

# Die 15 kV Einphasenstrom-Fahrleitungen der Schweizerischen Bundesbahnen

Autor(en): **Schuler, H.W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 15

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41781>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Die 15 kV Einphasenstrom-Fahrleitungen der Schweizerischen Bundesbahnen.

Von H. W. SCHULER, Elektroingenieur, Zürich.

Die Elektrifikation der Strecke Erstfeld-Bellinzona der Gotthardlinie, die Ende 1913 beschlossen wurde, war gedacht als eine Versuchsausführung im Grosse. Von ihrer Bewährung sollte es abhängen, ob und wie die Elektrifikation der Schweizerischen Bundesbahnen weiter auszudehnen sei. Die Gründe, die dazu zwangen, eine solche selbstverständliche Erwägung fallen zu lassen und die Ausdehnung der Elektrifikation über diese Stammstrecke hinaus schon vor ihrer Vollendung zur Folge hatten, sind bekannt.

Diese Ausdehnung, zuerst im August 1918 nach Süden bis Chiasso beschlossen, dann schon im April 1919 nach Norden bis Luzern und Zürich, wurde begonnen in einem Zeitpunkt, in dem nur ungefähr vorauszusehen war, wann es möglich sein werde, auf Erstfeld-Bellinzona mit dem 15 kV Einphasensystem Erfahrungen zu sammeln. Wird noch berücksichtigt, dass im Herbst 1917 beschlossen wurde, Thun-Bern zu elektrifizieren, und schon im Oktober 1920 das Projekt über die Elektrifikation der Strecke Sitten-Lausanne vom Verwaltungsrat genehmigt worden ist, so wird es ohne weiteres verständlich, dass die Fahrleitungs-Anlagen der verschiedenen heute elektrisch betriebenen Linien nicht eine einheitliche Bauart aufweisen.

Zwangen die Verhältnisse des Jahres 1918 im Interesse eines raschen Baubeginnes auf Thun-Bern dazu, an Stelle eiserner Maste Holzäste zu verwenden und die Fahrleitungsbauart der Lötschbergbahn zu übernehmen, so war andererseits für die Strecken Bellinzona-Chiasso und Erstfeld-Luzern und -Zürich noch kein Grund vorhanden, von der für die Strecke Erstfeld-Bellinzona gewählten Bauart im wesentlichen abzuweichen. Immerhin schien, hauptsächlich mit Rücksicht auf die Elektrifikation eines so ausgedehnten Bahnhofes wie Zürich, der Einbau einer etwas „durchsichtigeren“ Fahrleitung, deren Montage auch weniger Zeit erforderte, vorteilhaft. So wurden die Stationen der Strecken Luzern-Zug und Goldau-Zürich mit Fahrleitungen ohne Zwischenseil ausgerüstet. In der Folge wurde die Leitungsbauart Gotthard überhaupt verlassen und bei den nach Luzern-Chiasso begonnenen Arbeiten der Fahrdrabt direkt am Trageisil aufgehängt und durch Gewichte nachgespannt. Diese Bauart wurde nicht nur mit der von der Gotthard-Fahrleitung übernommenen normalen Spannweite von 60 m, sondern, in der Westschweiz, auch mit 100 m Normalspannweite ausgeführt, sodass heute im wesentlichen drei verschiedene Fahrleitungs-Bauarten unterschieden werden können, die im folgenden beschrieben werden sollen.

### DIE GOTTHARD-FAHRLEITUNG MIT ZWISCHENSEIL.

Diese Fahrleitung besteht über den Hauptgeleisen aus einem Drahtseil von 7 Drähten aus verzinktem Eisen von 4 mm Durchmesser, Gesamtquerschnitt 88 mm<sup>2</sup>, aus einem Zwischenseil von 19 Drähten aus verzinktem Eisen von 2,5 mm Durchmesser, Gesamtquerschnitt 93 mm<sup>2</sup>, und aus einem Fahrdrabt aus hartgezogenem Kupfer, Querschnitt 107 mm<sup>2</sup>. Ueber den Nebengeleisen besteht das Trageisil aus 7 Drähten von 3 mm Durchmesser, Gesamtquerschnitt 50 mm<sup>2</sup>, das Zwischenseil aus 19 Drähten von 2,2 mm Durchmesser, Gesamtquerschnitt 73 mm<sup>2</sup>, und der Fahrdrabt aus hartgezogenem Kupfer von 70 mm<sup>2</sup> Querschnitt. Der an Stelle dieses Kupferfahrdrabtes auf einzelnen Stationen eingebaute Eisenfahrdrabt von 90 mm<sup>2</sup> Querschnitt hat sich im Betrieb nicht bewährt und ist daher in den letzten Jahren wieder entfernt worden. Die Normalspannweite beträgt auf der Strecke Erstfeld-Bellinzona 56 m, auf den Strecken Bellinzona-Chiasso und Erstfeld-Luzern 60 m. Die Spannweite von 56 m ergab sich als günstigste Spannweite wegen der vielen Kurven zwischen Erstfeld und Bellinzona, zwischen denen nur verhältnismässig kurze gerade Strecken den Einbau grösserer Spannweiten gestattet hätten.

Abbildung 1 zeigt schematisch die Anordnung der Fahrleitung. Der Fahrdrabt ist alle 7,5 m mittels Hänger am Zwischen-seil aufgehängt, das seinerseits auf der freien Strecke alle 30 m, in den Stationen alle 15 m am Trageisil aufgehängt ist. Dieses ist alle 60 m über ein Tragjoch geführt. Nach vier Spannweiten, also nach 240 m, geht der Fahrdrabt in das Zwischen-seil über, wie in Abbildung 2 angedeutet; der Zug in Fahrdrabt und Zwischen-seil ist daher bei allen Temperaturen der gleiche; er beträgt bei  $-20^{\circ}$

rd. 400 kg und nimmt bei steigender Temperatur ab, bis er bei der angenommenen Höchsttemperatur von  $34^{\circ}$  noch 230 kg beträgt. Wäre der Fahrdrabt nicht in der angegebenen Art mit dem Zwischen-seil kombiniert, so würde der Zug bei  $34^{\circ}$  bis auf 53 kg sinken. Im Zwischen-seil allein würde bei dieser Temperatur der Zug noch 300 kg betragen.

Die zunehmende Temperatur bewirkt einerseits eine Verlängerung des Fahrdrabtes und des Zwischen-seiles infolge der Wärmedehnung, andererseits eine Abnahme des Zuges. Diese Abnahme nun hat eine Vergrösserung des Durchhanges, also eine Verlängerung, und eine Verkleinerung der elastischen Dehnung, also eine Verkürzung, zur Folge. Die Verlängerung infolge Wärmedehnung von vier Spannweiten Fahrdrabt und vier Spannweiten Zwischen-seil, vermindert um die Differenz von Verlängerung infolge Durchhangsvergrösserung und Verkürzung infolge Verminderung der elastischen Dehnung der gleichen vier Spannweiten Fahrdrabt und Zwischen-seil, ergibt die effektive Verlängerung, der andererseits ein ganz bestimmter Zug entspricht. Die graphische Darstellung Abbildung 3 zeigt ohne weiteres wie, ausgehend von 400 kg Zug bei  $-20^{\circ}$ , der einer Temperatur von  $34^{\circ}$  entsprechende Zug gefunden wird. Der Zug von 230 kg, der dieser Temperatur entspricht, ist im Hinblick auf die Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h und den kleinen Stromabnehmer-Anpressungsdruck eher klein. Dazu kommt als besondere Eigentümlichkeit dieser Fahrleitungsbauart, dass auch eine wesentliche Erhöhung des Zuges bei tiefster Temperatur keine ähnliche Erhöhung des Zuges bei der Höchsttemperatur zur Folge hat. Zeichnet man die in Abbildung 3 enthaltenen Kurven auf einen Höchstzug von 600 kg um, so ergibt sich bei der Höchsttemperatur nur ein Zug von 260 kg.

Der Zug im Trageisil über Hauptgeleisen beträgt bei der tiefsten Temperatur 670 kg. Es besteht also, da das Seil eine Zugfestigkeit von 50 kg/mm<sup>2</sup> aufweist, eine 7,3 fache Sicherheit gegen Zerreißen. Bei der angenommenen Höchsttemperatur von  $+34^{\circ}$  beträgt der Zug noch 600 kg. Dieser Zugverminderung entspricht eine Durchhangsvergrösserung, die zur Folge hat, dass sich die Aufhängepunkte des Zwischen-seiles senken. Da diese Bewegung praktisch senkrecht zur Geleiseebene erfolgt, verschiebt sich auch der Fahrdrabt praktisch parallel gegen das Geleise hin oder von ihm weg. Diese Parallelverschiebung beträgt in den Temperaturgrenzen von  $-20^{\circ}$  bis  $+34^{\circ}$  insgesamt 46 cm. Der Fahrdrabt wird nun bei der mittlern Montagetemperatur so verlegt, dass alle seine Aufhängepunkte gleichen Abstand vom Geleise haben. Bei

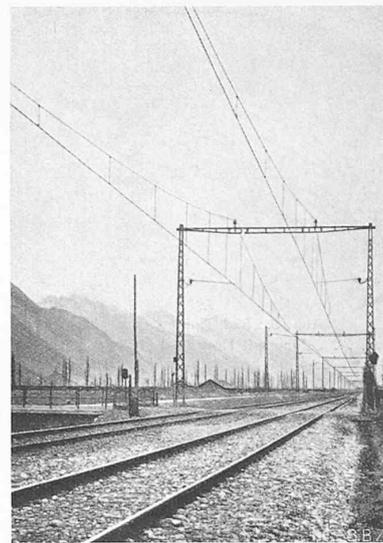


Abb. 7. Fahrleitung von 100-m Spannweite, ohne Zwischenseil, auf gerader Strecke.

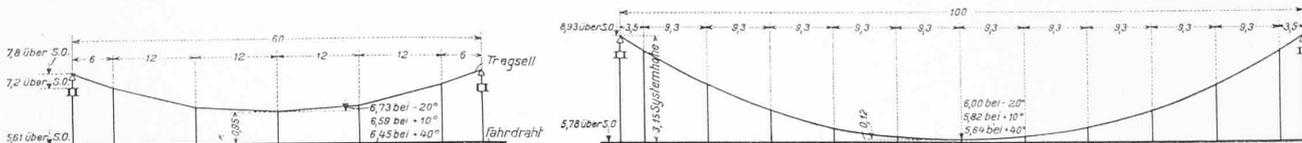


Abb. 4 und 5. Aufhängung der Fahrleitung ohne Zwischenseil auf freier Strecke, bei 60 bzw. 100 m Spannweite. — Masstab 1:1000.

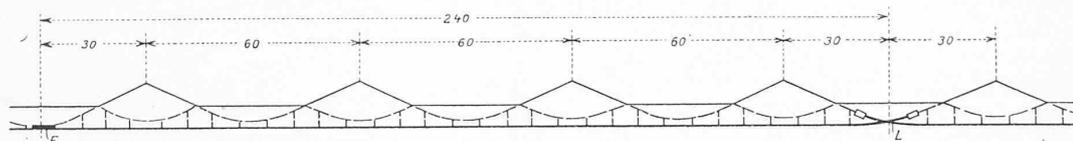


Abb. 2. Fixpunkt (F) und Lagewechsel (L) zwischen Fahrdräht und Zwischenseil bei der Gotthard-Fahrleitung. — 1:2000.

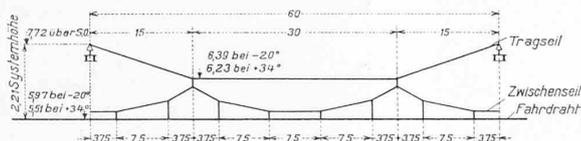


Abb. 1. Gotthard-Fahrleitung auf freier Strecke. — 1:1000.

den angenommenen Grenztemperaturen ist aber dieser Abstand nicht mehr überall der gleiche; im ungünstigsten Falle tritt bei der Zwischenseil-Spannweite von 30 m (Zweipunkt-Aufhängung) ein Unterschied von 10 cm, bei der Zwischenseil-Spannweite von 15 m (Vierpunkt-Aufhängung) ein solcher von 5,5 cm auf zwischen tiefstem und höchstem Punkt des Fahrdrahtes über Schienenoberkante. Diese geringe Welligkeit, bezogen auf die Zwischenseil-Spannweite, ist es, die auch bei hohen Temperaturen, also bei kleinem Zug im Fahrdräht, eine zuverlässige und funkenfreie Stromabnahme bei hohen Fahrgeschwindigkeiten ermöglicht.

Eine Nachregulierung der Fahrleitung in den ersten Betriebsjahren mittels der in das Zwischenseil eingebauten Spannschlösser war nötig wegen der den Kupferdrähten eigentümlichen dauernden Dehnung, die erst nach länger dauernder Zugbeanspruchung zur Ruhe kommt.

DIE FAHRLEITUNGS-BAUARTEN OHNE ZWISCHENSEIL.

Wie schon eingangs bemerkt, kam nach Verlassen der Gotthard-Bauart nicht auf dem ganzen Netz die gleiche Fahrleitungsbauart ohne Zwischenseil zur Anwendung. Grundsätzlich unterscheiden sich allerdings die beiden Bauarten nicht, da sowohl bei 100 m als auch bei 60 m Normalspannweite (vergl. Abbildungen 4, 5, 7 und 8) das Tragseil an jedem Tragpunkt festgehalten ist, während der Fahrdräht durch Gewichte nachgespannt wird, die ihm bei allen vorkommenden Temperaturen eine gleichbleibende Zugspannung geben. Von der Bauart der Gotthardleitung wurde nur die Aufhängung des Fahrdrahtes in Abständen von 7,5 m an seinem Tragorgan übernommen. In der Folge wurde aber durch eingehende Versuche mit der höchstzulässigen Geschwindigkeit von 90 km/h festgestellt, dass auf Hauptgleisen ein Hängerabstand von 12 m bei einem Zug im Fahrdräht von 600 kg ohne weiteres noch zulässig sei. Diesem Zug entspricht ein Fahrdrähtdurchhang zwischen zwei Hängern von 2,9 cm.

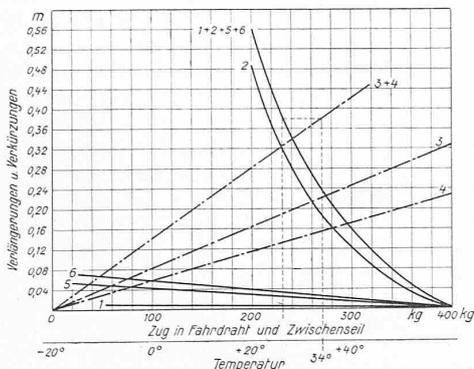


Abb. 3. Verhalten von Fahrdräht und Zwischenseil bei der Gotthard-Fahrleitung.

LEGENDE zu Abb. 3: 1. Geometrische Verlängerung des Fahrdrahtes auf 240 m Länge; 2. Geometr. Verlängerung des Zwischenseils auf 240 m Länge; 3. Verlängerung des Fahrdrahtes durch Temperaturerhöhung; 4. Verlängerung des Zwischenseils durch Temperaturerhöhung; 5. Elastische Verkürzung des Zwischenseiles; 6. Elastische Verkürzung des Fahrdrahtes.

Die Stromentnahme bei der Höchstgeschwindigkeit und bei einem Stromabnehmer-Druck von 3,5 bis 4 kg ist trotz dieser Welligkeit des Fahrdrahtes ein-

wandfrei. Auf Nebengeleisen, auf denen immer mit einer Geschwindigkeit gefahren wird, die weit unter der genannten Höchstgeschwindigkeit liegt, wurde der Hängerabstand auf 15 m festgesetzt, bei spezifisch gleichem Zug im Fahrdräht. Durch diese Vereinfachungen gegenüber der Gotthard-Fahrleitung gelang es, das Gewicht der Fahrleitung von 3,25 kg/m auf 1,38 kg/m herunterzubringen, ein Ergebnis, das sich namentlich in den Kosten von Bau und Unterhalt der Leitung vorteilhaft auswirkt.

Der Zug im Drahtseil beträgt 600 kg bei -20°; er sinkt mit steigender Temperatur und beträgt bei 40°, bei Spannweiten von 100 m, noch 532 kg, bei Spannweiten von 60 m noch 460 kg. Die Aenderung der Zugspannung mit steigender Temperatur zeigt das Berechnungsdiagramm Abbildung 6. Schneelast wurde bei der Berechnung der Leitungen nicht berücksichtigt, von der Annahme ausgehend, dass infolge der durch vorbeifahrende Züge ausgelösten Erschütterungen eine grössere Schneeanammlung an den Leitungen nicht möglich ist. Diese Annahme wurde durch die Erfahrungen allgemein als richtig bestätigt. Bis jetzt wurden nur in der eigentlichen Gebirgsgegend der Gotthardlinie grössere Schneemengen, am Drahtwerk haftend, festgestellt. Hier aber fördert die durch das Zwischenseil geschaffene Engmaschigkeit des Drahtwerkes das Ablagern von Schnee.

DIE LAGE DES FAHRDRAHTES INBEZUG AUF DAS GELEISE.

Der bei steigender Temperatur abnehmende Zug im Tragseil bewirkt eine Zunahme des Durchhanges. In der Mitte der Spannweite verändert sich daher die Höhe des Fahrdrahtes über Schienenoberkante in bestimmtem Umfang. Bei 100 m Spannweite beträgt diese Höhenänderung im angenommenen Temperaturbereich von total 60° 36 cm, bei 60 m Spannweite beträgt sie 28 cm. Der Fahrdräht wird nun so eingebaut, dass er bei der Temperatur von 5° C genau parallel zur Geleise-Ebene liegt. Da die unter den beiden Tragpunkten einer Tragseilspannweite liegenden Stellen des Fahrdrahtes sich infolge der Temperaturänderung

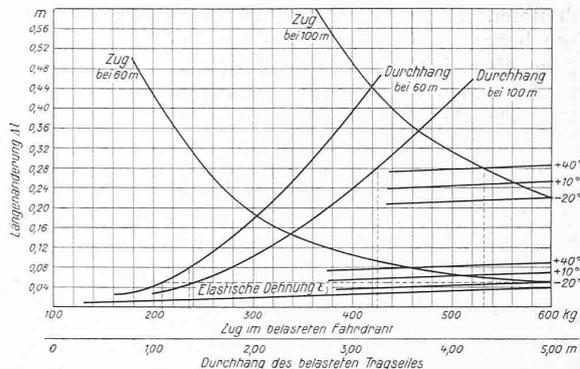


Abb. 6. Berechnungsdiagramm für Fahrleitungen ohne Zwischenseil von 60 m und 100 m Spannweite.

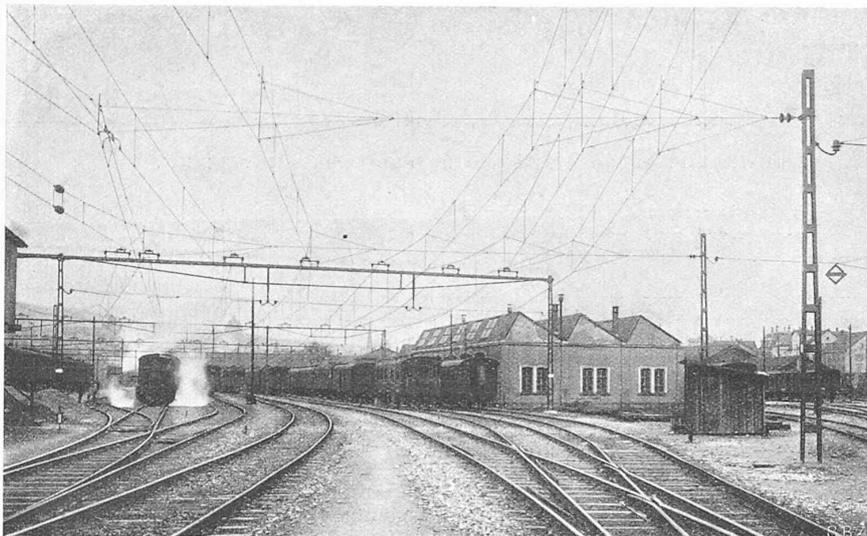


Abb. 8. Kurvenabzug über mehrere Geleise bei 60 m Spannweite (Bahnhof Zürich).

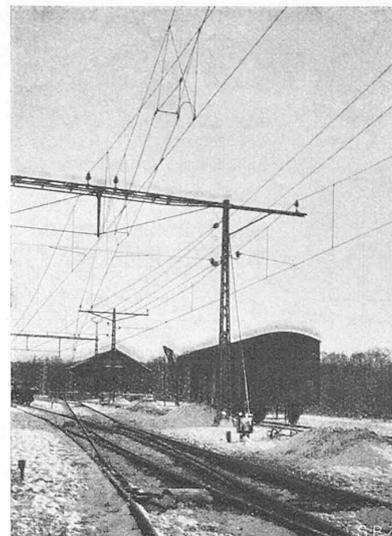


Abb. 11. Fahrdrabt-Spreizung über engl. Weichen.

nur um wenige Zentimeter nach oben und unten verschoben, wird zwischen diesen beiden Stellen im Bereich von  $-20^{\circ}$  bis  $+5^{\circ}$  der Fahrdrabt nach oben (negativer Durchhang), im Bereiche  $+5^{\circ}$  bis  $+40^{\circ}$  nach unten durchhängen. Da nun der Stromabnehmer den Fahrdrabt anhebt, die Stromabnahme dann aber immer am funkenfreiesten erfolgt, wenn eine gegen das Geleise hin konkave Drahtwelle vor dem Stromabnehmer her geschoben wird, wird eben der Fahrdrabt so eingebaut, dass er, auf die ganze Spannweite bezogen, im grössern Bereich der angenommenen Temperaturgrenzen nach unten durchhängt.

Ueber die Höhenlage des Fahrdrabtes in Bezug auf das Geleise bestehen eidgenössische Vorschriften. Diese lassen über tiefliegenden Ueberbauten, wie Tunnel und Wegüberführungen, eine Fahrdrabthöhe von 4,8 m über S. O. zu. Damit kommt der Fahrdrabt an die obere Begrenzungslinie des Lichtraumprofils zu liegen. Da die obere Umgrenzungslinie der Fahrzeuge 4,5 m über S. O. liegt, bleibt ein Schutzabstand von 30 cm zwischen Fahrdrabt und „Erde“. Andererseits musste zwischen tiefster Fahrdrabthöhe und Unterkante Ueberbau ein Abstand von mindestens 50 cm vorhanden sein, um die Fahrleitung, bestehend aus Trageisil, Zwischenseil und Fahrdrabt, frei durchzubringen. Die Isolierung der Leitung an den Enden der Ueberbaute erforderte auch dann, wenn die Fahrleitung kein Zwischenseil besass, komplizierte Konstruktionen (Abb. 9). Zudem waren solche Stellen der Fahrleitung immer sehr schwer einregulierbar. Die Auftrennung des Trageisils und seine isolierte Befestigung an den Stirnseiten der Ueberbaute beseitigte alle Mängel, die solchen Unterführungen anhafteten (Abbildung 10). Auf der durch keine Hindernisse beengten freien Strecke ist eine Fahrdrabthöhe von 5,5 m über S. O. vorgeschrieben, die bei mehr als 3 m breiten schienengleichen Wegübergängen 5,8 m betragen muss. Da der Uebergang von einer Fahrdrabthöhe zu einer andern wegen der Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h nur mit einer Neigung von höchstens  $2^{\circ}/_{00}$  erfolgen darf, kann, wenn sich in der Nähe solcher Wegübergänge tiefliegende Ueberbauten befinden, die verlangte Höhe von 5,8 m nicht eingehalten werden. In solchen Fällen sind auf beiden Seiten der Geleise quer über die Strasse Schutzportale zu stellen, die auf die Gefahr des tiefliegenden Fahrdrabtes aufmerksam machen und zugleich die zulässige Ladehöhe der Strassenfuhrwerke angeben.

In Stationen muss vorschriftsgemäss eine Fahrdrabthöhe von mindestens 6 m eingehalten werden, mit Rücksicht auf das Beladen und Entladen von Wagen und auf das Besteigen von Wagendächern zu Revisionszwecken. Dieser Vorschrift kann natürlich nur da nachgelebt werden,

wo keine Ueberbauten zu kleinerer Fahrdrabthöhe zwingen. Nun zeigt aber die Erfahrung, dass nur in etwa der Hälfte aller Stationen die Fahrdrabthöhe von 6 m eingehalten werden kann, und zwar sind gerade in den grössern Bahnhöfen fast immer Ueberbauten vorhanden, die eine solche Höhe nicht zulassen.

Die Lage des Fahrdrabtes in bezug auf die Geleiseaxe ist bestimmt durch die Breite des Stromabnehmers. Wegen der vielen Tunnel mit engem Profil kann die gesamte Breite nicht mehr als 1320 mm betragen, sodass für das eigentliche Schleiftück aus Alumium nur 950 mm übrig bleiben. Die möglichst gleichmässige Abnutzung der Schleiffläche des Schleiftückes verlangt in der Geraden die Zickzackführung des Fahrdrabtes, an deren Stelle in den Kurven die Polygonführung tritt. Die grösste Abweichung des Fahrdrabtes aus der Geleiseaxe beträgt 20 cm. In der Geraden wird in einer Spannweite von einem Maximum zum andern gegangen, sodass der Fahrdrabt in der Mitte der Spannweite senkrecht über der Geleiseaxe liegt. In der Kurve liegt der Punkt der grössten Abweichung immer da, wo der Fahrdrabt seitlich festgehalten wird. Es bleibt somit am Schleiftück eine nicht beschliffene Fläche von  $2 + 27,5$  cm Länge, die nur bei seitlichem Schwanken des Fahrzeuges und des Stromabnehmers selbst zur Stromabnahme herangezogen wird.

Das kleine zulässige Höchstmass der Abweichung von  $\pm 20$  cm aus der Geleiseaxe hat zur Folge, dass in bestimmten Fällen zwischen die eigentlichen Tragwerke Zwischenmaste eingebaut werden müssen. Bei 60 m Normalspannweite werden solche Zwischenmaste in Kurven mit Radien unter 1000 m nötig; bei 100 m Spannweite wird auch in der Geraden und dazu in Kurven bis herab auf solche von 1000 m Radius ein Zwischenmast, in Kurven unter 1000 m deren zwei eingesetzt, sodass dann der Fahrdrabt alle 33 m seitlich festgehalten ist.

In Stationen wird über englischen Weichen der eine der kreuzenden Fahrdrabte 40 cm gespreizt, damit beim Befahren der Weichen auf Ablenkung der Stromabnehmer auf keinen Fall vom Fahrdrabt abgleite. Abbildung 11 zeigt die beschriebene Ausführung, von der die alte Ausführung insofern abweicht, als bei ihr beide kreuzenden Fahrdrabte je 20 cm gespreizt sind (siehe die in nächster Nummer folgende Abbildung 22, rechts vom Mast).

Jede Temperaturänderung verschiebt wegen der Wärme- dehnung den Fahrdrabt in der Richtung des Geleises, bei steigender Temperatur gegen das Nachspanngewicht hin, bei sinkender Temperatur von ihm weg gegen den Fixpunkt hin. Die Länge einer Nachspannstrecke zwischen Fixpunkt und Nachspanngewicht beträgt höchstens 750 m; in der

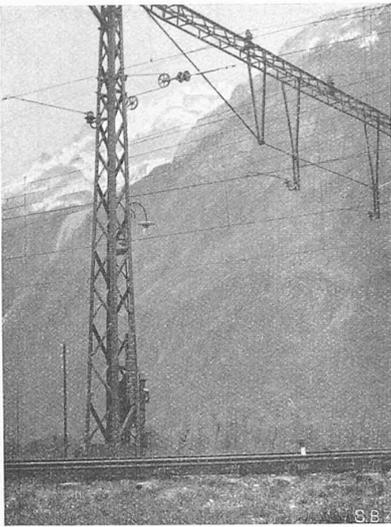


Abb. 12. Durch Gewicht nachgespannte Leitung.

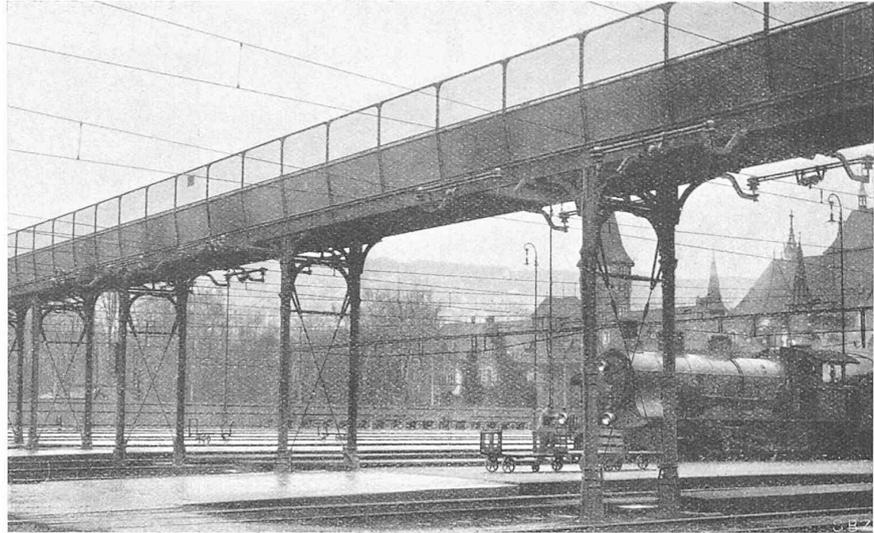


Abb. 9. Unterführung von Fahrdrabt und Tragdrabt unter einer Passerelle (Bahnhof Zürich).

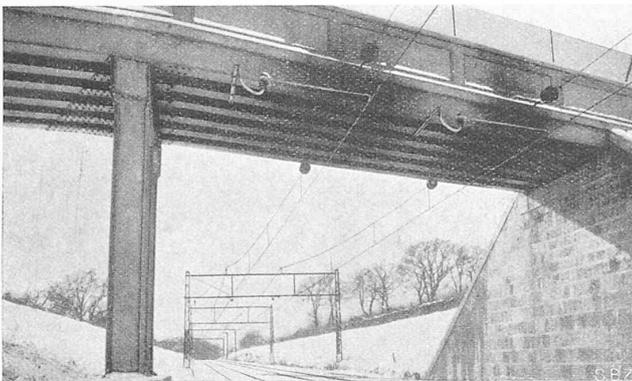


Abb. 10. Abfangen des Trageisels unter Ueberbauten; Fahrdrabt frei durchgeföhrt.

Regel, insbesondere in Kurven werden 600 m nicht überschritten. Bei dieser Länge ist der Betrag der Reibung, die dem Zug der Gewichte entgegenwirkt, noch so klein, dass eine wesentliche Verminderung des Fahrdrabtzuges zwischen Fixpunkt und Nachspanngewicht nicht festzustellen ist. Auf der freien Strecke und über langen Stationsgeleisen wird der Fixpunkt so gebildet, dass der Fahrdrabt am Trageisil verankert wird. Fahrdrähte über kürzern Stationsgeleisen werden am einen Ende an einem Ankermast verankert und am andern mit Gewichten nachgespannt (Abbildung 12). Dabei wird bei kreuzenden Fahrdrähten darauf geachtet, dass sie sich in ihrer gegenseitigen Verschiebung nicht stören.

DAS DRAHTWERK.

Die Systemhöhe des Drahtwerkes, unter der man den Abstand zwischen Fahrdrabt und Auflagepunkt des Trageisels versteht, ist in erster Linie gegeben durch den Durchhang des Trageisels beim festgesetzten Höchstzug. Sie ist ferner durch die Länge des kürzesten Hängers in der Mitte der Spannweite bestimmt. Bei der Bauart mit 100 m Spannweite ist der kürzeste Hänger 12 cm lang, da, mit Rücksicht auf die Mastlänge, mit dem Trageisil möglichst an den Fahrdrabt herangegangen werden musste. Bei der 60 m Spannweite durfte in der Mitte der Spannweite der Abstand zwischen Fahrdrabt und Trageisil nicht zu klein vorgesehen werden, weil sonst die Joche zu tief in das Gesichtsfeld des Führers herabgekommen wären und weil die Verwendung von Jochen und Auslegern mit schrägen Streben nach unten an den Mast eine einfache Anordnung der Seitenisolation nicht mehr ermöglicht hätte.

Die einzelnen Teile des Drahtwerkes und zum Teil auch die an sie gestellten Anforderungen haben ganz bestimmte Entwicklungen durchgemacht, die teils durch Erfahrungen im Bau und im Betrieb, teils durch neue Ueberlegungen veranlasst worden sind. Es würde zu weit führen, hier auf Einzelheiten dieser Entwicklungen einzugehen, es kann höchstens bei der Beschreibung des Geltenden kurz auf wichtigere Stufen hingewiesen werden.

Als *Fahrdrabt* wurde von Anfang an ein Runddrabt mit zwei Furchen verwendet, dessen Querschnittform mit jener des normalen amerikanischen Trolleydrahtes übereinstimmt. Abbildung 13 zeigt die vier normalisierten Querschnitte. Fahrdrabt mit 57 mm<sup>2</sup> Querschnitt wird über allen Stationsgeleisen verlegt, auf denen mit weniger als 45 km/h gefahren wird. Eine Ausnahme bilden die Stationen der Strecke Luzern-Chiasso, wo überall auf solchen Geleisen Fahrdrabt von 70 mm<sup>2</sup> Querschnitt zur Verwendung gekommen ist. Ueber allen Stationsgeleisen, die mit mehr als 45 km/h befahren werden, und über allen Geleisen der freien Strecke wird Fahrdrabt von 107 mm<sup>2</sup> Querschnitt verlegt. Der Fahrdrabt besteht aus hartgezogenem Elektrolytkupfer von mindestens 99,8% chemischer Reinheit. Er wird zur Erreichung langer Walzdrabtlängen aus möglichst schweren Wire-bars gewalzt. Die Walzdrähte werden mit Silber sorgfältig gelötet, sodass im fertig gezogenen Draht die Lötstellen die gleiche Festigkeit aufweisen wie der homogene Draht.

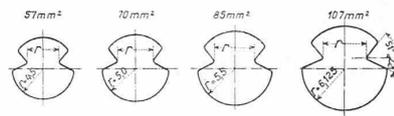


Abb. 13. Fahrdrabt-Profile. — 1:1.

Die den Drahtwerk-Berechnungen zu Grunde liegenden Konstanten der beiden jetzt ausschliesslich verwendeten Fahrdrabtarten sind:

	57 mm <sup>2</sup>	107 mm <sup>2</sup>
Widerstand	Ohm/km 0,295	0,157
Elastizitätsmodul	kg/cm <sup>2</sup> 1,2 · 10 <sup>6</sup>	1,2 · 10 <sup>6</sup>
Wärmeausdehnungskoeffizient	cm/1 <sup>o</sup> C 1,7 · 10 <sup>-5</sup>	1,7 · 10 <sup>-5</sup>
Spezifisches Gewicht	kg/cm <sup>3</sup> 8,9 · 10 <sup>-3</sup>	8,9 · 10 <sup>-3</sup>
Gewicht	kg/m 0,508	0,953
Gesamt-Zugfestigkeit	kg 1820	3440

Der 107 mm<sup>2</sup> Draht wird mit 600 kg, der 57 mm<sup>2</sup> mit 300 kg nachgespannt. Die Sicherheit gegen Zerreißen ist daher eine 5,7- bis 6,1-fache. Die spezifische Zugfestigkeit des Drahtes muss mindestens 35 kg/mm<sup>2</sup>, die Dehnung nach dem Bruch gemessen auf 20 cm Messlänge mindestens 4,5% betragen.

Als *Tragorgan* des Fahrdrabtes wird an Stelle des bereits erwähnten Trageisels der Gotthard-Fahrleitung von 88 mm<sup>2</sup> Querschnitt, Trageisil von 50 mm<sup>2</sup> Querschnitt oder

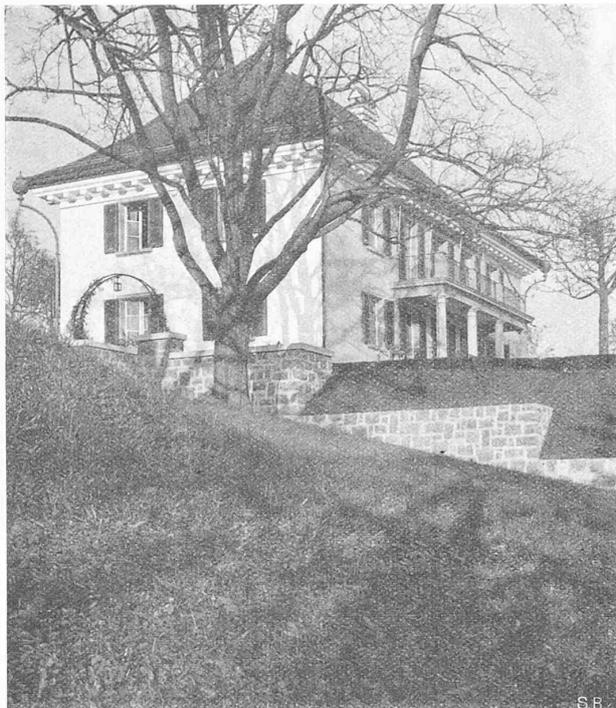


Abb. 4. Südwestseite des Hauses G. Küpfer.

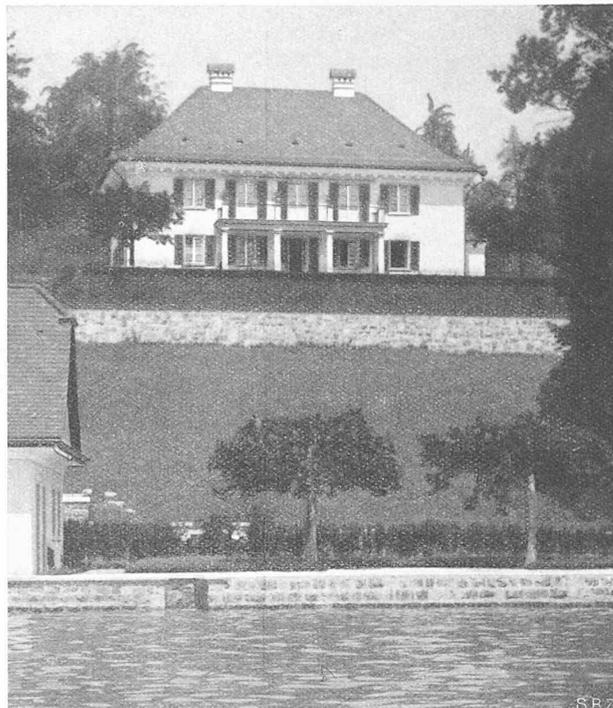


Abb. 3. Ansicht vom See aus.

Bimetalldraht von 63,6 mm<sup>2</sup> Querschnitt verwendet. Verzinktes Stahlseil wird über allen Geleisen der Linien eingebaut, auf denen nach der Durchführung der Elektrifikation alle regelmässigen Züge elektrisch geführt werden. Auf Strecken, auf denen dies nicht zutrifft, kommt verbleit-verzinktes Stahlseil zur Verwendung. Bimetalldraht (Kupferpanzerstahldraht) wird in Tunneln und über den Geleisen derjenigen Stationen verlegt, in die auch nach der Elektrifikation noch Linien mit Dampfverkehr einmünden. An dessen Stelle wird Bronzeseil verwendet, wenn dieses mindestens 10 % billiger zu stehen kommt; dabei muss die grössere Wärmedehnung, also die grössere Durchhangänderung der Bronzeteile im Bereich des angenommenen Temperaturintervalles in Kauf genommen werden.

Zu Berechnungen werden die folgenden Bedingungen und Konstanten der verschiedenen Tragorgan-Arten benützt:

	Stahlseil	Bronzeseil	Bimetalldraht
Elastizitätsmodul	kg/cm <sup>2</sup> 1,8 · 10 <sup>6</sup>	1,05 · 10 <sup>6</sup>	1,6 · 10 <sup>6</sup>
Wärmedehnungskoeffizient	cm/1 <sup>0</sup> C 1,1 · 10 <sup>-5</sup>	1,7 · 10 <sup>-5</sup>	1,3 · 10 <sup>-5</sup>
Spezifisches Gewicht	kg/cm <sup>3</sup> 7,80 · 10 <sup>-3</sup>	8,90 · 10 <sup>-3</sup>	8,35 · 10 <sup>-3</sup>
Gewicht	kg/m 0,400	0,450	0,531
Gesamt-Zugfestigkeit	kg 3600	3000	3600
Durchmesser	mm 9,0	9,0	9,0
Spez. Zugfestigkeit	kg/mm <sup>2</sup> 72	60	57
Dehnung <sup>1)</sup>	% 6,0	1,5	2,5

Die Seile sind aus 7 Drähten von 3 mm Durchmesser zusammengesetzt. Durch Eintauchen des Drahtes in Kupfervitriollösungen 1 : 5 wird die Güte der Verzinkung der Einzeldrähte nachgeprüft. Nach sechs Eintauchungen von je einer Minute Dauer darf sich dabei keine zusammenhängende Kupferschicht bilden. In ähnlicher Weise wird die Güte der auf die Zinkschicht aufgetragenen Bleischicht kontrolliert; nur kommt hier ein Bad von 20 % iger Schwefelsäure von 50<sup>0</sup> C zur Anwendung. Bei keiner der sechs Eintauchungen darf sich an der Drahtoberfläche Gasentwicklung zeigen. Ausserdem müssen die Einzeldrähte sich noch um Drähte gleichen Durchmessers aufwickeln lassen,

<sup>1)</sup> Nach dem Bruch auf 20 cm Messlänge gemessen.

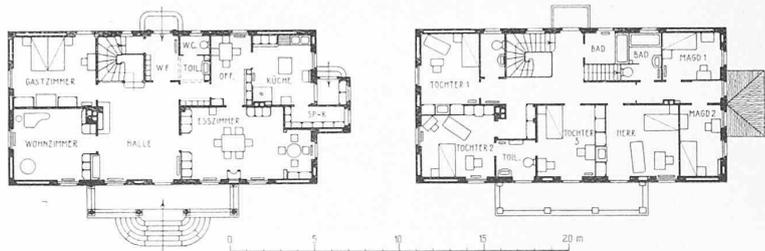


Abb. 7. Grundrisse 1 : 400. — Architekt A. Ammann, Luzern.

ohne dass die Zink- und Bleischicht rissig wird oder sich ablöst. Vom Bimetalldraht wird verlangt, dass sich die Oberfläche der Kupferschicht nicht aufräut, und dass sich die Kupferschicht nicht vom Stahlkern löst, wenn der Draht um einen Zylinder von 20 mm Radius aufgewickelt wird. Die Stahlseele soll nicht mehr als 66 % des Gesamtquerschnittes beanspruchen, die Dicke der Kupferschicht darf an der dünnsten Stelle nicht unter 0,5 mm sinken.

Damit die Seile möglichst wenig Schweiss- und Lötstellen aufweisen, sollen die Einzeldrähte mindestens 1000 m lang sein. (Forts. folgt.)

### Landhaus G. Küpfer in Kastanienbaum bei Luzern.

Von Arch. A. AMMANN, Luzern.

Nach 40-jähriger Lebensarbeit in Chile hat sich der Bauherr, ein gebürtiger Berner, nach der Heimat zurückgezogen, und am Ufer des Vierwaldstättersees sesshaft niedergelassen (Abbildung 1). In monatelanger, gemeinsamer Vorarbeit mit dem Architekten, bei der weder der englische Zug im Schrank für Kragen und Manschetten noch die Toilette mit Kalt- und Warmwasser für das Dienstpersonal vergessen worden sind, ist das schlichte Landhaus im Jahre 1925 entstanden. Der prächtige, alte Baumbestand gab von ersten Tage an einen Rahmen, der seinesgleichen sucht. Die horizontalen Linien, die Seemauer, Boothaus, Stützmauer, Dachgesims und First bilden, schaffen bewussten Kontrast mit den bewegten Formen der einfassenden Eichen und Obstbäume (Abbildungen 2 und 3).