

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 34 (1943)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Elektrische Dampferzeuger für Dampflokomotiven  
**Autor:** Müller, W. / Meyer, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057720>

### **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:** 25.12.2024

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

ben, ist die Kurve der Grenzkosten für die totalen und beweglichen Kosten identisch. Die Kurve der Grenzkosten trifft sich mit der Kurve der mittleren beweglichen Kosten im Betriebsminimum, es stimmt mit dem Betriebsoptimum, dem Punkt der niedrigsten mittleren totalen Kosten überein, wenn man die konstanten Kosten gleich Null setzt. Die Kosten des Betriebsminimums sind die niedrigsten Kosten, die gedeckt werden müssen, wenn der Betrieb überhaupt noch produzieren soll. Das Betriebsoptimum und Betriebsminimum liegen in unserem Fall auf der Ordinate der höchstmöglichen Produktionsmenge. Die Grenzkosten sind so gering, dass der grösste Ertrag unter allen Umständen bei voller Ausnutzung der Disponibilitäten erreicht wird, so dass Ertragsrechnungen unterbleiben können. Die höchstmögliche Produktionsmenge ist somit zugleich auch die Menge, die bei dem gewählten Ausbau den höchsten Ertrag ergibt. Soll diese Menge überschritten werden, so sind neue feste Kosten aufzuwenden, eventuell verbunden mit einer Aenderung der Produktionsmethode (Energiebezug, Einsatz kalorischer Reserven usw.). Für die erweiterte Anlage entsteht dann ein neuer funktionaler Zusammenhang zwischen Kosten und Mengen.

Die Kostenkurven zeigen den grossen Einfluss der festen und beweglichen Kosten auf die Preisbildung. Der Unternehmer als Anbieter von Energie will mit dem Betrieb mindestens die Produktionskosten decken und womöglich noch einen Gewinn erzielen. Für seine betriebswirtschaftlichen Kalkulationen genügt es ihm, wenn durch die Gesamteinnahmen die Gesamtkosten zum mindesten gedeckt werden. Da der Betrieb für eine bestimmte optimale Produktionsmenge ausgebaut ist und die festen Kosten 70 bis 80 % der Gesamtkosten ausmachen, kann der Unternehmer sich bei seinen

Preiskalkulationen der einzelnen Energiegüter in weitgehendem Masse den Nutzen- und Kostenschätzungen von der Konsumseite aus anpassen. Die Grenzkosten der gesamten Energiemenge oder bei einer schärferen Kalkulation die Grenzkosten des betr. Energiegutes dürfen dabei unter keinen Umständen unterschritten werden.

Der Unternehmer kann aber nicht nur die Grenzkosten, sondern auch die «wahren Kosten» eines Energiegutes zur Kalkulation des Preises heranziehen. Solche Berechnungen werden auch durchzuführen sein, wenn Produktionsmittel neu festgelegt und zwischen verschiedenen Produktionsverfahren Vergleiche angestellt werden sollen, wobei ein optimaler volkswirtschaftlicher Ertrag angestrebt wird. Auch in diesem Falle werden die optimalen Energiemengen mit der Menge, die den höchsten Ertrag ergibt, übereinstimmen. Beim Eisenbahnverkehr können die Kosten einer einzelnen Verkehrsleistung nicht festgestellt werden; die Preise richten sich ausschliesslich nach den Nutzen- und Kostenschätzungen von der Nachfrageseite aus. In der Energiewirtschaft dagegen lassen sich die wahren Produktionskosten jedes Energiegutes wenigstens approximativ berechnen. Es sind dafür verschiedene Methoden entwickelt worden, doch fällt ihre Darstellung nicht in den Rahmen dieser Darlegungen<sup>7)</sup>. Nach unserer Auffassung verdienen jene Methoden den Vorzug, die ausgehen von der Benutzungsdauer der maximalen Belastung jedes Energiegutes unter Berücksichtigung des zeitlichen Eintreffens dieser Belastung. Minima und Maxima der Produktionskosten jedes Energiegutes treten dann ein bei höchster Benutzungsdauer in einer Zeit minimaler Gesamtbelastung bzw. bei kleinster Benutzungsdauer in einer Zeit höchster Gesamtbelastung.

<sup>7)</sup> R. Schneider: Elektrische Energiewirtschaft, Berlin 1936.

## Elektrische Dampferzeuger für Dampflokomotiven

Von W. Müller und E. Meyer, Bern

621.364.6 : 621.13

*Nach einem Hinweis auf die kriegsbedingten Schwierigkeiten in der Beschaffung von Brennstoffen und Metallen und die Notwendigkeit, denselben durch jedes brauchbare Mittel zu begegnen, wird die Elektrifizierung zweier Dampfrangierlokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen beschrieben. Die elektrische Ausrüstung, die unter Beibehaltung des bestehenden Dampfkessels mit Kohlenfeuerung montiert wurde, umfasst neben Stromabnehmer und Hauptschalter zwei Einphasen-Transformatoren 240 kVA, 15 000/20 V, 16 $\frac{2}{3}$  Per./s und zwei Verdampfer. Der Umbau einer Lokomotive kostet rund Fr. 100 000.—. Im Rangierdienst wird eine umgebaute Lokomotive jährlich ca. 1,8 · 10<sup>6</sup> kWh an Stelle von 300 t Kohle verbrauchen, das heisst 6 kWh ersetzen ein Kilogramm Kohle. Die Zeit für das Anheizen beträgt bei elektrischer Dampferzeugung nur 1...1 $\frac{1}{4}$  h gegenüber 2...3 h bei Feuerung mit Holz und Kohle.*

*L'auteur rappelle que depuis le début des hostilités il est de plus en plus difficile d'obtenir des combustibles et des métaux et qu'il est de ce fait nécessaire de les remplacer par tous les moyens. Il décrit ensuite l'électrification de 2 locomotives à vapeur de manœuvre des CFF, dont la chaudière à charbon a été conservée. L'équipement électrique comporte un pantographe, un interrupteur principal, deux transformateurs monophasés 240 kVA, 15 000/20 V, 16 $\frac{2}{3}$  pér./s, et deux évaporateurs. Coût de la transformation: environ Fr. 100 000.— par locomotive. Pour le service des manœuvres, une locomotive ainsi transformée consommera environ 1,8 · 10<sup>6</sup> kWh au lieu de 300 t de charbon, soit 6 kWh pour 1 kg de charbon. La mise sous pression à l'électricité ne demande que 1 à 1 $\frac{1}{4}$  h, au lieu de 2 à 3 h avec le bois et le charbon.*

Obschon im Jahre 1941 auf dem Netz der Schweizerischen Bundesbahnen nur noch rund 5% des Verkehrs, gemessen in Bruttotonnen-km, von Dampflokomotiven geleistet wurden, verbrauchten diese im genannten Jahre doch die beträchtliche

Menge Brennmaterial von rund 150 000 t, wovon etwa  $\frac{1}{3}$  im Rangierdienst. Es sind dies immer noch mehr als 20 % des Verbrauches vom Jahre 1913, das die grösste Leistung der Dampflokomotiven an Bruttotonnen-km aufwies. Abgesehen von der Stei-

gerung der Ausgaben um etwa 12 Millionen Franken infolge der seit dem Beginn des Krieges eingetretenen Verteuerung des Brennmaterials bereiteten die ungenügenden Brennmaterialeingänge und das Schwinden der Vorräte der Verwaltung der SBB schwere Sorgen, die sie veranlassten, alle Massnahmen zur Einschränkung des Brennmaterialverbrauches der Dampflokomotiven zu prüfen, selbst solche, die man zu andern Zeiten ohne weiteres verwerfen würde.

Fahrplaneinschränkungen auf Dampflinien, das am raschesten wirksame, im Kriege 1914/18 bis zur Grenze des Tragbaren angewendete Mittel zur Einschränkung des Kohlenverbrauches, sind mit schweren Nachteilen für die Wirtschaft sowohl der betroffenen Landesgegenden wie des ganzen Landes und seiner Staatsbahn verbunden und deshalb nur anzuwenden, wenn alle andern Möglichkeiten erschöpft sind. Die am nächsten liegende Massnahme aber, die Elektrifikation weiterer Strecken und Rangierbahnhöfe, ist leider nur in beschränktem Umfang durchführbar, weil nicht nur an Kohle, sondern besonders auch an den für die Ausrüstung der Strecken mit der Fahrleitung und für den Bau elektrischer Triebfahrzeuge erforderlichen Materialien grösster Mangel herrscht. Da gleichzeitig der Verkehr in bisher nie gekanntem Masse anwuchs, war in erster Linie die Vermehrung der elektrischen Lokomotiven für die bereits elektrisch betriebenen Linien erforderlich, auf denen zeitweise wegen Mangels an elektrischen Triebfahrzeugen mit Dampflokomotiven ausgeholfen werden musste. Alles erhältliche Material musste deshalb für diesen Zweck verwendet werden, während der Bau von Triebfahrzeugen für eine weitergehende Ausdehnung des elektrischen Betriebes wie auch die Ausrüstung der Strecken und Bahnhöfe mit der Fahrleitung nicht in dem Umfange möglich war, der mit Rücksicht auf den Kohlenmangel wünschbar wäre.

Seit Kriegsbeginn wurde immerhin der elektrische Betrieb auf den Strecken Luzern-Brünig-Interlaken<sup>1)</sup> (Schmalspur), Zürich/Oerlikon-Seebach - Wettingen<sup>2)</sup>, (Neuchâtel-) Auvignier - Les Verrières<sup>3)</sup> und Winterthur - Neuhausen (-Schaffhausen)<sup>4)</sup> aufgenommen und die Fahrleitung in einigen Rangierbahnhöfen bedeutend erweitert. 16 Triebwagen für die Brüniglinie, 6 schwere Gebirgslokomotiven, 3 Gepäckschnelltriebwagen (Leichtlokomotiven), 13 elektrische Rangierlokomotiven und 42 elektrische Rangiertraktoren (Kleinlokomotiven), wovon 9 aus Benzintraktoren umgebaut, wurden seit Ende 1939 in Betrieb gesetzt, und 6 schwere Gebirgslokomotiven sowie 14 Rangierlokomotiven befinden sich im Bau. Diese Massnahmen tragen zur Verminderung des Kohlenverbrauches in dem Masse bei, als es eben wegen des Mangels an Metallen überhaupt möglich ist.

1) Bull. SEV 1942, Nr. 26, S. 784.

2) Bull. SEV 1942, Nr. 6, S. 159.

3) Bull. SEV 1942, Nr. 25, S. 754.

4) Bull. SEV 1943, Nr. 8, S. 221.

Um unter Aufwendung von möglichst kleinen Mengen der am schwersten erhältlichen Materialien weitere Brennmaterialersparungen zu erreichen, wurde, wie schon im Kriege 1914/18, auch der Gedanke der «Elektrifizierung der Dampflokomotiven», d. h. der Dampferzeugung durch Verwendung elektrischer Energie aus den Fahrleitungen wieder aufgenommen. Diese unter normalen Verhältnissen wegen des schlechten Wirkungsgrades der Energieverwertung ohne weiteres zu verwendende Idee durfte angesichts der gewaltig steigenden Kohlenpreise neuerdings in Erwägung gezogen werden, selbst wenn man nicht zur Verminderung des Kohlenverbrauches «um jeden Preis» gezwungen wäre. Nimmt man beispielsweise eine derartige «Elektrifikation» der noch in grösserer Zahl im Betrieb stehenden Dampf- und Rangierlokomotiven in Aussicht, so kann eine Kohlenersparnis von rund 300 t pro Jahr und Lokomotive erwartet werden. Dies entspricht bei heutigen Kohlenpreisen einer jährlichen Ausgabe von 36 000 Fr. pro Lokomotive, wovon für den Unterhalt der elektrischen Einrichtungen etwa 1000 Fr. abzuziehen sind. In knapp 3 Jahren sind somit bei gleichbleibenden Kohlenpreisen die Umbaukosten, die sich pro Lokomotive auf rund 100 000 Fr. belaufen, durch die Einsparung im Kohlenverbrauch gedeckt. Von diesem Zeitpunkt an steht jährlich ein Betrag von 35 000 Franken zur Verfügung zur Deckung der Kosten der elektrischen Energie. Bei Annahme eines jährlichen Energieverbrauches von 1 750 000 kWh pro Lokomotive entspricht dies bei den heutigen Brennstoffpreisen einem Betrag von 2 Rp./kWh. Ob dies genügt, um die durch die Inbetriebnahme einer Anzahl Dampflokomotiven mit elektrischer Dampferzeugung entstehenden effektiven *Mehrkosten* für Energieerzeugung in eigenen Kraftwerken oder für teilweisen Mehrbezug von Energie aus fremden Werken zu decken, hängt von so vielen und veränderlichen Umständen ab, dass darüber kein allgemein gültiges Urteil möglich ist. Für den Entschluss, auf diesem Wege dem drohenden Kohlenmangel zu begegnen, genügte die Feststellung, dass eine Kostendeckung zur kurzfristigen Amortisation der Erstellungskosten der zusätzlichen Einrichtungen und hernach bei ihrer Weiterverwendung auch ein namhafter Beitrag an die Kosten der elektrischen Energie zu erwarten ist.

Vorerst konnte es sich natürlich nur um einen Versuch handeln. Einem Vorschlag der AG. Brown, Boveri & Cie. in Baden folgend wurde dieser Firma im Dezember 1941 die Erstellung der elektrischen Dampferzeugungsanlagen für zwei 3achsige Dampf- und Rangierlokomotiven übertragen. Diese Lokomotiven, von denen die SBB noch 100 Stück aus den Baujahren 1895 bis 1915 besitzen, haben ein Dienstgewicht von ca. 35 t und Dampfkessel von ca. 2,2 m<sup>3</sup> Inhalt, 56,5 m<sup>2</sup> Heizfläche und einem Betriebsdruck von 12 kg/cm<sup>2</sup>. Die 2zylindrigen Zwillingsdampfmaschinen haben Zylinder von 360 mm Durchmesser und 500 mm Kolbenhub.

Die Anlage für die elektrische Dampferzeugung, mit der die Lokomotiven versehen wurden, umfasst

2 elektrisch erhitze Verdampfer, eine elektrisch angetriebene Umwälzpumpe für das Kesselwasser und die elektrische Apparatur für die Zuleitung und Transformierung des dem Fahrdrabt entnommenen Einphasenwechselstroms von 15 000 V und 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Per./s.

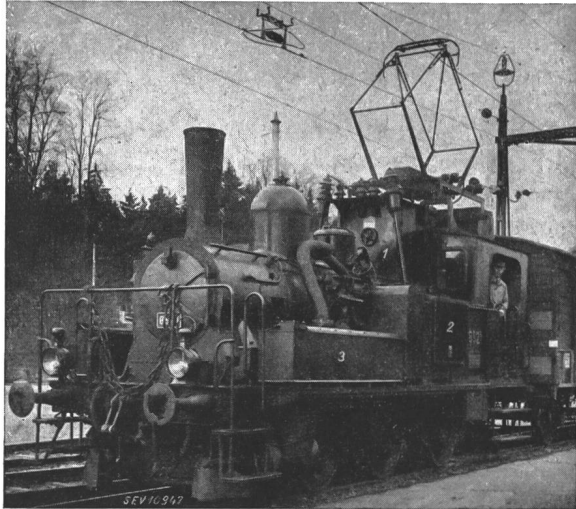


Fig. 1.

Dampfrazierlokomotive der SBB mit Einrichtung zur elektrischen Dampferzeugung  
 1 Hauptschalter. 2 Transformator. 3 Verdampfer.

Die beiden Verdampfer sind zu beiden Seiten des Lokomotivlangkessels angeordnet (Fig. 1). Jeder besteht aus einem Bündel von 16 2,3...2,4 m langen Stahlröhren von 37,5 mm innerem und 44,5 mm äusserem Durchmesser, die parallel zur Längsaxe des Kessels verlegt sind. Diese Röhren, in denen das von der Umwälzpumpe geförderte Wasser aus dem Lokomotivkessel zirkuliert, wer-

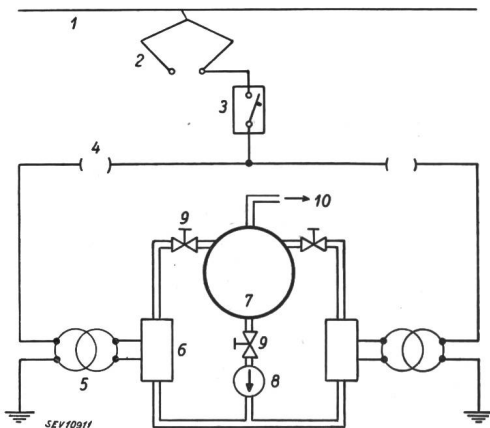


Fig. 2.

Prinzipschema der Einrichtung zur elektrischen Dampferzeugung für Dampflokotivten

- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| 1 Fahrleitung.   | 6 Verdampfer.         |
| 2 Stromabnehmer. | 7 Lokomotivkessel.    |
| 3 Hauptschalter. | 8 Umwälzpumpe.        |
| 4 Trenner.       | 9 Abschlusshahn.      |
| 5 Transformator. | 10 Zur Dampfmaschine. |

den zugleich vom elektrischen Strom durchflossen und erhitzt, wodurch das darin zirkulierende Wasser verdampft. Entsprechend dem kleinen elektrischen Widerstand der Rohrsysteme mussten zur Er-

zielung der erforderlichen Heizleistung hohe Stromstärken bei niedriger Spannung gewählt werden. Niedrige Spannung war auch erwünscht, weil die spannungsführenden Verdampfer gegen das Fahrgestell, den Kessel und das übrige Rohrsystem isoliert und an einem dem Bedienungspersonal leicht zugänglichen Ort montiert werden mussten. Ausgehend von einer totalen Verdampferleistung von rund 500 kW führte die Berechnung auf einen Heizstrom von rund 12 000 A pro Verdampfer bei einer Spannung von etwa 20 V. Die in jedem Verdampfer zirkulierende Wassermenge beträgt dabei 5 l/s. Das Wasser wird von der Umwälzpumpe dem Kessel im tiefsten Punkt entnommen und den Verdampfern zugeführt (Fig. 2). Der Wasserkreislauf wird alsdann durch 2 Rückleitungen geschlossen, die das Wasser zusammen mit dem in den Verdampfern erzeugten Dampf zu beiden Seiten in dessen oberen Teil (Dampfraum) zurückführen. Die Verdampferrohre sind durch Glasseide thermisch und elektrisch gegen aussen isoliert und durch einen Blechkasten verschalt (siehe Fig. 1), während die Rohrleitungen ausserhalb der Verdampfer mit ei-

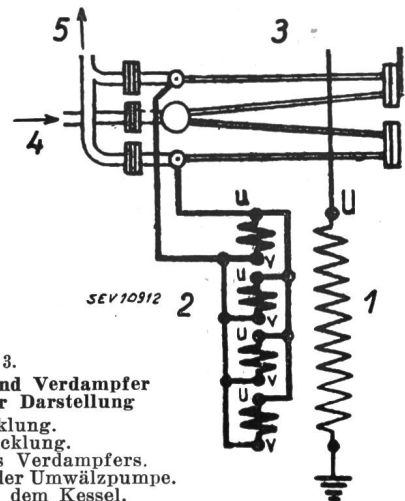


Fig. 3.

Transformator und Verdampfer in schematischer Darstellung

- 1 Hochspannungswicklung.
- 2 Niederspannungswicklung.
- 3 Heizrohrsystem des Verdampfers.
- 4 Wasserleitung von der Umwälzpumpe.
- 5 Dampfleitung nach dem Kessel.

ner hauptsächlich aus Asbest bestehenden Wärmeisolation versehen wurden. Da die Verdampferrohre unter elektrischer Spannung stehen, sind auch bei allen Abstützungen und Rohranschlüssen elektrisch isolierende Zwischenanlagen aus Cartasbest angebracht (Fig. 3).

Wegen der räumlichen Anordnung der Verdampfer und aus Gründen der Gewichtsverteilung ist die Transformierung des Fahrleistungsstromes auf die Heizspannung auf 2 Transformatoren aufgeteilt. Jedem Verdampfer ist daher ein Transformator zugeordnet, der direkt hinter ihm aufgestellt ist, wobei die aus einem Bündel von Kupferbändern bestehenden Verbindungsleitungen möglichst kurz wurden. Die Transformatoren sind von normaler Bauart mit Aluminiumwicklung, mit natürlicher Oelkühlung, einem Uebersetzungsverhältnis von 15 000/20 V und für eine Dauerleistung von je 240 kVA dimensioniert. Sie stehen primärseitig über 2 Trenner, einen Oelschalter von der für die SBB-Lokotivten genormten Bauart und einen auf

dem Führerhausdach der Lokomotive montierten Pantographen-Stromabnehmer üblicher Ausführung mit Handantrieb mit der Fahrleitung in Verbindung (Fig 2). Auf der Sekundärseite des Transformators, wo Ströme bis zu 16 000 A auftreten können, befindet sich keinerlei Schaltapparatur.

Eine Regulierung der Verdampferleistung findet nicht statt; übersteigt die Menge des erzeugten Dampfes den Bedarf, so wird die Anlage zeitweise mit dem Hauptschalter ausgeschaltet. Dieser wird von Hand ein- und ausgeschaltet. Ein mit 36 V Gleichstrom erregter Haltemagnet sorgt dafür, dass der Hauptschalter nur eingeschaltet werden kann, wenn alle Absperrschieber geöffnet und die Verdampfer mit Wasser gefüllt sind. Die Haltespule wird stromlos und bringt den Hauptschalter zum Ausschalten, wenn die Temperatur infolge Unterbrechung oder Störung des Wasserumlaufes in einem Verdampfer zu hoch ansteigt, der Primärstrom des Transformators den zulässigen Höchstwert übersteigt, die Fahrleitungsspannung ausfällt oder der Stromabnehmer gesenkt wird.

Zur Speisung des Motors der Umwälzpumpe, des Stromkreises der Haltespule des Hauptschalters und der bei dieser Gelegenheit eingerichteten elektrischen Führerstandbeleuchtung dient eine normale Wagenbeleuchtungsbatterie von 36 V und 100 Ah. Diese wird durch einen Kolbengleichrichter aufgeladen, der in einem auf dem Dach montierten Kasten untergebracht und wechselstromseitig an die Sekundärwicklung des einen Transformators angeschlossen ist.

Das Gesamtgewicht der elektrischen Dampferzeugungsanlage beträgt rund 7 t. Davon entfallen etwa 4,8 t auf die beiden Transformatoren und 1,2 t auf die beiden Verdampfer. Das Dienstgewicht der betriebsbereiten und voll ausgerüsteten Lokomotive erhöhte sich dadurch auf rund 42 t. Diese Erhöhung machte die Verstärkung der Tragfedern um je ein Blatt erforderlich. Weitere Verstärkungen am mechanischen Teil der Lokomotive waren nicht nötig. Auch die übrigen Teile der Lokomotive (Kessel, Kesselausrüstung, Dampfmaschine, Steuerung) wurden unverändert beibehalten. Dementsprechend ist auch die Bedienung im wesentlichen gleich geblieben. So geschieht namentlich die Regulierung der Zugkraft und Geschwindigkeit wie bisher ausschliesslich durch Regelung der Dampfzufuhr zu den Dampfzylindern. Auch die Kesselspeisung durch Injektoren blieb unverändert. Hervorzuheben ist, dass auch die Einrichtung für die Dampferzeugung durch Feuer in vollem Umfange beibehalten worden ist. Es besteht daher die Möglichkeit der Dampferzeugung durch elektrische Energie allein, durch die Feuerung allein und durch beides gleichzeitig oder abwechslungsweise. Diese dritte «gemischte» Betriebsart ist besonders dann anzuwenden, wenn die Lokomotive während längerer Zeit auf Gleisen ohne Fahrdrat zu verkehren hat oder wenn sie in einem Dienst eingesetzt wird, bei welchem die erforderliche Leistung während längerer Zeit den durchschnittlichen Wert übersteigt. Im letztgenannten Falle ist nämlich der Dampfverbrauch

grösser als die mit konstanter Leistung arbeitende elektrische Dampferzeugung, so dass der Kesseldruck ohne die zusätzliche Feuerung rasch sinkt. Aus wirtschaftlichen Gründen und wegen den beschränkten Raumverhältnissen wurde die elektrische Dampferzeugungsanlage nicht für die hohe Leistung bemessen, deren es zur Deckung des gelegentlich vorkommenden Spitzenbedarfes bedurft hätte.

Die beiden Rangierlokomotiven, auf denen die elektrische Ausrüstung durch die SBB-Werkstätte Yverdon montiert wurde, stehen seit 6 bzw. 2 Monaten ununterbrochen im Betrieb und arbeiten mit rein elektrischer Dampferzeugung im mittelschweren und leichten und mit «gemischtem Betrieb» im schweren Rangierdienst. Sehr geschätzt wird dabei der Umstand, dass sie auch ohne Feuerung während etwa 20 Minuten auf Gleisen ohne Fahrdrat arbeiten können. Sie erlauben daher, auf die in manchen Fällen nicht durchführbare Elektrifizierung gewisser Neben- und Anschlussgeleise zu verzichten und bieten trotzdem die Vorteile der elektrischen Zugförderung. Als Folge der wegfallenden oder zum mindesten stark eingeschränkten Bedienung des Feuers können diese Lokomotiven auch einmännig geführt werden.

Die erzielten Kohlenersparnisse bewegen sich zwischen 700 und 1200 kg pro Tag. Messungen haben ergeben, dass pro «Einschaltstunde» etwa 85 kg

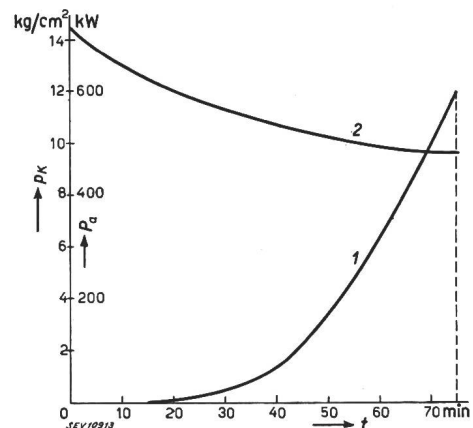


Fig. 4.

#### Aufheizen der Rangierlokomotive mit elektrischer Dampferzeugung

Kurve 1: Dampfdruck  $p_k$  in Funktion der Zeit  $t$ .  
Kurve 2: Aufgenommene elektrische Leistung  $P_e$  in Funktion der Zeit  $t$ .

Kohle eingespart werden können bei einem Energieaufwand von rund 480 kWh. Es geht daraus hervor, dass der Wirkungsgrad der elektrischen Dampferzeugung das 1,4...1,5fache desjenigen der Kohlenfeuerung beträgt. Ausgehend vom vollständig kalten Zustand kann der betriebsmässige Kesseldruck von 12 kg/cm<sup>2</sup> bei rein elektrischer Dampferzeugung in 55...75 Minuten erreicht werden, während, beim Anheizen mit Holz und Kohle hierfür 2...3 Stunden erforderlich sind. Die für das elektrische Aufheizen benötigte Zeit ist abhängig von der Ausgangstemperatur des Kesselwassers und vom Wasserstand im Kessel. In Fig. 4 ist der Verlauf des Kesseldrucks und der

Leistungsaufnahme während der Aufheizperiode dargestellt. Die mit steigendem Druck und zunehmender Temperatur sinkende Leistungsaufnahme ist dabei auf die Zunahme des elektrischen Widerstandes der Verdampferrohre zurückzuführen. Die für das elektrische Aufheizen aufzuwendende Energie beträgt im Mittel 600 kWh. Es wurde ferner festgestellt, dass zur Deckung der durch Abkühlung entstehenden Verluste eine Leistung von 75...90 kW erforderlich ist.

Die Anlage für die elektrische Dampferzeugung hat vom ersten Tage an einwandfrei funktioniert. Die beiden Lokomotiven haben die in sie gesetzten Erwartungen restlos erfüllt. Die bis heute gemachten Betriebserfahrungen haben auch die Richtigkeit der seinerzeit auf Grund gewisser Annahmen

durchgeführten Berechnungen bezüglich Leistungsfähigkeit der elektrischen Anlage, Energieverbrauch und Kohlenersparnis bestätigt.

Ueber die Ausrüstung weiterer solcher Lokomotiven mit elektrischen Dampferzeugern wird entschieden werden, wenn ausreichende Betriebserfahrungen vorliegen. Dabei wird zu berücksichtigen sein, dass sich inzwischen zeitweise auch Mangel an elektrischer Energie eingestellt hat, was zur Zeit der Inangriffnahme der Umbauarbeiten noch nicht der Fall war, und dass auch die Verknappung des Materials für die elektrischen Einrichtungen sich verschärft hat. Andererseits gibt der bedenklich zunehmende Kohlenmangel neuerdings Anlass, auch solche Mittel zur Brennstoffeinsparung anzuwenden.

### Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

#### Zur Durchhangberechnung von Freileitungen

[Nach Walter Ebert, ETZ, Bd. 63 (1942), Nr. 29/30]

621.315.1.056.1

Es sei hier auszugsweise über ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Durchhangsveränderungen bis zu 3 Spannweiten bei ungleichen Zusatzlasten oder bei Seilriss referiert, ohne näher auf die Ableitung der Formeln oder die Genauigkeit einzugehen.

Für die in Betracht fallenden Berechnungsgrößen werden im folgenden die gleichen Bezeichnungen angewandt wie im Artikel: «Die Berechnung der Freileitungen mit Rücksicht auf die mechanischen Verhältnisse der Leiter», erschienen im Bulletin SEV 1936, Nrn. 2 und 3.

#### 1° Bestimmung der Seilzüge und Durchhänge in zwei Spannweiten mit und ohne Zusatzlast (Fig. 1)

Die Gleichgewichtsbedingung für die Hängekette in Punkt II lautet:

$$\frac{\Delta a}{l} = \frac{(p_1 - p_2) \cdot q}{G} \quad \text{oder} \quad p_1 = p_2 + \frac{\Delta a \cdot G}{l \cdot q} \quad (1)$$

wo  $G = \frac{1}{2}$  Seilgewicht von Spannweite 1 +  $\frac{1}{2}$  Seilgewicht von Spannweite 2 +  $\frac{1}{2}$  Gewicht der Hängekette + Gewicht der Seilklemme.

Ueber die Aenderung der Durchhänge bei auftretenden Zusatzlasten geben die deutschen «Vorschriften für die bruch-

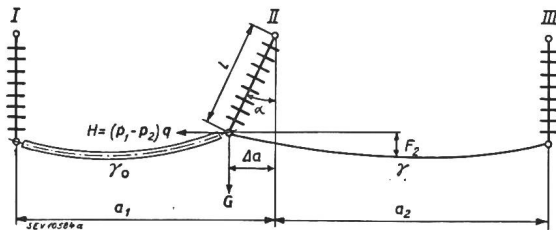


Fig. 1.

Freileitung mit ungleich belasteten Feldern  
 $a_1$  Spannweite mit Zusatzlast  
 $a_2$  Spannweite ohne Zusatzlast

sichere Führung von Hochspannungsleitungen» folgende Formel an:

$$F = \sqrt{f^2 \pm \frac{3}{8} \Delta a \cdot a} \quad (2)$$

Hierin bedeutet  $f$  den Durchhang bei in senkrechter Lage festgehalten gedachter Hängekette  
 $F$  den Durchhang bei infolge ungleicher Zusatzlast ausgelenkter Hängekette.

Nach den bekannten Durchhangformeln ergibt sich für

$$\text{Spannweite } a_1 \quad F_1 = \frac{\gamma_0 \cdot a_1^2}{8 p_1} = \sqrt{f_1^2 + \frac{3}{8} \Delta a \cdot a_1} \quad (3)$$

$$\text{Spannweite } a_2 \quad F_2 = \frac{\gamma \cdot a_2^2}{8 p_2} = \sqrt{f_2^2 + \frac{3}{8} \Delta a \cdot a_2}$$

$f_1$  und  $f_2$  werden nach der Durchhangformel  $f = \frac{\gamma \cdot a^2}{8 p}$  berechnet, wobei bei Spannweite 2  $\gamma = \gamma_0$  für Zusatzlast zu setzen und  $p_1$  für diese Zusatzlast nach der Zustandsgleichung für fixe Aufhängepunkte zu berechnen ist. Durch Umformung der Gleichungen erhält man

$$p_1^2 = \frac{\gamma_0^2 \cdot a_1^4}{64 f_1^2 + 24 \Delta a \cdot a_1} \quad p_2^2 = \frac{\gamma^2 \cdot a_2^4}{64 f_2^2 - 24 \Delta a \cdot a_2} \quad (4)$$

In Gleichungen 4 sind  $p_1$  und  $p_2$ , die gesuchten Seilspannungen im Endzustand, sowie  $\Delta a$  unbekannt und können aus

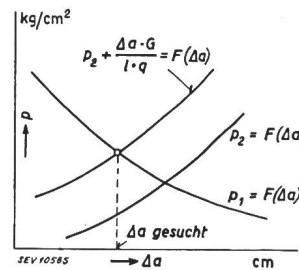


Fig. 2.

Gleichungen 1 und 4 graphisch ermittelt werden, indem man für verschiedene angenommene  $\Delta a$  die Werte  $p_1$  und  $p_2$  und  $\frac{\Delta a \cdot G}{l \cdot q}$  errechnet und als Funktion von  $\Delta a$  in Kurven aufträgt. Die gesuchten Werte erhält man aus dem Schnittpunkt der Kurven für  $p_1$  und für  $p_2 + \frac{\Delta a \cdot G}{l \cdot q}$  (Fig. 2).

#### 2. Ermittlung der Seilzüge und Durchhänge in 3 Spannweiten, wovon die beiden äusseren mit und die mittlere ohne Zusatzlast (Fig. 3)

Für diesen Fall lauten die Gleichungen (4):

$$p_1^2 = \frac{\gamma_0^2 \cdot a_1^4}{64 f_1^2 + 24 \Delta a_1 \cdot a_1} \quad \text{woraus sich ergibt:}$$

$$p_2^2 = \frac{\gamma^2 \cdot a_2^4}{64 f_2^2 + 24 (\Delta a_1 + \Delta a_2) \cdot a_2} \quad p_2 = p_1 - \frac{\Delta a_1 \cdot G_1}{l \cdot q} \quad (5a)$$