


NEUES SYSTEMTRENNSTELLENKONZEPT AM BEISPIEL DER ANLAGE IN ZEVENAAR (NIEDERLANDE)

Deutsch



Autoren: Jens Northe,
Dr. Andriy Zynovchenko, Offenbach am Main,
Richard Rieksen, Arnhem (NL),
Jeroen Vonk, Utrecht (NL)

Neues Systemtrennstellenkonzept am Beispiel der Anlage in Zevenaar (NL)

Jens Northe, Andriy Zynovchenko, Offenbach am Main; Richard Rieksen, Arnhem (NL), Jeroen Vonk, Utrecht (NL)

Systemtrennstellen sind wesentliche Elemente zur Trennung unterschiedlicher Bahnenergieversorgungssysteme. Aufbau, Funktion und Anordnung sind abhängig von betrieblichen und örtlichen Gegebenheiten. Für die Systemtrennstellen in den Niederlanden wurde ein neues Konzept entwickelt und in Zevenaar als Pilotanlage umgesetzt.

NEW CONCEPT FOR SYSTEM SEPARATION SECTIONS INSTANCING THE NEW INSTALLATION AT ZEVENAAR (NL)

System separation sections are core elements to securely separate different traction power supply systems. Design, function and arrangement are dependent on operational and local constraints. A new concept for system separation sections in the Netherlands has been introduced. A pilot installation has been implemented at Zevenaar which is described from concept up to system verification.

NOUVEAU CONCEPT POUR DES SECTIONS DE SEPARATION DE SYSTEME A L'EXEMPLE DE L'INSTALLATION A ZEVENAAR (NL)

Les sections de séparation de système représentent des éléments essentiels pour la séparation de différents systèmes d'alimentation en énergie ferroviaire. La conception, la fonction et la disposition dépendent des contraintes de l'exploitation ainsi que des conditions locales. Pour les sections de séparation aux Pays-Bas a été développé un nouveau concept et réalisé à Zevenaar sous forme d'une installation pilote.

1 Aufgabe

Systemtrennstellen sind das technische Mittel, um unterschiedliche Bahnenergieversorgungssysteme zu trennen. Ihre Hauptaufgabe ist es, Beschädigungen zu verhindern, die

- bei der Infrastruktur durch eine direkte elektrische Verbindung der jeweils unterschiedlichen Energieversorgungssysteme und
- auf den Triebfahrzeugen durch Betrieb eines nicht an das jeweilige Energieversorgungssystem angepassten Hauptstromkreises entstehen können.

Der Aufbau der Fahrleitungsanlage in einer Systemtrennstelle lässt sich durch die Unterteilung in elektrische Abschnitte nachvollziehen. Ebenso gibt es Anforderungen in Technischen Spezifikationen zur Interoperabilität und in Normen, die das Zusammenwirken von Fahrleitungsaufbau und Stromabnehmeranordnung regeln. Die Ausführung der Schienenrückleitung wird dagegen, wenn überhaupt, nur betreiberspezifisch geregelt, obwohl gerade beim Übergang zwischen einer DC- und einer AC-Versorgung eine elektrische Verbindung über die Radsätze und Fahrzeugkörper entsteht, die hinsichtlich Beeinflussungen insbesondere Rückstromführung bewertet werden muss. Die ProRail-Vorschrift

OVS00054 [1] benennt alle Anforderungen an Systemtrennstellen in den Niederlanden.

Zusätzlich zum Aufbau von Hin- und Rückleitung ist auch immer eine Überwachung vorzusehen, die eine nicht vorschriftsmäßige Befahrung einer Systemtrennstelle erfasst und die Energieversorgung abschaltet, bevor es zu unzulässigen Betriebszuständen kommt.

2 Rechtliche und normative Vorgaben

Die grundlegenden und verbindlichen Vorgaben an Systemtrennstellen im Transeuropäischen Netz (konventionell und Hochgeschwindigkeit) und ihrer Befahrung werden in der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) Energie [2] im Abschnitt 4.2.16 und in der TSI Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen [3] im Abschnitt 4.2.8.2.9.8 getroffen. Dabei unterscheidet die TSI Energie zwischen Systemtrennstellen, die mit gehobenem oder mit abgesenktem Stromabnehmer befahren werden müssen. Beiden Arten ist gemeinsam, dass die Durchfahrt lastfrei und ab einer Geschwindigkeit von 160 km/h auch mit automatischer Ablaufsteuerung auf dem Fahrzeug erfolgen muss.

Konkrete Vorgaben für die Aufbau der Fahrleitung und die Anordnung der Stromabnehmer sind in den aktuellen Normen EN 50367 [4] und EN 50388 [5] formuliert.

So spezifiziert die EN 50367

- in Abschnitt 5.2.7 die grundlegenden Anforderungen an Schutzstrecken,
- in Tabelle 8 die bei bestimmten Geschwindigkeiten einzuhaltenden Mindestabstände zwischen Stromabnehmern und
- im Anhang A.1 Bedingungen für die Länge einer Schutzstrecke und die für eine Befahrung erforderlichen minimalen Stromabnehmerabstände (Bild 1).

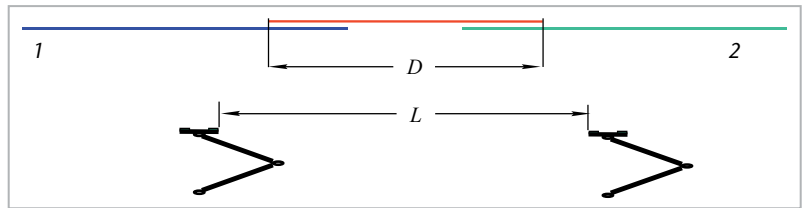


Bild 1:

Prinzip einer Schutzstrecke, es gilt die Bedingung $L > D$ (Grafik: Bild A.1 der EN 50367).

1 Phase/System 1

2 Phase/System 2

D Gesamtlänge der Schutzstrecke als Abstand zwischen benachbarten Systemen/Phasen

L Innerer Abstand zwischen zwei benachbarten Stromabnehmern

Während die EN 50367 nur allgemein Schutzstrecken benennt, unterscheidet die EN 50388 im Abschnitt 5.2 zwischen Phasen- und Systemtrennstellen. Jedoch sind die benannten Anforderungen nur geringfügig konkreter als in der TSI Energie.

3 Anforderungen an Aufbau und Anordnung

Prinzipiell können Systemtrennstellen in Systemwechselbahnhöfen oder auf der freien Strecke angeordnet werden.

Systemwechselbahnhöfe bieten den Vorteil, dass Züge ohne Systemwechsel und somit ohne Einfluss auf den Zugkraftverlauf ein- und ausfahren können. Der Wechsel wird dann bei stehendem Fahrzeug während des planmäßigen Halts durchgeführt, durch Umschalten sowohl des Versorgungssystems auf der Oberleitung als auch der Antriebsausrüstung auf dem Triebfahrzeug. Alle Gleise, die im Systemwechsel befahren werden, müssen deshalb eine technische Ausrüstung erhalten, die

- das spezifische Umschalten des Versorgungssystems erlaubt und
- für die höchste Systemspannung und den höchsten Fehlerstrom bemessen ist,
 - Fahrleitung inklusive Streckentrenner und Trennschalter sowie
 - Rückleitung inklusive Erdungssystem.

Für jede Ein-/Ausfahrtmöglichkeit muss eine Schutzstrecke vorgesehen werden, da nie vollständig sichergestellt werden kann, dass der Speiseabschnitt im Bahnhof vom selben System versorgt wird wie der in der jeweiligen Fahrtrichtung Folgende. Hohe Schalthäufigkeit der ortsfesten Einrichtung und eine vergleichsweise komplexe Fahrleitungsanlage mit vielen Schutzstrecken sind gegenüber dem Vorteil des Systemwechsels im Stillstand zu bewerten. In [6] sind beispielhaft eine Realisierung und die zu berücksichtigenden technischen Anforderungen beschrieben.

Systemtrennstellen auf der freien Strecke vermeiden die Umschaltungen der Energieversorgung. Sie benötigen jedoch Schalteinrichtungen

- zur Schutzabschaltung bei fehlerhafter Befahrung und
- bei langen Schutzstrecken, um die Ausfahrt von stehengebliebenen Fahrzeugen zu ermöglichen.

Bei der Festlegung von Aufbau und Länge sowie der Auswahl der Lage einer Systemtrennstelle sind folgende Zwangspunkte zu beachten:

- Mindestentfernung zu Betriebshalten, um die Befahrung der Systemtrennstelle mit ausreichender Geschwindigkeit zu ermöglichen
- Lage möglichst in der ebenen Strecke, um einen unbeabsichtigten Halt bei Bergfahrt zu vermeiden
- Abstand zu Sonderbauwerken wie Brücken und Tunneln, um die Störung von Passanten sowie Zwangshalte an unübersichtlichen Stellen zu vermeiden
- Abstand zu den Einspeisepunkten, hinsichtlich der Höhe von Kurzschlussströmen und deren Häufigkeit sowie durch Festlegung von Abhilfemaßnahmen bei zu geringen Abständen

Auf der Konferenz *acrps* 2015 wurde im Rahmen eines Vortrages [7] die einfache Realisierung einer Systemtrennstelle auf freier Strecke und großem Abstand von Zwangspunkten beschrieben.

Die betriebliche Umschaltung des Hauptstromkreises auf Triebfahrzeugen zur Anpassung an das jeweilige Versorgungssystem ist unabhängig von der Ausführung des Systemwechsels immer erforderlich. Der Ablauf ist durch den Infrastrukturmanager vorzugeben.

Bei der Festlegung der Konzeption und der Auswahl der Lage einer Systemtrennstelle, zum Beispiel im erweiterten Kreuzungsbereich von zwei Strecken, kann auch die Anzahl der unterschiedlichen Triebfahrzeugtypen sowie der unterschiedlichen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) die den einen oder den anderen Streckabschnitt nutzen ein Kriterium sein. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn der Ablauf nicht über eine automatische Zugbeeinflussung ausgelöst wird.

4 Systemtrennstellen in den Niederlanden

Systemtrennstellen zwischen DC 1500V und 1AC 25kV 50Hz werden in den Niederlanden als kurze Schutzstrecke ausgeführt. Bei räumlich nahen Zwangspunkten beträgt die kleinste Gesamtlänge 65m. Sie sind mit abgesenktem Stromabnehmer zu befahren. Für die Fahrleitung ergibt sich folgender Aufbau:

- Die durchgehende Hauptfahrleitung wird durch zwei Streckentrenner und einem neutralen Abschnitt von etwa 45m Länge elektrisch unterbrochen.
- Parallel zur Hauptfahrleitung wird ein als Erfassungsdraht bezeichneter Fahrdrat geführt. Der Erfassungsdraht besteht aus in Summe fünf Teilabschnitten. Jeweils am Anfang und Ende ist ein neutraler Abschnitt der zum Absenken des Erfassungsdrahtes auf Niveau der Hauptfahrleitung genutzt wird, dann folgt jeweils ein 10m langer Abschnitt, der mit der Rückleitung des AC- oder des DC-Systems verbunden ist. Parallel zum neutralen Abschnitt in der Hauptfahrleitung ist auch ein Abschnitt im Erfassungsdraht neutral ausgeführt.
- Die Abschnitte werden jeweils über befahrbare Streckentrenner getrennt, die eine isolierende Länge von 1,3m aufweisen.

Ein unbeabsichtigtes Befahren der Systemtrennstelle mit gehobenem Stromabnehmer führt zu einem direkten Verbinden der Fahrleitung mit der Rückleitung. Dies wird über eine Kurzschlusserkennung erfasst und führt zur Abschaltung der beiden Versorgungssysteme des betroffenen Richtungsgleises, um zu vermeiden, dass der weiterhin gehobene Stromabnehmer am Ende der Durchfahrung einen zweiten Kurzschluss erzeugt. Die lokal aufgebaute Kurzschlusserschaltung sorgt zwar für eine Unterscheidung einer fehlerhaften Fahrt von einer Oberleitungsstörung und ermöglicht so ein schnelles Wiederzuschalten, kann aber die Auswirkungen der Kurzschlüsse in den Netzen nicht verhindern.

5 Bahnenergieversorgungssituation in Zevenaar

In Zevenaar, einem Ort an der niederländischen Grenze zu Deutschland, teilt sich die von Oberhausen kommende Bahnstrecke in eine nach Arnheim führende Personenverkehrsstrecke und eine nach Rotterdam führende Güterverkehrsstrecke, die *Betuweroute*, auf. Seit dem Bau der *Betuweroute* Anfang diese Jahrtausends wird diese mit 2AC 50kV/25kV 50Hz versorgt. Der Streckenabschnitt von Zevenaar bis zur Grenze bei Emmerich wurde weiterhin mit

dem in den Niederlanden üblichen System DC 1500V versorgt.

Der grenzüberschreitende Personenverkehr beschränkte sich bisher auf die ICE-Linie Frankfurt – Amsterdam, dagegen wurde die *Betuweroute* als Teil der Magistrale Rotterdam – Genua von einer Vielzahl von Güterzügen mit verschiedenen Lokomotivbauarten und von mehreren EVU befahren. Aufgrund des Netzaufbaus befahren Güterzüge dabei zwei Systemtrennstellen, von 1AC 15kV 16,7Hz nach DC 1500V nahe der Grenze und von DC 1500V nach 1AC 25kV 50Hz bei der Einfahrt in die *Betuweroute*.

6 Systemtrennung in Zevenaar

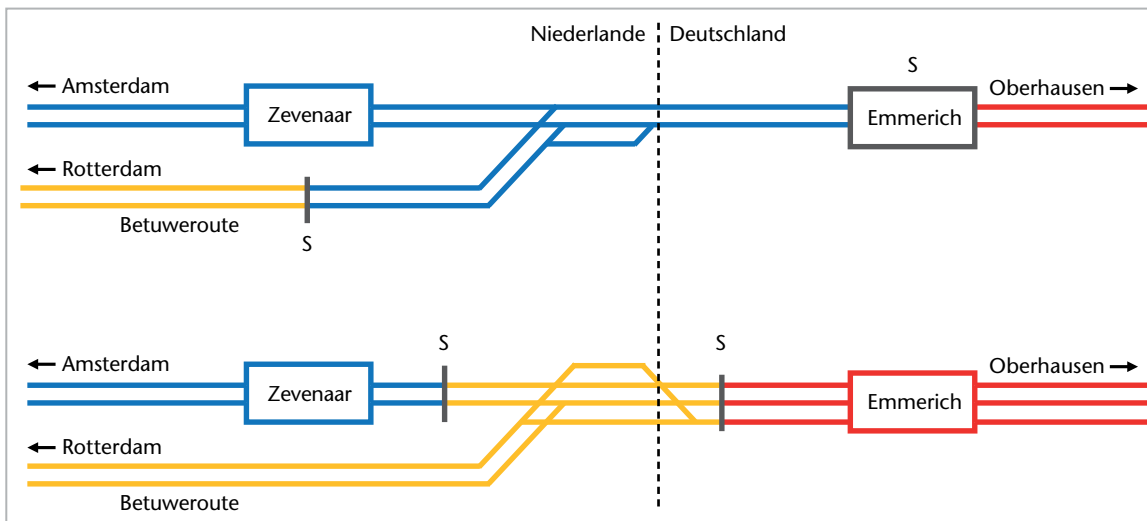
6.1 Stand vor der Erneuerung

Die bisherige Systemtrennstelle Zevenaar hatte einen Abstand von etwa 2km zum nächsten AC-Unterwerk dem OS Zevenaar. Dies führt bei einer fehlerhaften Befahrung aus dem mit 25kV versorgten Bereich direkt zu hohen Kurzschlussströmen von über 12kA mit entsprechender Belastung der elektrischen Ausrüstung sowie von der Umgebung wahrnehmbaren Lichtbögen und Knallgeräuschen. Gleichzeitig hatte dies auch unzulässig hohe Spannungseinbrüche im speisenden 150-kV-Netz des Energieversorgers *TenneT* zur Folge.

Die *Betuweroute* als Güterstrecke wird von mehreren EVU mit unterschiedlichen Triebfahrzeugen benutzt. Die Systemtrennstelle wurde durch Signale angezeigt, der Hauptschalter musste durch den Triebfahrzeugführer geöffnet und der Stromabnehmer abgesenkt werden, eine automatisierte Befahrung war nicht gegeben. Dementsprechend kam es zu häufigeren Kurzschlussauslösungen. Spannungseinbrüche durch Unaufmerksamkeiten sind, anders als durch Oberleitungsstörungen, mit Sicherheit keine betrieblich unausweichlichen Ereignisse. Dies führt zu der Entscheidung, das Unterwerk OS Zevenaar in Verbindung mit dem bisherigen Aufbau einer Systemtrennstelle für die Energieversorgung der *Betuweroute* zu sperren.

6.2 Erneuerungsvorhaben

Zur Leistungssteigerung der *Betuweroute* stellte der Betreiber des niederländischen Bahnnetzes *ProRail* die Speisung des Streckenabschnitts von Zevenaar/NL nach Emmerich/DE Mitte 2016 von DC 1500V auf 1AC 25kV 50Hz um. Dieser Wechsel bedingte auch eine Verlegung der bisherigen Systemtrennstelle von der Güterstrecke in die Personenverkehrsstrecke (Bild 2).

**Bild 2:**

Prinzipieller Streckenplan zwischen Zevenaar/NL und Emmerich/DE
(Bilder 2 bis 4, 6 und 7: RPS).

oben Ist-Zustand

unten Soll-Zustand; Lage der Systemtrennstelle bereits realisiert, 3-gleisiger Ausbau auf deutscher Seite geplant

S Systemtrennstelle

Bahnenergieversorgung

blau DC 1 500 V

rot 1 AC 15 kV 16,7 Hz

gelb 1 AC 25 kV 50 Hz

Neben dem bisherigen Verkehr auf der Güterstrecke und dem Personenfernverkehr verbindet seit Dezember 2016 die Regionalbahnlinie RB35 Arnhem/NL mit Düsseldorf/DE, mit den grenznahen Halten Zevenaar und Emmerich.

Bei der Auswahl des Standortes für die neue Systemtrennstelle ergaben sich aus dem Bahnbetrieb somit die wesentlichen Zwangspunkte

- ausreichender Abstand zum Bahnhof Zevenaar,
 - um den inländischen Verkehr nicht zu beeinflussen und
 - um eine angemessene Geschwindigkeit der ausfahrenden Züge im grenzüberschreitenden Verkehr zu ermöglichen,
- ausreichend Abstand zum Kreuzungsbereich mit der *Betuweroute*, um den Verkehr der *Betuweroute* möglichst wenig durch Zwangsabschaltungen der Systemtrennstelle zu behindern.

Der gefundene Standort befindet sich ungefähr 800 m vom Bahnhof entfernt. Er ermöglicht die Beschleunigung auf eine ausreichend hohe Geschwindigkeit, um die Systemtrennstelle rollend mit abgesenktem Stromabnehmer sicher zu passieren. Jedoch liegt er mit etwa 200 m Entfernung sehr nahe an der ersten Schienenkreuzung, so dass die Länge des Speiseabschnitts 1912 nicht ausreicht, um den sicheren Betrieb mit allen Triebfahrzeugkonfigurationen und Fahrtrichtungen zu ermöglichen. Insbesondere eine Befahrung des Südgleises von Ost nach West mit einem ICE2 könnte im Fehlerfall zu einer Lastverschleppung über die Oberleitung vom Speiseabschnitt 1053 in den bereits abgeschalteten Speiseabschnitt 1912

führen. Im Sinne eines sicheren Betriebs wurde somit die Entscheidung getroffen, dass bei einer fehlerhaften Befahrung des Südgleises sowohl der spezifische Speiseabschnitt 1912 als auch der den Kreuzungsbereich überspannende und damit für den Betrieb der *Betuweroute* unabdingbare Abschnitt 1053 mit abgeschaltet werden. Der Einfluss auf den Betrieb der *Betuweroute* wird als vernachlässigbar eingestuft, da die Herstellung einer Fahrstraße ähnlich lange dauert, wie die Wiedereinschaltung der Energieversorgung nach einer fehlerhaften Befahrung der Systemtrennstelle.

6.3 Realisierung

Die bisher vom Kunden für Systemtrennstellen vorgegebene Kurzschluss-Erkennungsmethode hat zur Folge, dass die Umgebung bei fehlerhafter Befahrung durch Knallgeräusche und Lichtbögen gestört wird sowie die Spannung im speisenden 150-kV-Drehstromnetz bei einem geringen Abstand zum Unterwerk unzulässig weit einbricht.

Im Zusammenhang mit der örtlichen Planung der Systemtrennstelle und auf Basis der betrieblichen Erfahrungen und Einschränkungen wurde auch das Funktionsprinzip neu festgelegt. So wird der bisherige Aufbau, bestehend aus den bahngeordneten Bereichen und der neutralen Zone am Anfang und am Ende der Systemtrennstelle, jeweils um eine 10 m lange Spannungserfassungszone erweitert. Um die Gesamtlänge der Systemtrennstelle nicht zu verändern, verkürzt sich hierdurch die Länge der Neutralen Zone auf unter 20 m.

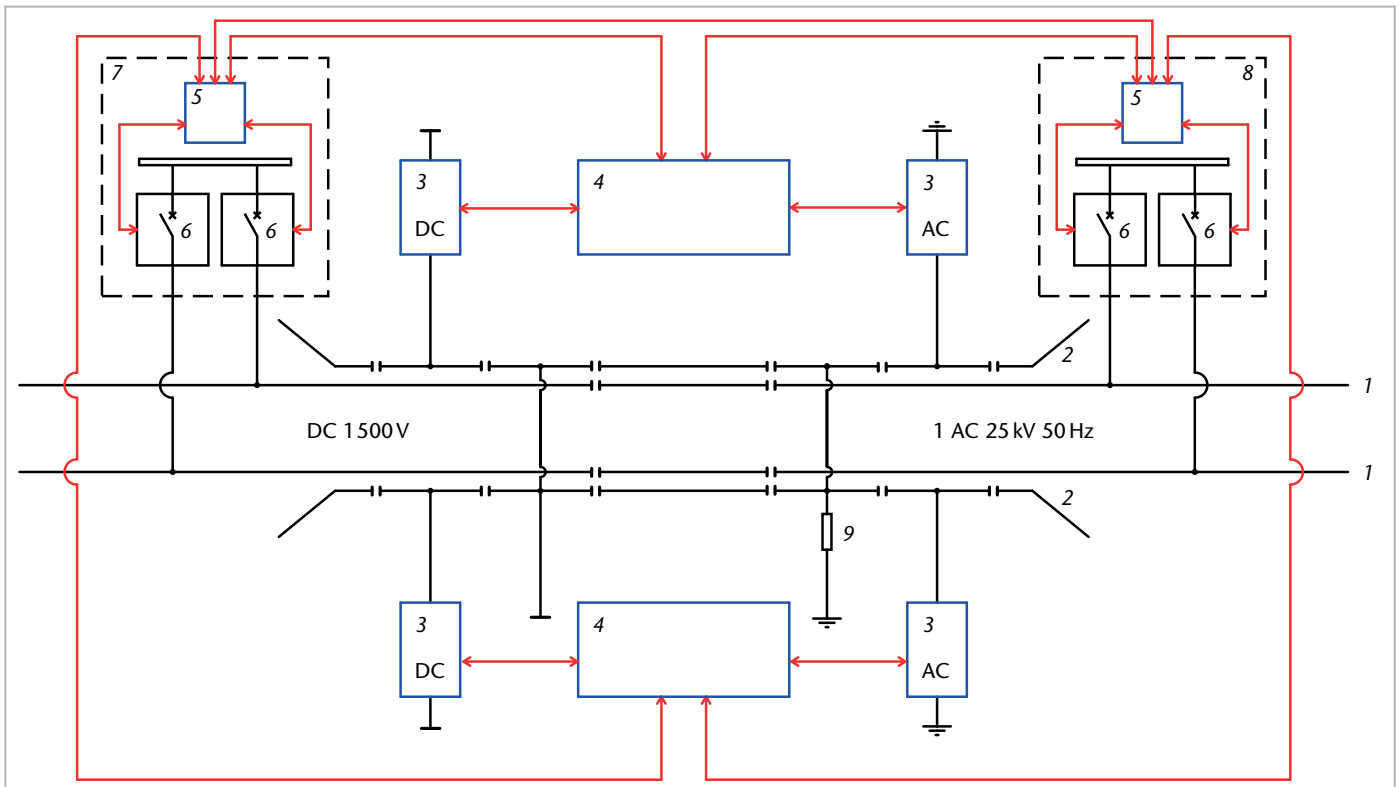


Bild 3:

Aufbau der Überwachungseinrichtung.
 schwarz Primärkreise
 blau Mess- und Steuerschränke
 rot Kommunikationsanbindungen

- | | |
|--|---|
| 1 Hauptfahrleitung mit den Abschnitten AC/Neutral/DC | 6 Leistungsschalter beziehungsweise Gleichstrom-schnellschalter |
| 2 Erfassungsdraht, in fünf Abschnitte unterteilt | 7 Unterwerk DC 1500V |
| 3 Spannungsmessung | 8 Unterwerk 1 AC 25 kV 50 Hz |
| 4 Erfassungsschrank | 9 Fehlerstrombegrenzung |
| 5 Steuerschrank, Schnittstelle zum Unterwerk | |

Durch die vorgelagerten Spannungserfassungszonen werden nun fehlerhafte Durchfahrten erfasst und die Leistungsschalter in den Unterwerken geöffnet, bevor der Stromabnehmer in die Kurzschlusszone einfährt. Diese an die jeweilige Rückleitung angeschlossenen Bereiche bleiben jedoch als Backup-Ebene erhalten, um auch bei ausgeschalteter Spannungserfassung die Überbrückung der Versorgungssysteme sicher zu verhindern. Die Kurzschlussströme werden durch den Schutz des jeweiligen Leistungsschalters erfasst.

7 Arbeitsprinzip und Aufbau

Die Rail Power Systems GmbH (RPS) hatte unter der Firmierung Balfour Beatty Rail GmbH Power Systems zusammen mit Nuon, heute Liandon, bereits die Unterwerke, Autotransformator-Stationen und Systemtrennstellen der *Betuweroute* in der Zeit von 2003 bis 2006 errichtet. RPS erhielt im Sommer 2015 den Auftrag, die Überwachungseinrichtung für die Systemtrennstelle zu entwickeln und zu errichten.

Wesentliche Teilschritte waren:

- Konzeption der Erfassung und Übertragung, unter Berücksichtigung
 - der Länge des Erfassungsabschnitts
 - der Befahrungsgeschwindigkeit
 - einer verspäteten Erfassung zum Beispiel durch Springen eines Stromabnehmers
 - der Abschaltzeiten der zugeordneten Leistungsschalter
- Auslegung der Spannungserfassung, insbesondere hinsichtlich möglicher kapazitiver und resistiver Beeinflussung
- Geräteauswahl und Aufbau der Steuerschränke
- Systemprüfung der Erfassungseinrichtung inklusive Erfassungsempfindlichkeit, Auslöseschwelle und Auslösegeschwindigkeit
- Funktionsprüfung der Anlage vor Ort
- Begleitung der Systemintegration einschließlich der Zugfahrten

Der Aufbau der realisierten Überwachungseinrichtung ist in Bild 3 dargestellt. Die Länge von 10 m für die Spannungserfassungsabschnitte in Verbindung mit der maximalen Befahrungsgeschwindigkeit in Höhe von 130 km/h führt unter Berücksichtigung

aller Toleranzen zu einer ungünstigsten Zeit von 250ms in der Erfassung und Auslösung abgeschlossen sein müssen. Reduziert man diese noch um die Abschaltzeiten in den Unterwerken und den möglichen Zeitverlust durch verzögerte Spannungsübertragung vom Stromabnehmer auf den Erfassungsdraht, so stehen für das System aus

- Spannungserfassung an der Systemtrennstelle,
- Auswertung des Spannungsverlaufs sowie
- Übertragung und Bereitstellung des Auslösesignals im Unterwerk

nur 100 ms zur Verfügung – nicht wenig, aber in Anbetracht von 10ms Eigenzeit eines typischen Hilfsrelais auch nicht wirklich viel. Die Geräte und der örtlich verteilte Schaltungsaufbau wurden somit unter besonderer Berücksichtigung der Durchlaufzeit ausgewählt und entwickelt.

AC-seitig werden Spannungswandler und DC-seitig Trennverstärker für die Spannungserfassung verwendet. Die an die jeweilige Spannungserfassung angeschlossenen Fahrleitungsabschnitte werden durch mehrere Isolatoren begrenzt, sie verlaufen vielfach parallel zu betrieblich unter Spannung stehenden Abschnitten. Für den Nachweis des langfristig sicheren Betriebs wurden Systemanalysen durchgeführt. Sie zeigten, dass zusätzliche Beschaltungen an den Wandlern erforderlich sind. Hinsichtlich kurzer Primärverbindungen und erforderlichem Personenschutz wurden Wandler und Schutzbeschaltung auf den Mast der Querüberspannung in einer Höhe von über 4 m und somit weit außerhalb der Reichweite von Personen montiert.

Je Fahrtrichtung steht ein Erfassungsschrank am Gleis (Bild 4). Dort werden die sekundären Messsignale von bahnspezifischen AC- und DC-Schutzgeräten ausgewertet, die Auslösesignale sind direkt auf schnelle Übertragungsbaugruppen verdrahtet. Eine zusätzliche SPS übernimmt die Steuerung der Sperr- und Quittiersignale, ebenso erfasst sie detaillierte Informationen zum Betriebszustand und stellt diese den Leitstellen zum Betrieb der Energieversorgungsnetze bereit. Die Kommunikation jedes Erfassungsschranks zu den beiden Unterwerken wird sowohl über „schnelle“ als auch „langsame“ LWL-Verbindungen realisiert. Die schnellen Verbindungen dienen der direkten Übertragung der Auslöse-, Quittier- und Bereitschaftssignale, während die langsame Verbindung den detaillierten Status zwischen den Stationen auf Basis des Protokolls nach IEC 60870-5-104 [8] überträgt.

Zusätzlich zu der direkten Übertragung eines Auslösebefehls von den Erfassungsschränken am Gleis zu den beiden Unterwerken wurde zur Erhöhung der Betriebsverfügbarkeit ein indirekter Übertragungsweg aufgebaut. Dieser verläuft zwischen den Unterwerken und leitet empfangene Auslösebefehle jeweils direkt weiter, so wird zum Beispiel

ein im AC-Unterwerk für das Nordgleis empfangenes Auslösesignal an das DC-Unterwerk gesendet. Durch direkte und indirekte Übertragungswege ergibt sich für die Auslöse- und die Bereitschaftssignale eine 2-aus-3-Redundanz.

In jedem Unterwerk ist ein Steuerschrank installiert, der die Schnittstelle zwischen den gleisseitigen Erfassungsschränken und den streckenbezogenen Leistungsschaltern bildet. Die über die schnellen LWL-Verbindungen empfangenen Auslösesignale werden direkt auf potentialfreie Klemmen gelegt und auf die Auslösekreise der Leistungsschalter gegeben. Die Auslösesignale werden intern bis zur Quittierung gehalten. Ebenso stellen die Steuerschränke die Verbindung zum jeweils anderen Unterwerk und die Schnittstelle zu den Leitzentralen bereit.

Entsprechend dem Betriebskonzept führt eine Befahrung der Systemtrennstelle mit gehobenem Stromabnehmer zur Abschaltung der Energieversorgung des betroffenen Gleises von beiden Seiten, jedoch ohne Beeinflussung des Gegengleises. Eine Wiederzuschaltung bleibt solange gesperrt, bis die verantwortliche Betriebszentrale den Zustand quittiert, bei einer AC-Spannungserfassung geschieht dies durch die für das Netz AC-25-kV verantwortliche Zentralschaltstelle in Utrecht, und bei einer DC-Erfassung durch die für das Netz DC-1 500-V verantwortliche Zentralschaltstelle ebenfalls in Utrecht. Abschaltungen durch fehlerhafte Befahrung können somit anders als reale Fahrleitungsstörungen behandelt werden. Die Fahrleitungsabschnitte werden erst dann wieder zugeschaltet, wenn alle Ursachen beseitigt sind.

Insgesamt ergibt sich mit dem Ziel einer hohen Funktionssicherheit bei gleichzeitig hoher Betriebsverfügbarkeit eine recht komplexe Struktur aus Auslösebefehlen, Bereitschafts- und Quittier-Signalen.



Bild 4:
Gleisseitiger Erfassungsschrank.



Bild 5: Erreichen der Kurzschlusszone bei der Befahrung der Systemtrennstelle mit deaktivierter Spannungserfassung (Foto: ProRail).

8 Prüfung und Erprobung

Nach der Fertigung und Werksprüfung der einzelnen Schränke und Geräte wurden sie für eine Systemprüfung im Labor aufgebaut und elektrisch verbunden. Im Rahmen dieser Prüfung wurden der

korrekte Ablauf, die Erfassungsempfindlichkeit und die Systemzeit ermittelt. Bereits hier zeigte sich, dass die Systemzeit auch bei Anregesignalen nahe der Auslöseschwellen und bei Nutzung des indirekten Übertragungsweges deutlich unter der gesetzten Zeitgrenze von 100 ms blieb.

Die Anlage wurde von ProRail errichtet und von RPS durch Montageinspektion, Schrank- und Systemfunktionsprüfung schrittweise in Betrieb genommen. Ende Juni 2016 erfolgte die Meldung der Bereitschaft für die scharfe Prüfung in Verbindung mit Zugfahrten.

Die von ProRail geführten Systemversuche sahen Zugfahrten aus den beiden Versorgungsbereichen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und unterschiedlichen Fehlerszenarien vor. Für das zuerst betriebsbereite Südgleis wurden die Systemversuche Ende Juli 2016 unter Vollsperrung der Strecke für den regulären Zugverkehr durchgeführt.

Für jede Fahrtrichtung und jedes Fehlerszenario wurde zuerst eine Fahrt mit niedriger Geschwindigkeit in Höhe von 40 km/h oder 60 km/h gefolgt von einer mit der entsprechend der Gleissperrung maximal möglichen Geschwindigkeit von 100 km/h durchgeführt. Die untersuchten Szenarien waren

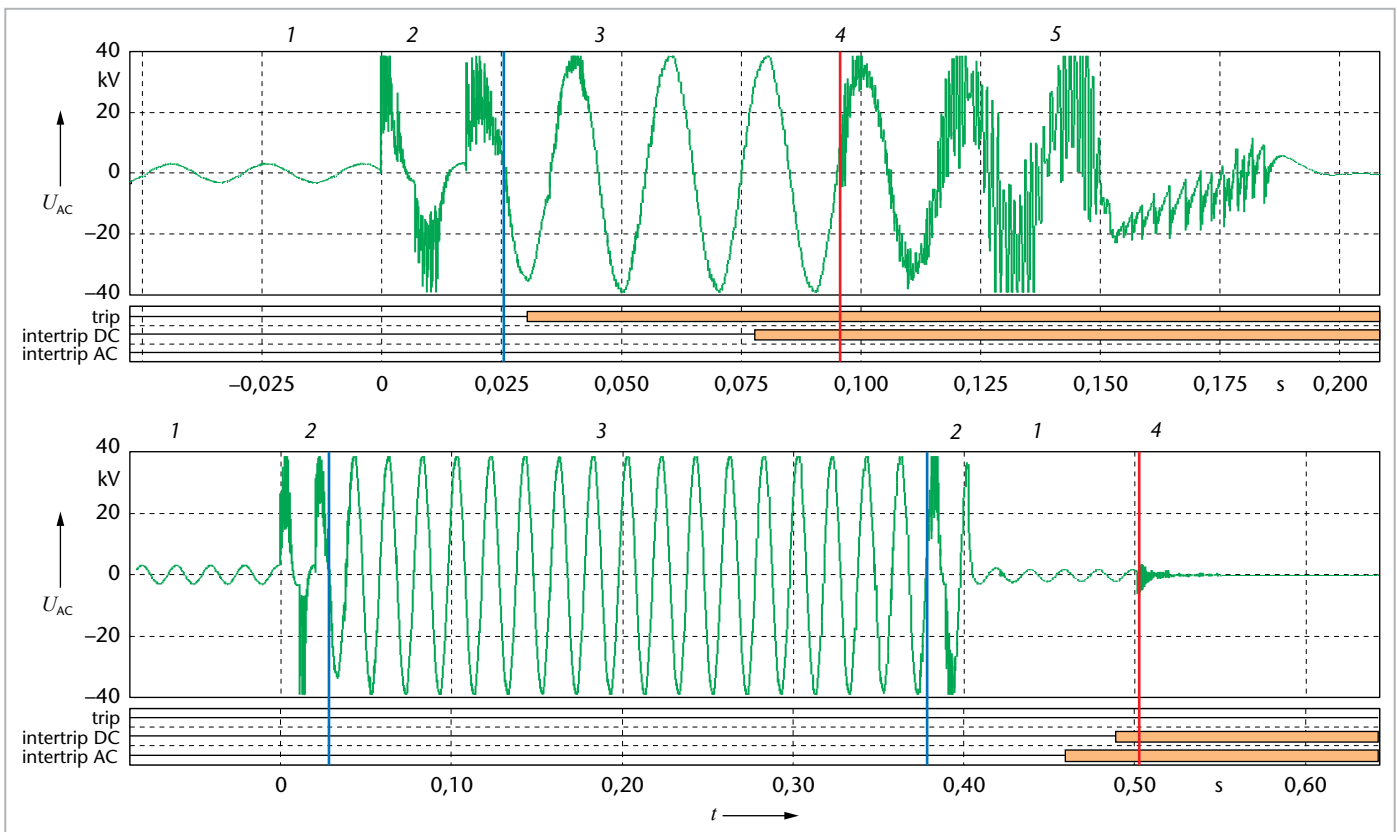


Bild 6: Befahrung der Systemtrennstelle mit 100 km/h von AC kommend.

oben mit aktiver Spannungserfassung
unten mit deaktivierter Spannungserfassung

- 1 Spannungsbeeinflussung
- 2 Befahrung des Streckentrenners
- 3 Befahrung der Spannungserfassungszone
- 4 Abschaltung der Versorgung
- 5 Nachtakten des Fahrzeugstromrichters

trip von der Spannungserfassung erzeugtes Auslösesignal
intertrip DC Mitnahmesignal vom DC-Unterwerk,
intertrip AC Mitnahmesignal vom AC-Unterwerk

- vorgeschriebener Betriebsmodus mit abgesenktem Stromabnehmer und
- die Fehlerfälle
 - Stromabnehmer nicht gesenkt,
 - zusätzlich Hauptschalter ein,
 - zusätzlich Hauptfunktion „Spannungserkennung“ abgeschaltet.

Da das System bisher nicht praktisch erprobt war, fuhren die Versuchszüge nur mit der Systemspannung des Kettenwerkes, aus dem sie in die Systemtrennstelle einfuhren. Das jeweils in Fahrtrichtung folgende Kettenwerk war neutral.

Für die Überwachung der Systemtests war eine erweiterte Messwerterfassung und -übertragung in den gleiseitigen Erfassungsschranken eingebaut, die aus dem AC-Unterwerk ferngesteuert werden konnte. Hierdurch ergab sich die Möglichkeit, die Verläufe der AC- und DC-Spannungen sowie die zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Auslösesignale zu verfolgen.

Die Befahrung der Systemtrennstelle im vorgeschriebenen Betriebsmodus mit abgesenktem Stromabnehmer führte wie erwartet in keinem Fall zu einer Reaktion. Ebenso reagierte das System in jedem der Fehlerszenarien so wie erwartet,

- bei eingeschalteter Spannungsüberwachung, mit einer Abschaltung vor Erreichen der Kurzschlusszone, und
- bei deaktivierter Spannungsüberwachung, über die Backup-Funktion durch das Schutzsystem im speisenden Unterwerk und Mitnahme des Anderen; Bild 5 zeigt die Auswirkungen einer solchen unerwünschten Überfahrt.

Bild 6 zeigt beispielhaft die aufgenommenen Spannungsverläufe am Erfassungsdraht im AC-Abschnitt. Bei der vertiefenden Analyse der Messergebnisse konnte eine Vielzahl von Details erkannt werden, so

- wurde die AC-seitige Spannungserfassung bereits während der Befahrung des vorgelagerten Streckentrenners erfasst,
- dauert die Abschaltung kleiner DC-Betriebsströme erwartungsgemäß länger als 200 ms, das Verlöschen der Lichtbögen im geöffneten Gleichstromschnellschalter erfolgt unmittelbar mit Erreichen der Kurzschlusszone,
- lässt sich, insbesondere im AC-System, das Abschalten des Fahrstroms sowie das Nachtakten des Fahrzeugstromrichters leicht ablesen,
- konnten Spannungsunterbrüche durch springende Stromabnehmer nur bei der DC-Erfassung beobachtet werden, sie dauerten maximal 10 ms und hatten keinen erkennbaren Einfluss auf das Systemverhalten,
- ließ sich die Befahrungsgeschwindigkeit aus dem Signalverlauf mit Hilfe der Länge des Streckentrenners oder des Spannungserfassungsabschnitts mit einer Abweichung ± 2 km/h nachvollziehen.

Das mit Abstand wesentlichste Ergebnis war jedoch, dass das Erfassungssystem in jedem Versuch zuverlässig und mit höherer Geschwindigkeit reagierte, als in der Aufgabenstellung gefordert. Die typische Systemzeit bei einer DC-Spannungserfassung betrug 35 ms und bei einer AC-Spannungserfassung knapp 60 ms, jedoch nie länger als 70 ms.

Nach den erfolgreichen Versuchsfahrten aus beiden Richtungen und mit allen Fehlerszenarien wurde die abschließende Fahrt mit 100 km/h und gehobenem Stromabnehmer aus dem DC-System durchgeführt. Bild 7 zeigt diese Messung.

Die Auswertung der Versuche zeigte ebenso, dass bereits im Neubauzustand der Erfassungsdraht erkennbar beeinflusst wird. So wurde zum Beispiel auf der AC-Seite eine Beeinflussungsspannung in Höhe von 7% der Nennspannung gemessen. Dies be-

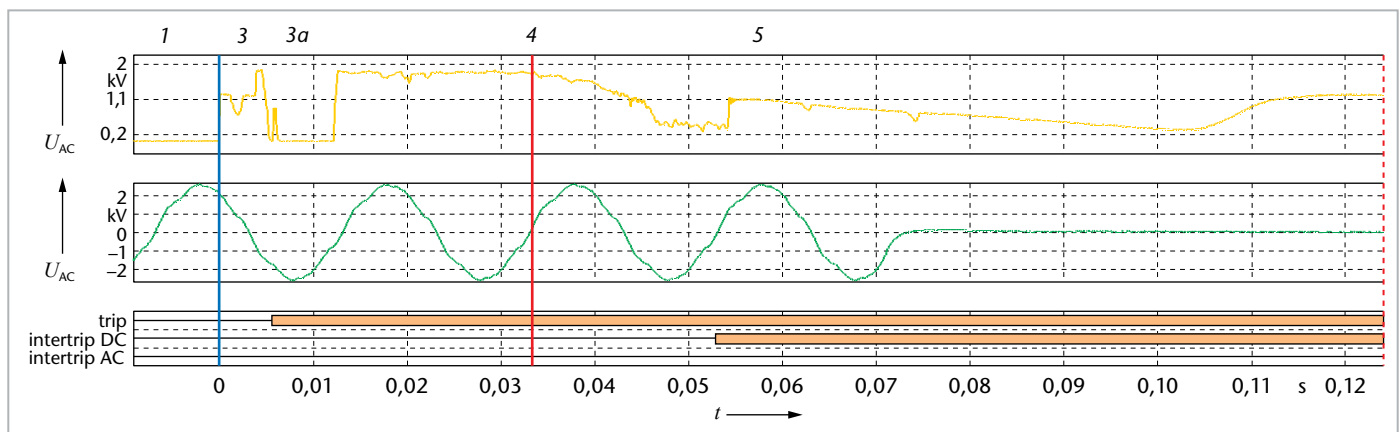


Bild 7:

Befahrung der Systemtrennstelle mit 100 km/h von DC kommend, abschließende Versuchsfahrt mit beiden Versorgungssystemen spannungsführend.

1, 4, 5, trip, intertrip DC, intertrip AC siehe Legende Bild 6

3a Kontaktunterbrechung

stätigte die Ergebnisse der Systemanalysen und die Notwendigkeit der realisierten Beschaltung.

9 Ausblick

Nach planmäßiger und erfolgreicher Inbetriebnahme des Südgleises im Juli 2016 und des Nordgleises im Oktober 2016 steht eine leistungsfähige und sichere Energieversorgung für den transnationalen Schienenverkehr zwischen den Niederlanden und Deutschland zur Verfügung.

Mit einer kleineren Anpassung der AC- und/oder DC-seitigen Spannungserfassung an die Bahnenergieversorgungssysteme 1 AC 15 kV 16,7 Hz und DC 3000 V kann das Konzept einer Systemtrennstelle auf Basis einer kurzen Schutzstrecke mit Spannungserfassung den grenz- und systemüberschreitenden Bahnverkehr und somit das weitere Zusammenwachsen Europas unterstützen.

Literatur

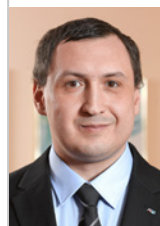
- [1] ProRail: OVS00054 vom 01-05-2014 – Ontwerpvoorschrift Spanningslus 25 kV – 1 500 V.
- [2] Verordnung (EU) Nr. 1301/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union. In: Amtsblatt der Europäischen Union L356 vom 12.12.2014, S. 179–227.
- [3] Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union. In: Amtsblatt der Europäischen Union L356 vom 12.12.2014, S. 228–393.
- [4] EN 50367:2012 + AC:2013 + A1:2016: Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Zugang.
- [5] EN 50388:2012 + AC:2012: Bahnanwendungen – Bahnenergieversorgung und Fahrzeuge – Technische Kriterien für die Koordination zwischen Anlagen der Bahnenergieversorgung und Fahrzeugen zum Erreichen der Interoperabilität.
- [6] Keseljevic, Ch.; Courtois, Ch.; Aeberhard, M.: System conversion from DC 1,5 kV to AC 25 kV 50 Hz. In Elektrische Bahnen 113 (2015), H. 6-7, S. 313–321.
- [7] Mölke, U.; von Oppenkowski, F.: Systemtrennstellen – Theorie und Praxis am Beispiel Systemtrennstelle Horka. Vortrag auf acrps 2015, Leipzig.
- [8] IEC 60870-5-104:2006: Fernwirkleinrichtungen und -systeme – Teil 5-104: Übertragungsprotokolle – Zugriff für IEC 60870-5-101 auf Netze mit genormten Transportprofilen.

AUTORENDATEN



Dipl.-Ing. Jens Northe (54), Studium der Elektrischen Energietechnik an der TU Darmstadt; seit 1989 bei Rail Power Systems GmbH beziehungsweise deren Rechtsvorgängern ABB, Adtranz, Balfour Beatty Rail; diverse Aufgaben und Funktionen im Bereich Bahnenergieversorgung; seit 2015 Senior Experte Bahnenergieversorgung in der Abteilung Systemdesign.

Adresse: Rail Power Systems GmbH, Abteilung Systemdesign, Frankfurter Str. 111, 63067 Offenbach, Deutschland; Fon: +49 69 30859-535, Fax: -450; E-Mail: jens.northe@rail-ps.com



Dr.-Ing. Andriy Zynovchenko (38), Studium Industrielle Energieversorgungssysteme an der Priasower staatlichen technischen Universität in Mariupol, Ukraine; 2003 bis 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter, anschließend Promotion an der Universität Ulm; seit 2006 Systemingenieur in der Abteilung Systemdesign bei Rail Power Systems GmbH (bis 2015: Balfour Beatty Rail GmbH).

Adresse: wie oben; Fon: +49 69 30859-384, Fax: -450; E-Mail: andriy.zynovchenko@rail-ps.com



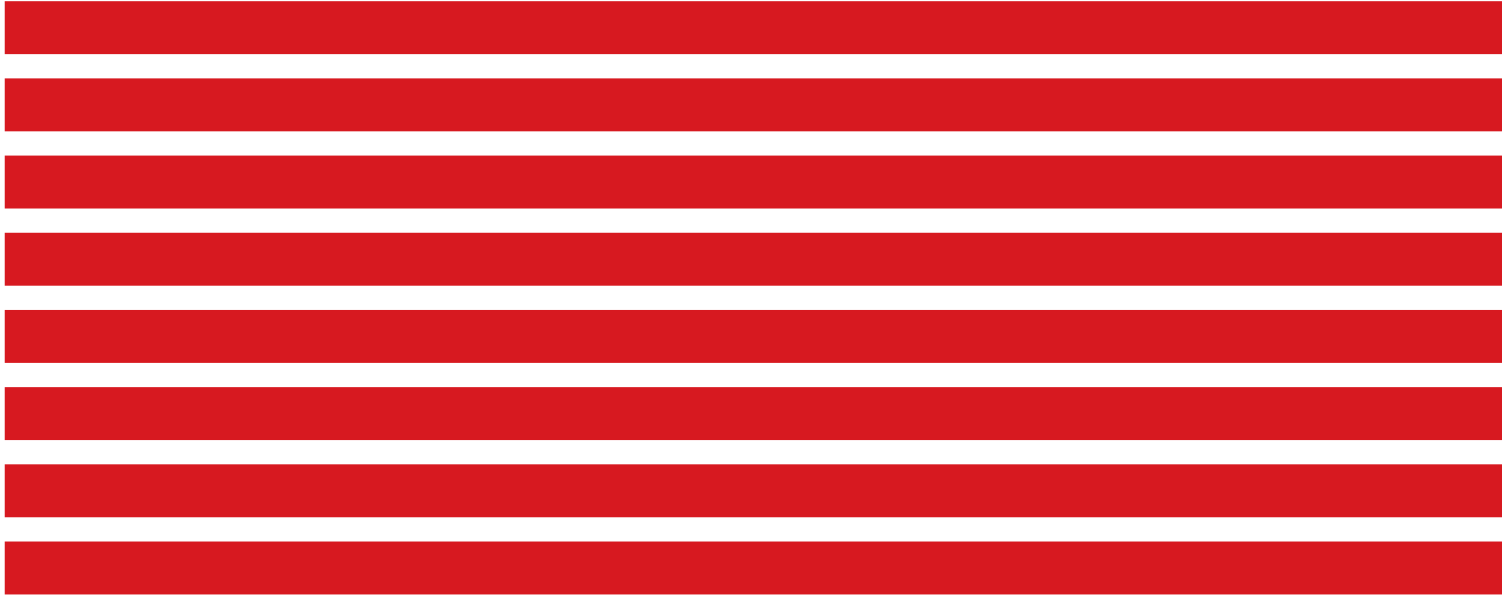
Richard Rieksen (60), Studium der Energietechnik und Elektronik an der Dutch Technical School; seit 1986 bei KEMA als Testingenieur (bis 1990), dann bei KEMA/DNV GL Energy Advisory als Consultant und Rail System Engineer für ProRail.

Adresse: DNV GL, Department Substations, Utrechtseweg 310, 6812AR, Arnhem, Niederlande; Fon: +31 26 3566080; E-Mail: richard.rieksen@dnvgl.com



Ing. Jeroen Vonk (46), 1997 bis 2010 Senior Project engineer Traction Energy Systems, Movares Nederland B.V.; seit 2010 Rail System Engineer, ProRail B.V.

Adresse: ProRail, Department Projects, HGB IV (De Inktpot), Moreelsepark 3, 3511EP, Utrecht, Niederlande; Fon: +31 6 31792682; E-Mail: jeroen.vonk@prorail.nl



© 2017. Alle Rechte sind der Rail Power Systems GmbH vorbehalten.

Die in diesem Dokument angegebenen Spezifikationen betreffen gängige Anwendungsbeispiele. Sie bilden nicht die Leistungsgrenzen ab. Im konkreten Anwendungsfall können daher abweichende Spezifikationen erreicht werden. Maßgeblich sind allein die im jeweiligen Angebot formulierten oder vertraglich vereinbarten Spezifikationen. Technische Änderungen bleiben vorbehalten. TracFeed® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Rail Power Systems GmbH.