

Hauptbeiträge

Seite

Geleitwort

Schaltungsaufbau der 16,7-Hz-Oberleitungsnetze in Europa	151
--	-----

AC-Bahnenergieversorgung

St. Ebhart, M. Ruch, W. Hunger

 Schaltungsaufbau im 16,7-Hz-Oberleitungsnetz bei DB Netz	152
<i>Circuitry of 16,7 Hz overhead contact line network at DB Netz</i>	
<i>Connexions électriques de réseau caténaire à 16,7 Hz de DB Netz</i>	

E. Basler

 Schaltungsaufbau im 16,7-Hz-Oberleitungsnetz der SBB	164
<i>Circuitry of 16,7 Hz overhead contact line network at SBB</i>	
<i>Connexions électriques de réseau caténaire à 16,7 Hz des CFF</i>	

G. Punz

 Schaltungsaufbau im 16 2/3-Hz-Oberleitungsnetz der ÖBB	174
<i>Circuitry of 16 2/3 Hz overhead contact line network at ÖBB</i>	
<i>Connexions électriques de réseau caténaire à 16 2/3 Hz des ÖBB</i>	

A. Bülund, P. Deutschmann, B. Lindahl

 Schaltungsaufbau im Oberleitungsnetz der schwedischen Eisenbahn Banverket	184
<i>Circuitry of overhead contact line network at swedish railway Banverket</i>	
<i>Connexions électriques de réseau caténaire de chemin de fer suédois Banverket</i>	

F. Johnsen, M. Nyebak

 Schaltungsaufbau im Oberleitungsnetz der norwegischen Eisenbahn Jernbaneverket	195
<i>Circuitry of overhead contact line network at norwegian railway Jernbaneverket</i>	
<i>Connexions électriques de réseau caténaire de chemin de fer norvégiens Jernbaneverket</i>	

Journal

Bahnen · Railways · Chemins de fer	201
Unternehmen · Companies · Sociétés	202
Produkte · Products · Produits	202
Medien · Media · Média	204
Historie · History · Histoire	204
Termine · Dates · Dates	207

Schaltungsaufbau im 16,7-Hz-Oberleitungsnetz bei DB Netz

Stefan Ebhart, Marcus Ruch, Frankfurt am Main, Wolfgang Hunger, Dresden

Für die mit AC 15 kV 16,7 Hz gespeisten Oberleitungen in Deutschland sind im Laufe der Zeit verschiedene Grundschaltungsvarianten entstanden. Für zweigleisige Strecken wurde aus der ursprünglichen Richtungsspeisung mit zunehmender Belastung die Querschaltung entwickelt. Auf die zunächst noch erforderlichen Kuppelstellen zwischen den speisenden Unterwerken kann heute aufgrund der weiter entwickelten Schutztechnik und der kürzeren Unterwerksabstände weitgehend verzichtet werden. Noch bestehende Richtungsspeisungen im Gebiet der früheren Deutschen Reichsbahn werden sukzessive in Querschaltung umgebaut.

Circuitry of 16,7 Hz overhead contact line network at DB Netz

For the overhead contact lines which are fed by AC 15 kV 16,7 Hz different modes of basic circuitries have grown up in course of time in Germany. For double-track lines cross-connection has been developed out of the original direction feeding due to increasing load. Today the switching stations between feeding substation, which originally were necessary, no longer are needed because of modern protection technics and shorter distances between substations. Still existing direction feedings in territory of the former Deutsche Reichsbahn are transformed gradually into cross-connections.

Connexions électriques de réseau caténaire à 16,7 Hz de DB Netz

En Allemagne, les caténaires alimentées en c. a. 15 kV 16,7 Hz ont vu leur découpage évoluer au fil du temps. Pour les lignes à double voie, l'alimentation à l'origine était fonction du sens de circulation. L'évolution des charges a fait évoluer ce schéma vers des raccordements transversaux. Les postes de mise en parallèle entre les sous-stations deviennent aujourd'hui superflus par le fait de l'évolution des techniques de protection et de la réduction des distances entre les sous-stations. Le principe de l'alimentation lié au sens de circulation encore en service sur l'ex réseau de la Deutsche Reichsbahn est successivement transformé en raccordement de type transversal.

1 Einführung

In Deutschland begann der planmäßige elektrische Vollbahnbetrieb zwischen 1910 und 1930 auf vier Inselnetzen [1]. Dabei wurde einheitlich die Fahrleitungsspannung 1 AC 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz verwendet [2]. Heute sind von dem insgesamt rund 36 000 km langen Streckennetz der Deutschen Bahn fast genau 19 000 km mit Oberleitung (Ol) elektrifiziert (Bilder 4 und 5 in [3]).

Dieses Streckennetz wird auf zweierlei Weise versorgt (Bild 10 in [3]). Der überwiegende Teil wird zentral aus dem 110-kV-Bahnstromnetz der DB Energie gespeist. Diese zentrale Bahnstromerzeugung fährt eine eigene Frequenz mit dem Nennwert 16,7 Hz und einer gewissen Regelbandbreite. Deshalb müssen die zwischen 50-Hz-Drehstromlandesnetz und 110-kV-Bahnstromnetz und daraus versorgtem 15-kV-Ol-Netz betriebenen Umformerwerke (Ufw) und Umrichterwerke (Urw) frequenzelastisch arbeiten. In den neuen Bundesländern werden auf Grund der Entwicklung nach 1945 größere Streckenbereiche

noch über dezentrale Synchron-Synchron-Umformerwerke (dUfw), also frequenzstarr, aus dem 50-Hz-Landesnetz versorgt [4]. Sie können folglich nicht mit dem zentralen Netz zusammengeschaltet werden.

2 Prinzipschaltungen

In Bild 1 sind verschiedene Schaltungskonzepte für die Ol zweigleisiger Strecken zwischen zwei Unterwerken (Uw) dargestellt und dazu jeweils der relative Spannungsfall entlang der Strecke bei Durchfahrt einer elektrischen Einzellast.

Ursprünglich wurde die zweiseitige Richtungsspeisung angewendet, das heißt die Ol der Richtungsgleise einer Strecke wurden jeweils getrennt versorgt. Bei hoch belasteten und/oder langen Speiseabständen wurde eine Kuppelstelle (Ks) eingebaut. Damit wird die erforderliche Reichweite des Distanzschutzes halbiert, und es können auf Grund der niedrigeren Impedanz des zu schützenden

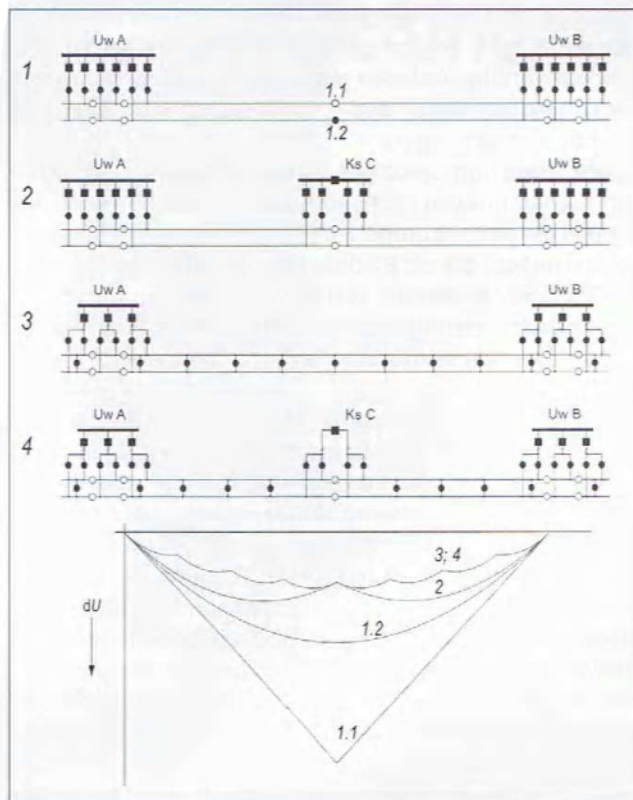


Bild 1: Grundsaltungen der Oberleitungen.
oben Prinzipschaltung Oberleitungen zweigleisiger Strecken
Uw Unterwerk
Ks Kuppelstelle
■ Leistungsschalter Grundstellung ein
● Lasttrennschalter Grundstellung ein
○ Lasttrennschalter Grundstellung aus
weitere Schalter sowie Fahrmöglichkeiten entlang der Strecke nicht dargestellt
1 Richtungsspeisung
1.1 einseitig
1.2 zweiseitig, Oberleitungen zwischen den Uw längs durchgeschaltet
2 wie 1 mit Längs- und Querkuppelstelle in Streckenmitte
3 Querschaltung der Oberleitungen
4 wie 3 mit Längskuppelstelle in Streckenmitte
unten relativer Spannungsfall bei Durchfahrt gleicher konstanter elektrischer Einzellast bei gleichen Impedanzbelägen je Gleis

Streckenabschnitts höhere Betriebsströme eingestellt werden. Ferner reduziert die Querkupplung in Streckenmitte den Spannungsfall und damit die Übertragungsverluste.

Die Richtungsspeisung hatte typische Uw-Abstände von 60 bis 80 km. Die verwendete OI-Bauart aus Kupferillenfahrdrabt 100 mm² und Bronzetragseil 50 mm² war für das Temperaturspiel 70 K aus Umgebungstemperaturänderung zuzüglich 15 K aus Stromwärme reguliert. Diese Konfiguration genügte einem Betriebsprogramm, das bei ≥ 10 min Zugfolgeabstand Oberströme für Beschleunigungs- oder Steigungsabschnitte bis 600 A pro Zug erforderte.

Im Bereich der Deutschen Reichsbahn (DR) waren dagegen häufig höhere Streckenbelastungen mit dichteren Zugfolgen zu Grunde zu legen. Die höheren thermischen Belastungen wurden durch Regulieren der OI für höhere

Stromtragfähigkeit sowie durch zusätzliche Verstärkungsleitungen (VI) parallel zur OI aufgefangen [5].

Bei der Deutschen Bundesbahn (DB) stiegen in den siebziger Jahren sowohl die Zugzahlen als auch die Zuglasten derart an, dass es vermehrt zu Überlastauslösungen kam. Typischer Weise traten diese jeweils nur in einer Fahrtrichtung auf, nämlich Bergrichtung oder tageszeitabhängiger Lastrichtung. Als Folge kam es des öfteren zur Lichtbogenbildung mit Fahrdrabtabbrand, wenn ein Stromabnehmer von einem unter Spannung stehenden Speiseabschnitt in einen wegen Überlastauslösung abgeschalteten Abschnitt fuhr.

Als Lösung dieses Problems führte man die *Querschaltung* ein [6; 7]. Die Querschalter befinden sich dabei in den Bahnhöfen (Bf) sowie den Abzweig- und den Überleitstellen (Abzw, Üst). In Ausnahmefällen werden auch außerhalb von Betriebsstellen Querschalter vorgesehen, wenn die Abstände zwischen diesen zu groß sind. In Bild 1 kann man erkennen, dass damit bei einer gegebenen OI-Konfiguration der geringste Spannungsfall und somit die größte Leistungsfähigkeit erreicht wird.

Die durch die Querschaltung bedingte unselektive Zusammenschaltung der beiden Streckengleise wurde durch die Einführung der Oberleitungsprüf- und Wiedereinschaltautomatik mehr als kompensiert. Ferner wurden zur schnelleren Kurzschlussortung Kurzschlussmeldewandler an den Querschaltern ergänzt. Insgesamt steht also die Querschaltung hinsichtlich der Verfügbarkeit der Streckenspeiseabschnitte der Richtungsspeisung in nichts nach. Dem erhöhten Schutz- und automatisierungstechnischen Aufwand steht die Einsparung von rund der Hälfte aller OI-Speiseabzweige in den Schaltanlagen gegenüber. Die frühere DB und auch die heutige DB Netz haben deshalb die Querschaltung als Regelschaltung eingeführt. Die noch vorhandenen Richtungsspeisungen im Netz der früheren DR werden bei Erneuerungsmaßnahmen umgestellt.

Bei den S-Bahnsystemen in den Ballungsräumen München, Stuttgart, Rhein/Main und Rhein/Ruhr sowie auf den Ausbaustrecken (ABS) für den InterCity-Verkehr mit 200 km/h Geschwindigkeit stiegen die Anforderungen an die Bahnstromversorgung weiter an. Zur Energiebereitstellung und zur besseren Spannungshaltung wurden als Standardschaltung für diese Anwendungsfälle Uw an Stelle der Ks errichtet, also die Uw-Abstände verkürzt. Die OI wurden für die höheren Belastungen durch Umregulierung auf den höheren Temperaturbereich 100 K sowie abschnittsweise mit verlegte VI angepasst. Diese Schaltung wird auch bei Neubaustrecken (NBS) mit Geschwindigkeiten bis zu 300 km/h zu Grunde gelegt. Allerdings werden hier aufgrund der hohen Oberstromaufnahme moderner Hochgeschwindigkeitszüge bis 1 500 A pro Zug neben einer nochmals verstärkten OI-Bauart im jeweils ersten Viertel oder Drittel ab Uw-Einspeisung VI parallel zu den OI-Kettenwerken verlegt. Zur Verbesserung der Rückstromführung wird ein Rückleitungsseil je Gleis mitgeführt. Der Uw-Abstand beträgt bei NBS 20 bis 40 km.

Auch bei größeren Uw-Abständen kann bei Einführung des *Digitalen Schutzes* mit seiner Fähigkeit, Be-

triebsstrom vom Kurzschlussstrom über den Phasenwinkel zu unterscheiden, je nach Belastung auf die Ks verzichtet werden, sodass dies mittlerweile die Regelschaltung ist. Die Zahl der Ks, derzeit noch 50, wird also abnehmen.

Neben den hier aufgezeigten Grundsaltungen gibt es ausnahmsweise Streckenabschnitte mit Saugtransformator- oder Autotransformatorschaltung. Da es sich hier jedoch um Einzelfälle handelt, sei dazu auf die Literatur verwiesen [8; 9; 10].

3 Schaltanlagen

3.1 Primärtechnik

Im zentral versorgten Netz der DB Energie befinden sich inzwischen 176 Uw. Sie sind je nach Höhe des Energie- und Leistungsbedarfs im Regelfall mit zwei bis drei Umspannern von 10 oder 15 MVA Leistung mit 10,7 % Kurzschlussspannung bestückt, wobei die Anzahl der Transformatoren nach dem $n-1$ -Prinzip ausgelegt ist. Aufgrund der Höhe der Ol-Kurzschlussströme in Uw-Nähe vermeidet man mehr als drei Umspanner. Weil die Ol bis auf wenige Ausnahmen durchgeschaltet ist, ergibt sich bei hoher Belastung eines Uw je nach den Impedanzverhältnissen der Ol und der Uw ein gewisser Unterstützungseffekt durch die Nachbar-Uw, was die notwendige Reserveleistung bei den Umspannern vermindert. Das gilt auch für den relativ seltenen Ausfall eines Umspanners. Hiermit ergeben sich aber auch höhere Kurzschlussleistungen im Gesamtnetz, die entsprechende Kurzschlussfestigkeit und Kurzschlussausschaltvermögen der eingesetzten Betriebsmittel in den Schaltanlagen voraussetzen.

Die 15-kV-Schaltanlagen werden in Deutschland seit jeher als Innenraumausführung erstellt. Noch bis in die

sechziger Jahre wurden sie individuell entworfen. Dabei gab es je nach zugemessener betrieblicher Bedeutung sehr aufwändige Anlagen mit Doppelsammelschiene und sogar Ersatzschiene, was manchmal mehrgeschossige Hochbauten erforderte.

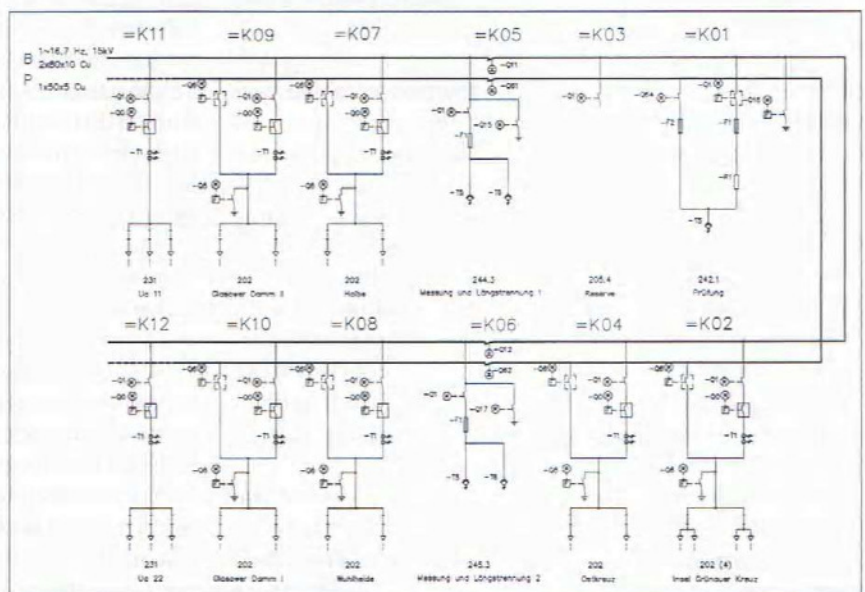
Seit Ende der siebziger Jahre werden so genannte *Normschaltanlagen* (NSA) eingesetzt. Diese bestehen aus standardisierten Komponenten mit genau definierten Schnittstellen, die als Baukastensystem den örtlichen Erfordernissen angepasst werden. Sie sind grundsätzlich mit Vakuum-Leistungsschaltern ausgerüstet und werden in ebenfalls standardisierte Fertigbetonelemente eingebaut [11].

Die NSA der 2. Generation [12; 13] enthalten in aller Regel nur eine Betriebssammelschiene und eine Prüfschiene. Die Prüfschiene dient dazu, jeden der Ol-Abzweige an den Streckenprüfwiderstand anschließen zu können. Beide Sammelschienen werden in zwei Außenabschnitte und einen Mittelabschnitt unterteilt. Jeder Betriebsschienen-Außenabschnitt wird von einem Hauptumspanner gespeist und versorgt einen oder mehrere Ol-Abzweige. Im Mittelabschnitt sind der dem Uw zugeordnete so genannte *Insel-speiser*, der Hochspannungsprüfwiderstand und eventuell ein dritter Umspanner angeschlossen. Bild 2 zeigt beispielhaft den elektrischen Aufbau sowie die eingesetzten Betriebsmittel der 15-kV-Anlage eines Uw mit zwei Hauptumspanner- und sechs Ol-Abzweigen.

Schaltposten (Sp) entsprechen dem 15-kV-Teil der Uw. Sie schalten bei Knoten-Bf ohne Uw oder bei Abzw die Ol aller Strecken zusammen, wodurch auch hier zu hohe Spannungsdifferenzen an den Speisebezirksgrenzen vermieden werden. Schutztechnisch sind sie in Bahnknoten erforderlich, weil ein Streckenabschnitt nur von maximal zwei Schutzgeräten zuverlässig und selektiv überwacht werden kann. Insgesamt sind im DB-Netz derzeit rund 170 Sp eingerichtet.

Bild 2: Übersichtsschaltplan 15-kV-Anlage geplantes Unterwerk Grünauer Kreuz.

B	Betriebsschiene
P	Prüfschiene
Q1	Betriebsschientrenner
Q0	Vakuum-Leistungsschalter
T1	Stromwandler
Q8	Erdungstrenner
Q6, Q64	Prüfschienen-Lasttrenner
F1, F2	Hochspannungssicherungen
R1	Hochspannungsprüfwiderstand (im Feld K01)
Q17, Q18	Betriebsschienen-Erdungstrenner
T5, T6	Spannungswandler
Q11, Q12	Betriebsschienen-Längstrenner
Q61, Q62	Prüfschienen-Längstrenner
Ua	Hauptumspanner 110/15 kV
2XX	Normschaltfeldtyp



3.2 Sekundärtechnik

Der Betrieb des OI-Netzes erfordert einen verlässlichen, selektiven und möglichst schnellen Schutz. Dieser enthält als Komponenten einen schnellen Überstromzeitschutz für anlagennahe Kurzschlüsse, einen zweistufigen Impedanzschutz mit Umschaltmöglichkeit auf abschnittsweise ein statt zwei OI-Kettenwerke und einen Thermoschutz, der den Temperaturverlauf der jeweiligen OI nachbildet und es erlaubt, deren thermische Belastbarkeit außen-temperaturabhängig voll zu nutzen.

Die Prüfeinrichtung vermeidet das direkte Einschalten der 15-kV-Spannung auf einen fortbestehenden Kurzschluss in einem selektiv abgeschalteten Speisebezirk, indem dieser von der Betriebs- auf die Prüfschiene umgeschaltet und über den 3,3-k Ω -Prüfwiderstand gespeist wird. Dadurch wird der Strom auf maximal 5 A begrenzt. Ob ein Dauerkurzschluss auf der Strecke vorliegt, wird an Hand der hinter dem Widerstand anstehenden Prüfspannung festgestellt. Das Grenzkriterium hierfür ist in aller Regel 8 kV. Wenn dieser Wert nicht unterschritten wird, wird der Leistungsschalter wieder eingeschaltet. In den Ks wird nicht geprüft, sondern der Leistungsschalter bei Wiederkehr der ausgefallenen Spannung eingeschaltet. Die ganzen Vorgänge laufen durch die *Oberleitungsprüfautomatik* (OLPA) und die *Oberleitungs-Wiedereinschaltautomatik* (OLWA) in der Stationsleittechnik autark ab.

Im Jahresdurchschnitt treten im OI-Netz rund 17 000 Kurzschlüsse auf. Aber nur bei etwa 2 bis 3 % der Schalterauslösungen wird ein Dauerkurzschluss festgestellt. Mit Hilfe des automatisierten Prüfverfahrens ist also in fast 98 % aller Kurzschlussauslösungen der abgeschaltete Speisebezirk nach fünf bis zehn Sekunden wieder eingeschaltet. Damit sind spannungslose Zustände in der OI und die damit verbundenen Gefahren auf ein technisches Minimum begrenzt.

4 Besondere Leitungen

Speiseleitungen (SI) verbinden die Schaltanlagen mit den Einspeisestellen an der OI, wobei für jedes durchgehende Hauptgleis ein Leiter verlegt wird (Bilder 2 und 3). Sie bestehen bei älteren 70-K-OI aus Einleiter-Kupferkabel 150 mm² sowie Leiterseil Al/St 185/30 mm² und bei neueren höher belastbaren 100-K-OI aus Cu-Kabel 240 mm² sowie Leiterseil Al 240 mm². Das Cu-Kabel 240 mm² sowie das Leiterseil Al 240 mm² sind heute als Standard eingeführt.

Umgehungsleitungen (Ug) werden hauptsächlich entlang eingleisiger Strecken verlegt, um bei Ausschaltung eines OI-Abschnittes zum Beispiel für Arbeiten an oder in der Nähe der OI weiterhin eine durchgeschaltete Versorgung zu behalten. Stellenweise gibt es Umgehungsleitungen auch bei einseitig gespeisten zweigleisigen Strecken, hier jedoch nur entlang der Bf, damit zum Beispiel bei Arbeiten oder Störungen an einer Weichenverbindung der von der Schaltanlage entferntere



Bild 3: Speiseleitungen für zweigleisige Strecken.
links Speisekabelpaar mit Übergang auf Schalterquerleitungen
rechts Speisefreileitungspaar entlang als Insel gespeistem Bahnhof

Streckenabschnitt weiter elektrisch betrieben werden kann.

Verbindungsleitungen (Vg) dienen dem direkten Energietransport zwischen zwei benachbarten Schaltanlagen, zum Beispiel Uw und nahe gelegenen großem Sp. Sie bilden gesonderte Speisebezirke mit eigenen Leistungsschaltern und haben in der Regel keine Verbindung zur OI.

Für Ug und Vg werden die gleichen Seile und Kabel wie für SI verwendet.

5 Streckenschaltung

5.1 Speisebezirke

Bei Uw und Sp ist grundsätzlich neben den Speisebezirken der abgehenden Strecken noch eine so genannte *elektrische Insel* vorhanden, die je nach Situation unterschiedlich groß sein kann (Bilder 4, 5 und 6).

Die elektrische Insel dient der Ersatzspeisung zum Beispiel bei Ausfall eines Leistungsschalters oder einer SI. Sie verhindert ferner, dass die abgehenden Strecken von Kurzschlüssen im Bf beeinträchtigt werden. Bei sehr großen Bahnknoten kann es daher auch mehrere Inselspeiser geben, zum Beispiel *Hauptbahnhof*, *Abstellbahnhof*, *Rangierbahnhof*.

5.2 Bahnhöfe

Der Bahnhof ist ein gegen die freie Strecke durch die Schalter 1, 2 und 3, 4 abgegrenzter Schaltabschnitt. Bild 7 zeigt dies für einen einfachen Unterwegs-Bf. Die Hauptgleise bilden hier mit dem jeweiligen Überholungs- und die Schaltgruppen 1 und 2.

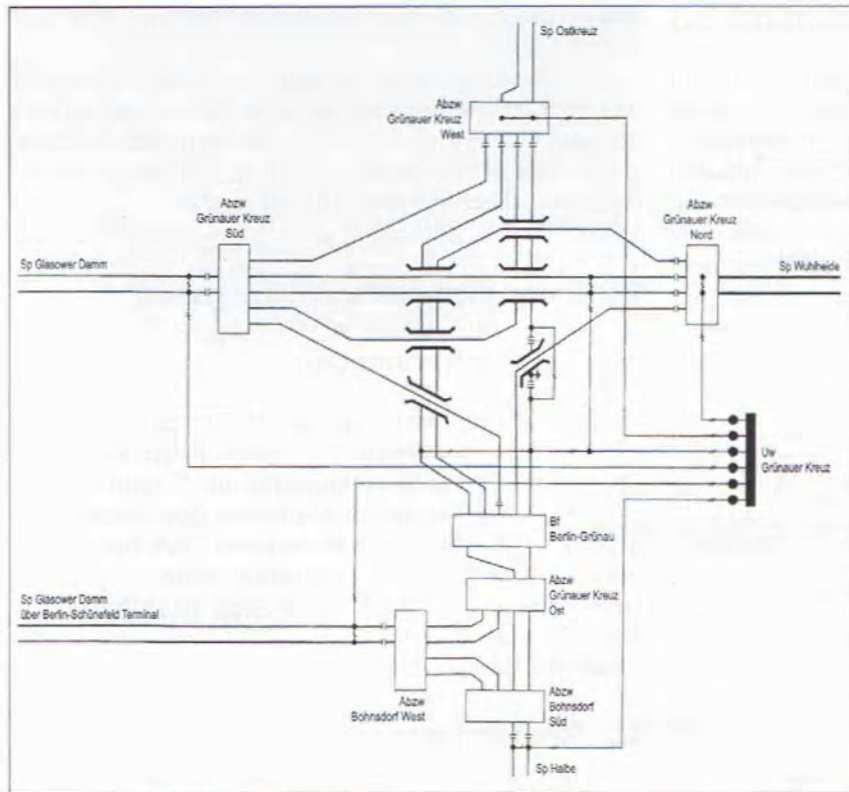


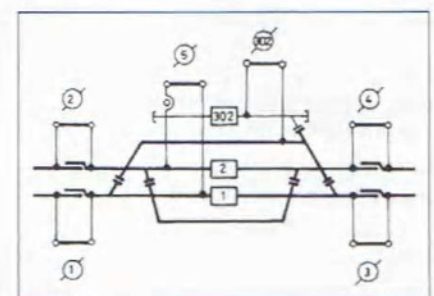
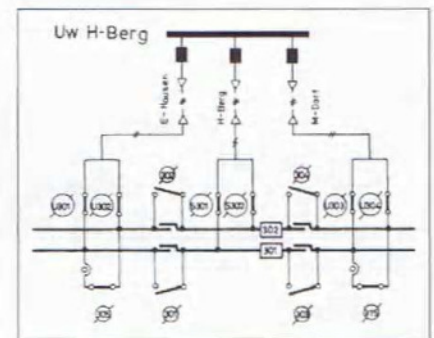
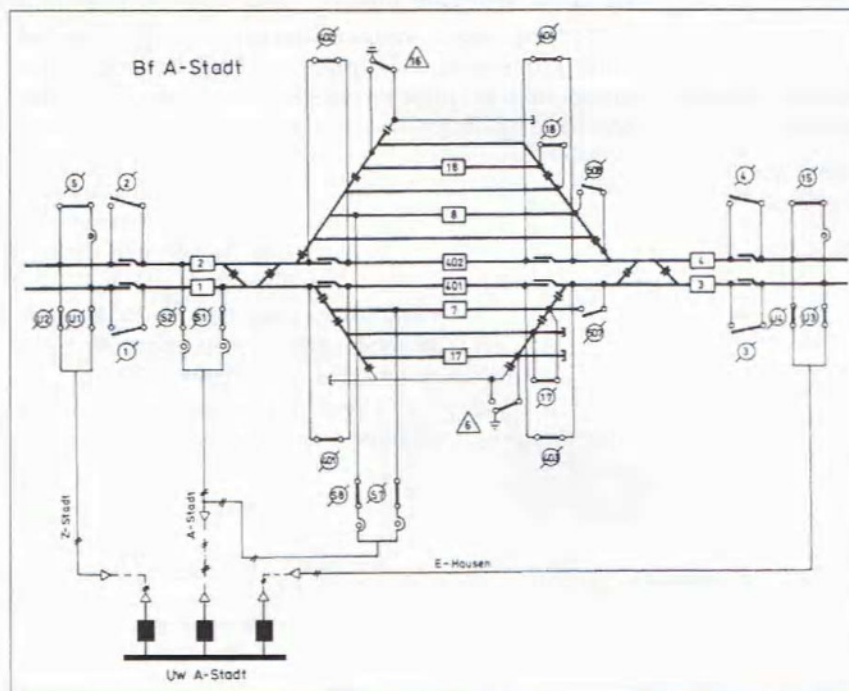
Bild 4: (links) Streckenspeiseplan zum geplanten Unterwerk Grünauer Kreuz (Bild 2).
Abzw Abzweigstelle
Bf Bahnhof
Sp Schaltposten
Ss Schutzstrecke

Bild 5: (links unten) Schaltung Unterwerk am Bahnhof.

○ ferngesteuerte Schalter
 △ Handschalter mit Erdkontakt über Ladegleisen

Bild 6: (rechts) Schaltung Unterwerk auf freier Strecke.

Bild 7: (rechts unten) Schaltung Überholungsbahnhof.

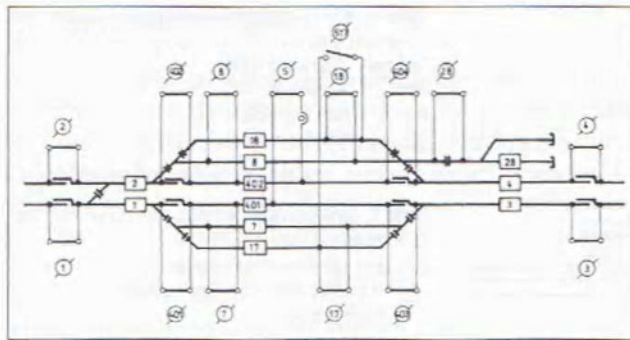


Im Allgemeinen sind jedoch auch die OI der Überholungs- und der Nebengleise eigene Schaltgruppen. In Bild 8 sind dies die Gruppen 7 und 17 sowie 8 und 18, was eine elektrische Querunterteilung des Bf ergibt. Diese Nebengruppen werden über Schalter von der jeweils benachbarten Schaltgruppe der Hauptgleise versorgt.

Bei größeren Bahnhöfen können sogar weitere Längsunterteilungen erforderlich werden. So kann in dem in

Bild 8 gezeigten Beispiel bei ausgeschalteter Gruppe 401 unterbrechungsfrei elektrisch durch die Schaltgruppen 7 oder 17 gefahren werden, weil diese dann mit dem Schalter 517 von der Gruppe 402 über die Gruppen 8 und 18 gespeist werden können.

Das einheitliche Schema der Gruppen- und Schalternummern ist in [14] festgelegt. Die einheitliche Bezeichnung trägt in hohem Maße dazu bei, Missverständnisse bei Schalthandlungen zu vermeiden.



Querschalter, von denen im Regelbetrieb nur einer eingeschaltet ist.

Über den Schalter W 202 wird der Transformator der elektrischen Weichenheizung bei Bedarf versorgt. Diese Anlagen gibt es auch an den Abzw und in den Weichenköpfen der Bf; in den Bildern 5 und 7 bis 9 sind sie der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt.

6 Trennstellen im Oberleitungsnetz

6.1 Streckentrennungen

Die elektrischen Trennungen an Bf-Grenzen und an anderen Stellen in durchgehenden Hauptgleisen sind als parallele auslaufende Ol-Kettenwerke mit 450 mm Abstand ausgeführt. Sie werden mit Schaltern geschlossen oder geöffnet. Offen vertragen sie bis etwa 1,2 kV Spannungsdifferenz ohne dass nach Stromabnehmerdurchgang ein Lichtbogen stehen bleibt. Die Standardausführung war Jahrzehnte lang dreifeldrig (Bild 11), für höhere Geschwindigkeiten werden sie fünffeldrig gebaut.

6.2 Streckentrenner

Wo in Weichenbereichen und an anderen beengten Stellen keine Streckentrennung unterzubringen ist oder nicht notwendig ist, werden Streckentrenner verwendet. Konventionelle Ausführungen mit Porzellan- oder Glasisolator (Bild 12) bilden mit 23 bis 28 kg Masse einen *harten Punkt* in der Ol und dürfen deshalb mit höchstens 130 km/h befahren werden. Die zulässige Spannungsdifferenz beträgt 0,8 kV oder mit Lichtbogenschutzarmatur 1,2 kV. Seit einiger Zeit gibt es Streckentrenner mit Kunststoffisolator, die nur 10 oder 12 kg wiegen und deshalb für 160 km/h Befahrgeschwindigkeit zugelassen sind (Bild 13); Versuchsausführungen werden bis 200 km/h erprobt. Mit den Funkenhörnern können ebenfalls 1,2 kV Spannungsdifferenz schadlos überbrückt werden.

In den Bildern 14, 15 und 16 sind die Folgen elektrischer Überbeanspruchung von Streckentrennern zu sehen.

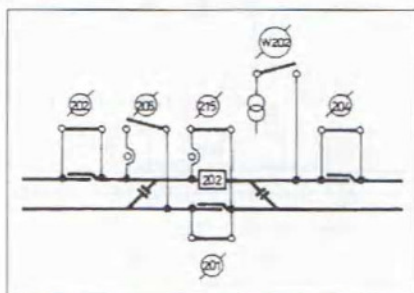
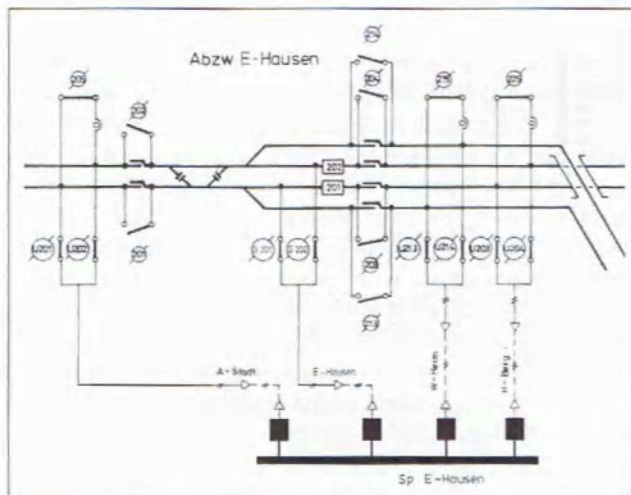


Bild 8: (oben) Schaltung mittlerer Bahnhof.

Bild 9: (Mitte) Schaltung Abzweigstelle mit Schaltposten.

Bild 10: (unten) Schaltung Überleitstelle.

5.3 Sonstige Betriebsstellen

Die Ol werden auch auf den sonstigen Betriebsstellen mit Weichenverbindungen elektrisch unterteilt, um eine möglichst hohe Verfügbarkeit zu bekommen.

Bild 9 zeigt dies für eine Abzw, zugleich mit typischer Anwendung eines Sp zur elektrischen Verknüpfung der Strecken-Ol und wiederum einer elektrischen Insel zur Ersatzspeisung und Kurzschlussentkopplung.

Bei Üst werden die Ol in Schaltabschnitte getrennt, wie Bild 10 zeigt, womit elektrisch beförderte Züge bei beliebiger Abschaltung einer der vier Streckengleis-Ol unterbrechungsfrei übergeleitet werden können. Sie haben generell zwei

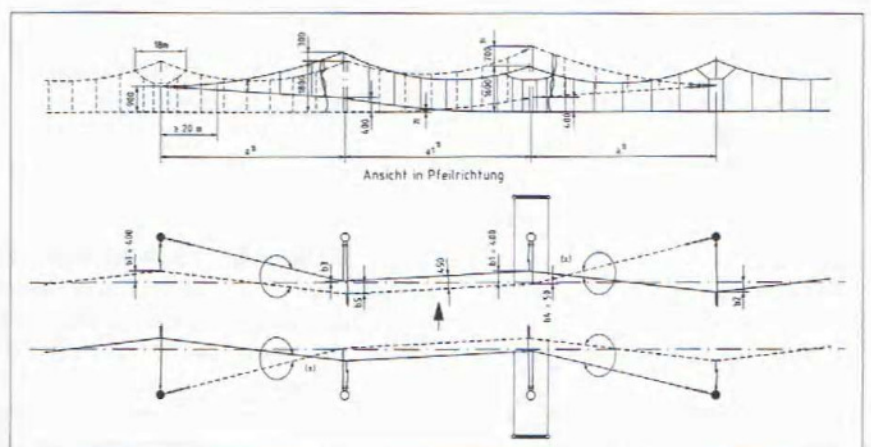


Bild 11: Dreifeldrige Streckentrennung. Maße teils in m, teils in mm
a, a1 Längsspannweiten

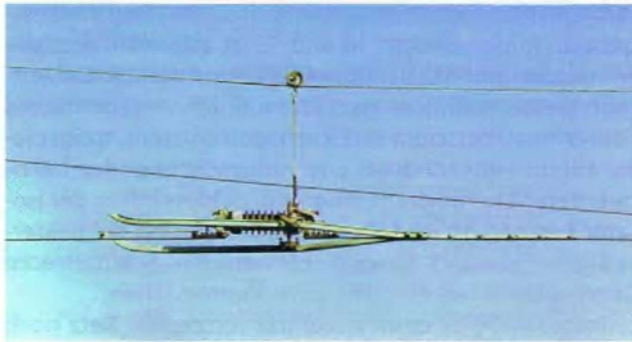


Bild 12: (oben) Streckentrenner mit Schirmisolator.

Bild 13: (rechts) Streckentrenner mit Kunststoff-Isolierstab Bauart Gal-land.

DB-Oberleitungen Bauarten Re 75 bis Re 250, maximale Befahr-
geschwindigkeit 160 km/h, Nennspan-
nung 25 kV

Maßstab 1:20, Maße in mm

- ① Gesamtschleifleiste
- ② kurze Gleitkufe
- ③ lange Gleitkufe
- ④ isolierte Aufhängung
- ⑤ Verankerungsklemme
- ⑥ Abstandsklemme
- ⑦ Spannschloss

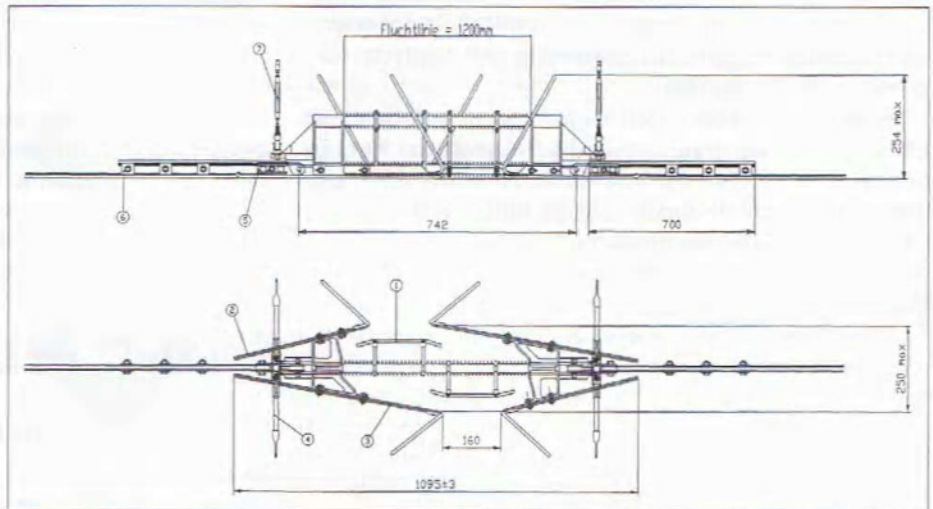


Bild 14: Stehender Lichtbogen am Streckentrenner.

links zwischen Streckentrennerkufe
und Stromabnehmerschleif-
leiste nach Fahrt mit Leistung
von Spannung führender in
neutrale Oberleitung

rechts zwischen Streckentrennerkufe
und Hänger bei weiterer
Fahrt der Lokomotive mit
Leistung im neutralen Ober-
leitungsabschnitt



Bild 15: (links) Kurzschluss am Streckentrenner bei Fahrt von Spannung führender in bahngeerdete Oberleitung.

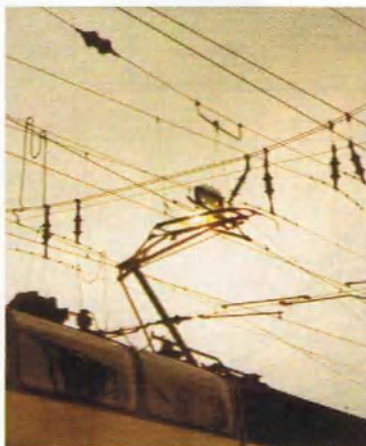
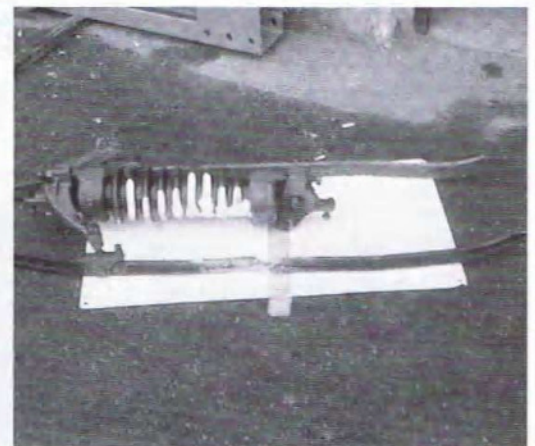


Bild 16: (rechts) Streckentrenner durch Kurzschluss beschädigt.



6.3 Schutzstrecken

Im zentral über das 110-kV-Bahnstromleitungsnetz ver-
sorgten OI-Netz existieren einige wenige Schutzstrecken.
Diese sind im Grundschtzustand überbrückt und wer-
den nur dann geöffnet, wenn es zu einer Auftrennung
des überlagerten 110-kV-Netzes kommt. Ein Synchronbe-
trieb des auf der 110-kV-Ebene abgetrennten Netzteils
über die 15-kV-OI würde dabei zu unkontrollierten Aus-
gleichströmen und Überlastauslösungen führen. Weil das
dadurch entstehende Inselnetz eine andere Phasenlage

als das übrige 110-kV-Netz einnehmen wird, würde an einer offenen einfachen Streckentrennung ein Stromabnehmer Ausgleichströme sogar bis zur Größe von Kurzschlussströmen verursachen. Um dies zu verhindern wird in einem solchen Fall auch die Ol mittels Schutzstrecken aufgetrennt. Aufgrund der Vermaschung des 110-kV-Bahnstromleitungsnetzes ist eine solche Inselnetzbildung nur in einigen wenigen Randbereichen des Bahnstromleitungsnetzes möglich (Bild 10 in [3]).

Die Schutzstrecken bestehen im Prinzip aus zwei aneinander gereihten Streckentrennungen (Bild 17). Mit den Schaltern kann der Mittelabschnitt einseitig eingeschaltet werden, um einen dort zum Halten gekommenen Zug zu versorgen, oder beidseitig und damit das Netz durchgeschaltet werden.

Im dezentral versorgten Ol-Netz sind an den Übergangsstellen zum frequenzelastisch versorgten Netz sowie an allen Speisebezirksgrenzen zwischen den dUfw Schutzstrecken vorhanden. Erstere müssen immer offen betrieben werden, letztere dann, wenn die beiderseitigen dUfw nicht synchronisiert und parallelgeschaltet sind [4].

Neben der Regelschutzstrecke wurde von der DR aus wirtschaftlichen Gründen eine verkürzte Schutzstrecke

mit Kunststoffisolatoren entwickelt und als Regelfall eingebaut. In den Bildern 18 und 19 ist zu sehen, dass der Mittelabschnitt fest bahngeerdet ist und deshalb der Ausleger keine Isolatoren hat. Wenn durch versehentliches Fahren mit Oberstrom ein Lichtbogen entsteht, steigt dieser auf die Funkenhörner und verursacht über den bahngeerdeten Doppeldraht einen Kurzschluss bevor der Isolator beschädigt wird. Der Mastschalter und die beiderseitigen Schalterleitungen können die Schutzstrecke überbrücken, jedoch nicht unwirksam machen.

Insgesamt gibt es im dezentral versorgten Netz noch weit über hundert solche Schutzstrecken. Weil dafür die Ersatzteile knapp werden, wurde eine neuere Ausführung aus zwei normalen, hintereinander montierten Streckentrennern neuerer Bauart entwickelt. Bild 20 zeigt diese Versuchs- und wahrscheinlich zukünftige Regelausführung mit wiederum fest bahngeerdetem Mittelteil, allerdings ohne Überbrückung.

Schutzstrecken sind an der Strecke mit Fahrleitungssignalen nach der *Eisenbahn-Signalordnung* (ESO) gekennzeichnet. Bei der Wiedergabe in Bild 21 sind aus der noch nicht vollkommen harmonisierten Richtlinie *Gemeinsames Signalbuch* die präziser formulierten Bestimmungen der ehemaligen DR zitiert. Wo Schutzstrecken nur zeit-

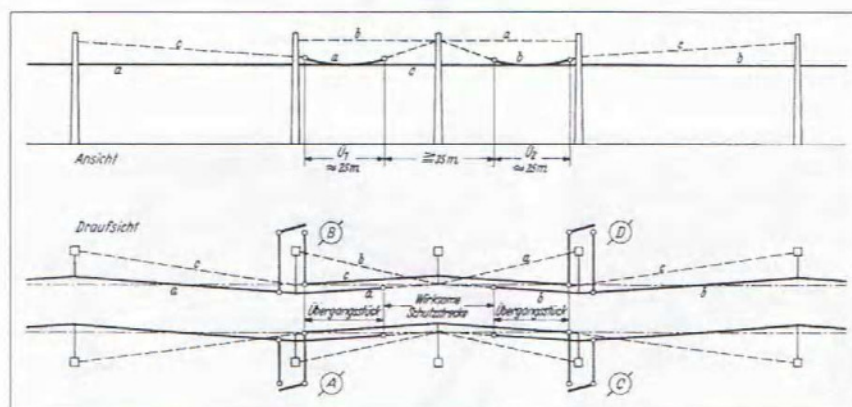


Bild 17: Regelschutzstrecke.

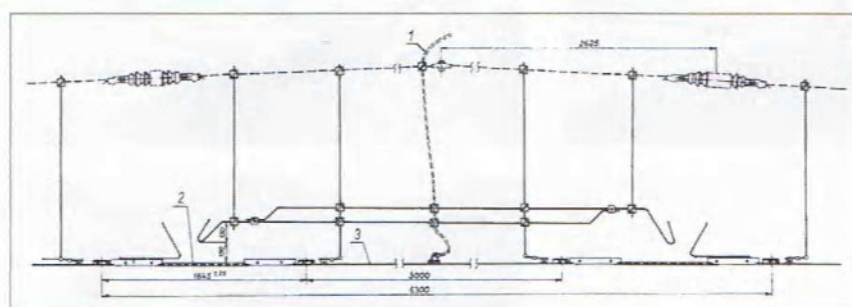


Bild 18: Verkürzte Schutzstrecke.



Bild 19: (links) Verkürzte Schutzstrecke. (unten El-Signale)

Bild 20: (rechts) Verkürzte Schutzstrecke aus zwei Streckentrennern Bauart Flury. Daten wie Bild 13

weise aktiviert sind, ist das Signalbild EI 1 elektromechanisch veränderlich.

Schutzstrecken werden auch mit dem Signalbild EI 1 im gedruckten und im elektronischen Buchfahrplan ein-

getragen und bei Strecken mit höheren zulässigen Geschwindigkeiten über die linienförmige Zugbeeinflussung (LZB) auf das Anzeigergerät im Führerpult übertragen.

Signal EI 1 - Ausschaltsignal - Ausschalten Ein zerlegtes weißes U.  Das Signal EI 1 bedeutet, dass der Hauptschalter des Triebfahrzeugs spätestens am Standort des Signals ausgeschaltet sein muss.	Signal EI 1/2 - Schaltsignal für verkürzte Schutzstrecken - Ausschalten, nach Wiederkehr der Fahrleitungsspannung Einschalten erlaubt Eine Tafel mit einem zerlegten weißen U, darüber eine Tafel mit einem geschlossenen, weißen U.  Das Signal EI 1/2 ist vor verkürzten Schutzstrecken aufgestellt. Es bedeutet, dass der Hauptschalter des Triebfahrzeuges spätestens am Standort des Signals ausgeschaltet sein muss.
Signal EI 2 - Einschaltsignal - Einschalten erlaubt Ein geschlossenes weißes U.  Das Signal EI 2 bedeutet, dass der Hauptschalter des Triebfahrzeugs nach Vorbeifahrt am Signal wieder eingeschaltet werden darf.	Nach Vorbeifahrt am Signal EI 1/2 und Wiederkehr der Fahrleitungsspannung darf der Hauptschalter des Triebfahrzeugs wieder eingeschaltet werden.

Bild 21: (oben) Signale für Schutzstrecken.



Bild 22: Mastschalter.



Bild 23: Mastschalter.

7 Schaltmittel

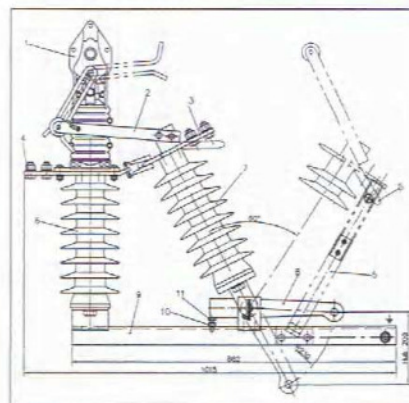
Sowohl an der Schnittstelle SI-OI (Bild 3) wie im gesamten OI-Netz (Bilder 5 bis 10) einschließlich Schutzstrecken (Bilder 17 und 19) sind auf den OI-Masten Schalter montiert (Bild 22). Sie können Betriebsströme schalten und stellen eine sichtbare Trennung her.

Die klassische Ausführung (Bild 23), bei der ein eventueller Schaltlichtbogen durch die Eigenthemik an Hörnern aufsteigt und erlischt, war für 1 000 A dimensioniert und wurde später auf 1 700 A verstärkt. Wo noch höhere Betriebsstromstärken herrschen oder wo frei aufsteigende Lichtbögen nicht zulässig sind wie in Tunneln, werden Schalter mit Löschkammer verwendet. Bild 24 zeigt die aktuelle Ausführung. Beim Öffnen der äußeren Hauptkontakte kommutiert ein eventuell fließender Strom auf die Kontakte in der Vakuum-Löschkammer, aus der er auf Kontaktgabel und -rolle wieder austritt. Deren Bewegung löst bei einem bestimmten Winkel das Öffnen der inneren Kontakte aus.

Bis auf ganz wenige Ausnahmen sind alle Mastschalter motorisch angetrieben. Regelausführung ist seit Jahrzehnten nur wenig verändert ein Elektromotor für 1 AC 230 V 50 Hz mit Getriebe und Rutschkupplung (Bild 25). Wegen der relativ aufwändigen Mechanik stehen neuere Ausführungen im Wettbewerb, davon eine elektrohydraulische (Bild 26). Die Antriebe werden von *Zentral-schaltstellen* (Zes) ferngesteuert, können aber auch von Schalttafeln in den Stellwerken angesteuert werden.

Der in Bild 24 gezeichnete Erdkontakt wird nur bei Bedarf verwendet, zum Beispiel bei OI über Ladegleisen in Bf (Bild 5) und über Fahrzeugbehandlungs- oder -instandhaltungsgleisen. Weil ein offener Lichtbogen auch auf den Erdkontakt überspringen und somit einen Kurz-

Bild 24: Vakuum-Löschkammerschalter.
Maße in mm, Maßstab 1:20
Nennspannung 15 oder 25 kV
Bemessungsdauerstrom und -ausschaltstrom 2000 A
Bemessungs-Haltestoßstrom 50 kA



- 1 Schaltkammer
- 2 Kontaktbügel
- 3 Einschaltkontakt
- 4 Kontaktplatte
- 5 Erdkontakt
- 6 Stützer
- 7 beweglicher Stützer
- 8 Scharnier
- 9 Rahmen

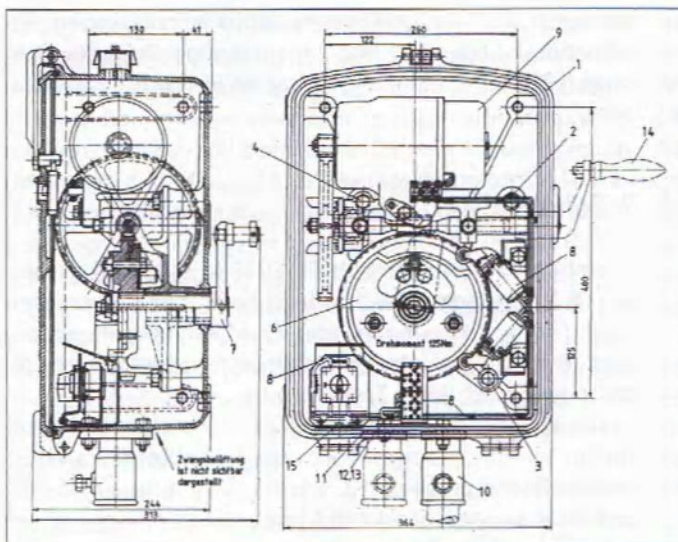


Bild 25: Elektrischer Schalterantrieb Bauart 1987.
1 Gehäuse mit Deckel
2 Lagerbock mit Schnecke
3, 4, 15 Sechskantschraube

Maße in mm, Maßstab 1:10
6 Kupplung
7 Antriebswelle
8 Kontaktträger
9 Motor 1 AC 230 V 50 Hz mit Sockel
10 Kabelendverschluss

11 Blindflansch
12, 13 Sechskantmutter
14 Handkurbel

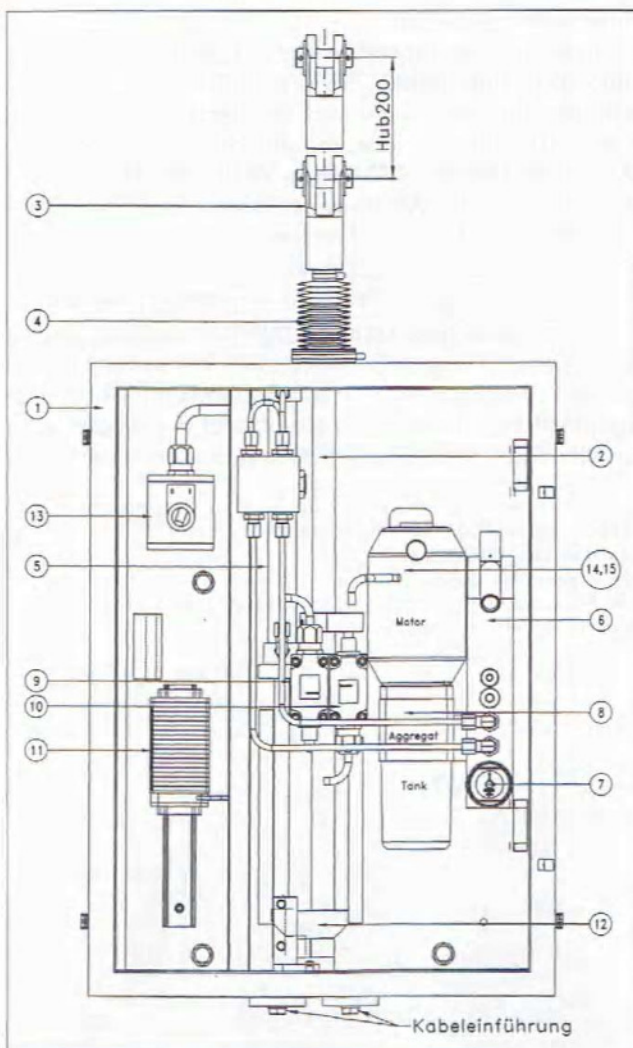


Bild 26: Elektrohydraulischer Schalterantrieb.
Maßstab 1:10

① Gehäusekasten
② Schubstange
③ Gelenkstück
④ Staubschutzmanschette
⑤ Stellzylinder
⑥ hydraulische Handpumpe
⑦ 4-/3-Wege-Einstellventil
⑧ hydraulische Antriebs- und Steuereinheit
⑨, ⑩ Lageschalter
⑪ Klemmleiste
⑫ Verschluss
⑬ Betriebsartschalter
⑭, ⑮ Motor 1 AC 230 V 50 Hz oder DC 24

schluss verursachen kann, wird hier durch betriebliche Anweisungen oder sogar technische Verriegelungen dafür gesorgt, dass Schalter ohne Löschkammer nur lastfrei betätigt werden. Dies sind zugleich die praktisch einzigen Einsatzfälle für handbetätigte Schalter, die je nach Funktion mit unterschiedlichen Schlüsseln gegen unbefugtes Betätigen gesichert sind.

Literatur

- [1] Elektrifizierte Strecken in Deutschland vor 75 Jahren. In: Elektrische Bahnen 101 (2003), H. 11, S. 523.
- [2] Linder, Ch.; Heinze, R.: Umstellung der Sollfrequenz im zentralen Bahnstromnetz von 16 2/3 auf 16,70 Hz. In: Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 12, S. 447-454.
- [3] Elektrischer Betrieb bei der Deutschen Bahn im Jahre 2003. In: Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 1-2, S. 5-39.
- [4] Granzer, R.: Die dezentrale Bahnenergieversorgung bei der Deutschen Reichsbahn. In: Elektrische Bahnen 89 (1991), H. 1, S. 36-39, H. 2, S. 62-65.
- [5] Semrau, M.: Die Oberleitungsanlagen der Deutschen Reichsbahn. In: Elektrische Bahnen 89, H. 8, S. 235-240.

- [6] Schreiner, H.; Precht, M.: Der Fahrleitungsschutz und die Fahrleitungsschaltung auf der Strecke Füh-Würzburg. In: Elektrische Bahnen 36 (1964), H. 5, S. 119-122.
- [7] Scheiber, E.-G.: Aktuelle Fragen der Stromversorgung für die elektrifizierten Strecken der Deutschen Bundesbahn. In: Elektrische Bahnen 42 (1971), H. 5, S. 98-104.
- [8] Levermann-Vollmer, D.; Eberling, W.: Autotransformer bei der Deutschen Bahn. In: Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 1-2, S. 38-43.
- [9] Eberling, W.; Levermann-Vollmer, D.; Klinge, R.; Martens, G.: Oberleitungsnetzkonzepte und Autotransformersystem bei der Deutschen Bahn. In: Elektrische Bahnen (100) 2002, H. 7, S. 259-265.
- [10] Saugtransformatoren im Streckennetz der DB AG. In: BahnPraxis E, (2001), Nr. 2, S. 14-19.
- [11] Wittke, V.; Bauer, G.: Standardisierte Bahnstromschaltanlagen ohne zentrale Druckluftversorgung bei der Deutschen Bundesbahn. In: Elektrische Bahnen 83 (1985), H. 8, S. 246-251.
- [12] Rattmann, R.; Walter, S.: Zweite Generation 16 $\frac{2}{3}$ Hz-Normschaltanlagen der Deutschen Bahn. In: Elektrische Bahnen 96 (1998), H. 9, S. 277-283.
- [13] Richtlinie 955 Deutsche Bahn AG Februar 2004. Schaltanlagen für Bahnstrom
- [14] Richtlinie 997.03 Deutsche Bahn AG Januar 1997. Oberleitungsanlagen; Speisung und Schaltung der Oberleitung planen



Dipl.-Ing. (FH) **Stefan Ebhart** (35), Studium Elektrotechnik an der Fachhochschule Gießen-Friedberg bis 1997; seit 1997 Mitarbeiter im Bereich Starkstromanlagen mit Bahnstromleitungen, Konzeption von 16,7-Hz-Schaltanlagen und Weiterentwicklung von Bahnstromschaltanlagen bei DB Netz und DB Energie.

Adresse: DB Energie GmbH-Zentrale, Pfarrer-Perabo-Platz 2, D-60326 Frankfurt am Main;
Fon: +49 69265-23946, Fax: -23388;
E-Mail: Stefan.Ebhart@bahn.de



Dipl.-Ing. **Marcus Ruch** (35), Studium Elektrotechnik an der Universität Kaiserslautern, Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik bis 1996; ab 1997 zuständig für das Fachgebiet Bahnerdung und Rückstromführung bei DB Netz-Zentrale, seit 2001 im Fachgebiet Energiebedarfsprognose und 15-kV-Netzkonzeption bei DB Energie-Zentrale.

Adresse: Siehe oben; Fon: +49 69265-23924,
Fax: -23929; E-Mail: Marcus.Ruch@bahn.de



Dipl.-Ing. (FH) **Wolfgang Hunger** (53), Studium Elektrotechnik und Maschinenbau an der Ingenieurschule für Verkehrswesen Dresden; seit 1967 bei Deutsche Reichsbahn und Deutsche Bahn AG, ab Anfang 2003 bei der Zentrale DB Netz, verantwortliche Elektrofachkraft Region Südost.

Adresse: DB Netz-Zentrale, Elektrotechnik, Außenstelle Dresden, Schweizer Straße 3b, D-01069 Dresden; Fon: +49 351 461-8494, Fax: -8289; E-Mail: Wolfgang.Hunger@bahn.de



AREVA Schorch Transformatoren Mönchengladbach hat die ersten zwei Stück 110 kV/15 kV/16,7 Hz/10 MVA-Hermetik-Transformatoren für die DB Energie (Unterwerk Neckarelz) fertig gestellt.



AREVA Energietechnik GmbH
Niederlassung Leipzig
Eilenburger Straße 3
04317 Leipzig
Tel. 0341/26 94 80
www.areva.com