Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 33 (1942)

Heft: 3

Artikel: Ueber die Möglichkeit des Betriebes schweizerischer Nebenbahnen und Nebenlinien mittels Akkumulatoren-Triebfahrzeugen

Autor: Degen, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061635

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

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

Die Fig. 13 und 14 ergeben die Spannungsverteilung in der gleichen Wicklung des gleichen Transformators, aber unter der Annahme, dass die äussere Regulierwicklung isoliert ist. Die Berechnung wurde nach Variante B durchgeführt.

Schliesslich soll noch auf eine sehr lehrreiche Darstellung dieser Ergebnisse aufmerksam gemacht werden. Die Photographien Fig. 15 und 16 stellen Aufnahmen eines Modells dar, welches so entstanden ist, dass man auf jeden Drahtquerschnitt der Fig. 11 und 12 senkrecht zur Papierebene Holzleisten gestellt hat, deren Längen den zugehörigen Spannungen genau proportional sind.

VIII. Entwurf eines elektrischen Modells für die Berechnung der kapazitiven Spannungsverteilung in einer Mehrlagenwicklung

Die geschilderte Berechnungsmethode ist auf folgende Einschränkungen angewiesen.

1. Die Anzahl Lagen kann prinzipiell beliebig sein, darf aber praktisch nicht höher als 3 sein, wenn man sich an relativ einfache Rechnungen halten will.
2. Die Wicklung muss vollkommen homogen sein, d. h. ihr Aufbau muss vollständig der gleiche bleiben, einerseits in der axialen Richtung, anderseits in der radialen Richtung.
3. Der Einfluss der Spulenverbindungen wird nur durch ein angenähertes Verfahren berücksichtigt.

Die mathematische Lösung an und für sich ist aber streng, so dass die Rechnungsergebnisse, abgesehen von den obigen Vorbehalten, richtig sein sollten, wenn die charakteristischen Kapazitäten selbst richtig sind. Es wird aber im folgenden gezeigt, wie man sich mit Hilfe eines elektrischen Modells von den drei genannten Einschränkungen befreien kann. Kehren wir zur Fig. 1 zurück. Darin sei die angestossene Eingangswindung, z. B. die Windung (1) (1), während die letzte Windung (m) (n) direkt geerdet sei. Wir denken uns jede Kapazität durch einen ohmschen Widerstand ersetzt, dessen Wert proportional dem reziproken Wert der Kapazität ist. Es entsteht auf diese Weise ein vermaschtes Netz, wo jeder Knotenpunkt einer Windung entspricht. Legt man nun den Punkt (1) (1) an die Gleich- oder Niederfrequenzspannung 100 V und den Punkt (m) (n) samt äusserem Rand an die Spannung 0 V, so nimmt jeder Knotenpunkt eine Spannung an, welche genau der kapazitiven Spannungsverteilung unserer Wicklung entspricht. Die Begründung hiefür liegt in den folgenden Analogien:

Für die Wicklung:

Summe der zu jeder Windung fliessenden Ladungen gleich null.

Für das Modell:

Summe der zu jedem Knotenpunkt fliessenden Ströme gleich null.

Für die Wicklung:

Ladung gleich Spannungsdifferenz mal Kapazität.

Für das Modell:

Strom gleich Spannungsdifferenz mal reziproken Wert des Widerstandes.

Der Einfluss der Spulenverbindungen wäre dadurch nachzuahmen, dass man die zugehörigen Knotenpunkte durch eine widerstandslose Lasche miteinander verbindet.

Man könnte sich die praktische Ausführung eines solchen Modells folgendermassen vorstellen: Eine Art Schalttafel würde eine grössere Anzahl einstellbarer Widerstände enthalten, die man nach Belieben schalten kann. Eine gewisse Spannung wird zwischen «Eingangsknotenpunkt» und «Erdungsknotenpunkt» gelegt, und die Spannung jedes Knotenpunktes wird direkt durch Abstechen mit einem Voltmeter gemessen.

Somit wäre es möglich, ohne komplizierte Rechnungen und in kurzer Zeit die kapazitive Spannungsverteilung einer beliebigen Transformator-Wicklung zu bestimmen, ohne an irgendeine Einschränkung mit Rücksicht auf die mathematischen Schwierigkeiten des Problems gebunden zu sein.

Ueber die Möglichkeit des Betriebes schweizerischer Nebenbahnen und Nebenlinien mittels Akkumulatoren-Triebfahrzeugen

Von *Alfred Degen*, Basel.

621.335 – 835

Nach einer kurzen Einleitung über die Dampf- und die elektrische Traktion wird die Entwicklung des Betriebes mit Akkumulatoren-Triebfahrzeugen im In- und im Ausland (Europa) besprochen. Anschliessend wird untersucht, ob in der Schweiz mit ihrer geringen noch vorhandenen Dampftraktion Möglichkeiten für die Einführung des Akkumulatorenbetriebes bestehen. Es folgt der Vergleich der Eigenschaften des Dampfbetriebes mit denjenigen des Akkumulatorenbetriebes. Im letzten Kapitel wird die Wirtschaftlichkeit des Akkumulatorenbetriebes behandelt. Die Durchrechnung ergibt, dass der Akkumulatorenbetrieb dem Dampfbetrieb im allgemeinen nur bei sehr hohen Kohlenpreisen überlegen ist. Eine allgemeine Regel lässt sich jedoch nicht aufstellen, sondern es muss jeder Fall einzeln durchgerechnet werden. Es wird gezeigt, dass die höheren Jahreskosten des Akkumulatorenbetriebes nicht auf die Energiepreise, sondern auf den Unterhalt und die Erneuerung der Batterie zurückzuführen sind.

Après un bref exposé sur la traction à vapeur et électrique, l'auteur décrit le développement de la traction par locomotrices à accumulateurs en Suisse et à l'étranger (Europe). Il examine ensuite la possibilité d'introduire ce système de traction en Suisse, où la traction à vapeur n'est plus beaucoup utilisée. Il compare les caractéristiques du service à vapeur avec celles du service à accumulateurs. Le dernier chapitre traite du rendement économique du service à accumulateurs. Les calculs montrent que ce dernier n'est généralement avantageux que lorsque les prix du charbon sont très élevés. Chaque cas doit être examiné en particulier, car il n'est pas possible d'établir des règles générales à ce sujet. Les frais annuels élevés du service à accumulateurs ne proviennent pas du prix élevé de l'énergie électrique, mais bien de l'entretien et du remplacement des batteries.

I. Einleitung

Während für die Elektrifizierung einer Eisenbahnlinie mittels Fahrleitung oder mittels dritter Schiene infolge der relativ hohen Kapitalkosten bei allerdings dafür kleinen Betriebskosten ein gewisser Verkehr nötig ist, um diese gegenüber dem Dampfbetrieb zu rechtfertigen, ergeben sich kleinere Anlagekosten, wenn man die Elektrifizierung mittels Akkumulatoren-Triebfahrzeugen durchführt, da hier die gesamten nicht unbeträchtlichen Ausgaben für die Fahr- und die Speiseleitungen wegfallen. Den heute noch von Dampflokomotiven befahrenen Gegenden könnte ein Fahrplan geboten werden, der etwa dem Vorkriegsfahrplan bei Dampftraktion entsprechen würde. Die für die Aufladung der Akkumulatoren benötigte elektrische Energie könnte von den bestehenden Werken geliefert werden, da es sich nur um kleine Energiemengen handelt (siehe Tabelle I).

Im weitern darf nicht ausser acht gelassen werden, dass die Beschaffung des nötigen Rohmaterials für die Elektrifikation heute mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Auch in dieser Beziehung steht ein Uebergang zum Akkumulatorenbetrieb viel günstiger da, weil dabei weder Fahr- noch Speiseleitungen erforderlich sind, während für die Triebfahrzeuge, abgesehen vom Blei für den Akkumulator, bei einer allfälligen Elektrifizierung mittels Fahrleitung oder mittels Batterie ungefähr gleichviel Material nötig sein wird. In dieser Beziehung ist somit der Akkumulatorenbetrieb dem Betrieb mittels Fahrleitung oder dritter Schiene überlegen.

II. Rückblick auf die Verwendung von Akkumulatoren-Triebfahrzeugen in der Schweiz und im Ausland

Die elektrifizierten Streckenlängen betragen in der Schweiz in Prozent der totalen Betriebslängen Ende 1939:

Bundesbahnen	ca.	75 %
Normalspurige Privatbahnen	»	73 %
Schmalspurige Privatbahnen	»	86 %
Zahnradbahnen	»	85 %
Trambahnen		100 %
Total	ca.	80 %

In diesen Zahlen sind sämtliche dem öffentlichen Verkehr dienenden Eisenbahnlinien eingeschlossen. Die Energiezufuhr erfolgt fast ausnahmslos ab einer oberirdischen Fahrleitung; in vereinzelten Fällen dient diesem Zwecke eine dritte Schiene, die am Boden neben dem Geleise auf besonderen Isolatoren aufgestellt ist. Für den Streckendienst ist bisher auf dem elektrifizierten Eisenbahnnetz der Schweiz noch kein einziges Akkumulatoren-Triebfahrzeug in den regelmässigen Betrieb genommen worden, desgleichen auf den übrigen noch im Dampfbetrieb stehenden Linien. Dagegen stehen schon seit vielen Jahren elektrische Lokomotiven, die mit Akkumulatoren ausgerüstet sind, im Rangierdienst, und zwar sowohl bei den Bundesbahnen, als auch bei zahlreichen industriellen Betrieben. Einzig auf dem ca. 5 km langen Verbindungsgeleise Meiringen - Innertkirchen der Kraftwerke Oberhasli A.-G., das in Meiringen an das Netz der Bundesbahnen (Brüniglinie) angeschlossen ist, stehen Akkumulatoren-Triebfahrzeuge im Dienst, die neben dem Personenverkehr auch noch den Güterverkehr besorgen [1]). Es handelt sich jedoch in diesem Falle um ganz spezielle Verhältnisse auf einer Eisenbahnlinie, die aus einem ursprünglich nur für Materialtransporte bestimmten Verbindungsgeleise hervorgegangen ist und die nicht als öffentliches Eisenbahnunternehmen angesprochen werden kann. Sie figuriert deshalb auch nicht in den öffentlichen Fahrplänen. Ihr Fahrplan mit 8 Zügen in jeder Richtung an Werktagen und 6 an Sonntagen während des Winters 1940/41, der mehr Fahrgelegenheiten aufweist als manche noch im Dampfbetrieb stehende Linie, zeigt, dass ein entsprechendes Verkehrsbedürfnis vorhanden ist. Die Fahrzeit für die ca. 5 km lange Strecke beträgt nach Fahrplan 13...15 Minuten, was eine durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 23...20 km/h ergibt.

Im Ausland ist man in dieser Beziehung schon seit Jahren weiter gegangen. Man hat dort das Akkumulatoren-Triebfahrzeug schon weitgehend in den Streckendienst eingesetzt, da infolge des nahezu ausschliesslichen Dampfbetriebes aller Linien andere Verhältnisse vorliegen als bei uns. In Italien gibt es verschiedene Strecken mit zum Teil starken Steigungen, auf denen Akkumulatoren-Triebfahrzeuge (Lokomotiven und Triebwagen) als Alleinfahrer oder auch mit einem oder mehreren Anhängewagen verkehren [2]). In Deutschland wurden im Jahre 1931 gegen 7500 km mit Akkumulatoren-Triebfahrzeugen betrieben. Die Zahl der gefahrenen Zugskilometer erreichte ca. 13 Millionen im Jahre 1931 und 13,5 Millionen im Jahre 1933. Im Jahre 1907 waren es nur rund 200 000 Zugskilometer gewesen. Die Zahl der mit Akkumulatoren-Triebfahrzeugen zurückgelegten Zugskilometer ist somit innerhalb von 25 Jahren 65mal grösser geworden, was die Lebensfähigkeit und die Eignung des Akkumulatorenbetriebes für den Streckendienst mindestens in besonderen Fällen beweist. So wurden beispielsweise von der Deutschen Reichsbahn früher im Lokalverkehr von Basel aus rheinabwärts Akkumulatoren-Triebfahrzeuge benützt. Die früheren Oesterreichischen Bundesbahnen machten kurz nach dem Weltkriege Versuche mit Akkumulatoren-Triebfahrzeugen im Streckendienst, die aber später nicht weiter verfolgt wurden. In Frankreich sind es Nebenlinien mit Schmalspur, die sich des Akkumulatoren-Triebfahrzeuges in Form von Triebwagen bedienen [3]), während die ehemaligen Staatsbahnen der Tschechoslowakei und diejenigen Italiens in ihrem Fahrzeugpark elektrische Rangierlokomotiven mit Akkumulatoren besassen, resp. heute noch besitzen.

[1]) Bulletin SEV 1933, Nr. 24, S. 640; Neue Zürcher Zeitung 1940, Nr. 1474: Der blaue Pfeil der KWO.

[2]) Elektr. Bahnen 1935, S. 278; Brown-Boveri-Mitt. 1928, S. 146.

[3]) La Traction électr. 1934, S. 107: Traction par Accumulateurs.

Bei der stark fortgeschrittenen Elektrifizierung unseres Eisenbahnnetzes kann man sich die Frage stellen, ob es überhaupt noch Linien in der Schweiz gibt, die für die Aufnahme des Akkumulatorenbetriebes an Stelle des Dampfbetriebes geeignet seien. Eine Betrachtung der Verhältnisse auf den heute noch mit Dampf betriebenen Linien zeigt, dass tatsächlich auf gewissen Strecken der Uebergang zum Akkumulatorenbetrieb in Frage kommen kann.

Eine Eisenbahnstrecke muss, wenn sie für die Aufnahme des Akkumulatorenbetriebes geeignet sein soll, gewisse Bedingungen erfüllen. So soll vor allem der ganze Verkehr durch ein einziges Triebfahrzeug bewältigt werden können, wie dies heute beim Dampfbetrieb auf diesen Linien der Fall ist. Auch darf die Zahl der täglichen Zugskilometer nur so gross sein, dass der Aktionsradius eines einzigen Triebfahrzeuges zur Bewältigung des ganzen Fahrplanes ausreicht. Im weitern dürfen die zu fördernden Zugsgewichte nicht zu gross sein, was aber bei Nebenlinien mit schwachem Verkehr meistens zutrifft. Besonders aber soll der Güterverkehr nur von sekundärer Bedeutung sein und keine Trennung vom Personenverkehr erfordern. Der ganze Güterverkehr soll mit den bestehenden Personenzügen bewältigt werden können, denen nach Bedarf die zu transportierenden Güterwagen angehängt werden. Die mit Akkumulatoren-Triebfahrzeugen bediente Linie soll ausserdem nach Möglichkeit an ein grösseres Eisenbahnnetz angeschlossen sein, von dem ausnahmsweise bei besondern Transporten mit grossen Zugsgewichten Dampflokomotiven zur Aushilfe beigezogen werden können.

Ueber die hauptsächlichsten Daten derjenigen Eisenbahnlinien, die für die Aufnahme des Akkumulatorenbetriebes in der Schweiz in Frage kommen können, gibt Tabelle I Auskunft.

Fahrleitung oder mittels dritter Schiene benötigt er während der Zugspausen keinen Betriebsstoff, während im Dampfkessel während der Zugspausen sowie nachts immer ein entsprechendes Reservefeuer unterhalten werden muss. Als Triebstoff wird einheimische, aus den Wasserkräften des Landes erzeugte elektrische Energie verwendet. Da nur während der Tagesstunden Züge verkehren, können die Nachtstunden zur Aufladung der Batterie benützt werden; ausnahmsweise, bei starkem Verkehr, muss es auch möglich sein, während des Tages in den Zugspausen die Batterie nachzuladen. Da die für die Ladung der Batterie erforderlichen Leistungen bei der während der Nachtstunden vorhandenen Zugspause von mindestens 6...7 Stunden höchstens ca. 100 kW betragen, dürfte die Abgabe dieser Leistung den Werken ohne weiteres möglich sein.

Im weitern weist der Akkumulatorenbetrieb den nicht unerheblichen Vorteil auf, dass er bedeutend weniger Depot- und Werkstattpersonal erfordert als der Dampfbetrieb, wo für die Ausrüstung der Lokomotiven (Reinigung, Fassen von Kohle und Wasser, Entfernung der Schlacke und der Asche und deren Abfuhr und Beseitigung, periodische Reinigung mit Entfernung des angesetzten Kesselsteines) zusätzliche Arbeitskräfte erforderlich sind. Dagegen erfordert der laufende Unterhalt und die sachgemässe Ueberwachung der Akkumulatoren gewisse Spezialkenntnisse, wofür aber durchschnittlich bei kleinen Betrieben eine einzige Arbeitskraft während des ganzen Jahres genügen dürfte.

Eine besondere Rolle spielen beim Akkumulatorenbetrieb die Zugsheizung im Winter sowie die Beleuchtung. Während diese mit ihrem relativ kleinen Energiebedarf aus der Batterie des Triebfahrzeuges gespiesen werden kann, ist dies für die Zugsheizung nicht möglich, da diese bedeutend grössere Energiemengen erfordert als die Beleuch-

Linien, die für Akkumulatorenbetrieb in Frage kommen. Tabelle I.

Nr.	Spurweite (m)	Betriebslänge (km)	Maximale Steigung (‰)	Kleinster Kurvenradius (m)	Zahl der Stationen (inkl. Anfangs- und Endstation)	Zahl der jährlichen Zugskilometer der Fahrplanzüge: durchschnittlich vor dem 2. Sept. 1939	Zahl der jährlichen Zugskilometer der Fahrplanzüge: durchschnittlich auf Grund des heutigen reduzierten Fahrplanes	Zugskilometer der Extrazüge vor dem 2. Sept. 1939 (in ‰ der jährlichen Zugskilometer)	Bestand des Rollmaterials: Dampftriebfahrzeuge	Bestand des Rollmaterials: Personenwagen: Zahl	Bestand des Rollmaterials: Personenwagen: Plätze	Bestand des Rollmaterials: Gepäck- und Güterwagen: Zahl	Bestand des Rollmaterials: Gepäck- und Güterwagen: Ladegewicht t	Ungefährer Energiebedarf pro Jahr bei Aufnahme des Akkumulatorenbetriebes auf Grund des vor dem 2. September 1939 gültigen Fahrplanes kWh
1	1,435	6	15	300	5	17 500	17 500	ca. 1	0[1]	0[1]	—	0[1]	—	75 000
2	1,435	14	28	245	5	37 500	37 000	ca. 14	2	5	267	14	181	160 000
3	1,435	9	15	250	5	46 000	38 000	ca. 6	3	3	156	11	133	196 000
4	1,435	5	[2]	[2]	5	23 000	19 000	[2]	0[1]	0[1]	—	0[1]	—	98 000
5	1,435	5	25	250	6	26 000	19 000	[2]	0[1]	0[1]	—	0[1]	—	111 000

[1]) Wird von bahnfremdem Material befahren. [2]) Konnte nicht ermittelt werden.

III. Die Eigenschaften des Akkumulatorenbetriebes

Da beim Akkumulatorenbetrieb weder Rauch noch Russ auftreten, ist er äusserst sauber. In gleicher Weise wie beim elektrischen Betrieb mittels

tung. Zur Heizung der zum Transport der Passagiere dienenden Abteile ist deshalb eine besondere Ofenheizung erforderlich, die in jedem einzelnen für den Personentransport dienenden Abteil einzurichten ist. Es wäre auch denkbar, eine elektri-

sche Speicherheizung in den Personenwagen einzurichten, indem ein im Wagen eingebauter Speicher an den Endstationen vor der Abfahrt aus dem betreffenden Ortsnetz aufgeladen würde. Dieser Speicher gäbe dann während der Fahrt seine Wärme ab. Da es sich bei den für den Akkumulatorenbetrieb in Betracht fallenden Linien nur um sehr kurze Fahrstrecken von maximal 20 Minuten Fahrdauer handelt, kann der Speicher klein gehalten werden. Die Ladung des Speichers vor der Zugsabfahrt und der Anschluss an das Ortsnetz könnten vollständig automatisch gestaltet werden. Voraussetzung für eine derartige Lösung wäre allerdings, dass die elektrische Energie zu Heizzwecken am betreffenden Ort auch tagsüber zu erträglichen Preisen erhältlich ist.

Für die Bedienung einer Akkumulatoren-Lokomotive genügt ein einziger Mann. Auch beim Dampfbetrieb ist bei verschiedenen Gesellschaften der Schweiz der Einmannbetrieb eingeführt worden. Zu diesem Zwecke wurden zum Teil von Anfang an für einmännige Bedienung geeignete Lokomotiven angeschafft, zum Teil wurden auch ursprünglich für zweimännigen Betrieb bestimmte Lokomotiven für einmännigen Betrieb umgebaut. Diese weisen als Hauptmerkmale selbsttätige Kesselspeisung sowie zum Teil auch halbautomatische Feuerungen auf, ausserdem sind sie mit Uebergangsblechen ausgerüstet, um bei Dienstunfähigkeit des Lokomotivführers das Triebfahrzeug betreten und den Zug durch Bremsung stellen zu können. Der Akkumulatorenbetrieb ist somit in dieser Beziehung dem Dampfbetrieb gleichwertig. Immerhin ist es denkbar, bei gewissen Kursen, die ausschliesslich dem Personentransport dienen, auch noch den für den Zugsbegleitungsdienst erforderlichen Mann einzusparen und den Zug ganz einmännig zu fahren. Die Billettkontrolle müsste in diesem Falle durch das Stationspersonal vorgenommen werden. Eine derartige Möglichkeit ist beim Dampfbetrieb ausgeschlossen, da keine Sicherheitseinrichtung zum Stellen des Zuges bei plötzlicher Dienstunfähigkeit des Lokomotivführers eingebaut werden kann.

Im weiteren darf auch der Umstand nicht unberücksichtigt gelassen werden, dass eine Dampflokomotive pro Jahr viel mehr ausser Betrieb genommen werden muss als ein Akkumulatoren-Triebfahrzeug, da die Entkalkung des Lokomotivkessels, je nach der Härte des verwendeten Speisewassers, relativ häufig durchgeführt werden muss. Auf Grund von Ermittlungen verschiedener ausländischer Bahngesellschaften mit Akkumulatoren- und mit Dampfbetrieb lassen sich die in Tabelle II angeführten Werte errechnen. Diese geben an, wie viele Prozente der Tage eines Jahres (365 Tage = 100 %) ein Akkumulatoren- und ein Dampftriebfahrzeug im Durchschnitt ausser Dienst genommen werden muss.

Jährliche Revisionsdauern.

Tabelle II.

Land	Dampflokomotive	Akkumulatorentriebfahrzeug
Eisenbahnen des ehemaligen Saargebietes . . .	ca. 19 %	ca. 10 %
Deutsche Reichsbahngesellschaft	ca. 15 %	ca. 10 %
Französische Eisenbahngesellschaft	ca. 28 %	ca. 6 %
Strassenbahngesellschaft in Piemont	ca. 24 %	ca. 5 %

IV. Die Wirtschaftlichkeit des Akkumulatorenbetriebes auf Nebenlinien

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Akkumulatorenbetriebes auf Nebenlinien ist die Kenntnis der sich ergebenden Jahreskosten und deren Vergleich mit denjenigen anderer Traktionsarten (Dampfbetrieb, elektrischer Betrieb mittels Fahrleitung oder dritter Schiene, Dieselbetrieb) massgebend. Dabei spielen aber vielfach auch die örtlichen Verhältnisse eine wichtige Rolle, so dass eine allgemeine Regel, bei welchem Verkehrsumfange eine Nebenlinie zum Akkumulatorenbetrieb übergehen oder beim Dampfbetrieb verbleiben soll, nicht angegeben werden kann. Die lokalen Verhältnisse, z. B. ob es sich um eine einzelne, mit keinem andern Netze in Verbindung stehende Strecke oder um die Nebenlinie eines grösseren Bahnnetzes handelt, auf der mit den bereits vorhandenen Dampflokomotiven des Hauptnetzes ohne besonders erforderliche Triebfahrzeuge der gesamte Verkehr bewältigt werden kann, beeinflussen das Ergebnis in jedem Falle namhaft. Es muss deshalb immer im Einzelfalle an Hand der vorliegenden speziellen Verhältnisse eingehend nachgeprüft werden, ob die Einführung des Akkumulatorenbetriebes sich wirtschaftlich rechtfertigen lässt oder nicht. Sofern dies unterlassen wird, riskiert man bei der Einführung des Akkumulatorenbetriebes unliebsame Ueberraschungen zu erleben, wenn die Verhältnisse für diese Traktionsart nicht geeignet sind. Um den Akkumulatorenbetrieb in wirtschaftlicher Hinsicht mit dem Dampfbetrieb vergleichen zu können, werden im folgenden die Jahreskosten der beiden Traktionsarten einander ganz allgemein gegenübergestellt. Die Rechnung wurde durchgeführt für verschiedene jährliche Verkehrsleistungen bei verschiedenen kWh-Preisen und verschiedenen Kohlenpreisen. Die gesamten Jahreskosten setzen sich zusammen aus den Kapitalkosten (Zins und Amortisation), aus den Kosten für den Unterhalt, aus den Kosten für die Schmierung, für die übrigen Gebrauchsmaterialien und denjenigen für den zum Fahren erforderlichen Betriebsstoff (elektrische Energie und Kohle). Dazu kommen noch die Kosten für die Umformerstation beim Akkumulatorenbetrieb und diejenigen für den grösseren Personalbedarf beim Dampfbetrieb, die durch den Mehrbedarf an Depotpersonal und durch die Aschen- und Schlackenabfuhr verursacht werden. Nicht in die Rechnung einbezogen und deshalb weggelassen sind alle diejenigen Anteile an den Jahreskosten, die für beide

Traktionsarten gleich sind und das Ergebnis somit nicht zu beeinflussen vermögen.

Ueber die Anlagekosten ausgeführter Akkumulatoren-Triebfahrzeuge existieren in der Literatur nur sehr selten Angaben. Man ist deshalb bei der Ermittlung der Preise darauf angewiesen, diese aus denjenigen ausgeführter Gleichstromlokomotiven mit Stromzuführung durch Fahrleitung oder dritte Schiene sowie aus den Preisen für Batterien näherungsweise zu ermitteln. Eine Verwendung von Triebwagen mit Personenabteilen wird in diesem Falle weniger in Frage kommen. Diese würden wohl für den Betrieb von Nebenlinien über eine genügende Zahl von Sitzplätzen verfügen und gelegentlich bei starkem Verkehr auch einen Personenwagen mit sich führen können. Da mit diesen Fahrzeugen aber auch der Güterverkehr bewältigt werden müsste, kommen praktisch nur Lokomotiven in Frage, die zeitweise auch grössere Belastungen zu ziehen vermögen. Eine überschlägige Berechnung der wichtigsten Daten ergibt für Akkumulatoren-Lokomotiven, die sich für den Streckendienst auf Nebenlinien eignen würden, folgendes Bild, wobei zwei verschiedene Typen angeführt werden:

Angaben über Akkumulatorenfahrzeuge.

Tabelle III.

	Typ Nr. 1	Typ Nr. 2
Gewicht der fertigen Lokomotive inkl. Batterie	ca. 40 t	ca. 47 t
Gewicht der Batterie .	ca. 14 t	ca. 20 t
Kapazität der Batterie .	ca. 350 kWh	ca. 520 kWh
Erforderliche Zahl der Achsen	4	4
Maximale Fahrgeschwindigkeit	ca. 45...50 km/h	ca. 45...50 km/h

Als Akkumulatoren wurden solche mit Gitterplatten angenommen, die, bezogen auf ihr Gewicht, eine grössere Kapazität besitzen als Batterien mit Grossoberflächen- oder mit Panzerplatten. Infolge ihrer leichten Bauart ist die Lebensdauer der Platten kleiner als diejenige von Grossoberflächenplatten oder von Panzerplatten. Um jedoch die erforderliche Kapazität zur Beförderung ungefähr gleich grosser Zugsgewichte, die heute beim Dampfbetrieb auf Nebenlinien etwa üblich sind, bei max. 12 t Achsdruck unterbringen zu können, mussten Gitterplattenbatterien vorgesehen werden. Die Verwendung von Grossoberflächenplatten oder von Panzerplatten hätte bei gleicher Kapazität der Batterie auf viel zu grosse Gewichte und damit auch zu grosse Achsdrücke geführt. Bei den in Tabelle III angeführten beiden Lokomotivtypen ergibt sich somit ein Achsdruck von höchstens 12 t, was für den Betrieb von Nebenlinien mit ihrem vielfach noch schwächeren Unterbau noch zulässig ist. Selbstverständlich wären die Lokomotiven mit allen für den Streckendienst erforderlichen Einrichtungen, wie Druckluftbremse usw. auszurüsten.

Bei den Jahreskosten der Akkumulatorenlokomotive muss man zwischen der Batterie und dem übrigen elektrischen und dem mechanischen Teil unterscheiden. Für den elektrischen und den mechanischen Teil des Triebfahrzeuges kann man bei den relativ kleinen Leistungen an jährlichen Zugskilometern mit einer Lebensdauer von etwa 30 Jahren rechnen, unter der Voraussetzung, dass diese Teile zuverlässig unterhalten werden. Der Unterhalt und die Amortisation der Batterie erfordern infolge ihrer geringen Lebensdauer bedeutend höhere Aufwendungen als die übrigen Teile des Triebfahrzeuges. Die Lebensdauer der Platten bei Gitterplatten-Batterien ist, wie bereits angeführt, kleiner als bei Grossoberflächen-Batterien. Im allgemeinen kann man damit rechnen, dass die positiven Gitterplatten nach ca. 400 und die negativen nach ca. 800 Entladungen ersetzt werden müssen. Der Unterhalt und die sachgemässe Ladung beeinflussen jedoch in starkem Masse die Lebensdauer der Platten, so dass diese auch kleiner oder grösser ausfallen kann. Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, wurde für den wirtschaftlichen Vergleich des Akkumulatorenbetriebes mit dem Dampfbetrieb die Lebensdauer als Mittelwert mit 400 bei den positiven und mit 800 Entladungen bei den negativen Platten in die Rechnung eingesetzt. Durch einen sorgfältigen, laufenden Unterhalt und die ständige Erneuerung defekt gewordener Platten wird die Batterie immer in gutem betriebsfähigem Zustande erhalten. Es ist deshalb auch nicht nötig, die Akkumulatoren-Lokomotive jedes Jahr für längere Zeit ausser Dienst zu nehmen, da die Instandhaltung der Batterie in den Zugspausen erfolgen kann.

Nicht inbegriffen in der vorstehenden Jahresrechnung sind eventuelle Mehraufwendungen für den Ober- und Unterbau, die sich aus der Verwendung schwererer Fahrzeuge als beim Dampfbetrieb ergeben können. Da jedoch, wie bereits erwähnt, der Achsdruck unter 12 t bleibt, kann angenommen werden, dass in dieser Hinsicht keine zusätzlichen Kosten beim Akkumulatorenbetrieb entstehen werden.

Beim Preis der Dampf-Triebfahrzeuge liegen einfachere Verhältnisse vor. Dem Buche von Moser [4]) sind die Preise sämtlicher Lokomotiven entnehmbar, die in der Schweiz auf öffentlichen Bahnlinien im Verkehr standen oder heute noch stehen. Die Lebensdauer einer Dampflokomotive wurde in den Berechnungen zu 25 Jahren angenommen. Bei dem im allgemeinen nicht allzu strengen Dienst auf Nebenlinien steht diese Annahme auch mit der Erfahrung im Einklang.

Im weiteren sind sowohl beim Dampf- als auch beim Akkumulatorenbetrieb die Kosten der Schmierung einbezogen. Hier steht das Akkumulatoren-Triebfahrzeug günstiger da als die Dampflokomotive, da es für sein einfaches Zahnradübersetzungsgetriebe und die Traktionsmotoren viel weniger Schmiermaterial erfordert als das viel verwickeltere Triebwerk einer Dampflokomotive. Auch bei den übrigen Verbrauchsmaterialien (Petroleum, Putzfäden usw.) ist das Akkumulatoren-Triebfahr-

[4]) Moser: Der Dampfbetrieb der Schweizerischen Eisenbahnen 1847—1936. Verlag: Birkhäuser, Basel.

zeug günstiger, wenn diese Kosten auch nur wenige Prozente der gesamten Jahreskosten ausmachen.

Weiterhin ist beim Akkumulatorenbetrieb mit den Jahreskosten für die Umformeranlage zu rechnen. Hier wird man mit Vorteil Gleichrichter verwenden. Während diese Auslagen beim Dampfbetrieb fehlen, kommen dort die Kosten für den Mehrbedarf an Depot- und Werkstattpersonal dazu, die für die Ausrüstung, die Reinigung, den Unterhalt und die Reparatur der Dampflokomotiven entstehen. Ausserdem kostet auch die Abfuhr der Asche und der Schlacke einen gewissen Betrag, der, je nach den örtlichen Verhältnissen, verschieden gross ausfallen kann. Im vorliegenden Falle wurde angenommen, dass diese Kosten nur unwesentlich seien und nur einen kleinen Bruchteil der gesamten Jahreskosten ausmachen.

Ausserdem müssen auch noch die eigentlichen Betriebsstoffkosten mit in Rechnung gesetzt werden. Beim Akkumulatorenbetrieb wurde dabei mit einem Preis von 2, 6, 10 und 15 Rp./kWh für die in Niederspannung vor dem Gleichrichter bezogene Energie gerechnet. In analoger Weise wurde beim Dampfbetrieb die Rechnung mit 4 verschiedenen Kohlenpreisen durchgeführt. Diese betragen 35, 65, 100 und 150 Fr./t Kohle, und zwar für die auf die Lokomotive verladene Kohle, d. h. sämtliche Verlade- und Transportkosten sind in den obigen Preisen inbegriffen.

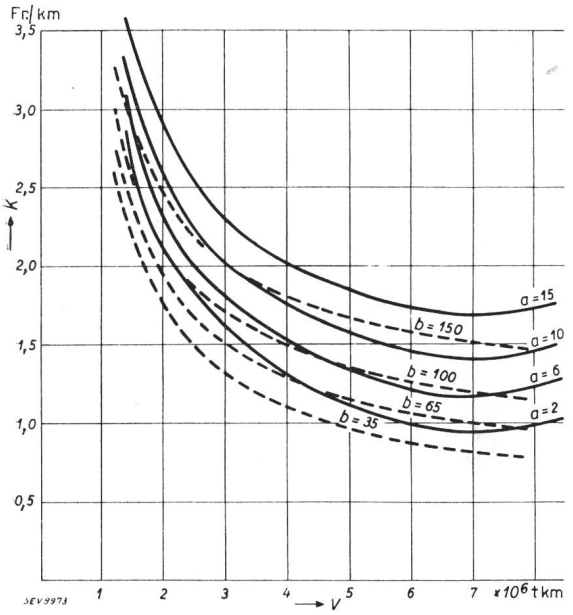

Fig. 1.

Gesamte Jahreskosten (K) in Fr. pro Zugskilometer in Abhängigkeit der jährlichen Verkehrsmengen (V) in Tonnenkilometern bei verschiedenen Energie- und Kohlen-Preisen.

——— Akkumulatoren-Triebfahrzeuge. - - - Dampflokomotiven.
a Energiepreis in Rp./kWh (vor dem Gleichrichter auf der Drehstromseite).
b Kohlenpreis in Fr./t (für die auf den Tender der Lokomotive verladene Kohle).

Trägt man nun das Resultat der Rechnung graphisch auf, so erhält man für die gesamten Jahreskosten beim Dampf- und beim Akkumulatorenbetrieb das in Fig. 1 dargestellte Bild. Die Ordinatenachse gibt die Jahreskosten in Fr. pro Zugskilometer an, während auf der Abszisse die jährlichen Verkehrsmengen in Millionen Tonnen-Kilometer (tkm) aufgetragen sind. Als Parameter der aufgetragenen Kurvenscharen dient der Energiepreis in Rp./kWh beim Akkumulatorenbetrieb, und der Kohlenpreis in Fr./t beim Dampfbetrieb. Trägt man weiter den prozentualen Anteil der reinen Be-

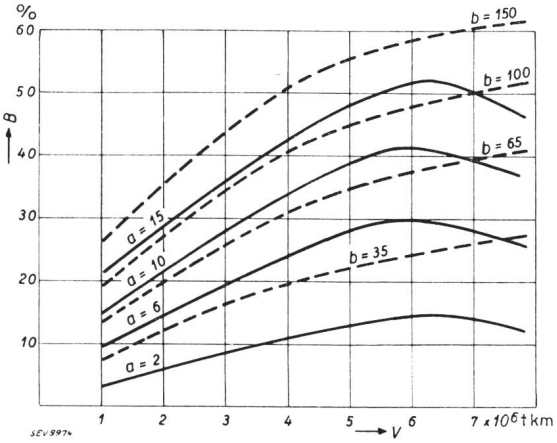

Fig. 2.

Betriebstoffkosten (B) (elektrische Energie resp. Kohle) in % der gesamten Jahreskosten in Abhängigkeit der jährlichen Verkehrsmengen (V) in Tonnenkilometern bei verschiedenen Energie- und Kohlen-Preisen.

——— Akkumulatoren-Triebfahrzeuge. - - - Dampflokomotiven.
a Energiepreis in Rp./kWh (vor dem Gleichrichter auf der Drehstromseite).
b Kohlenpreis in Fr./t (für die auf den Tender der Lokomotive verladene Kohle).

triebsstoffkosten (elektrische Energie, Kohle) in Abhängigkeit der jährlichen Verkehrsmengen auf, so erhält man das in Fig. 2 dargestellte Bild. Als Parameter der beiden Kurvenscharen dient wiederum der Preis der elektrischen Energie in Rp./kWh, resp. der Kohlenpreis in Fr./t.

Wie aus Fig. 1 hervorgeht, nehmen die Jahreskosten des Akkumulatorenbetriebes mit grösser werdenden jährlichen Verkehrsmengen zuerst ab, um von ca. 6...7 Millionen tkm pro Jahr an anzusteigen. Dies rührt daher, dass ungefähr von einer jährlichen Verkehrsleistung von 6...7 Millionen tkm an ein weiteres Triebfahrzeug erforderlich ist, da der Aktionsradius eines einzigen zur Bewältigung der täglichen Fahrleistung nicht mehr ausreicht. Dadurch gehen auch die Kapital- und die Unterhaltkosten der Batterie und des übrigen Fahrzeuges in die Höhe, während die Kosten für die Betriebsstoffe (elektrische Energie, Kohle) gleichmässig wie früher ansteigen. Beim Dampfbetrieb ist dagegen für jährliche Verkehrsleistungen von 6...7 Millionen tkm ein weiteres Triebfahrzeug noch nicht erforderlich, da die entsprechende tägliche Fahrleistung noch mit einem Triebfahrzeug bewältigt werden kann.

Wie aus Fig. 1 hervorgeht, bietet unter normalen Verhältnissen, d. h. bei Kohlenpreisen von 35 bis 65 Fr./t, der Akkumulatorenbetrieb im allgemeinen wenig Aussicht auf Verwirklichung, wenn nicht irgendein spezieller Umstand die Jahreskosten des

Dampfbetriebes ungünstig beeinflusst, z. B. teure Aschen- und Schlackenabfuhr. Erst bei hohen Kohlenpreisen, die sich als Folge der heutigen Kriegsverhältnisse ergeben haben, entsteht eine Ueberlegenheit des Akkumulatorenbetriebes über den Dampfbetrieb, vorausgesetzt, dass die an das Elektrizitätswerk zu zahlenden Energiepreise nicht zu hoch sind. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, liegt der Grund der vielfach höheren Jahreskosten des Akkumulatorenbetriebes darin, dass bei diesem die eigentlichen Betriebsstoffkosten gegenüber den gesamten Jahreskosten, speziell bei kleinen Energiepreisen, nur gering sind, weshalb die Betriebsstoffkosten das Jahresergebnis nur wenig zu beeinflussen vermögen. Wenn deshalb der Akkumulatorenbetrieb gegenüber dem Dampfbetrieb auch in normalen Zeiten wirtschaftlich gerechtfertigt sein soll, so muss eine starke Senkung der Unterhaltskosten der Batterie, sowie eine Verringerung der Anschaffungskosten von Akkumulatoren-Triebfahrzeugen möglich werden, damit sich möglichst kleine jährliche Kapitalkosten ergeben. Unter den heutigen Umständen ist vorderhand an eine Einführung des Akkumulatorenbetriebes auf schweizerischen Nebenlinien nicht zu denken, so gute Dienste eine derartige Umstellung auch den betreffenden Gegenden leisten würde. Es ist jedoch denkbar, durch zweckmässige Neukonstruktionen Akkumulatoren-Triebfahrzeuge zu geringeren Preisen, als dies heute möglich ist, zu bauen. Auf diese Weise wäre es möglich, dem Akkumulatorenbetrieb ein Gebiet zuzuweisen, das heute in der Schweiz noch ausschliesslich von der Dampflokomotive beherrscht wird, dessen Umstellung auf elektrischen Betrieb mittels Fahrleitung oder dritter Schiene aber wirtschaftlich nicht gerechtfertigt ist.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass die Umstelung der in Tabelle I angeführten 5 Nebenlinien auf Grund der heute gültigen Fahrpläne nach einer überschlägigen Berechnung eine jährliche Einsparung an Lokomotivkohle von ca. 700...800 t ergeben würde.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Besuchstage der Maschinenfabrik Oerlikon

Die Maschinenfabrik Oerlikon hat in den letzten Wochen zahlreichen Besuch empfangen, Fachleute der Kundschaft der Unternehmung, Mitglieder von Behörden, technische Vereinigungen und Gesellschaften, Schulen und Presseleute. Und es war viel Interessantes aus der Technik, Neues und Nicht-Alltägliches, das die Gäste zu sehen und hören bekamen.

Wie Herr Direktionspräsident Dr. *Schindler* an einem solchen Empfang ausführte, sind erst wenige Gebiete der Elektrotechnik zu einem gewissen Abschluss der Entwicklung gelangt; andere Zweige dieser Technik sind noch in voller Entfaltung, ohne dass bereits eine Grenze ersichtlich wäre. Der Bau von elektrischen Maschinen und Apparaten verlangt Einrichtungen zu deren Prüfung; ein Fortschritt im Bau elektrischer Anlagen ist aber nur möglich, wenn dauernd auch Forschungen am Konstruktionsmaterial und an den fertigen Apparaten angestellt werden.

Schon seit bald 10 Jahren besitzt die MFO eine Anlage für Hochleistungsversuche, mit der beispielsweise Abschaltleistungen bis zu 1 000 000 kVA bewältigt werden können. Für Forschungen und Prüfungen auf dem Gebiete der Höchstspannungen ist nun auch ein besonderes Hochspannungslaboratorium gebaut worden; es erlaubt die Erzeugung von Wechselspannungen von Industriefrequenz bis zu 1000 kV und von Stoßspannungen bis zu 2 MV Scheitelwert und damit die Prüfung allen Materials bis 400 kV Nennspannung. Da diese beiden Anlagen an dieser Stelle [1]) bereits eingehend beschrieben worden sind, erübrigt es sich, auf Einzelheiten einzutreten. Dagegen sei der eindrucksvollen Demonstrationsversuche, die unter der Leitung von Herrn Obering. *Puppikofer* für die Gäste ausgeführt wurden, Erwähnung getan.

Die Besucher wurden daran erinnert, dass die höchste Betriebsspannung zur elektrischen Energieübertragung von 15 000 V seit dem Jahre 1891, dem Jahre der ersten Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt [2]), auf 150 000 V in der Schweiz und auf 300 000 V in Amerika gestiegen ist. In der Voraussicht der weiteren Entwicklung ist das neue Laboratorium der MFO bereits für Untersuchungen mit noch höheren Spannungen gebaut worden.

Die Demonstrationen mit Wechselhochspannung umfassten Ueberschlagsversuche an einem Pol eines ölarmen Schalters für 150 kV Betriebsspannung in Freiluftausführung; die Ueberschläge wurden bei künstlicher Beregnung des Prüfobjektes vorgenommen. In augenfälliger Weise wurden ferner die schönen Resultate gezeigt, die das Unternehmen dank eigener Forschungen erzielt hat zur Verbesserung der Oberflächen-Isolationsfestigkeit von Isolatoren.

Auch auf dem Gebiet des Ueberspannungsschutzes hat die Firma erfolgreich gearbeitet. Mit Hilfe der Stossprüfanlage, die Blitzüberspannungen nachahmt, wurde in verschiedenartigster Weise die Schutzwirkung von Ueberspannungsableitern gezeigt. So sah man an einem Modell einer Transformatorenstation, wie beim Fehlen von Ueberspannungsableitern bei jedem Blitzeinschlag ein gewaltiger Lichtbogen am Schalter entstand, der eine unerwünschte Betriebsstörung erzeugt und Ursache von grossen Schäden sein kann. Der richtig eingebaute Ueberspannungsableiter schützt die Anlage vor den Wirkungen der Ueberspannungen. Dass der Ableiter aber richtig eingebaut werden muss (eine oft schwierige Aufgabe, zu deren einwandfreien Durchführung bereits Leitsätze des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, aufgestellt von der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, im letzten Stadium der Herausgabe stehen), wurde ebenfalls an einem sehr instruktiven Versuch dargelegt: Der Ueberspannungsableiter wurde bewusst falsch nicht direkt neben oder vor dem zu schützenden Objekt, einer Durchführung, angeschlossen, sondern über eine längs den Wänden des Laboratoriums geführte, ca. 100 m lange Leitung mit dem Ableiter verbunden. Die Verzögerung von etwa ⅓ μs, mit welcher nun die Ueberspannung am Ableiter ankommt, bewirkte, dass der Ueberschlag an der Durchführung eintrat, bevor der Ableiter die schädliche Stosswelle zur Erde leiten konnte. — Als Ableiter kann nicht einfach eine beliebige Funkenstrecke genommen werden, denn wenn die Steilheit der Ueberspannungswellen einen bestimmten Wert erreicht, kann der Ueberschlag an der Funkenstrecke zu spät erfolgen. Diese eigenartige Erscheinung lässt sich aus dem Verlauf der Ueberschlagcharakteristik der beiden Objekte erklären. Unter Ueberschlagcharakteristik versteht man die Beziehung zwischen Ueberschlagspannung und der Zeit, während welcher diese Spannung angelegt werden muss, bis der Ueberschlag erfolgt. Diese Charakteristik hat hyperbolischen Charakter, d. h. je kürzer die Zeitdauer der an einen Isolator angelegten Spannung ist, desto höher muss die Spannung sein, damit ein Ueberschlag eintritt. Der Verlauf der Ueberschlagcharakteristik ist bei jedem Objekt ein anderer, und der Schnittpunkt der verschiedenen Charakteristiken von zwei Objekten stellt die Grenze dar, bei welcher der elektrische Ueberschlag an beiden Objekten bei gleicher Spannung erfolgt. Oberhalb oder unterhalb dieser Grenze entsteht der Ueberschlagsfunke zuerst am einen oder andern Objekt. Beim Ableiter wird durch besondere Ausbildung

[1]) Bull. SEV 1942, Nr. 2, S. 34—44.
[2]) Bull. SEV 1941, Nr. 18, S. 425.