

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 65 (1974)

**Heft:** 16

**Artikel:** Schnellfahrleitungen der SBB

**Autor:** Merz, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915437>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

### Schnellfahrleitungen der SBB

Von H. Merz

*Im Anschluss an einen früheren Artikel im Bulletin des SEV werden die Entwicklung und die Bauausführung einer neuen Fahrleitungsbauart beschrieben und Resultate von Versuchsfahrten sowie Fragen der strommässigen Belastung und Erwärmung erläutert.*

Im Bulletin des SEV 1965, Heft Nr. 10 [1]<sup>1)</sup> wurde ein Artikel über «Fahrleitungen und Schnellverkehr» publiziert. Inzwischen hat der Schnellverkehr gewaltige Fortschritte gemacht und ist sehr attraktiv geworden. Auf dem SBB-Netz wird heute fahrplanmässig mit einer Maximalgeschwindigkeit von 140 km/h gefahren; man realisiert Fahrgeschwindigkeiten bis 160 km/h und spricht von Schnellfahrlinien für über 200 km/h. Die bisherigen Fahrleitungen einfacher Bauart vermögen den heutigen und zukünftigen Anforderungen nicht mehr zu genügen.

Zurzeit wird bei den SBB eine neue Fahrleitungsbauart (Typ R) für hohe Geschwindigkeiten und die Übertragung grosser Leistungen eingeführt. Auffallend daran sind die schwenkbaren Ausleger und die sog. «Y-Aufhängung» (Fig. 1). Die Einführung eines neuen Fahrleitungssystems

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

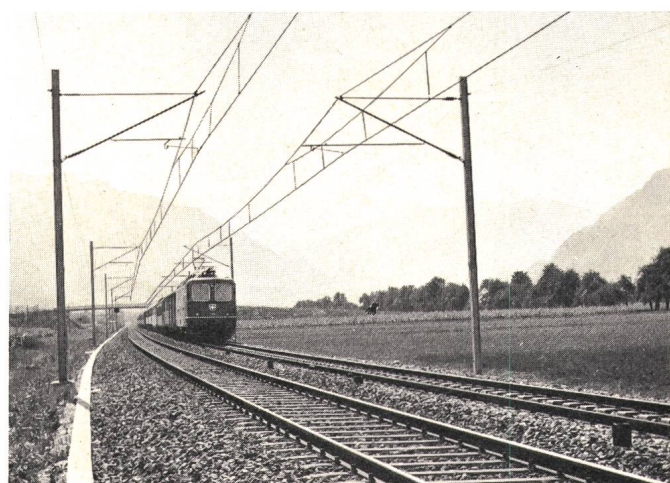


Fig. 1 R-FI mit nachgespanntem Tragseil, schwenkbaren Rohrauslegern und Y-Aufhängung

621.332.31

*Comme suite à un précédent article du Bulletin de l'ASE, on décrit le développement et la construction d'un nouveau système de caténaire. On donne les résultats de courses d'essai et traite de l'intensité du courant et de la température admissible.*

mit nachgespanntem Tragseil bedingt einige konstruktive und bauliche Änderungen gegenüber der bisherigen Ausführung (Typ N) mit festem, nicht nachgespanntem Tragseil.

In diesem Artikel sei über die Entwicklung, die Einführung und den Bau der Fahrleitung Typ R (R-FI) berichtet.

#### Studien und Entwicklung

Im Ausland wurden schon frühzeitig Fahrleitungen für hohe Geschwindigkeiten gebaut. Die Deutsche Bundesbahn (DB) führte 1950 ihre Einheits-Regelfahrleitung mit nachgespanntem Tragseil ein. Die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) verwenden eine ähnliche Bauart. Anlässlich der Elektrifikation eines Teils ihres Netzes mit Einphasenwechselstrom 25 kV, 50 Hz, erstellten die französischen Staatsbahnen (SNCF) 1950/52 und die Engländer (BR) 1952/57, mit einigen konstruktiven Abweichungen, sowie die Japaner (1959) für ihre berühmte Tokaido-Linie analoge Systeme. Die Italiener (FS) erprobten 1963 eine Schnellfahrleitung für 3000 V Gleichstrom auf der Versuchsstrecke Grosseto-Montepescali und verwirklichten diese auf ihrer neuen «Direttissima» Rom-Florenz.

Mit dem Einsatz schnellfahrender Hochleistungs-Triebfahrzeuge werden an die Fahrleitungen grössere Anforderungen gestellt. Hohe Geschwindigkeiten bedingen ein gutes dynamisches Verhalten von Fahrleitung und Stromabnehmer, eine einwandfreie Stromübertragung ohne Unterbrechungen bei Einfach- und Doppeltraktion.

Die einfache Kettenfahrleitung vermag diesen Bedingungen nicht zu genügen. Der Durchhang des Tragseils und damit die Höhenlage des Fahrdrachts, die Zugspannung und Elastizität ändern sich mit der Temperatur (Lufttemperatur und Erwärmung des Leiters durch die Strombelastung). Der Bügel kann bei hohen Geschwindigkeiten den Höhenschwankungen des Fahrdrachts nicht mehr folgen, der Bügellauf wird unregelmässig, es treten Stromunterbrechungen auf [1].



Für eine gute Stromabnahme gelten folgende wichtigste Kriterien (Tab. I):

Tabelle I

Kriterien Charakteristische Daten	Zulässige Werte
1 Statische Ungleichförmigkeit der Elastizität	$\varepsilon < 10...15 \%$
2 Amplitudenwerte des Fahrdrachthubs $\Delta h_{dyn}$	$a < 5...10 \text{ cm}$
3 Anzahl Kontaktabhebungen (Funken)	$u < 10...20/\text{km}$

Die Definition obiger Werte s. Fig. 2...4  
(Stromunterbrechungen sollten keine vorkommen)

Grundlage für eine gute Qualität einer Fahrleitung für hohe Geschwindigkeit ist vor allem eine gleichmässige Elastizität längs des Fahrdrachts, besonders unter den Aufhängepunkten des Tragseils (kleine  $\varepsilon$ -Werte). Die Y-Aufhängung und allfällige Federstäbe wirken ausgleichend auf die Elastizität und dämpfen Schwingungen (Resonanzerscheinungen).

### Messfahrten

Auf einer Teststrecke zwischen Mels und Flums wurden 1967–1969 bei den SBB verschiedene Fahrleitungsarten unter wechselnden Betriebsbedingungen und veränderlichen Parametern (Tab. II) bei 120–140–160 km/h erprobt [2]. Für die Testfahrten stand eine Messkomposition, bestehend aus dem Fahrleitungsbeobachtungswagen und beidseitig einer elektrischen Lokomotive, zur Verfügung, womit in beiden Richtungen mit verschiedenen Stromabnehmerstellungen (Einfach- und Doppeltraktion, grosse und kleine Bügelabstände) gefahren werden konnte.

Die Messapparatur im Beobachtungswagen bestand im wesentlichen aus folgenden Einrichtungen:

- Fahrdracht-Höhenmessvorrichtung (Diagramm Fig. 3,  $\Delta h$  und Amplitudenwerte  $a$ )
- Funkenmessgerät (Oszillogramm Fig. 4,  $U$ -Werte)
- Geschwindigkeitsmessung ( $V$  km/h)
- Fahrdrachtspannung 15 kV,  $16^{2/3}$  Hz, und eine
- Streckenanzeigevorrichtung.

In Tabelle III sind die Messresultate auszugswise zusammengestellt. Die Elastizität ( $e$ -Werte) wurde aus dem statischen Fahrdrachtanhub (Fig. 2) bei einem Stromabnehmerdruck von  $P_{stat} = 10 \text{ kp}$  ermittelt. Aus den  $e_{min}$ - und  $e_{max}$ -Werten wird die Ungleichförmigkeit ( $\varepsilon$ ) der Elastizität berechnet. Die Messfahrten erfolgten bei einem eingestellten statischen Bügeldruck von 6 kp.

Während der Fahrt erhöht sich mit der Geschwindigkeit der Bügeldruck infolge des aerodynamischen Auftriebs um einige kp auf über 10 kp. Gleichzeitig machen sich die Massenbeschleunigungskräfte zwischen Bügel und Draht bemerkbar. Wird  $P_{dyn} \leq 0$ , so hebt sich das Stromabnehmererschleifstück vom Fahrdracht ab, und es treten Kontaktabhebungen (Funken und Stromunterbrechungen) auf.

Die Anzahl und Dauer der Kontaktabhebungen ( $U$ -Werte) sind auf dem Oszillogramm in Fig. 4 ersichtlich. Die Amplitudenwerte ( $a$ ) lassen sich aus dem Fahrdracht-Höhendiagramm (Fig. 3) ablesen. Bei Doppeltraktion (Fahrt mit zwei Stromabnehmern) wird der Fahrdracht stärker angehoben und damit die Amplitudenwerte entsprechend grösser. Bei grossem Stromabnehmerabstand ist das Verhalten besser, bei vor- oder nachlaufendem Bügel unterschiedlich. Die Güte

Parameter

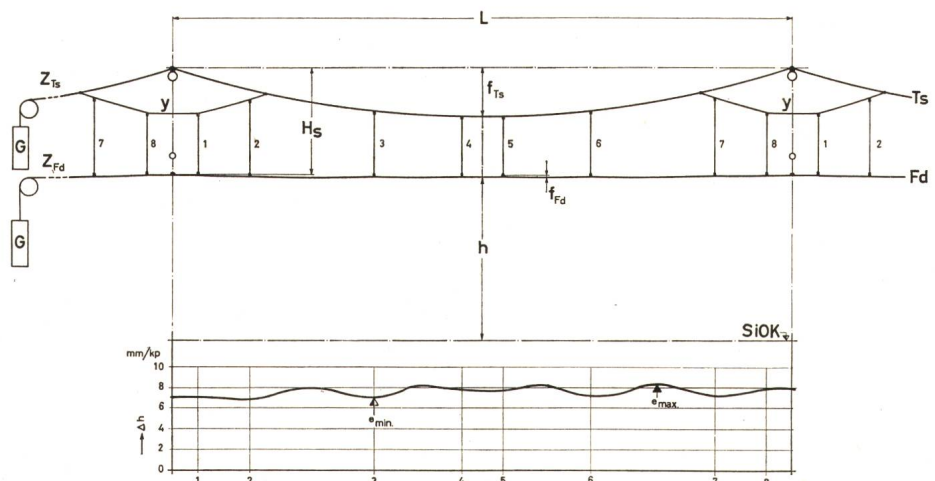
Tabelle II

– Fahrdrachtquerschnitt – und Zug	Fd 107 mm <sup>2</sup> Cu, 850 – 950 – <u>1050</u> kp
– Tragseilquerschnitt – und Zug	Ts 92 mm <sup>2</sup> St-Cu, 800 – 1200 – <u>1500</u> kp
– Spurhaltung	Variation der Aufhängung und Konstruktion
– Hänger (Fd-Aufhängung an Ts)	Variation der Anzahl und Abstände (Fig. 2)
Y-Aufhängung	Variation von Länge und Zug des Zwischenseils (Beiseil unter den Tragwerken)
Längen	12            14            18 m
Zug	<u>150 – 200</u> 95 – 150    45 – 90 kg
– Federstäbe, Variante mit und ohne Y-Beiseil	
– Fahrdrachtregulierung	mit und ohne Vordurchhang

— günstige Werte

Fig. 2 Schematische Darstellung des Drahtwerkes der R-FI

- Fd Fahrdracht 107 mm<sup>2</sup> Cu (Fd 107)  
 Ts Tragseil 92 mm<sup>2</sup> St-Cu (Ts 92)  
 L...6 Hänger  
 H<sub>s</sub> Systemhöhe (Norm 1,60 m)  
 h Fd-Höhe (Norm 5,50 m ü. SiOK)  
 e statische Elastizität  $e = \frac{\Delta h}{P}$  [mm/kp]  
 $\Delta h$  Fd-Anhub [mm]  
 P Bügeldruck [kp]  
 $\varepsilon$  statische Ungleichförmigkeit der Elastizität [%]  
 $\varepsilon = \frac{e_{max} - e_{min}}{e_{max} + e_{min}}$   
 L Spannweite (Norm max. 58 m)  
 Z<sub>Fd</sub> Fahrdrachtzug [kp], Parameter  
 Z<sub>Ts</sub> Tragseilzug [kp], Parameter  
 f<sub>Fd</sub> Durchhang des Fd  
 f<sub>Ts</sub> Durchhang des Ts





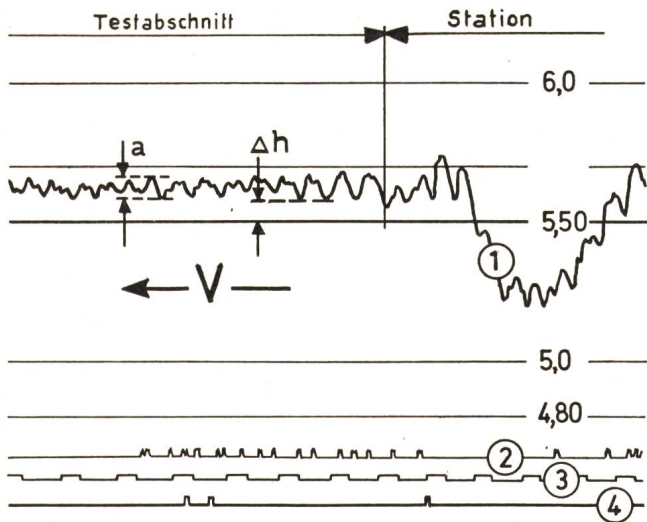


Fig. 3 Fahrdrabt-Höhendiagramm

- 1 Höhendigramm  $\Delta h$  dyn vertikale Bewegung (Schwingung)
- 2 Registrierung der Funken
- 3 Zeitmarke (V, km/h)
- 4 Ortsmarke
- a Amplitudenwerte der vertikalen Schwingungen von Bügel und Draht
- 4,80...6,0 Fd-Höhenmasse (m)
- V Fahrtrichtung

der Stromabnahme – worauf es im wesentlichen ankommt – ist bei der Fahrleitungsbauart Typ R mit nachgespanntem Trageil nachweisbar besser als bei der früheren N-Fl (s. Tabelle III).

Messresultate (Auszug)	Tabelle III					
Bauart	N-Fl			R-Fl		
Drahtwerk						
Statische Charakteristik						
Gleichförmigkeit	60%			9,5%		
Geschwindigkeit km/h	120	140	160	120	140	160
mittl. Amplitude dynamisch				keine Tests		
a-Werte [cm]				keine Tests		
o Kontaktabhebungen				keine Tests		
U-Werte Anzahl/km				keine Tests		
* Stromunterbrechungen				keine Tests		
Bügelanordnung						

### Bauausführung

Die Fahrleitung System R bedingt wegen des nachgespannten Trageils bewegliche Aufhängepunkte (schwenkbare Ausleger) und zusätzliche Nachspannungen. Diese Bauart ist für Linien, die mit hohen Geschwindigkeiten über 100 km/h befahren werden, bestimmt. Bestehende Strecken können nur sukzessive für den Schnellverkehr ausgebaut werden. Im Frühjahr 1973 wurde die Doppelspurstrecke Landquart-Chur für  $V_{max} = 140$  km/h in Betrieb genommen. Die neue Heitersberglinie wird mit Fahrleitungen Typ R ausgerüstet. Es folgt der Ausbau der Strecke Leuk-Visp auf Doppelspur. Bern-Thun und andere Strecken sind im Ausbauprogramm vorgesehen.

Die Nachspannung von Fahrdrabt und Trageil erfolgt in Abständen von 800...1200 m. Bei den Übergängen von Nachspannfeld zu Nachspannfeld verläuft die Fahrleitung

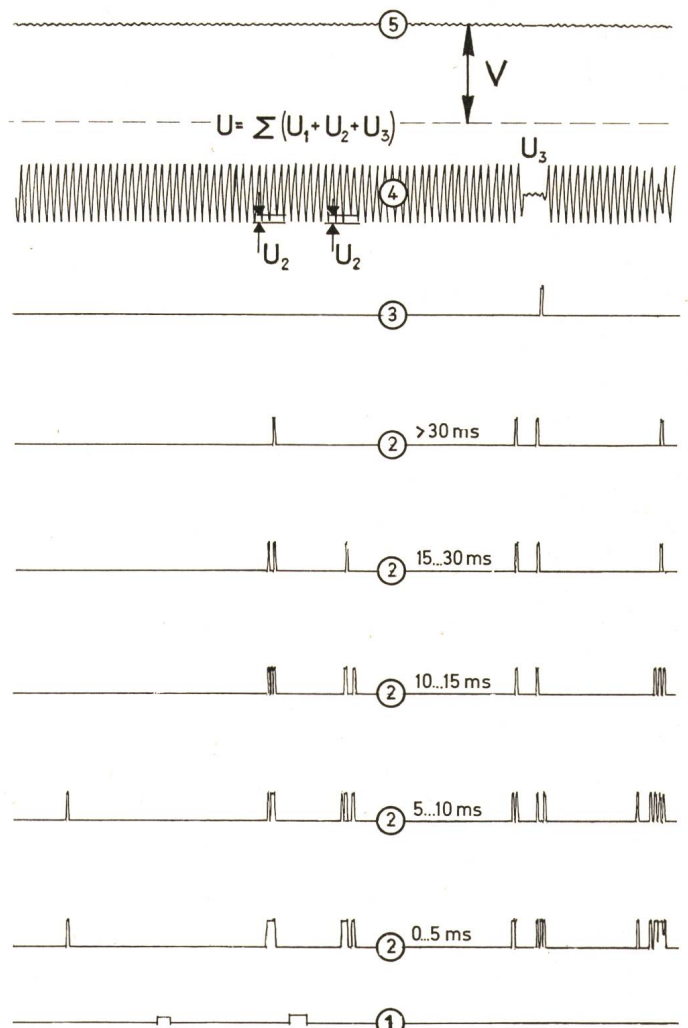


Fig. 4 Diagramm des Honeywell-Oszillographen («Funken»-Messung)

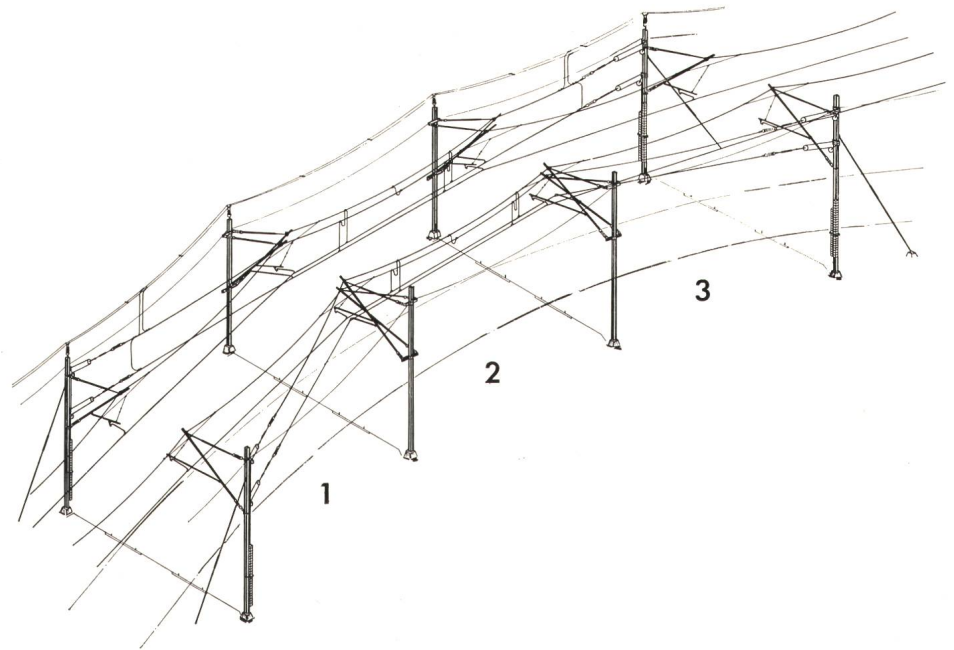
- 1 Zeitmarke
  - 2 Kontaktabhebungen gestaffelt nach Dauer (Zeit in ms)
  - 3 Kontaktabhebung mit vollständiger Spannungs-(Strom-) Unterbrechung
  - 4 Wechselstrom 15 kV,  $16\frac{2}{3}$  Hz (Spannungsamplituden)
- Definition der Art der Kontaktunterbrechungen
- $U_1$  kurzzeitige Kontaktabhebung ohne sichtbaren Spannungsabfall
  - $U_2$  Unterbrechungen von kurzer Dauer mit sichtbarer Spannungsreduktion einer Amplitude
  - $U_3$  Kontaktabhebung von längerer Dauer mit Spannungs-(bzw. Strom-)Unterbruch
- 5 Aufzeichnung der Fahrgeschwindigkeit (V, km/h)



Fig. 5

Darstellung einer Nachspannung in einer Kurve  $> 1000$  m

(Parallelführung über 3 Felder, Maste mit Einfach- und Doppelauslegern)



über einige Tragwerkabstände parallel. Auf geraden Strecken und in Kurven mit Radien  $R > 1000$  m verwendete man wie im Ausland Parallelführungen über 3 Spannweiten (Felder) nach Fig. 5 und 6 mit Ausleger. In Kurven mit  $R = 500 \dots 1000$  m sind Abfangjoche (Fig. 7 und 8) erforderlich. Zurzeit wird erprobt und steht zur Diskussion, ob auf Strecken mit  $R > 1000$  m einfeldrige Nachspannungen mit Abfangjochen verwendet werden können.

Auf Stationen sollten in der Regel die Hauptgeleise ebenfalls mit Fahrleitungen vom Typ R ausgerüstet werden. Bei den SBB sind die Geleisegruppen vorwiegend durch Querträger (Joche) überbrückt. Schwenkbare Ausleger müssen in solchen Fällen an Hängestützen unter den Jochen befestigt werden (Fig. 9). Meistens handelt es sich um Aus- oder Umbau von Stationen, wo der Übergang von N- auf R-FI und die Drahtführung über Weichen und Kreuzungen einige Schwierigkeiten bereitet. Bei den Übergängen (Einfahrtsignal) von Strecken auf Stationen wird das Fahrleitungsnetz durch Streckentrennungen unterteilt, die ähnliche Parallelführungen wie bei den erwähnten Nachspannungen erfordern.

Besondere Verhältnisse bestehen in engen, einspurigen Tunnels (wie beispielsweise im Simplontunnel), wo zurzeit

die Fahrleitung erneuert und durch ein leistungsfähiges System Typ R für hohe Geschwindigkeiten ersetzt wird. Dafür benötigt man besondere Tragwerke nach Fig. 10. Im Heitersbergertunnel werden normale Konstruktionen nach Fig. 11 verwendet.

### Strombelastung

Fahrleitungen sind Freileitungen besonderer Bauart. Der horizontal aufgehängte Fahrdraht wird vom Stromabnehmer beschliffen. Er muss über den Geleisen sämtlichen Kurven und Abzweigungen, Weichen und Kreuzungen des elektrifizierten Netzes folgen. Über einen schmalen Schleifkontakt von einigen  $\text{cm}^2$  werden Tausende von kW-Leistung übertragen.

Mit zunehmendem Verkehr, der Erhöhung der Geschwindigkeit und dem vermehrten Einsatz von Hochleistungslokomotiven nimmt der Energiebedarf stark zu. Die zu übertragende Leistung, die strommässige Belastung des Fahrleitungsnetzes wird immer grösser. Die frühere Fahrleitung (Typ N) mit einem Querschnitt von nur rund  $100 \text{ mm}^2$  Cu wurde anfänglich mit  $200 \dots 600$  A belastet. Heute und in Zukunft ist auf Hauptstrecken mit Strömen von über  $1000 \dots 1500$  A zu rechnen. Die Energieerzeugungs- und Verteilanlagen müssen entsprechend ausgebaut und die Leiterquerschnitte verstärkt werden. Die zulässige Strombelastung und Erwärmung sind von der Art und Dauer der Stromspitzen (Charakteristik des Leistungs- bzw. Stromdiagramms) abhängig. Das Stromdiagramm weist zahlreiche momentane Spitzen auf, die über einen kurzen Zeitintervall zu «Blöcken» zusammengefasst gedacht werden können (Fig. 12). Je nach dessen Höhe und Dauer erwärmt sich der Draht rascher (Zeitkonstante  $\tau$ ). Er darf nicht über seine zulässige Temperatur (bei normalem, reinem Kupfer, Cu-ETP auf  $70 \dots 80$  °C, bzw. bei silberhaltigem Kupfer, Cu-LSTP auf  $150$  °C) erhitzt werden. Die Erwärmung eines Leiters ist eine Funktion von  $I^2$ ; Erwärmung und Abkühlung folgen in kurzen Intervallen. Es bestehen somit andere Verhältnisse als bei einer Freileitung mit Belastung durch einen konstanten Dauerstrom. Genaue Berechnungen und zuverlässige Er-

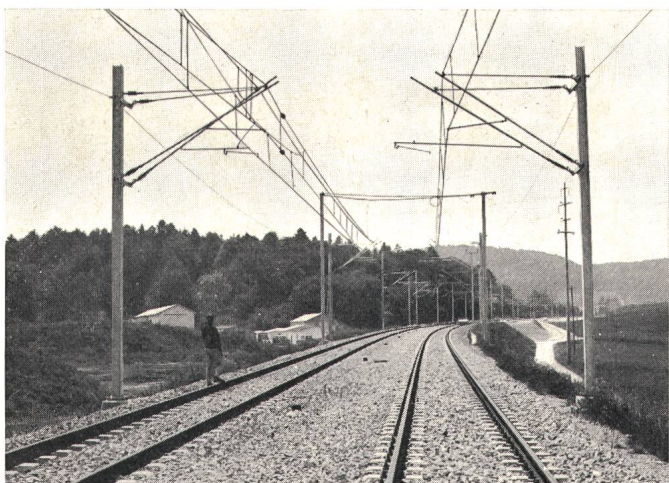
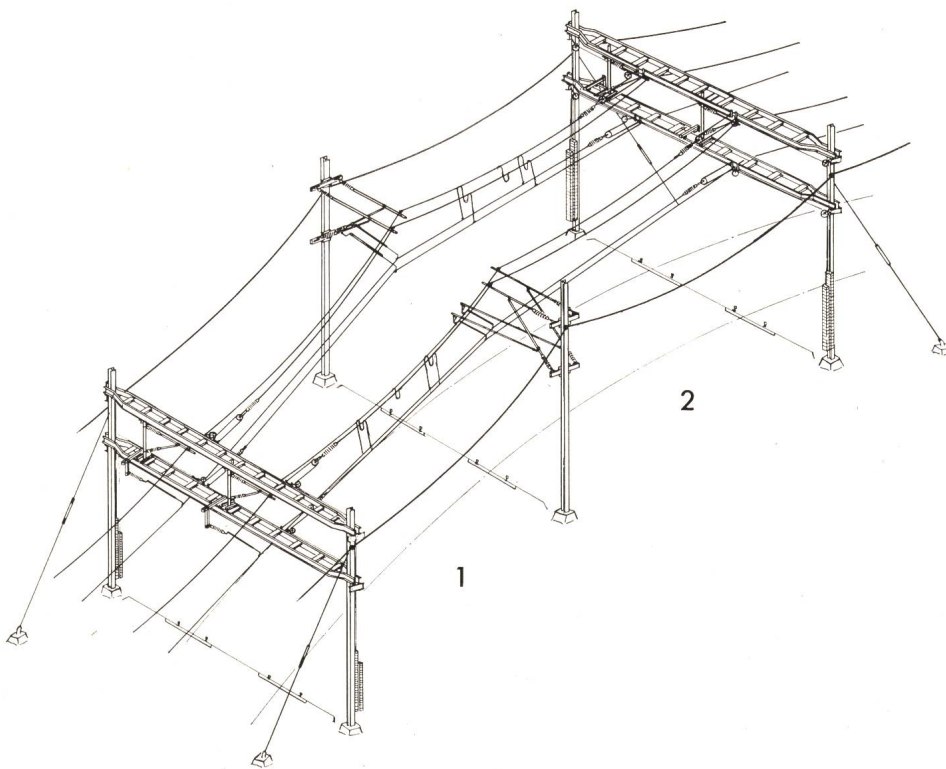


Fig. 6 3feldrige Streckentrennung (entsprechend Fig. 5)



Fig. 7

Darstellung einer Nachspannung in einer  
 Kurve  $R = 500 \dots 1000 \text{ m}$   
 (Parallelführung über 2 Felder mit  
 Abfangjochen)



wärmungsmessungen im Betrieb sind schwierig durchzuführen. Über die Belastbarkeit und Erwärmung von Fahrleitungen liegen wenig Unterlagen vor. Die SBB führten daher zur

Abklärung der zulässigen Grenzwerte an einer Modellfahrleitung Erwärmungsmessungen durch [3]. Dabei wurden die Stromspitzen stufenweisem, intermittierend in Nachahmung der Betriebsdiagramme, nach bestimmten Programmen reguliert. Die Untersuchungen geben Anhaltspunkte über die zu wählenden Leiterquerschnitte.

Die beschriebene Schnellfahrleitung wird mit einem Fahrdrabt von  $107 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  (Fd 107) und einem Tragseil von  $92 \text{ mm}^2 \text{ St-Cu}$  (Ts 92 mit  $85 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ ), total  $192 \text{ mm}^2$



Fig. 8 2feldrige Nachspannung (entsprechend Fig. 7)

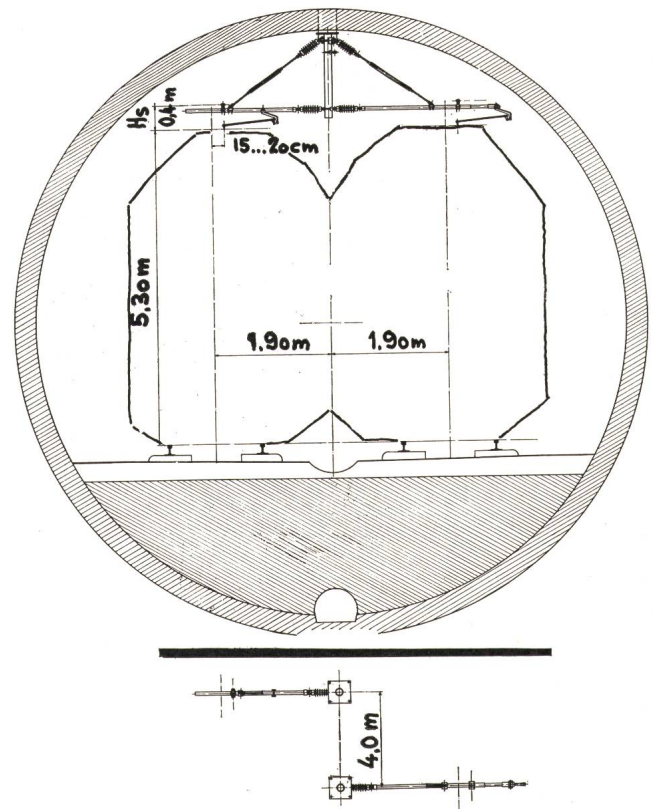


Fig. 10 Norm-Tunneltragwerk. Doppelspur, Heitersberg

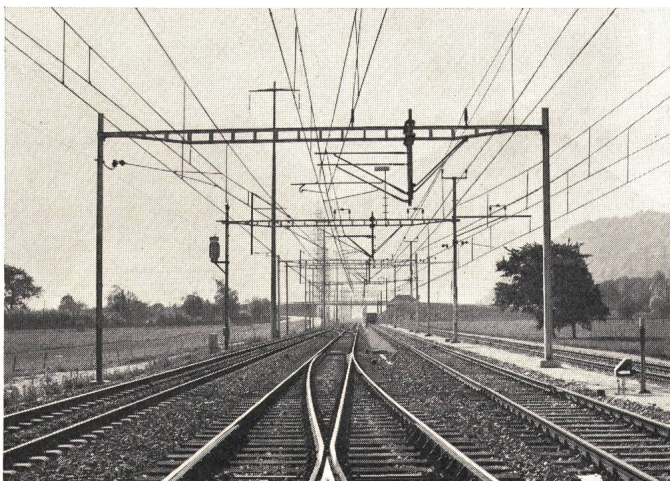


Fig. 9 R-Fl einer Station. Hängestützen mit Auslegern



Cu, ausgerüstet. Sie kann mit einem Dauerstrom ( $I_d$ ) von 760...800 A, bzw. intermittierend ( $I_i$ ), über kurze Zeit von ca. 1150...1200 A (bei +40 °C Lufttemperatur, 30...40 °C Übertemperatur und leichtem Wind von ca. 0,6 m/s) belastet werden. Reicht der Querschnitt nicht aus, so sind parallel zur Fahrleitung Feeder von 1 oder 2  $\times$  95 mm<sup>2</sup> Cu oder in Tunnels Doppelfahrleitungen vorzusehen.

### Zusammenfassung

Mit der Entwicklung des Verkehrs, der Geschwindigkeits- und Leistungssteigerung führen die SBB, in Anpassung an den technischen Fortschritt bedingt, eine neue Fahrleitungsbauart ein. Bis zum Abschluss der Elektrifikation (1960) [4] genügte die frühere, einfache Bauart (Typ N) hinreichend. In den folgenden Jahren zeigte sich ein vermehrtes Bedürfnis und schliesslich eine zwingende Notwendigkeit nach einem besseren Fahrleitungssystem (Typ R), das den heutigen und zukünftigen Anforderungen zu genügen vermag. Arbeitsgruppen des Office de Recherches et d'Essais (ORE) der Union Internationale des Chemins de fer (UIC) führten darüber zusammen mit verschiedenen Bahnverwaltungen eingehende Studien, Forschungen und Versuche durch <sup>2)</sup>, mit dem Ziel, neue Fahrleitungssysteme für hohe Geschwindigkeiten zu entwickeln, die eine möglichst ununterbrochene Leistungsübertragung ermöglichen. Die Untersuchungen führten zu neuen interessanten Erkenntnissen und Gesichtspunkten über das dynamische Verhalten von Stromabnehmer und Fahrleitung und über die Güte der Stromabnahme bei sehr hohen Fahrgeschwindigkeiten.

<sup>2)</sup> ORE, Office de Recherches et d'Essais, Fachgruppe A3, Berichte Nr. 1 bis 9, 1955 bis 1962 über das Verhalten der Stromabnehmer und der Fahrleitungen bei hohen Geschwindigkeiten; Fachgruppe A84, Berichte Nr. 1 bis 11, 1966 bis 1970 über das Verhalten der Stromabnehmer und Fahrleitung bei Geschwindigkeiten über 160 km/h (Verwaltung und Schriftleitung: Oudenoord 60, Utrecht)

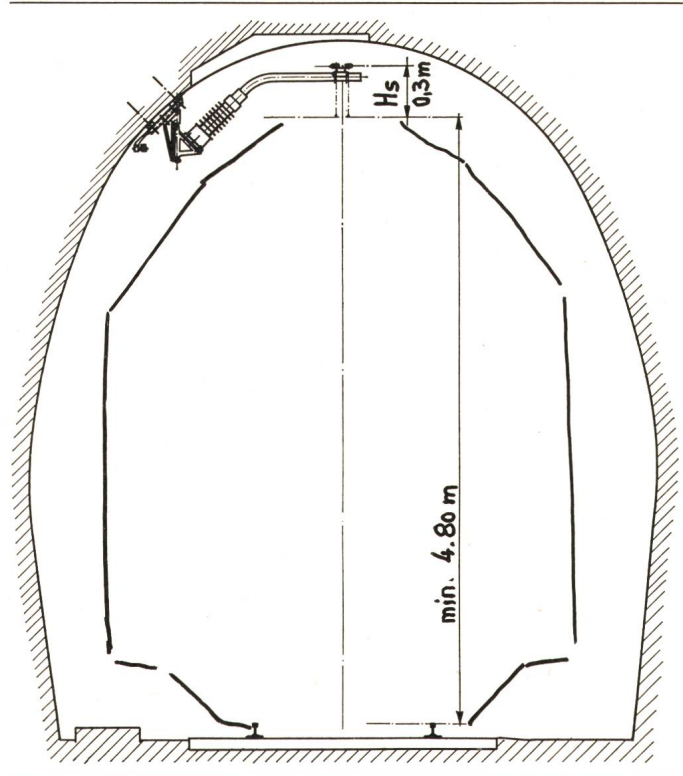


Fig. 11 Fahrleitungs-Tragwerk Simplon einspurig

### Literatur

- [1] H. Merz: Fahrleitungen und Schnellverkehr. Bull. SEV 56(1965)10, S. 379...390.
- [2] H. Merz: Entwicklung im Fahrleitungsbau. Eisenbahntechnische Rundschau 19(1970)1/2, S. 71...77.
- [3] H. Merz, F. Roggen und T. Zürrer: Erwärmung und Belastbarkeit von Fahrleitungen. Schweizer Archiv für Angewandte Wissenschaft und Technik 33(1967)7, S. 189...215.
- [4] Schweizerische Bundesbahnen: Zum Abschluss der Elektrifikation der SBB. Olten, Otto Walter Verlag, 1960.

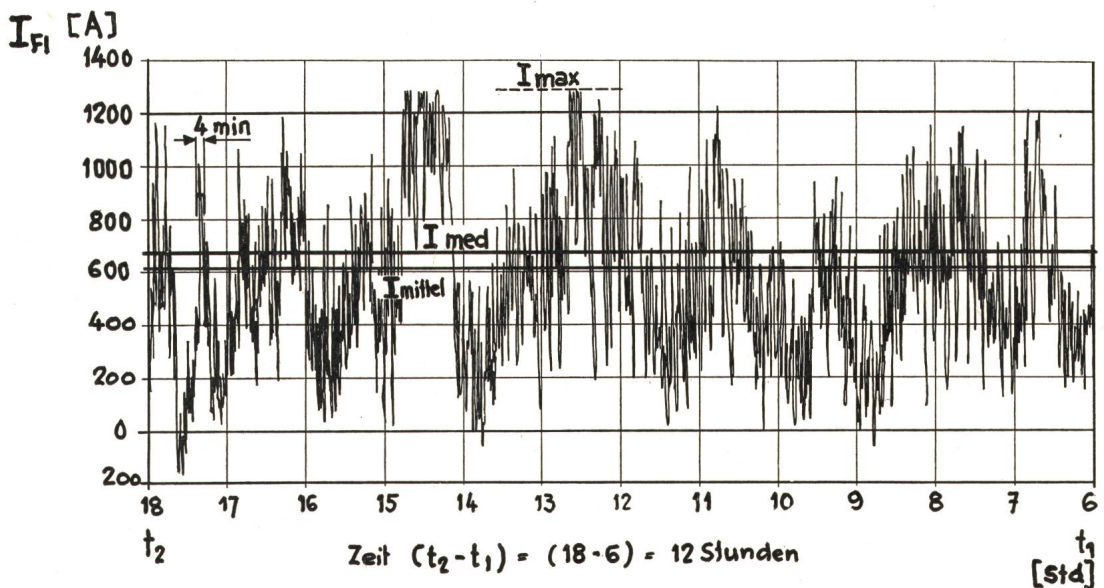


Fig. 12 Fahrstrom-(Leistungs-) Diagramm

$I_{max} = 1290$  A,  
 $I_{med} = 665$  A

$$I_{med} = \sqrt{\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt}$$

### Adresse des Autors:

Hugo Merz, dipl. Ing. ETH, Sektionschef der Bauabteilung der Schweizerischen Bundesbahnen, Generaldirektion, Mittelstrasse 43, 3000 Bern.