertifizierung für die Rückgewinnung von Schwefelhexafluorid aus Betriebsmitteln von Hoch- und Mittelspannungsanlagen



Foto: DB Energie GmbH

**Hayder Ali, DB Energie GmbH, Nürnberg**

*In der europäischen Verordnung (EG) Nr. 842/2006 über bestimmte fluorierende Treibhausgase sowie in der Chemikalien-Klimaschutzverordnung werden an die Betreiber und Instandhalter von Hochspannungsanlagen neue grundlegende Anforderungen gestellt [5]. Bei der Rückgewinnung von Schwefelhexafluorid gelten schon heute neue Anforderungen, die in nationalen und europäischen Verordnungen verankert sind. Die Übergangsfrist, die die Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> für Personal erlaubte, dass bereits vor dem 4. Juli 2008 nachweislich Erfahrung mit der Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> vorweisen konnte, ist am 4. Juli 2009 abgelaufen. Seit dem 4. Juli 2009 muss das Personal, welches Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> aus elektrischen Betriebsmitteln > 1kV vornimmt, ein persönliches Zertifikat besitzen.*

## SF<sub>6</sub> in elektrischen Betriebsmitteln

Seit den sechziger Jahren wird Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) aufgrund der besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften in elektrischen Betriebsmitteln eingesetzt. Als Isoliergas, als Löschgas oder in Kombination als Isolier- und Löschgas wird es in Hoch- und Mittelspannungsanlagen verwendet. „Neues“ SF<sub>6</sub> ist vor der Erstinutzung farblos, geruchlos und geschmacklos, da es jedoch schwerer als Luft ist, besteht in engen, unbelüfteten oder sehr kleinen Räumen Erstickungsgefahr. SF<sub>6</sub> ist ungefähr fünfmal schwerer als Luft und verdrängt somit den Sauerstoff.

Schwefelhexafluorid ist nicht brennbar, untoxisch und chemisch inert, jedoch weist es ein enormes Treibhauspotenzial auf. Die deutschen Hersteller, Betreiber und Instandhalter von elektrischen Betriebsmitteln > 1kV haben sich schon in den Jahren 1997 und 2005 in freiwilligen Selbstverpflichtungen zu ihrer Verantwortung bezüglich des Klimaschutzes bekannt [1]. Die Emission von SF<sub>6</sub> wird seither auf ein Minimum begrenzt oder gar vermieden.

## Neue gesetzliche Rahmenbedingungen

Die auf Grundlage des Kyoto-Protokolls basierenden Klimaschutzziele der Europäischen Union wurden mit der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierende Treibhausgase in Teilen konkretisiert.

Das vorrangige Ziel dieser Verordnung ist es, die Emissionen von fluorierenden Treibhausgasen einzudämmen, um so die Umwelt zu schützen. Mit der Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierender Treibhausgase (Chemikalien Klimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV)

der Bundesrepublik Deutschland wurde die nationale Umsetzung in 2008 vollzogen [2]. Folgende technische Bereiche und Anforderungen unterliegen nun dem Reglement der Chemikalien Klimaschutzverordnung:

- Ortsfeste Kälteanlagen, Klimaanlage, und Wärmepumpen,
- Ortsfeste Brandschutzsysteme und Feuerlöscher,
- Hochspannungsschaltanlagen,
- Ausrüstungen, die Lösungsmittel auf Grundlage fluorierender Treibhausgase enthalten,
- Mindestanforderungen für die Zertifizierung des Personals,
- Kennzeichnung von Erzeugnissen und Einrichtungen, die bestimmte fluorierende Treibhausgase enthalten.

Somit haben die Verordnungen (EG) Nr. 305 der Kommission vom 2. April 2008 und die Verordnung (EG) Nr. 1494 der Kommission vom 17. Dezember 2007 ebenfalls ihre Umsetzung in nationales Recht erfahren [6] [7].

In der Verordnung (EG) Nr. 305 sind die Mindestanforderungen für die Zertifizierung von Personal, das Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> an Hochspannungsschaltanlagen ausübt sowie die gegenseitige Anerkennung der erworbenen Zertifikate innerhalb der EG festgelegt.

Hochspannungsanlagen sind wie folgt definiert:

„Schaltgeräte und Kombinationen mit zugehörigen Steuer-, Mess-, Schutz- und Regleinrichtungen sowie Baugruppen aus derartigen Geräten und Einrichtungen mit den dazugehörigen Verbindungen, Zubehöerteilen, Gehäusen und tragenden Gerüsten, die zur Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umwandlung elektrischer Energie bei Nennspannungen von oder über 1000 Volt bestimmt sind“.

### Rückgewinnung von SF<sub>6</sub>

Die Betreiber der Anlagen stellen sicher, dass das Recycling, die Aufarbeitung oder die Zerstörung von Schwefelhexa-

fluorid durch zertifiziertes Personal sichergestellt wird. Die Rückgewinnung erfolgt im Sinne dieser Verordnung vor der endgültigen Entsorgung des gasfreien Betriebsmittels oder bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten. Bei Mittelspannungsanlagen ist eine Rückgewinnung erst nach Ablauf der Lebensdauer, also nach der Stillsetzung des Betriebsmittels, erforderlich. Durch Filtersysteme oder Aufbereitungsanlagen kann die erforderliche Gasqualität nach DIN EN 60480 (VDE 0373-2) wiederhergestellt werden und das Gas wiederverwendet werden [9]. Durch die Messung der Gasqualität wird festgestellt, ob das Gas in der Anlage verbleiben kann oder eine Aufarbeitung notwendig wird.

Folgende Messungen werden durchgeführt:

- Messung des Feuchtegehalts im SF<sub>6</sub>-Gas (Ermittlung des Taupunkts mittels eines Taupunktmessgeräts).
- Ermittlung, ob sich im SF<sub>6</sub>-Gas Zersetzungsprodukte gebildet haben mittels Prüfröhrchen oder eines Gaschromatographen.

- Messung des SF<sub>6</sub>-Prozentsatzes mittels eines Volumenprozentmessgeräts.

Werden bei der Messung der Gasqualität mittels Prüfröhrchen oder eines Gaschromatographen Zersetzungsprodukte festgestellt, so müssen diese aus dem Schottraum entfernt und neutralisiert werden (Abbildung 1). Lichtbögen mit hoher Temperatur können zur Bildung von Zersetzungsprodukten aus SF<sub>6</sub> verdampften Kunststoffen, Metallen oder Verunreinigungen führen. Zersetzungsprodukte treten in fester oder gasförmiger Form auf und können aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften schwere Gesundheitsschäden verursachen. Bevor mit der Entleerung des Gasraumes begonnen wird, ist daher die erforderliche persönliche Schutzausrüstung anzulegen:

- Säurefeste Schutzhandschuhe,
- Schutzbrille Verwendungsbereich 5 (Schutz gegen Gas und Feinstaub) DIN EN 166,
- Einwegschutzanzug mit Kapuze (staubdicht),

Abbildung 1: Messung der SF<sub>6</sub>-Gasqualität.



Foto: DB Energie GmbH

- Einwegüberschuhe,
- Schutzhelm,
- Atemschutzgerät mit Kombinationsfilter A2B“E2K2.

Erst jetzt kann das SF<sub>6</sub>-Gas mit einer Aufbereitungsanlage, die mit einem Trocken- und einem Partikelfilter ausgestattet ist, aus dem Betriebsmittel abgesaugt werden. Ist eine Aufarbeitung des SF<sub>6</sub>-Gases vor Ort nicht möglich, so wird das Gas an den Hersteller zum Recycling oder im Extremfall zur Zerstörung zurückgegeben.

### Ausbildung, Prüfung, Zertifizierung bei der DB Energie GmbH in Zusammenarbeit mit Traffic Cert

Durch die Prüfung und Zertifizierung sollen folgende Kenntnisse und Fertigkeiten vermittelt und gefestigt werden:

- Kenntnisse über die geltenden europäischen und nationalen Gesetze, Verordnungen und Normen,
- Kompetenzen zur Emissionsvermeidung und Rückgewinnung fluorierender Treibhausgase,
- sicherer Umgang mit Mess- und Wartungsgeräten.

Die Zertifizierung nach den europäischen und deutschen Verordnungen bezieht sich nur auf Umweltaspekte, damit SF<sub>6</sub>-Emissionen vermieden werden. Die Belange des Arbeitsschutzes, wie sie in der BGI 753 „SF<sub>6</sub>-Anlagen und Betriebsmittel“ der Berufsgenossenschaft Elektro Textil und Feinmechanik verankert sind, werden in der Ausbildung nur am Rande behandelt. Die BGI 753 sieht vor, dass vor und nach Aufnahme der Tätigkeiten sowie mindestens einmal jährlich eine Unterweisung der betreffenden Mitarbeiter aus Gründen der Arbeitssicherheit erfolgen soll [4].

Die Zulassung als Prüf- und Zertifizierungsstelle erfolgte

DB Energie	DB Energie und Traffic Cert	Traffic Cert
Ausbildung Theorie ca. 8h	Prüfung Theorie ca. 40 min	Zertifikat
Ausbildung Praxis ca. 8h	Prüfung Praxis ca. 20 min	Zertifikat

Abbildung 2: Rollenverteilung zwischen DB Energie und Traffic Cert.

für die DB Energie und Traffic Cert über einen Antrag bei der Bezirksregierung Köln. Basis dieses Antrages waren die im Arbeitskreis „SF<sub>6</sub> in Systemen und Komponenten der Energieübertragung und Verteilung“ der Verbände ZVEI, VDE, FNN und VIK im Jahr 2008 erstellten Schulungsunterlagen, Prüfungsfragen sowie eine Prüfungsordnung und die Einsetzung einer Prüfungskommission mit anerkannten Experten. Die Ausgestaltung der Prüfungen erfolgt einheitlich an allen zugelassenen Prüfstellen mit einer theoretischen Prüfung mit jeweils 20 Fragen und einer praktischen Prüfung mit jeweils einer Praxisaufgabe sowie fünf Praxisfragen (Abbildung 2).

Nach bestandener theoretischer und praktischer Prüfung wird von der Zertifizierungsstelle das personengebundene Zertifikat ausgestellt, das die Sachkunde zur Durchführung von Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Rückgewinnung bestimmter fluorierender Treibhausgase aus Hoch- und Niederspannungsanlagen bestätigt. Die erworbenen Zertifikate werden von der Zertifizierungsstelle zeitlich unbegrenzt ausgestellt. Die Zertifikate sind personengebunden und verlieren beim Wechsel des Arbeitsplatzes des Inhabers nicht ihre Gültigkeit.

Werden Tätigkeiten in diesem Zusammenhang von Personen, die nicht im Besitz eines Zertifikats sind, ausgeführt oder wird die Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> nicht fachgerecht durchgeführt, drohen seitens der Behörden personengebundene Bußgelder in Höhe von bis zu 50.000,00 Euro. Ziel sollte

es sein, dass SF<sub>6</sub>-Emissionen möglichst vermieden werden, damit die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen längerfristig Bestand haben und unsere Umwelt auf diese Weise nachhaltig geschützt wird. ■

[1] Freiwillige Selbstverpflichtung der SF<sub>6</sub>-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln > 1kV zur elektrischen Energieübertragung und -verteilung in der Bundesrepublik Deutschland zu SF<sub>6</sub> als Isolier- und Löschgas, [www.vik.de/fileadmin/vik/Themen/SF6/SV-SF6.pdf](http://www.vik.de/fileadmin/vik/Themen/SF6/SV-SF6.pdf)

[2] Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter flüchtiger Treibhausgase (Chemikalien Klimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV), [www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/bgl102s1139ChemKlimaschutzV.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/bgl102s1139ChemKlimaschutzV.pdf)

[3] DIN EN 60480 (VDE 0373-2) Richtlinien für die Prüfung und Aufbereitung von Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) nach Entnahme aus elektrischen Betriebsmitteln und Spezifikationen für dessen Wiederverwendung (IEC 60480:2004); Deutsche Fassung EN 60480:2004

[4] BGI 753 „SF<sub>6</sub>-Anlagen und Betriebsmittel“ der Berufsgenossenschaft Elektro Textil und Feinmechanik, [www.bgete.de/bilder/pdf/bgi\\_753\\_a10-2008.pdf](http://www.bgete.de/bilder/pdf/bgi_753_a10-2008.pdf)

[5] Verordnung (EG) Nr. 842/2006 vom 17. Mai 2006 über bestimmte flüchtige Treibhausgase, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:001:0011:DE:PDF>

[6] Verordnung (EG) Nr. 1494 der Kommission vom 17. Dezember 2007 zur Festlegung der Form der Kennzeichnen und der zusätzlichen Anforderungen an die Kennzeichnung von Erzeugnissen und Einrichtungen, die bestimmte flüchtige Treibhausgase enthalten, gemäß Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rats, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:332:0025:0026:DE:PDF>

[7] Verordnung (EG) Nr. 305 der Kommission vom 2. April 2008 zur Festlegung – gemäß der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rats – der Mindestanforderungen für die Zertifizierung von Personal, das Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Rückgewinnung bestimmter flüchtiger Treibhausgase aus Hochspannungsschaltanlagen ausübt, sowie Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung der diesbezüglichen Zertifikate. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:092:0017:0020:DE:PDF>

# Kommentierung von Anfragen zu Regelwerken und Vorschriften

**Ludwig Linke**, DB Energie GmbH, Frankfurt am Main

Die Geschäftsführungsverantwortung der überwiegenden Regelwerke aus der Richtlinie 954 liegt in der OE Energieverteilungssysteme und Leittechnik der DB Energie GmbH. Aus der Praxis heraus ergeben sich berechtigt immer wieder Anfragen, die die Umsetzung einzelner Sachverhalte beinhalten. Fortsetzung der Reihe.

## Zweiteinspeisung aus einem öffentlichen Netz parallel zur bahneigenen 50-Hz-Stromversorgung in Gebäuden

### Anfrage

Durch die verstärkte Vermarktung in Bahnhofsgebäuden an lastintensive Kunden trat die Frage auf, ob und ggf. unter welchen Rahmenbedingungen Zweiteinspeisungen möglich sind.

### Stellungnahme

Nachfolgend werden zu der Möglichkeit einer Zweiteinspeisung aus einem öffentlichen Verteilnetzbetreiber-Netz (VNB-Netz), das parallel mit einer bahneigenen 50-Hz-Stromversorgung in einem Gebäude, z.B. zum Anschluss von lastintensiven Kunden in Bahnhöfen, betrieben werden soll, konkrete Aussagen getroffen und technische Lösungen festgelegt. Ebenso wurde hierzu im Dezember 2008 die Technische Mitteilung TM EEA 05/2008 herausgegeben.

Aufgrund von Unfallgefahren, Brandschutzvorschriften und des Anlagenschutzes sind Zweiteinspeisungen aus einem öffentlichen VNB-Netz parallel mit einer bahneigenen 50-Hz-Stromversorgung in einem Gebäude grundsätzlich für die Allgemeinversorgung zu vermeiden. Ebenso gebietet es sich aus Übersichtlichkeitsgründen, Gefahr des Parallelschaltens und Mehraufwand bei der Erstellung von Havarieplänen von Zweit- oder gar Dritteinspeisungen für die Allgemeinversorgung abzusehen. Eine Ersatzspeisung für die Sicherheitsstromversorgung, Ersatzbeleuchtung ist hiervon nicht betroffen und ist gesondert geregelt.

Sollte es aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen notwendig sein, eine öffentliche Zweiteinspeisung zu realisieren, sind die Potenziale gemäß DIN VDE 0115-3 zu trennen, um bahnfremde Anlagen nicht durch Bahnrückströme auf den PEN-Leiter und sonstige vagabundierende Ströme zu gefährden. Damit soll ebenso verhindert werden, dass sich unkontrolliert nicht gezählte Energie zwischen den einzelnen Netzen ausgleichen kann.

Bei Nichtbeachtung der Trennung besteht die Möglichkeit der Gefährdung bei Instandhaltungsarbeiten und Entstörungen. Durch vom Instandhalter nicht beeinflussbare Kundenschaltheitungen kann es zu einer Spannungsaufschaltung vom Zweitnetz kommen, obwohl das Primärnetz in Energieflussrichtung abgeschaltet und die Spannungsfreiheit zum Zeitpunkt X festgestellt wurde sowie auch der Beeinflussung von Sachanlagen und Betriebsmitteln z.B. durch Überlagerung von 16,7 Hz Bahnrückströmen. Beim Zusammenschließen können Kurzschlüsse bei unterschiedlicher Phasenlage entstehen oder zumindest Leitungsüberlastungen mit anschließender Brandgefahr durch vagabundierende Ströme. Es können ebenfalls Personen

bei Überbrückung der Potenzialgrenzen durch unzulässige Berührungsspannungen gefährdet werden, was eine Körperdurchströmung nach sich zieht.

Hinsichtlich des Brandschutzes bei öffentlichen Gebäuden sind die landesrechtlichen Brandschutzverordnungen zu beachten. Zum Teil wird in diesen nur eine Freischaltstelle für die gesamte elektrotechnische Anlage gefordert.

Die technische Lösung für die Zweiteinspeisung sieht Folgendes vor: Der Anschluss aus dem öffentlichen VNB-Netz ist mit einem Trenntrafo der Schutzklasse II auszuführen. Der Sternpunkt auf der Sekundärseite dieses Trenntrafos muss bei elektrifizierten oder bei Anlagen in der Nähe von elektrifizierten Strecken über die gemeinsame HES/HPAS bahngeerdert werden.

Das so entstehende Zweitnetz ist als TN-S-System zu betreiben. Eine Parallelschaltung mit dem Bahnnetz ist wegen einer möglichen Rückspeisung nicht zulässig. Die Schutzmaßnahmen für das zweite unabhängige Netz sind nach Ril 954.0107A01 Abschnitt 2(3) auszuführen. Auch für diese Anlage sind die Richtlinien der DB AG zu berücksichtigen.

Bei nicht elektrifizierten Strecken ist im Einzelfall zu prüfen, ob der Trenntrafo notwendig ist, die Schutzmaßnahmen und die Anlagengestaltung wäre dann nach Ril 954.0107 Abschnitt 11 bzw. 12 auszuführen.

Der gesamte Anschluss (Trenntrafo, Hausanschluss, Zählung, etc.) ist eigentumsrechtlich nicht der DB Energie zugeordnet. Für die Zweiteinspeisung aus dem öffentlichen VNB-Netz ist die Zustimmung vom regionalen Energieversorger (I.EBV x4) der DB Energie und des Gebäude-/Grundstückseigentümers erforderlich. Hinsichtlich der Freischaltstelle sind die örtlichen Brandschutzbehörden zu kontaktieren.

Die o.g. TM gilt nicht für Bestandsanlagen sowie geringfügige Erweiterungen dieser Anlagen. ■

# Neue Generation von Mittelspannungs-Leistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen



Foto: DB AG/Bartlomiej Banaszak

**Stefan Ebhart**, DB Energie GmbH, Frankfurt am Main

*In elektrischen Netzen übernehmen Leistungsschalter eine wichtige Rolle für die Versorgungssicherheit, die Verfügbarkeit der Netze sowie den Schutz von Personen und der Netzbetriebsmittel. Aufgrund der Besonderheiten des Bahnbetriebs mit der speziellen Betriebsfrequenz von 16,7 Hz werden an die Schaltgeräte hohe Anforderungen gestellt. Aus der Anlagenstrategie heraus ist es notwendig Komponenten dem Stand der Technik anzupassen und gleichzeitig die Effektivität zu verbessern. Daher wurde in Zusammenarbeit mit den Herstellern eine neue Generation von Mittelspannungsleistungsschaltern entwickelt.*

Das Oberleitungsnetz ist im Vergleich zu den Netzen der öffentlichen elektrischen Energieversorgung aufgrund natürlicher Umgebungsbedingungen und zusätzlichen Beanspruchungen durch eine größere Anzahl von Kurzschlüssen gekennzeichnet. Im Jahresdurchschnitt treten im Oberleitungsnetz der Deutschen Bahn ca. 16.500 Kurzschlüsse auf. Statistisch gesehen kommt es zu ca. 0,9 Kurzschlüssen pro elektrifiziertem Streckenkilometer und Jahr. Aber nur bei etwa zwei bis drei Prozent der Schalterauslösungen wird ein Dauerkurzschluss festgestellt.

Aus der Notwendigkeit heraus, insbesondere Kurzschlussströme mit Kurzschlusseintritt im Spannungsmaximum oder in dessen Nähe unter der Bedingung der sicheren Stromunterbrechung im Stromnulldurchgang nach der ersten Stromteilschwingung zu beenden, wobei die Schaltkontakte

mindestens 3 ms vor dem Stromnulldurchgang geöffnet sein müssen, wird eine Schalterausschalteigenzeit von 15 (+2) ms gefordert. Dies führt bei Kurzschlussituationen mit einem asymmetrischen Anteil von bis zu 65 Prozent zu einer großen Schalterarbeit, die wesentlich über den in dreiphasigen 50-Hz-Netzen auftretenden Höchstwerten liegen. Diese Belastungen müssen von den Leistungsschaltern der Bahnstromversorgung sicher beherrscht werden <sup>[1]</sup>.

Seit der Einführung der Vakuum-Leistungsschalter im Jahre 1979 wurden bei der DB mittlerweile 1.900 Vakuum-Leistungsschalter installiert. Sukzessive werden die noch vorhandenen 400 Druckluft-Leistungsschalter durch die wartungsarmen Vakuum-Leistungsschalter ersetzt. Aus wirtschaftlichen Gründen werden in den Mittelspannungsschaltanlagen bei der DB Energie nur noch drei

Baureihen eingesetzt, die sich durch das Ausschaltvermögen unterscheiden: 31,5-kA-Leistungsschalter mit einer Vakuumschaltkammer, 40-kA- und 50-kA-Leistungsschalter mit zwei Vakuumschaltkammern in Reihenschaltung.

## Schalten im Nichts

Was ist eigentlich ein Vakuum? Ein Vakuum ist ein luftleerer Raum, das sprichwörtliche Nichts! Wissenschaftlich gesehen bestimmt der Begriff den Zustand eines Gases, dessen Druck geringer ist als der Atmosphärendruck. Oder anders gesagt: Die Teilchendichte des Gases ist geringer als die der Atmosphäre an der Erdoberfläche. Gase bestehen aus sehr vielen kleinen Teilchen, den Molekülen und Atomen, die unabhängig voneinander ständig in Bewegung sind. Der Druck wird definiert durch die Stoßhäufigkeit mit der die Gas-

teilchen aufeinander oder an die Wand der Röhre treffen. In einer Vakuumschaltkammer liegt dieser Druck bei ca. 10 bis 8 mbar. Dies ist der 100 milliardste Teil unserer Normalatmosphäre und entspricht dem Luftdruck in etwa 500 km Höhe.

## Allgemeine Angaben zu den Leistungsschaltern

### Einsatzbedingungen während des Schaltvorgangs

Leistungsschalter sind mechanisch angetriebene Schaltgeräte, bei denen während des Schaltvorgangs bewegliche Kontakte stets denselben vorbestimmten Weg zurücklegen. Sie sind in der Lage, elektrische Ströme unter Nennleistungsbedingungen im normalen ungestörten Betrieb über eine längere Zeitdauer und unter Kurzschlussbedingungen im

abnormalen gestörten Betrieb in zeitlich begrenzter Dauer einzuschalten, zu übertragen und auszuschalten.

Die Schalter werden nach folgenden Kriterien am Einbauort ausgewählt:

- höchste auftretende Betriebsspannung unter Berücksichtigung der geographischen Höhe bezogen auf den Meeresspiegel (NN),
- höchste auftretende Be-

triebsströme unter Berücksichtigung der Belastungsspitzen,

- Kurzschlussbedingungen, wie Stoßstrom, thermischer Grenzstrom, Ausschaltstrom, Einschwingfrequenz und Überschwingfaktor der wiederkehrenden Spannung,
- Bemessungsfrequenz,
- erforderliche maximale Schaltzyklen,
- Sonderbedingungen, betrieblich verursacht/verein-

bart, klimatische Bedingungen, Einsatzbedingungen über den gesamten Einsatzzeitraum innerhalb der Umgebungsbedingungen,

- Wartungsbedingungen,
- Sicherheitsbedingungen für den Bedienenden und die zugeordneten Betriebsmittel.

Resultierend aus den Bedingungen im Oberleitungsnetz (Tabelle 1) müssen die Leistungsschalter eine große An-

zahl von Kurzschlüssen mit schnellen Schaltvorgängen und kurzen Schaltfolgen ohne Beeinträchtigung des Schaltvermögens schalten können. Revisionen und damit ein gewolltes Außerbetriebnehmen des Schaltgeräts mit den Folgen des eingeschränkten Bahnbetriebes sollen minimiert werden. In der Vergangenheit erfüllten die Druckluftschalter diese Bedingungen zum Teil nur hinreichend. Mit der Einführung der Vakuumröhren in der Mittelspannungstechnik eröffneten sich neue verbesserte Möglichkeiten für die Leistungsschalter unter Bahnstrombedingungen.

Aus den vorgenannten Bedingungen heraus wurde es erforderlich, im Oberleitungsnetz möglichst solche Antriebe einzusetzen, die eine Vielzahl von Schaltungen ohne wesentliche Wartungsaktivitäten ermöglichen.

Bezogen auf die Anzahl von Schaltspielen in der 15-kV-Verteilebene im Bereich der Schaltanlagen wurde eine sichere und wartungsarme Antriebstechnik erforderlich. Zugleich sollte durch geeignete Methoden eine möglichst lückenlose ständige Selbstüberwachung realisiert werden. Diese Selbstüberwachung soll weitestgehend den Leistungsschalter während des Schaltvorgangs als auch zwischen den Schaltvorgängen unterbrechungsfrei überprüfen. Antriebe, die über derartige Eigenschaften verfügen, müssen möglichst die vorhandenen Schwächen an den bisher zum Einsatz gelangten Antrieben minimieren bzw. durch geeignete neuartige Technologien im weiten Rahmen ausschließen.

### 15-kV-Vakuum-Leistungsschalter mit Magnetantrieb Typ GSH 5960.1

#### Anforderungen

- Verkürzung der Zeit zwischen mehreren Schaltfolgen, insbesondere bei

Tabelle 1: Elektrotechnische Anforderungen an einpolige 15-kV-16,7-Hz-Vakuum-Leistungsschalter.

Nennfrequenz	Hz	16,7		
Bemessungsspannung	kV	17,25		
Bemessungsspannung für Isolation	kV	17,25		
Bemessungs-Steh-Wechselspannung				
gegen Erde	kV	50		
über offene Schaltstrecke	kV	60		
Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung				
gegen Erde	kV	125		
über offene Schaltstrecke	kV	145		
Bemessungsstrom	A	2000	2500	
Bemessungs-Kurzschluss-Einschaltstrom	kA	80	100	125
Bemessungs-Kurzschluss-Ausschaltstrom	kA	31,5	40	50
Lichtbogenzeit: bei Kurzschluss-Ausschaltstrom und bezogener Gleichstromkomponente	ms	3-38		
Bezogene Gleichstromkomponente bei Bemessungs-Kurzschluss-Ausschaltstrom	%	65		
Einschalteigenzeit (max)	ms	<80		
Ausschalteigenzeit <sup>1)</sup> : mit Hauptauslöser (Schnell-Aus) mit Hilfsauslöser	ms	≤ 15+2		
	ms	< 65		
Bemessungs-Schaltfolge		O-5s-CO		
Steuer- und Betätigungsspannung	V DC	60 V +/- 15%		
Stromspitze im 60-V-DC-Kreis	A	< 20		
Anzahl der Schaltspiele bei Bemessungsstrom 31,5 kA bei Bemessungsstrom 40/50 kA bei Bemessungs-Kurzschluss-Ausschaltstrom	-	20.000	10.000	50
<sup>1)</sup> Die Ausschalteigenzeit soll in der Mehrzahl der Anforderungsfälle < 15 ms betragen; zugelassen ist eine maximale Ausschalteigenzeit von 17 ms.				



Oberleitungsprüfautomaten mit mehreren Prüfintervalen,

- ständige Schaltgeräteselbstüberwachung,
- Minimierung und Vereinfachung des Wartungsaufwands,
- Senkung der Betriebs- und Investitionskosten.

## Aufbau und Wirkungsweise der Vakuum-Leistungsschalter mit Magnetantrieb

### Überblick

Der Aufbau der neuen Schaltergeneration unterscheidet sich von den bisherigen Schaltgeräten im Wesentlichen nur in der Betätigung der Antriebstechnik. Bisher waren mechanische Leistungsschalterantriebe im Einsatz, die ihre Energie für den Schaltvorgang in einer durch einen Motor aufgezogenen Feder gespeichert hatten, Kraftfeder-Speicherantrieb genannt. Der Bewegungsablauf wurde durch die mechanische Anordnung von Klinken und Wellen bestimmt, durch Hilfsschalter kontrolliert und mittels elektrischer Komponenten gesteuert und angezeigt. Gegenüber diesen Kraftfeder-Speicherantrieben reduziert sich die Anzahl der mechanischen Teile beim Magnetantrieb auf ca. 40 Prozent.

Der Vakuum-Leistungsschalter mit Magnetantrieb besteht wie die bisher bewährten Schalter

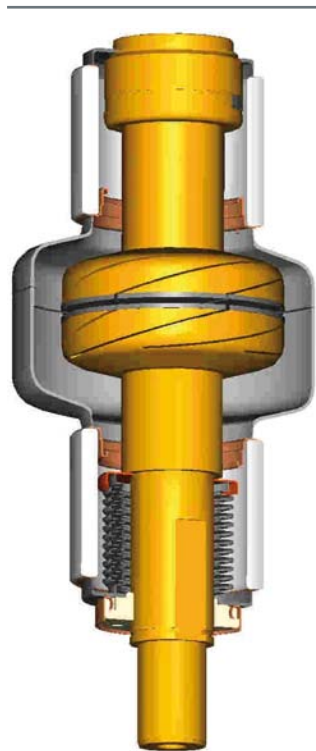


Abbildung 1:  
Schnittbild einer  
Vakuumschaltröhre.  
(Quelle: Siemens AG)

aus dem Schalterpol, dem Schaltergrundrahmen (Chassis) mit dem integrierten Schalterantrieb und dem Fahrwagen. Dieser kann für fest eingebaute Fahrwegenschalter in Schaltzellen der Normschaltanlage oder als fahrbarer Schaltwagen mit Trennfunktion für geschotete Schaltzellen ausgeführt werden. Diese neuen Schaltgeräte besitzen Schnittstellen und Abmessungen, die ein einfaches Auswechseln gegen

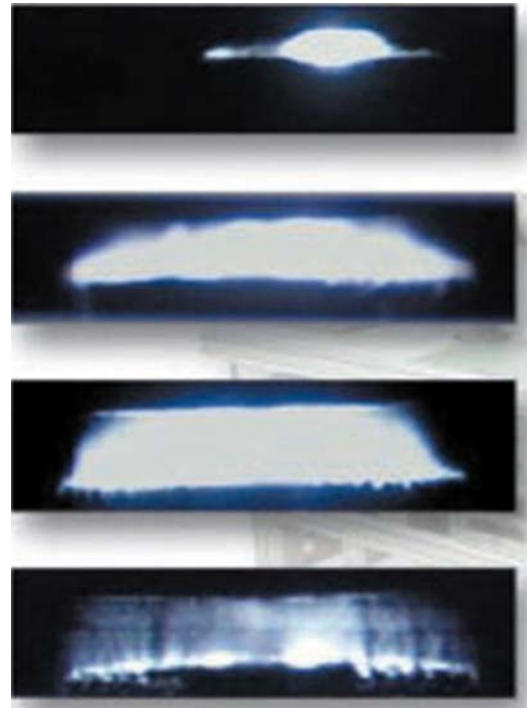


Abbildung 3: Realer Vakuum-Schaltlichtbogen bei einem Kurzschlussausschaltrom von ca. 31,5 kA 50 Hz 2 ms, 4 ms, 6 ms und 8 ms nach Kontaktöffnung, Anode (A) oben, Kathode (C) unten.

vorhandene Leistungsschalter ermöglichen.

### Schaltlichtbogen im Vakuum

Hauptteil des Leistungsschalters ist die Vakuumschaltröhre mit Axialmagnetfeldkontakten, die in der Lage ist, bei 16,7 Hz die Kurzschlussströme zu schalten (Abbildung 1).

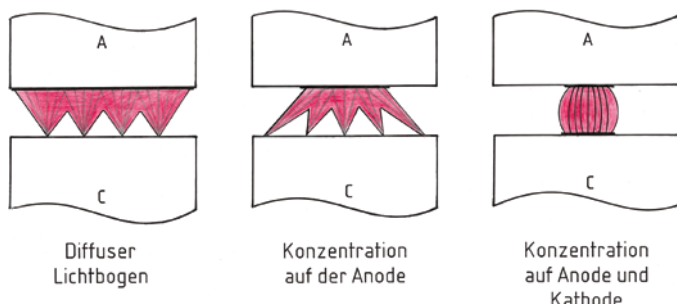
Im Gegensatz zu den Schaltlichtbögen, die in Luft, Öl oder SF<sub>6</sub>-isolierten Schaltstrecken auftreten, ist beim Zünden einer Entladung im Vakuum zunächst kein ionisierbares Umgebungsmedium vorhanden. Zu einer selbständigen thermischen Gasentladung, dem Lichtbogen kann es nicht kommen. Werden stromdurchflossene Kontaktstücke im Vakuum geöffnet kommt es zu einzelnen Schmelzstellen auf der Oberfläche der Kathode (Kontakterosion). Dies führt zur Bildung von Metalldampf und damit zum Lichtbogen. Dabei bewirkt ein diffuser Lichtbogen eine gleichmäßige Verteilung

der thermischen Beanspruchung der Kontaktflächen (Abbildungen 2 und 3).

Bei der Schaltung von Betriebsströmen ist die Kontakterosion daher vernachlässigbar. Mit zunehmendem Stromwert, insbesondere bei Kurzschlussströmen, erfolgt aufgrund des Hall-Effekts der Übergang vom diffusen in den konzentrierten Lichtbogen. Der Lichtbogen konzentriert sich ausgehend von der Anode und formt sich mit steigendem Strom immer weiter zur eng begrenzten Säule aus. Auf den betroffenen Flächen kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Temperatur und folglich zu einer hohen thermischen Beanspruchung der Kontakte.

Der Lichtbogen wird durch axial gleichmäßig über die Kontaktfläche verteilte Feldlinien der magnetischen Flussdichte in Rotation gehalten, wodurch eine Überhitzung und Erosion der Kontakte vermieden wird<sup>[5]</sup>. Die schnelle Verringerung der

Abbildung 2: Schematische Darstellung des Übergangs von diffusem Lichtbogen zum konzentrierten Lichtbogen in der Vakuum-Schaltröhre.



Stromdichte und die rasche Kondensation des Metallampfes beim Nulldurchgang des Stroms ermöglichen eine rasche Wiederverfestigung der Schaltstrecke zwischen den Kontakten innerhalb von Mikro-

sekunden (Abbildung 4). Dank der schnellen Unterbrechung und der geringen Lichtbogenenergie ist der Abbrand der Kontakte gering und demzufolge die elektrische Lebensdauer sehr hoch.

### Der Magnetantrieb und seine wesentlichen Funktionsgruppen

Die Übertragungskinetik umfasst die beweglichen Teile des Antriebs und besteht im Wesentlichen aus einem Dämp-

fungselement und der Schaltstange mit zwei Kniepunktgelenken, die den Schaltweg für den beweglichen Kontakt bestimmt und kraftschlüssig mit dem Magnetantrieb verbunden ist. Das Dämpfungselement wirkt in beiden Bewegungsrichtungen und verhindert das Prellen der Kontakte, besonders beim Einschaltvorgang. An den Stützern befinden sich die Fest- oder Einfahrkontakte zum Einbau in die Schaltzelle.

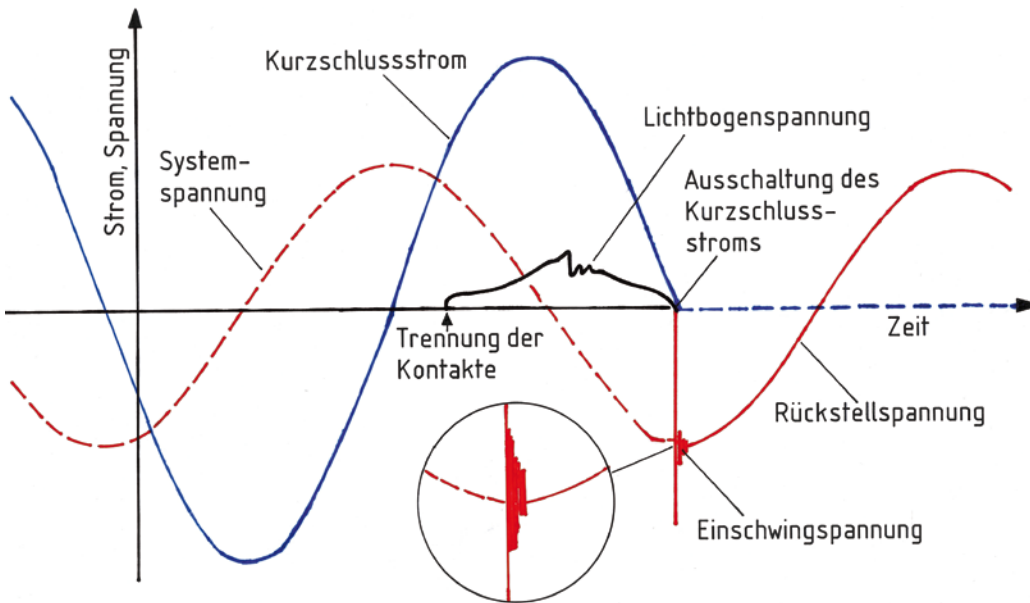


Abbildung 4: Verlauf von Strom und Spannung während der Löschung im Vakuum.

Abbildung 5: 15-kV-Bahnstromleistungsschalter vom Typ GSH 5960.1 mit zwei Kondensatoren.



Foto: ABB

Das Chassis enthält alle Funktionsgruppen des magnetischen Antriebs und fixiert den Abstand zwischen sammelschienenseitigem und kabelseitigem Anschlusskontaktsystem. Die Betätigung der Hauptkontakte der Schaltkammer erfolgt durch einen einzigen magnetischen Aktuator, der durch ein elektronisches Modul gesteuert wird. Die Leistungsschaltersteuerung nutzt zur Erfassung der mechanischen Schalterstellung Sensoren. Diese berührungslosen induktiven Näherungssensoren sind von der Art der Hilfsspannung unabhängig und in die Systemüberwachung eingebunden [6].

Die erforderliche Energie für einen Schaltzyklus wird von den Kondensatoren geliefert, die für eine angemessene Energiereserve sorgen (Abbildung 5).

### Aktuator

Der magnetische Aktuator besteht aus einem Lamellenpaket, zwei Permanentmagneten, zwei Spulen und einem beweglichen Anker und stellt ein bistabiles Magnetsystem dar, bei dem das Umschalten des Ankers in die jeweilige andere Endlage über das Magnetfeld der Einschalt- bzw. Ausschaltspulen bewirkt wird. In der jeweiligen Endlage wird der Magnetanker über das Feld des zutreffenden Permanentmagneten gehalten.

Die Auslösung einer Schalthandlung erfolgt durch die Erregung einer der beiden Spulen bis zum Überschreiten der Haltekraft der Permanent-

magnete zum Schließen oder Öffnen (Abbildung 6). Die im Steuerkreis vorhandenen zwei Kondensatoren liefern die erforderliche Energie der Spulen und sichern die Stromversorgung der Elektronik für eine Grenzzeit von ca. drei Minuten [7], auch bei einem Ausfall/Abfall der Hilfsspannung. Danach kann der Leistungsschalter nur durch eine Hand-Notbetätigung mit Hilfe eines Hebels, der direkt auf den beweglichen Anker des Antriebs wirkt, ausgeschaltet werden.

## Elektronikmodul MABS

Das elektronische Modul steuert alle Funktionen des Leistungsschalters und kann Steuer- und Überwachungssignale empfangen und senden. Die Ansteuerung des MABS kontrolliert den Systemstatus (Watchdog) und alle externen Komponenten: Kondensatorbank, magnetischer Antrieb einschließlich Auslösespulen EIN/AUS, Positionssensoren. Die MABS stellt sicher, dass Schalthandlungen korrekt ausgeführt und Fehler an die Leittechnik gemeldet werden.

Die Ansteuerung der MABS stellt zusammen mit dem magnetischen Antrieb eine technologische Lösung für den Betrieb eines Vakuum-Leistungsschalters dar. Die Ansteuerung sichert den Betrieb von Bahnstrom-Leistungsschaltern mit folgenden CE- und IEC 60694-konformen Funktionen:

- Hochstromausgang für die Stromversorgung des magnetischen Aktuators,
- kapazitiver Energiespeicher (Kondensatorbank) für die erforderlichen hohen Ströme zum Bewegen des Aktuators,
- Stromversorgung der Positionssensoren sowie die Erfassung und Verarbeitung der Endstellungen Ein/Aus,
- Stromversorgung der Bedieneinheit,

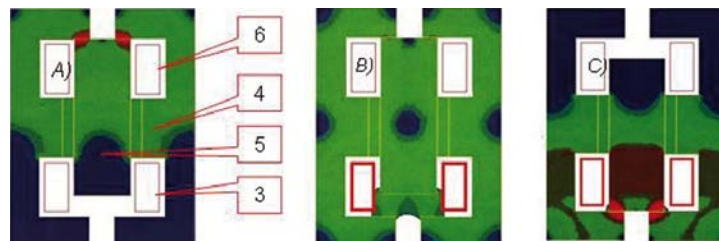


Abbildung 6: Schematische Funktionsweise des Antriebs.

A) Magnetische Arretierung in ausgeschalteter Stellung  
 B) Magnetische Arretierung mit Stromaufnahme in einer Spule  
 C) Beenden der Einschaltbewegung vor dem Abschalten des Spulenstromes mit Anschlag des Ankers in der Gegenendlage  
 3) Einschaltspule  
 4) Permanentmagnete  
 5) Anker  
 6) Ausschaltspule  
 Rot: große Feldstärke, Grün: gleichverteiltes Magnetfeld, Dunkel: geringe Feldstärke

- sieben digitale Eingänge mit universalem Spannungsbereich (24 V ... 240 V AC/DC), erdfrei,
- sieben Relaisausgänge mit universalem Spannungsbereich (400 V AC/300 V DC), erdfrei,
- Verarbeitung von Befehlen und Rückmeldungen der Betriebsarten,
- Vorort- und Fern-Steuerung,
- Einschaltverriegelung,
- Versorgungsspannungsüberwachung,
- Systemüberwachung, Eigenüberwachung und Überwachung aller elektrischen Komponenten des Schalterantriebs,
- Stromversorgung mit zwei Spannungsbereichen 24 V ... 60 V oder 110 V ... 220 V, jeweils DC oder AC,
- geringe Leistungsaufnahme und Leistungsbegrenzung auf max. 75 W.

## Stromversorgung

Alle Funktionsgruppen des magnetischen Antriebs werden durch die Stromversorgungsbaugruppen gespeist. Die Energie zur Betätigung des Leistungsschalters wird von drei Kondensatoren geliefert, die durch ein Ladegerät in geladenem Zustand gehalten werden. Dies gewährleistet den korrekten Betrieb auch dann, wenn die Hilfsenergie nicht den Bemessungswert erreicht. Die Kondensatoren speichern die Energie, die für ein Schaltspiel (0-5s-CO) notwendig ist. Der Energieverbrauch in normaler Ruheposition ist kleiner 10 W.

Nach jedem Schaltvorgang nimmt das Ladegerät für wenige Sekunden bis zu maximal 75 Watt auf. Der geladene Zustand der Kondensatoren wird ständig durch das elektronische Modul überwacht. Die Anzahl der möglichen Schaltspiele wird nicht begrenzt durch die Kapazität der Kondensatoren, sondern durch die thermische Belastung des Hochstromausgangs für die Schaltspulen.

Die Stromversorgung muss folgende Eigenschaften gewährleisten:

- hohe elektromagnetische Störfestigkeit,
- Selbstdiagnose der Ladung der Kondensatoren und des Durchgangs der Spulen,
- Weitbereichs-Hilfsstromversorgung in Gleich- und Wechselstrom,
- niedriger Verbrauch für die Beibehaltung der Kondensatorladung,
- Erfassung des Zustands des Leistungsschalters mittels induktiver Näherungssensoren,

- Überwachung aller Ausschaltfunktionen,
- Zuverlässigkeit,
- lange Haltbarkeit,
- Wartungsfreiheit.

## Zusammenfassung

Federspeicherantriebe haben sich seit vielen Jahren im Leistungsschalterbereich von Bahnstromschaltanlagen bewährt. Weiterentwicklungen und Moderne Herstellertechnologien haben den Federspeicherantrieb zu einem sehr robusten und zuverlässigen Bauteil des Leistungsschalters gemacht.

Die Leistungsschalter mit Magnetantrieben zeichnen sich durch eine reduzierte Teileanzahl und die systembedingte Wartungsfreiheit aus und stellen eine interessante Alternative zum konventionellen Federspeicherantrieb dar. Die bisherigen Erfahrungen mit diesem Antriebssystem bestätigen die Leistungsfähigkeit dieses Prinzips. ■

## Literatur

- [1] Stefan Ebhart; Matthias Mortag: Lastenheft Einpolige 15-kV/16,7-Hz-Innenraum-Bahnstromschaltanlage 25.02.2004 S. 12
- [2] M.Nafz u.a.: Vakuumleistungsschalter für Bahnnetze mit Ausschaltwechsel-Strömen bis 45 kA. In: Elektrische Bahnen 90 (1992) 6
- [3] Pr EN 50152-1 (März) 2006 (-FinalDraft)
- [4] EN 50124-1/2001 + A2: 2005
- [5] Dr. Harald Fink, Dr. Markus Heimbach, Dr. Wenkai Shang: Vakuum-schaltkammern mit Axialmagnetfeldkontakten für Mittelspannungsschalter, ABB-Technik 1/2000 S.59-64
- [6] Stefan Ebhart; Harald Schippel; Hans-Martin Botmann: Neue Generation von Hoch- und Mittelspannungs-Leistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen
- [7] Betriebsanleitung Vakuum-Leistungsschalter GSH 5960.X, 25.05.2005

# Profil zeigen!



**Sicher arbeiten – es lohnt zu leben**