

Die technische Ecke

Steuerungen bei Gleichstrom-Triebfahrzeugen

In der letzten Nummer haben wir uns mit den verschiedenen und sehr komplexen Brems-schaltungen befasst. Dieses Mal werde ich die Vielfalt der Fahrschaltungen und dessen Appa-rate etwas beleuchten.

HANS BODMER

Unter der Steuerung wird die konstruktive oder rein Schaltungstechnische Vereinigung jener Apparaturen verstanden, durch die, die Änderung der Drehzahl und des Drehmomentes der Triebmotoren und damit der Fahrgeschwindigkeit sowie der Zugkraft des Triebfahrzeuges geregelt wird. Insbesondere ist es die Aufgabe der Steuerung, das Triebfahrzeug und dessen Anhängelast rasch, gleichmässig und möglichst verlustfrei zu beschleunigen. Dazu muss den Fahrmotoren ein Strom von möglichst gleichbleibender Stärke zugeleitet werden, während die Klemmenspannung von einem Mindestwert bis zum Höchstwert möglichst gleichmässig ansteigen soll.

Das einfachste gebräuchliche Mittel waren in der Vergangenheit die Anfahrwiderstände deren Ohmwert in mehr oder weniger groben Stufen allmählich reduziert wurde. Dabei wurden die umgesetzten Verluste in Kauf genommen. Diese konnten verringert werden, wenn man die Motoren erst in Serieschaltung bis zur halben Netzspannung pro Motor ansteigen lässt und anschliessend in Parallelschaltung allmählich an die volle Netzspannung legt.

Bei Triebfahrzeugen für Gleichstrom hat also die Steuerung in Richtung der Aufwärtsschal-tung (Anfahrt und Beschleunigung bis zur vol-len Fahrt) drei Funktionen zu erfüllen:

1. Stufenweises Abschalten bzw. Kurzschlies-

sen der Anfahrwiderstände bei den ver-schiedenen Motorgruppierungen (Serie – bzw. Parallelschaltung).

2. Umschaltung der Motoren d.h. von Serie-auf Parallelschaltung.
3. Umschaltung der Fahrmotoren auf Betrieb mit geschwächtem Feld (Shunt mit wirt-schaftlichen Fahrstufen).

Befassen wir uns vorerst mit Strassenbahn-fahrzeugen mit zwei Fahrmotoren. Die Anord-nung der Anfahrwiderstände kann auf drei Ar-ten geschehen.

Im Bild 1 sind die mit 1 bis 5 für die Umgrup-pierung notwendigen Schaltelemente bezeich-net. Bei der Schaltung im Bild 2 bei der in bei-den Motorstromkreisen die Reihenfolge von Anker und Feld verschieden ist, sind 6 Schalt-elemente für die Umgruppierung erforderlich, gegenüber nur 5 in Bild 1. Bei der Schaltung gemäss Bild 3 mit je einem jeden Motor zuge-ordneten für sich regelbaren Widerstand kommt man sogar mit nur 4 Schaltelementen für die Umgruppierung aus.

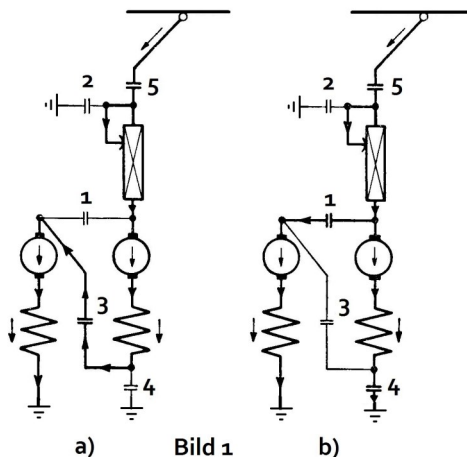
Die Übergangsschaltungen sollen so ausgebil-det sein, dass wenn möglich, auch nicht kurz-zeitig, eine völlige Unterbrechung der Energie-zufuhr zu den Fahrmotoren eintritt. Um einen vollkommen stossfreien Übergang von Serie auf Parallel zu erhalten, sind Schaltungen un-ter dem Namen «Brückenschaltungen» entwi-kelt worden. Wie dies zu geschehen hat, zeigt das Bild 4 und ist gekennzeichnet durch zwei in Serie zwischen den Motoren geschalteten Widerstände, welche im ersten Schaltvorgang a), b), c) stufenweise kurzgeschlossen werden. Beim Übergang in die Parallelgruppierung wer-den die beiden Widerstände so wieder einge-fügt, dass ein in sich geschlossenes Viereck

Steuerungen bei Gleichstromtriebfahrzeugen

entsteht, wobei zwei gegenüberliegende Eckpunkte am Stromabnehmer bzw. Schienenenerde angeschlossen sind während die beiden anderen Eckpunkte miteinander verbunden sind (d) (Wheatstone-Brücke). In dieser Brückenverbindung fliesst nur ein geringer Ausgleichstrom, der von gewissen Unsymmetrien herrührt. Diese Brücke wird auch sehr schnell vor dem stu-

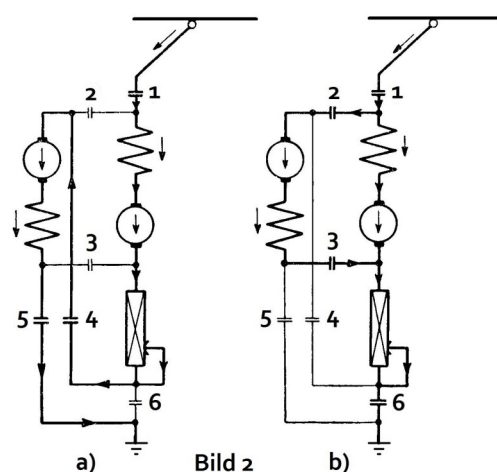
fenweisen kurzschliessen der Widerstände aufgehoben (e), wobei die Parallelschaltung vollzogen ist (f).

Ja, dies war vor allem etwas Theorie. In der nächsten Folge soll dann im praktischen Sinne die entsprechenden Apparaturen vorgestellt werden, wie sie in unseren Tramwagen anzutreffen sind.



a) Bild 1

b)



a) Bild 2

b)

Hauptstromkreis eines mit zwei Fahrmotoren ausgerüsteten Gleichstrom-Triebfahrzeuges

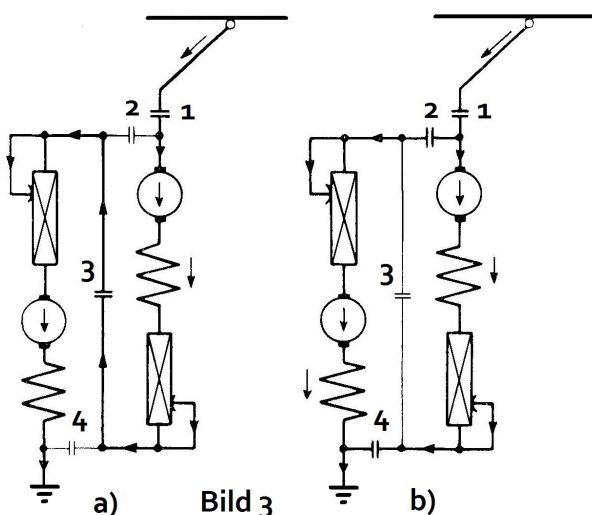
Widerstand den Motoren vorgeschaltet

- a) Serie-Gruppierung (Fahren)
- b) Parallel-Gruppierung (Fahren)
- 1 - 5 Umgruppierungsschaltelemente

Widerstand in der Serie-Gruppierung zwischen den beiden Fahrmotoren, in der Parallel-Gruppierung den Fahrmotoren nachgeschaltet

- a) Serie-Gruppierung (Fahren)
- b) Parallel-Gruppierung (Fahren)
- 1 - 6 Umgruppierungsschaltelemente

Hans Bodmer; Schlottenbühlstrasse 9b, CH-8625 Gossau / ZH



a) Bild 3

b)

Widerstand in zwei Gruppen unterteilt

Hauptstromkreis eines mit zwei Fahrmotoren ausgerüsteten Gleichstrom-Triebfahrzeuges

Hans Bodmer; Schlottenbühlstrasse 9b, CH-8625 Gossau / ZH

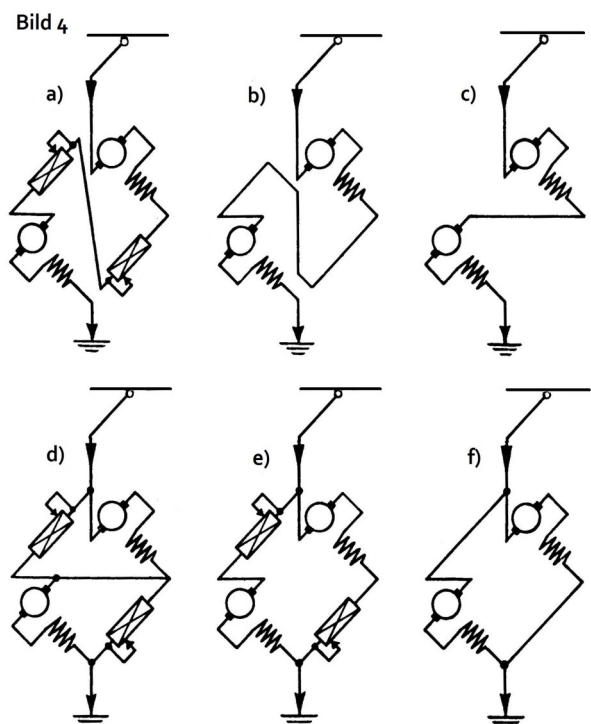


Bild 4

a)

b)

c)

d)

e)

f)

Steuerungen bei Gleichstrom-Triebfahrzeugen

In der letzten TCB-Zytig habe ich die Hauptstrom-Schaltungen für Gleichstrom-Triebfahrzeuge mit zwei Fahrmotoren und dessen Möglichkeiten aufgezeigt. Dieses Mal geht es nun um die Apparaturen wie solche Fahrzeuge gesteuert werden können.

HANS BODMER

Ein Fahrschalter oder Kontroller ist ein Schaltwerk, welches bei elektrischen Antrieben zur Steuerung von Zugkraft und Geschwindigkeit Verwendung findet und stellt so das Hauptbedienungsgerät des Wagenführers dar. Der Fahrschalter erlaubt es, die Fahrmotoren einerseits in den unterschiedlichen Gruppen, d.h. in Serie- oder Parallelschaltung zu betreiben und andererseits in Fahrstufen die Geschwindigkeit, d.h. die Zugkraft zu regeln. Bei den sogenannten Direktkontrollern führt somit der gesamte Fahrstrom über den Kontroller. Anfänglich, d.h. um 1900 und etwas später kamen Schleifringfahrschalter zum Einsatz. Diese waren mit Schleifkontakten ausgerüstet welche auf einer Schaltwalze angebracht waren. Von aussen her griffen elektrisch leitende Kontaktfinger auf die Schleifringe zu und stellten damit den entsprechenden elektrischen Kontakt her. Durch Drehen der Kontaktwalze mit Hilfe der Fahrkurbel konnte so der Wagenführer die Kontakte öffnen und Schliessen und so die gewünschte Fahrstufe einstellen.

Bei einem grossen Teil der Kontaktfinger ist jedoch beim Schalten der grossen Motorströme der Kontaktabbrand und Funkenbildung beträchtlich, den man allerdings jahrelang in Kauf genommen hat. Es besteht jedoch die Möglichkeit die Schaltung so zu gestalten, dass die Widerstandsab- bzw. -zuschaltung stromlos erfolgt und der eigentliche Schaltprozess und damit das Schaltfeuer auf eine Gruppe besonderer Funkenschalter verlegt wird, die auch die

Umschaltung von Serie auf Parallel bewerkstelligt.

Die Schaltung kann anhand eines Schemas näher erklärt werden. Die beiden zwischen der Fahrleitung C und der Erde angeschlossenen Fahrmotoren M1 und M2 werden mit der Schaltergruppe P1, S und P2 in Serie bzw. parallel geschaltet und zum Anfahren dient der Widerstand R der im Schema in fünf Stufen geteilt und daher mit sechs Anschlüssen 1 bis 6 versehen ist. Die Widerstandsabschaltung erfolgt als Schalter B eingezeichneten Kontrollerschleifringe stromlos, während die Schaltungen unter Strom mit der in Serie liegenden Funkenschalter a, b, c vorgenommen werden und auch die in Serie liegenden Schalter P1, S und P2 mit magnetischer Funkenlöschung versehen sind. Um mit einer möglichst kleinen Zahl von Funkenschaltern auszukommen, werden mehrere Schaltstufen vom gleichen Funkenschalter bedient. Im Schema ersichtlich sind je zwei Kontrollerstufen mit dem gleichen Funkenschalter verbunden aber wegen der raschen Schaltfolge nicht zwei nebeneinanderliegende, sondern mit dem Funkenschalter a die Stufen 1 und 4, mit Schalter b die Stufen 2 und 5 und c die Stufen 3 und 6.

Im unteren Teil ist der 12-stufige Kontroller in der Abwicklung dargestellt; oben die eigentliche Schaltwalze S mit den Metallbelägen B und unten die Kurvenscheiben K, auf deren Umfängen die Rollen T die Funkenschalter F sich abwälzen. Diese sind alle mit den Blasspulen G versehen. Die drei unteren S, P1 und P2 dienen der Serie-Parallelschaltung und die drei oberen a, b und c der Widerstandsabschaltung.

Zeichnungen Seite 39:

Prinzipien der Schleifring-Kontroller (Sachs)

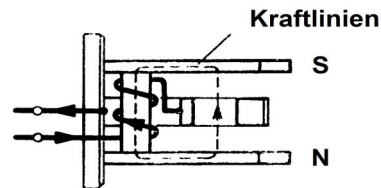
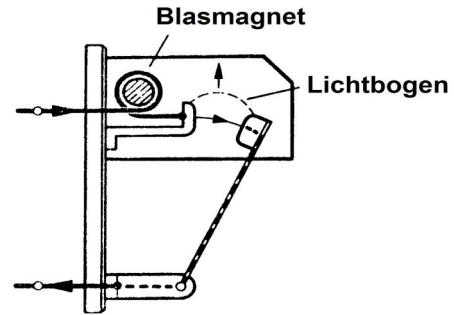
Zeichnungen: Slg. Hans Bodmer, Gossau ZH

Steuerungen bei Gleichstromtriebfahrzeugen

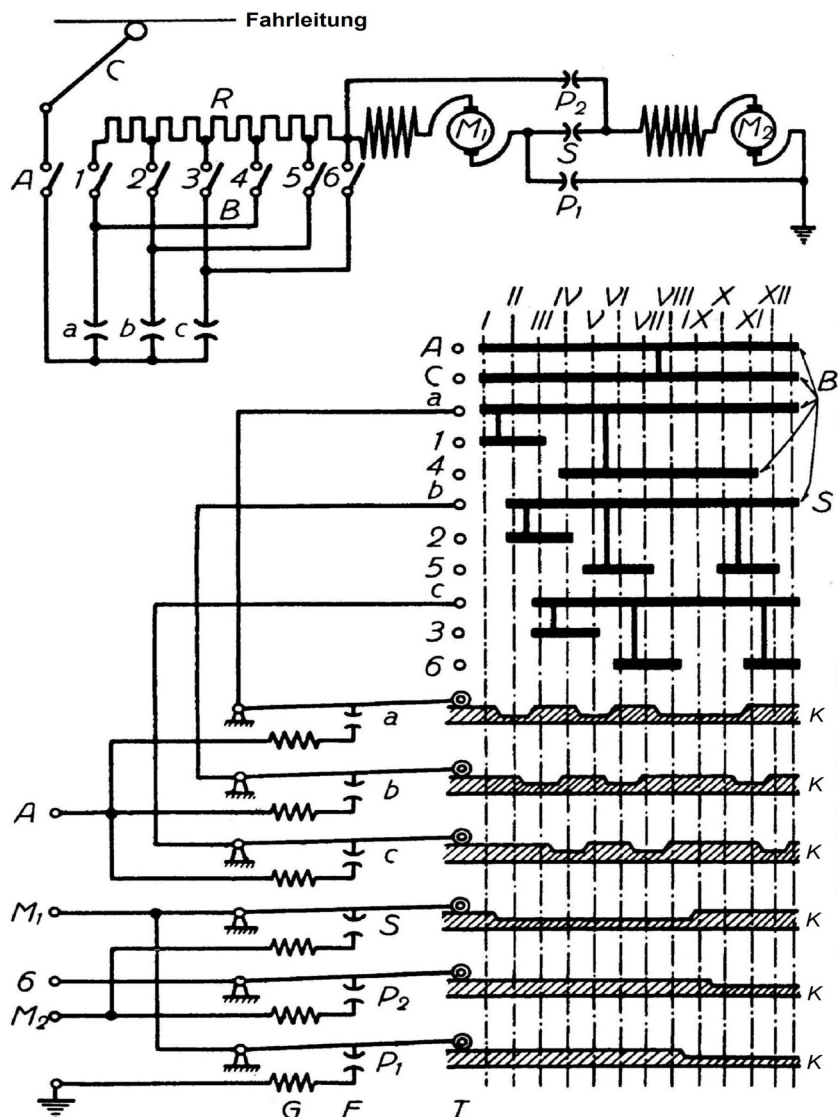
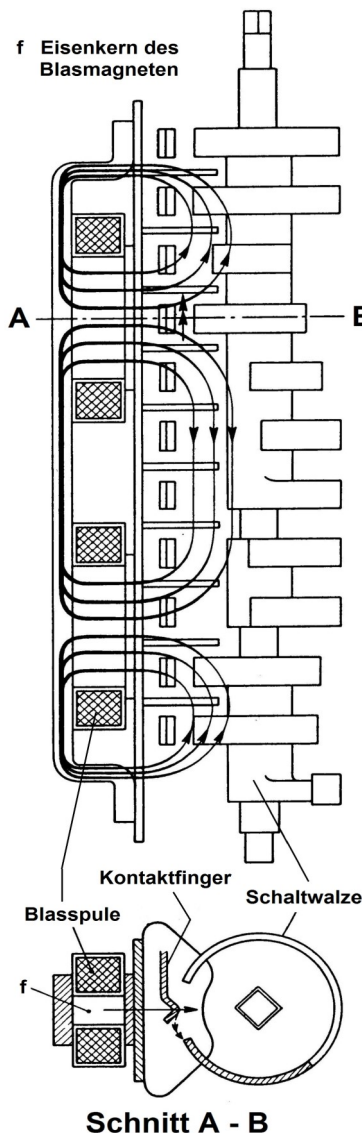
Magnetische Funkenlöschung

Der zu unterbrechende Strom durchfließt eine Magnetspule und erzeugt zwischen den Polplatten ein Feld. In diesem befindet sich, als stromdurchflossener Leiter, der Unterbrechungslichtbogen.

Der zwischen einem Magneten und einem Stromleiter bestehenden Wechselwirkung ist es auch zuzuschreiben, dass ein elektrischer Funken durch einen Magneten ausgeblasen werden kann. Diese Erscheinung wird als elektromagnetische Funkenlöschung genannt und ist so zu erklären, dass der Funken, der als die äusserst leicht bewegliche Bahn eines elektrischen Stromes anzusehen ist durch den Magneten so stark ausgebogen wird, dass er schliesslich erlischt.



Wirkungsweise der elektromagnetischen Funkenlöschung



Steuerungen bei Gleichstromtriebfahrzeugen

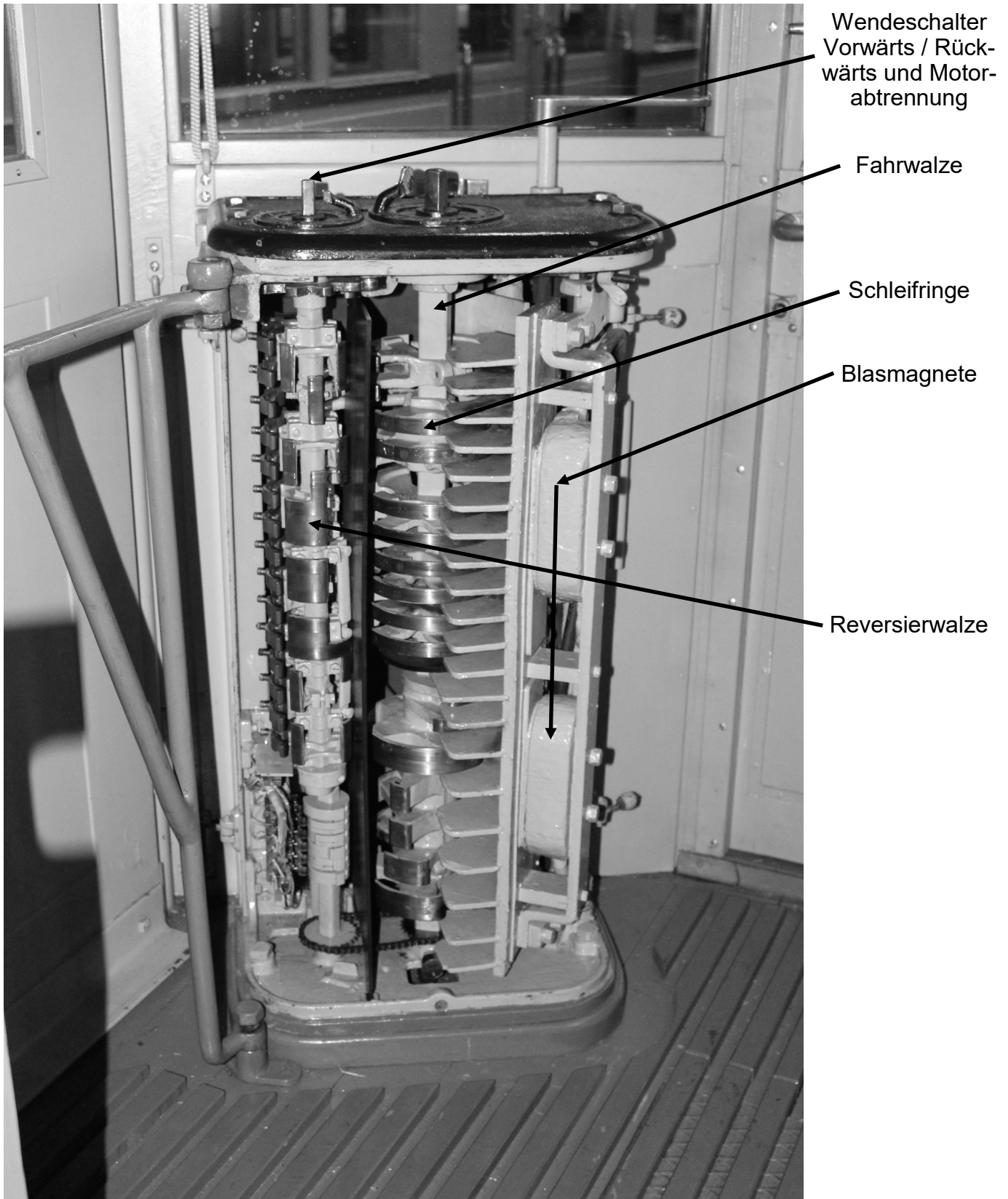
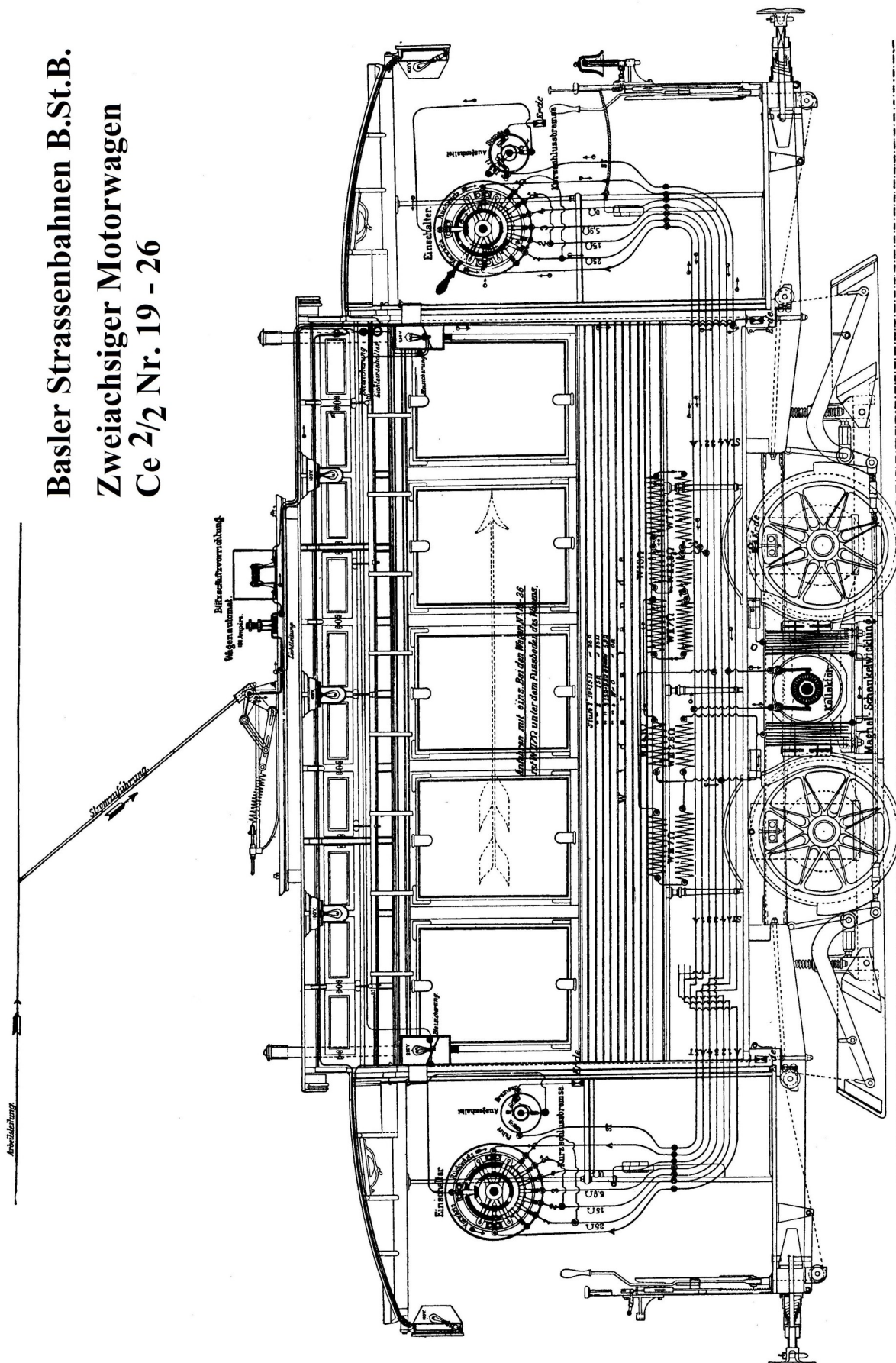


Bild oben:

Schleifring-Kontroller BBC geöffnet, Ce 2/2 163; Aufnahme: Hans Bodmer, Gossau ZH (06.05.2017)

Zeichnung Seite 41: Elektrische Ausrüstung der Motorwagen Ce 2/2 19-26 der B.St.B.

**Basler Strassenbahnen B.St.B.
Zweiachsiger Motorwagen
Ce 2½ Nr. 19 - 26**



Die technische Ecke

Steuerungen bei Gleichstrom- Triebfahrzeugen

Bei den Betrachtungen in den vergangenen Folgen zum obigen Thema haben wir uns ausschliesslich mit Fahrzeugen mit zwei Fahrmotoren beschäftigt.

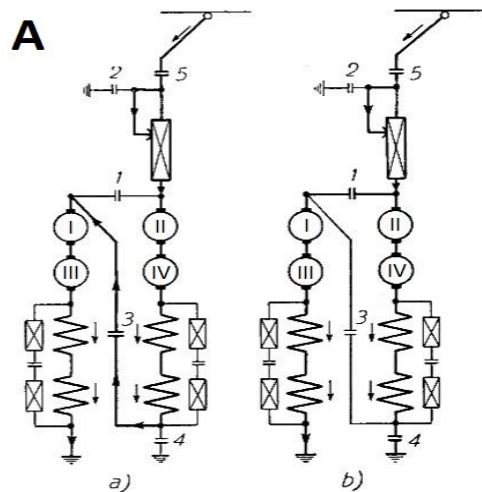
HANS BODMER

Wenden wir uns nun den vierachsigen Fahrzeugen zu welche, mit vier Fahrmotoren ausgerüstet sind.

Meistens werden je zwei Motoren zu einer Gruppe zusammengefasst und zuerst in Serie und dann parallelgeschaltet. Diese können aus zwei dauernd in Serie geschalteten Motoren bestehen, wobei jeder Motor für die halbe Klemmenspannung zu bemessen, aber für die volle gegen Erde zu isolieren ist.

Die Abbildung A zeigt die Schaltung von vier zu zwei in Serie geschalteten Halbspannungsmotoren, dabei sind die Anker und die Feldwicklungen der beiden Motoren einer Gruppe hinterei-

ander geschaltet. Es bildet jeweils der I und III, sowie der II und IV Achse zugeordneten Motoren eine Gruppe. a) Serieschaltung, b) Parallelschaltung



Hauptstromkreis eines mit vier Fahrmotoren ausgerüsteten Gleichstrom-Triebfahrzeuges

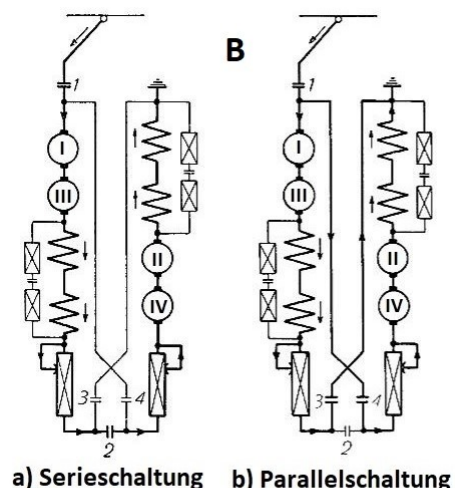
Je zwei dauernd in Serie geschaltete Fahrmotoren bilden eine Gruppe

Die Abbildung B zeigt die entsprechende viermotorige Schaltung mit *zwei* Widerstandsgruppen. Bei der Parallelgruppierung b) kann man den Anfahrwiderstand auch aufgeteilt in jedem Zweig je zwischen den beiden in Serie geschalteten Motoren anordnen.

Die mit Nummern bezeichneten Elemente sind Schalter, welche die Serie bzw. Parallelschaltung herstellen.

In der nächsten Folge zeige ich noch eine dritte Möglichkeit der Schaltung mit vier Fahrmotoren und wir werden uns dabei auch mit den einzelnen Steuerungselementen beschäftigen.

Bei den viermotorigen Fahrzeugen werden die Ströme jedoch viel höher, um diese in Direktkontrollern schalten zu können. Dazu gibt es wiederum verschiedene Möglichkeiten, mit denen wir uns das nächste Mal befassen werden.



a) Serieschaltung b) Parallelschaltung

Je zwei dauernd in Serie geschaltete Fahrmotoren bilden eine Gruppe, Widerstand in zwei Gruppen unterteilt

Korrigenda: In der TCB-Zytig 1/17 auf Seite 40 wurde der Schleifringkontroller des Wagens 163 angegeben. Es handelt sich dabei jedoch um den Wagen 47. Sorry!

Die technische Ecke

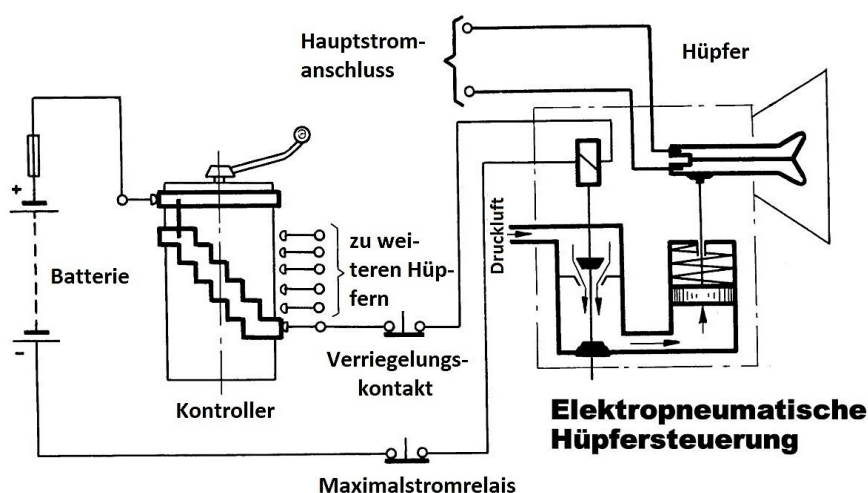
Steuerungen bei Gleichstrom-Triebfahrzeugen

In der letzten TCB-Zyting haben wir uns mit den Schaltungsmöglichkeiten bei Fahrzeugen mit vier Fahrmotoren beschäftigt. Bis anhin geschah die Steuerung im Hauptstromkreis mit sogenannten Direktkontrollern, d.h. der Fahrstrom wurde vom Wagenführer im Kontroller direkt geschaltet, wo die ganze elektrische Leistung über den Fahrschalter geleitet wird.

HANS BODMER

Bei grösseren Motorleistungen werden die zu schaltenden Ströme nun derart gross, dass eine direkte Schaltung in den Kontrollern zu Problemen mit der Funkenbildung bzw. Funkenlöschung führt. Bei viermotorigen und leistungsfähigeren Fahrzeugen wird dieser Umstand erheblich verschärft, sodass hier nach anderen Lösungen gesucht werden

musste. Bereits bei der Anschaffung der Ce 4/4 – Motorwagen 301 – 350 (Elefanten) der damaligen Städtischen Strassenbahn Zürich (StStZ) hatte der Lieferant der elektrischen Ausrüstung, die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO), für diese Fahrzeuge ein grösserer Kontroller mit stärkeren Kontakten entwickelt, um das Schalten dieser hohen Ströme zu gewährleisten. Diese Serie von Tramfahrzeugen die zu Beginn der 1930er-Jahren geliefert wurden waren dann auch eine der letzten welche noch mit Direktkontrollern ausgestattet war. In den folgenden Jahren wurden dann verschiedene Lösungen entwickelt die Hauptschaltströme in externen Apparaturen zu schalten. Im Weiteren sollen nun diese Lösungen etwas aufgezeigt werden indem die *Hüpfsteuerung von MFO* als erste behandelt werden soll.



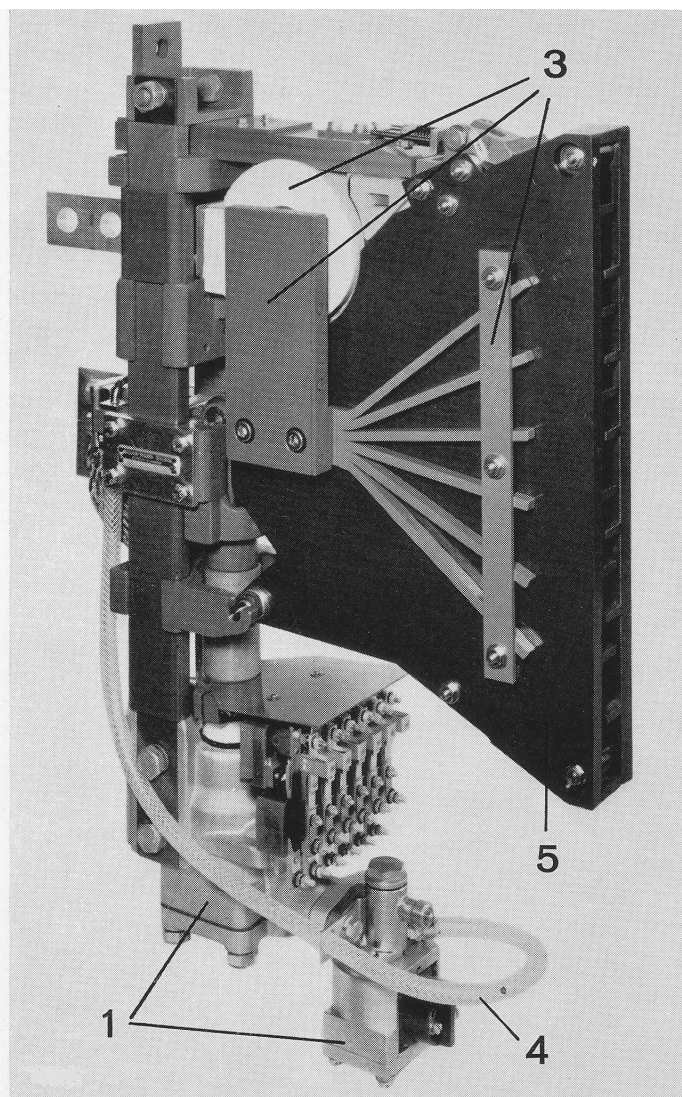
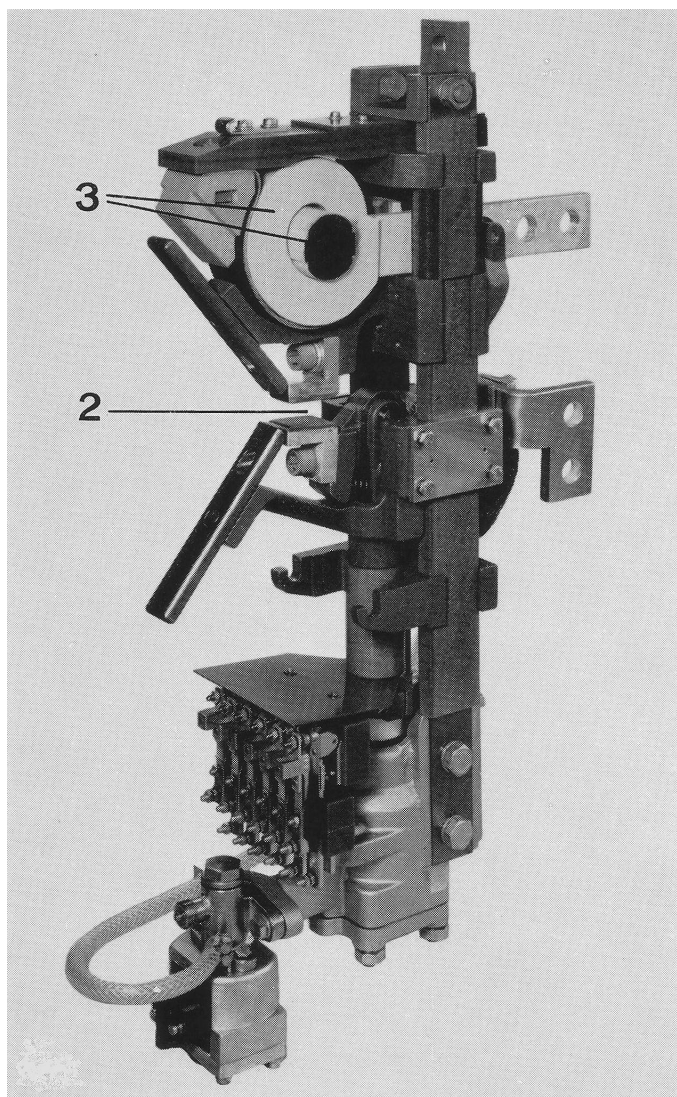
Das Prinzip der elektropneumatischen Hüpfsteuerung.

Die Betätigung der Hüpf erfolgt mit einer Steuerspannung von 36 ... 48 V ab Batterie via Kontroller zum Auslösemagnet. Dieser öffnet das pneumatische Ventil welches die Hauptstromkontakte öffnet bzw. schliesst. Ist der Hüpf eingeschaltet, strömt die Druckluft in den Zylinder und presst die Hauptstromkontakte zusammen. Fällt der Auslösemagnet ab, wird die Druckluft unterbrochen und die Hauptstromkontakte öffnen sich.

Die MFO hat bereits Ende der 1920er-Jahren mit der Entwicklung von indirekten Steuerungen begonnen, bei denen das Fahrpersonal nur noch Steuerströme schaltet und die an geeigneter Stelle im Triebfahrzeug angeordneten Hauptstromapparate elektrisch oder elektropneumatisch fernsteuert. Damit war auch die Möglichkeit geschaffen, mehrere Fahrzeuge in Vielfachsteuerung verkehren zu lassen.

Die Steigerung der Geschwindigkeit und der zunehmende Strassenverkehr beanspruchen die Aufmerksamkeit des Personals immer mehr und der Raum, für den nun meist sitzenden Wagenführer, war begrenzt, sodass sperrige Apparaturen aus den Führerständen verschwinden mussten. Dazu wurde auch eine leichte Betätigung des Kontrollers mit kleinen Schaltwegen zur Notwendigkeit.

Steuerungen bei Gleichstromtriebfahrzeugen



Der Hüpfer Typ PH 15.14 der Maschinenfabrik Oerlikon MFO 1966

1 Pneumatischer Antrieb mit Steuerventil
2 Kontaktsystem

3 Elektromagnetische Blasung
4 Pneumatische Zusatzblasung
5 Löschlammer

Abbildung links: Löschkammer entfernt
Abbildung rechts: Einbaubereiter Hüpfer

Die Hauptbestandteile der *Hüpfersteuerungen* sind die Hüpfer, auch Schütze oder Einzelschalter genannt. Es sind dies elektromagnetisch oder elektropneumatisch betätigte Gleich- oder Wechselstromschalter mit magnetischer Funkenlöschung. Die Ansteuerung erfolgt mit einer Steuerspannung von ca. 36 oder 48 V, die Auslösung der Starkstromkontakte erfolgt über ein pneumatisches Ventil. Die erforderliche Druckluft wird von einem Kompressor erzeugt, der auch die Druckluft zum Bremsen liefert.

Als erste Strassenbahnfahrzeuge lieferte die MFO im Jahr 1940 die Motorwagen Ce 4/4 351 – 370 an die StStZ mit reiner feinstufiger Hüpfersteuerung mit 24 Fahrstufen in zwei

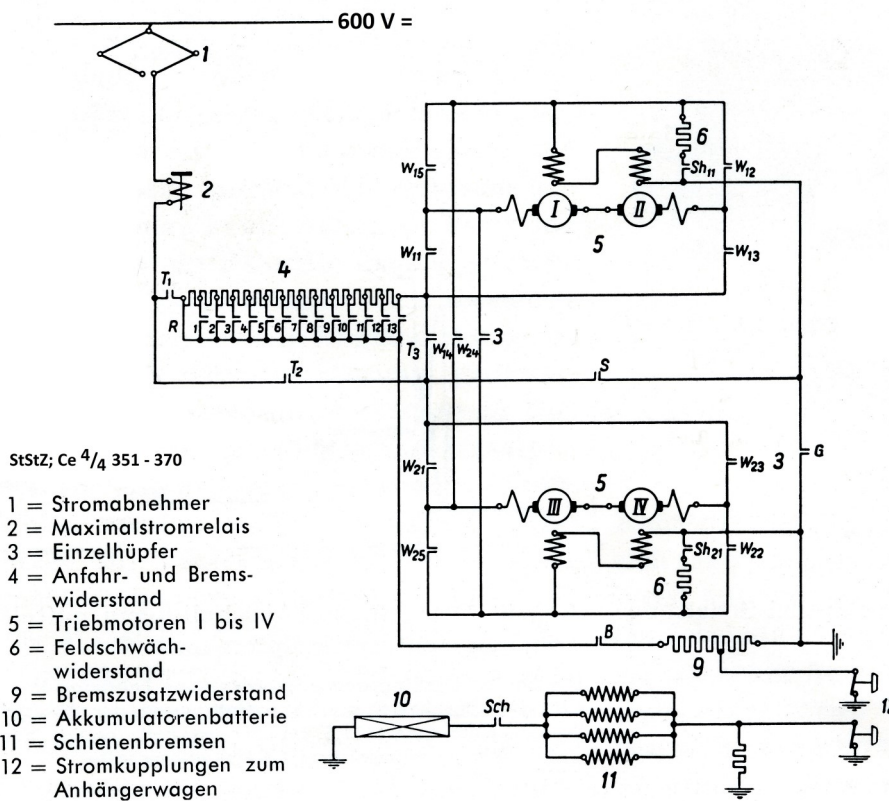
Gruppierungen und 16 Bremsstufen, wobei ursprünglich auch der Fahrtrichtungswechsel und die Bremsschaltung mit Einzelhüpfen hergestellt wurde. Wie dies realisiert wurde zeigt das nachstehende Schema. Welche Hüpfer jeweils betätigt sind, zeigt die Schalttafel, sodass die einzelnen Stromkreise verfolgt werden können. Auch auf dem Gebiet der Überlandbahnen und bei der Strassenbahn in Bern kam dies zur Anwendung.

Das Hauptproblem bei der Konstruktion ist bei Gleichstrom die Beherrschung des Schaltlichtbogens mit dem entsprechenden Abbrand der Kontakte. Die Verriegelungskontakte dienen zur Sperrung der Steuerleitungen feindlicher Hüpfer oder anderer Apparate welche nicht

*Hüpferbatterie im Apparatekasten
der Motorwagen Be 4/4 1351 -
1415 der VBZ. Baujahr 1940 -
1954.*

Zeichnung unten:

Hauptstromschema der Motorwagen Ce 4/4 351 - 370 der StStZ in der ursprünglichen Anordnung. Die Steuerung für Vor- und Rückwärtsfahrt sowie die Bremsschaltung wurde durch Einzelhüpfert bewerkstelligt. Zeichnung MFO.



Hüpfen

Fahren vorwärts

Stufe	T			S	G	W					B					R					Z							
	1	2	3			11	12	13	14	15	21	22	23	24	25	11	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11
26																												
25																												
24																												
23																												
22																												
21																												
20																												
19																												
18																												
17																												
16																												
15																												
14																												
13																												
12																												
11																												
10																												
9																												
8																												
7																												
6																												
5																												
4																												
3																												
2																												
1																												
0																												

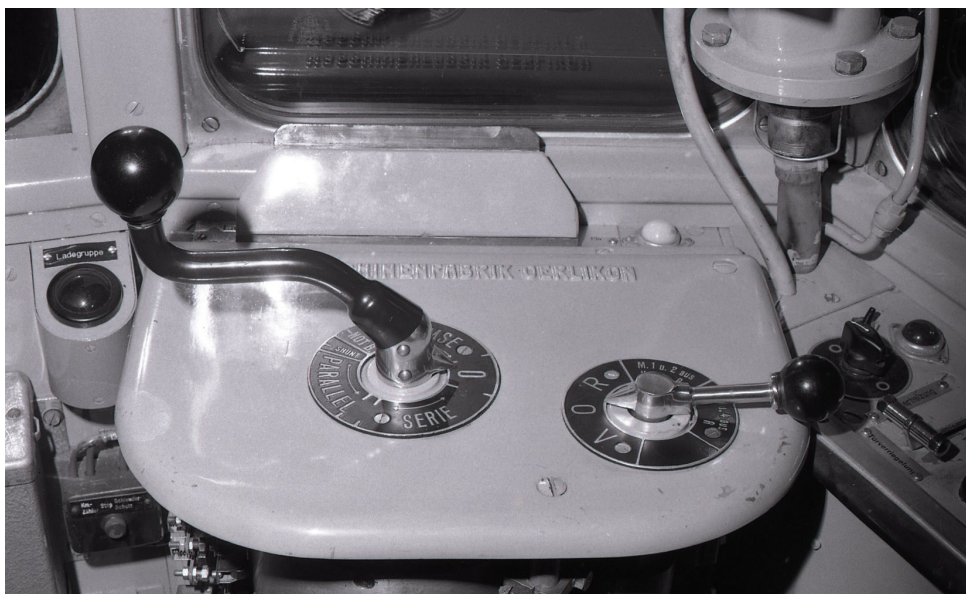
Fahren vorwärts

Stufe	T	S	G	W	B	R	Z
26							
25							
24							
23							
22							

Die *Kontroller* sind so gebaut, dass die notwendige Schaltfolge lediglich durch Aufschrauben von Kupfersegmenten auf einer Metallwalze, auf denen die Kontaktfinger auf- und ab-

Der nur wenig Platz beanspruchende Hüpfker kann in Reihen angeordnet werden. Diese Hüpfkerbatterie wird dort angeordnet, wo die anzuschliessenden Hauptstromkabel die dichtesten Bündel bilden. Bei den erwähnten Strassenbahnfahrzeugen eignete sich der Raum unter dem Wagenkasten zwischen den Drehgestellen vorzüglich zur Unterbringung der Hüpfkerapparatur, im von der Montagegrube her gut zugänglicher Kasten.

Steuerungen bei Gleichstromtriebfahrzeugen



Diese Hüpfensteuerungen von MFO wurden auch für Trolleybusse angewendet und kamen so in sehr zahlreichen Triebfahrzeugen im In- und Ausland vor. Die letzten Tramwagen waren die Be 4/6 - «Mirages» 1601 - 1690 und 1691 - 1726 der VBZ, welche mit Hüpfern der MFO ausgerüstet waren. Angesteuert wurden diese durch die Sécheron-Steuerelektronik (SAAS).

Bild oben:

Ansicht auf die Controllerplatte der Fahrzeuge Be 4/4 1351 - 1415 der VBZ. Links die Fahrkurbel. Wird die Kurbel im Uhrzeigersinn gedreht, erfolgt das Fahren zuerst in Serie, dann Serie-Parallel. Auf der letzten Stufe wird die Shuntstufe (Feldschwächung) eingeschaltet. Wird die Kurbel im Gegenuhrzeigersinn über die Nullstellung hinaus gedreht, wird die Umschaltwalze betätigt welche die Bremsschaltung erzeugt und die elektrische Bremsung eingeleitet, bei der die Fahrmotoren dann als Generatoren auf die Bremswiderstände arbeiten. Rechts der Griff für Vor- oder Rückwärtsfahrt V-0-R, mit dem auch einzelne Motorengruppen im Störfall abgetrennt werden können.

Bild links:

Kontroller in geöffnetem Zustand. Sichtbar sind auf der Hauptwalze (links) die aufgeschraubten Kupferelemente welche beim Drehen die Kontaktfinger betätigen (ganz links aussen) und die Steuerströme ein- bzw. ausschalten. In der Mitte die Steuerwalze für Vor- bzw. Rückwärtsfahrt und rechts davon die Umschaltwalze für «Fahren» bzw. «Bremsen».

Bilder: Hans Bodmer, Gossau ZH

Falls jemand das Hauptstromschema genauer studieren möchte, kann dies auf A3 bei mir beziehen (hans.bodmer3@bluewin.ch).