

# Elektrische Triebfahrzeuge

EIN HANDBUCH FÜR DIE PRAXIS SOWIE FÜR STUDIERENDE  
IN ZWEI BÄNDEN

Von

Dr. techn. KARL SACHS

Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

Zweiter Band

Mit 850 Textabbildungen  
und 16 Tafeln

1953

Herausgegeben vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verein

---

Kommissionsverlag Huber & Co. Aktiengesellschaft, Frauenfeld

# Inhaltsverzeichnis

## Dritter Abschnitt

### Die elektrische Ausrüstung

	Seite
Grundsätzliche Einteilung der Stromkreise . . . . .	1
A. Hauptstromkreise . . . . .	2
I. Stromabnehmer . . . . .	2
1. Stromabnehmer für Fahrdrähtoberleitung . . . . .	2
a. Rollenstromabnehmer . . . . .	2
b. Bügelstromabnehmer . . . . .	5
Allgemeines . . . . .	5
$\alpha$ . Lyrastromabnehmer . . . . .	6
$\beta$ . Scherenstromabnehmer . . . . .	10
$\alpha\alpha$ . Der Stromabnehmer mit festem Schleifstück . . . . .	12
$\beta\beta$ . Der Stromabnehmer mit senkrecht gefedertem Schleifstück . . . . .	15
$\gamma\gamma$ . Der Stromabnehmer mit drehbarer, gefederter Wippe . . . . .	19
$\delta\delta$ . Konstruktiver Aufbau . . . . .	26
$\varepsilon\varepsilon$ . Betätigung . . . . .	38
2. Stromabnehmer für dritte Schiene . . . . .	45
II. Dachausrüstung und Überspannungsschutz . . . . .	51
III. Überstrom- und Kurzschlußschutz . . . . .	55
Allgemeines . . . . .	55
1. Sicherungen . . . . .	58
2. Selbstschalter . . . . .	60
3. Selbsttätige Schnellschalter . . . . .	60
4. Schütze, betätigt durch Überlastrelais . . . . .	64
5. Abschalten durch Unterwerk- oder Strecken-Selbstschalter . . . . .	65
IV. Steuerung . . . . .	67
Allgemeines . . . . .	67
1. Die Schaltung der Steuerung . . . . .	72
a. Triebfahrzeug mit zwei Motoren . . . . .	72
b. Triebfahrzeug mit vier Motoren . . . . .	72
c. Vielmotorige Triebfahrzeuge . . . . .	74
d. Übergangsschaltungen zwischen den Motorgruppierungen . . . . .	75
e. Ausführung von Feldschwächungsstufen . . . . .	81
f. Zwei- und Mehrwagensteuerungen . . . . .	85
$\alpha$ . Starkstromsteuerungen . . . . .	85
$\beta$ . Schützensteuerungen . . . . .	86
g. Halb- und vollautomatische Steuerungen . . . . .	86
$\alpha$ . Rein elektrische Schützensteuerungen nur für Fahren . . . . .	92
$\beta$ . Rein elektrische Schaltwerksteuerungen nur für Fahren . . . . .	94
$\gamma$ . Elektropneumatische Steuerungen nur für Fahren . . . . .	96
$\delta$ . Rein elektrische Schützensteuerungen für Fahren und Bremsen . . . . .	97
h. Viel- und feinstufige Steuerungen . . . . .	97
2. Die Apparate der Steuerung . . . . .	111
a. Steuerorgane zur Ausführung der Fahr- und Bremsstufen . . . . .	111

$\alpha$ . Stufenschalter mit runder oder gestreckter Kontaktbahn . . . . .	111
$\beta$ . Einzelschalter . . . . .	115
Allgemeines . . . . .	115
$\alpha\alpha$ . Schützensteuerung . . . . .	116
$\beta\beta$ . Nockenschaltwerke und deren Betätigung . . . . .	121
b. Anfahr- und Bremswiderstand . . . . .	141
5. Elektrische Bremsung . . . . .	150
a. Widerstandsbremung . . . . .	151
$\alpha$ . mit selbsterregten Motoren . . . . .	151
$\beta$ . mit fremderregten Motoren . . . . .	161
b. Schienen- und Solenoidbremsen . . . . .	165
c. Wirbelstrombremsen . . . . .	175
d. Nutzbremung . . . . .	175
$\alpha$ . Schaltungen unter Beibehaltung des Hauptstrommotors . . . . .	175
$\beta$ . Schaltungen unter Verwendung von Compoundmotoren . . . . .	186
$\gamma$ . Schaltungen unter Verwendung von Nebenschlußmotoren . . . . .	191
$\alpha\alpha$ . mit Fremderregung . . . . .	191
$\beta\beta$ . mit Selbsterregung . . . . .	195
V. Triebmotoren . . . . .	197
1. Tatzenlagermotoren . . . . .	197
2. Fest im Rahmen gelagerte Motoren . . . . .	205
VI. Fahrtwendeschalter . . . . .	205
VII. Motorschalter . . . . .	206
VIII. Erdleitung und Erdung . . . . .	206
IX. Zugheizungsstromkreis . . . . .	207
B. Nebenstromkreise . . . . .	213
1. Vom Fahrleitungsstrom gespeiste Nebenstromkreise . . . . .	213
a. Kompressormotor . . . . .	214
b. Vakuumpumpenmotor . . . . .	214
c. Ventilatormotoren . . . . .	214
d. Führerstandheizung . . . . .	214
e. Meßleitungen . . . . .	215
2. Die Umformergruppe und die von ihr gespeisten Nebenstromkreise . . . . .	215
C. Sonderschaltungen . . . . .	222
D. Optische und akustische Signaleinrichtungen . . . . .	224
Vereinigte Licht- und Hörzeichengebung . . . . .	225
Hörzeichengebung . . . . .	226
<i>II. Triebfahrzeuge für Einphasen-Wechselstrom</i>	
Allgemeines . . . . .	227
Grundsätzliche Einteilung der Stromkreise . . . . .	235
A. Hauptstromkreise . . . . .	236
I. Stromabnehmer . . . . .	236
II. Trennschalter . . . . .	236
III. Erdungsschalter . . . . .	237
IV. Überspannungsschutz . . . . .	237
V. Primärer Überstromschutz . . . . .	238
1. Ölschalter . . . . .	238
2. Wasserschalter . . . . .	240
3. Druckluftschalter . . . . .	240
4. Hochspannungs-Sicherungen . . . . .	244
VI. Haupttransformator . . . . .	245
1. Lufttransformator . . . . .	245
2. Öltransformator . . . . .	245
VII. Steuerung . . . . .	252
Allgemeines . . . . .	252
1. Stufenschaltersteuerungen . . . . .	255
2. Steuerungen mittels Einzelschalter . . . . .	261
Allgemeines . . . . .	261
a. Schützensteuerungen . . . . .	275
b. Nockenschaltwerke . . . . .	281
3. Stufenlose Steuerungen . . . . .	290
VIII. Sekundärer Überstromschutz . . . . .	295
IX. Fahrtwendeschalter . . . . .	295

X. Triebmotoren . . . . .	296
XI. Schaltungen für elektrische Bremsung . . . . .	308
1. Widerstandsbremung . . . . .	309
a. Mit selbsterregten Motoren . . . . .	309
b. Mit fremderregten Motoren . . . . .	311
2. Nutzbremung . . . . .	315
XII. Zugheizungsstromkreis . . . . .	333
Heizungsanzapfungen am Haupttransformator . . . . .	333
Heizregulierung . . . . .	333
Heizkupplungen . . . . .	334
Meßeinrichtung . . . . .	334
XIII. Erdleitung und Erdung . . . . .	334
XIV. Schaltungen für Sonderzwecke . . . . .	336
1. Anfahrsperrn gegen feste Bremsen . . . . .	336
2. Schleuderanzeigen und Schleuderschutz . . . . .	338
a. Schleuderanzeigen . . . . .	338
b. Schleuderschutz . . . . .	340
c. Schaltungen für Achslastausgleich auf elektrischem Wege . . . . .	345
3. Schaltungen zur Vermeidung der von den Stromabnehmern verursachten Radioempfangsstörungen . . . . .	345
B. Nebenstromkreise . . . . .	345
1. Stromkreise der Hilfsbetriebe . . . . .	346
2. Umformerstromkreis . . . . .	354
3. Steuerstromkreise . . . . .	354
4. Beleuchtungsstromkreis . . . . .	358
<i>III. Triebfahrzeuge für Dreiphasen-Wechselstrom</i>	
Einleitung . . . . .	359
Grundsätzliche Einteilung der Stromkreise . . . . .	359
A. Hauptstromkreis . . . . .	361
I. Stromabnehmer . . . . .	361
II. Trennschalter, Erdungsschalter, Überspannungsschutz . . . . .	363
III. Hauptschalter . . . . .	363
IV. Triebmotorenschalter und Fahrtwendesalter . . . . .	363
V. Triebmotoren und deren Steuerung . . . . .	364
1. Geschwindigkeitsregelung im Verhältnis 1:2 durch Kaskaden- und Parallelschaltung der Motoren . . . . .	364
2. Geschwindigkeitsregelung im Verhältnis 1:2 durch Polumschaltung der Motoren . . . . .	367
3. Geschwindigkeitsregelung in vier Stufen durch Vereinigung von Polumschaltung und Kaskadenschaltung . . . . .	367
4. Geschwindigkeitsregelung in mehr als vier Stufen . . . . .	369
5. Triebmotoren (elektro-mechanischer Aufbau) . . . . .	370
B. Nebenstromkreise . . . . .	371
<i>IV. Umformer-Triebfahrzeuge</i>	
A. Wechselstrom-Drehstrom-Triebfahrzeuge . . . . .	372
B. Wechselstrom-Gleichstrom-Triebfahrzeuge . . . . .	387
1. Wechselstrom-Gleichstrom-Triebfahrzeuge mit rotierender Umformergruppe . . . . .	387
2. Wechselstrom-Gleichstrom-Triebfahrzeuge mit Gleichrichtern (Mutatoren) . . . . .	403
C. Gleichstrom-Wechselstrom-Triebfahrzeuge . . . . .	408
D. Gleichstrom-Gleichstrom-Triebfahrzeuge . . . . .	409

Vierter Abschnitt

**Triebfahrzeuge für Zahnstangenstrecken**

I. Grundlagen . . . . .	429
1. Allgemeines . . . . .	429
2. Die Fahrwiderstände . . . . .	430
3. Arten der Zahnradbahnen . . . . .	431
4. Zahnstangensysteme . . . . .	432
5. Theorie des Zahnstangenbetriebs . . . . .	434

a.	Eingriffsverhältnisse . . . . .	
b.	Zahndruck und Auftrieb . . . . .	
c.	Standsicherheit . . . . .	
d.	Die Längsstabilität beim Bremsvorgang . . . . .	
II.	Gesamtaufbau . . . . .	
1.	Allgemeines . . . . .	
2.	Triebwerk und Laufwerk . . . . .	
a.	Triebfahrzeuge für reinen Zahnstangenbetrieb . . . . .	
α.	Lokomotiven . . . . .	
β.	Triebwagen . . . . .	
b.	Triebfahrzeuge für Zahnstangen- und Adhäsionsbetrieb . . . . .	
5.	Bremsen . . . . .	
a.	Allgemeines . . . . .	
b.	Die mechanischen Bremsen . . . . .	
α.	Die Sicherheits- oder Haltebremsen . . . . .	
β.	Die automatische Bremse . . . . .	
γ.	Die durchgehenden Luftbremsen . . . . .	
III.	Elektrische Ausrüstung . . . . .	
Einleitung . . . . .		
1.	Triebfahrzeuge für Drehstrom . . . . .	
2.	Triebfahrzeuge für Gleichstrom . . . . .	
3.	Triebfahrzeuge für Einphasen-Wechselstrom . . . . .	

## Fünfter Abschnitt

## Der Trolleybus

I.	Allgemeines und Gesamtaufbau . . . . .	
II.	Der mechanische Teil . . . . .	
III.	Die elektrische Ausrüstung . . . . .	
1.	Hauptstromkreis . . . . .	
a.	Stromabnehmer . . . . .	
b.	Störschutz . . . . .	
c.	Hauptschalter und Überstromschutz . . . . .	
d.	Steuerung . . . . .	
Allgemeines . . . . .		
α.	Starkstromsteuerungen durch fußbetätigten Steuerschalter . . . . .	
β.	Elektromagnetische Schützensteuerungen . . . . .	
γ.	Schaltwerke . . . . .	
e.	Triebmotoren . . . . .	
2.	Nebenstromkreis . . . . .	
5.	Sonderschaltungen . . . . .	
a.	Schutzschaltungen . . . . .	
b.	Prüfschaltungen . . . . .	

## Sechster Abschnitt

## Speicher-Triebfahrzeuge

Einleitung . . . . .		
I.	Akkumulatoren-Triebfahrzeuge . . . . .	
1.	Akkumulatoren-Batterie . . . . .	
2.	Gesamtanordnung der Akkumulatorenfahrzeuge . . . . .	
a.	Schienenfahrzeuge . . . . .	
α.	Triebwagen . . . . .	
β.	Lokomotiven . . . . .	
b.	Straßenfahrzeuge . . . . .	
α.	Elektrokarren und Elektroschlepper . . . . .	
Allgemeines . . . . .		
Konstruktion und Schaltung . . . . .		
β.	Elektromobile . . . . .	

II. Thermo-elektrische Triebfahrzeuge . . . . .	569
Allgemeines . . . . .	569
A. Dieselelektrische Triebfahrzeuge . . . . .	574
Allgemeines . . . . .	574
1. Grundlagen der elektrischen Leistungsübertragung . . . . .	576
a. Allgemeines . . . . .	576
b. Die elektrische Leistungsübertragung . . . . .	578
$\alpha$ . Der Dieselmotor und seine Charakteristiken . . . . .	578
$\beta$ . Der Generator und seine Charakteristiken . . . . .	582
$\gamma$ . Der Triebmotor und seine Charakteristiken . . . . .	584
$\delta$ . Die Zusammenarbeit zwischen Dieselmotor und Generator . . . . .	585
$\varepsilon$ . Die Zusammenarbeit zwischen Generator und Triebmotor . . . . .	589
$\zeta$ . Die Abstufung der Leistung . . . . .	590
$\eta$ . Die Dimensionierung der verschiedenen Maschinen. Einfluß der Feldschwächung und der Serie-Parallelschaltung . . . . .	591
c. Die Steuerungssysteme . . . . .	594
Allgemeines . . . . .	594
$\alpha$ . Reine Charakteristik-Steuerungen . . . . .	595
$\beta$ . Komplexe Charakteristik-Steuerungen . . . . .	599
$\gamma$ . Steuerungen mit aktiver Mitwirkung des Dieselmotors . . . . .	606
2. Dieselmotor . . . . .	620
3. Haupt- und Hilfsgenerator . . . . .	628
a. Allgemeines . . . . .	628
b. Entwurf und Betriebsverhalten . . . . .	632
4. Steuerapparat . . . . .	635
5. Triebmotoren und Antriebe . . . . .	638
6. Hilfseinrichtungen . . . . .	638
7. Gesamtdisposition dieselelektrischer Schienenfahrzeuge . . . . .	640
8. Elektromechanische Übertragung . . . . .	642
9. Dieselelektrische Spezialfahrzeuge . . . . .	644
a. Dieselelektrischer Omnibus . . . . .	644
b. Diesel-Trolleybus . . . . .	647
c. Zweikraft-Triebfahrzeuge für Fahrleitungs- oder Dieselbetrieb . . . . .	650
B. Dampfturbo-elektrische Triebfahrzeuge . . . . .	651
C. Gasturbo-elektrische Triebfahrzeuge . . . . .	655
III. Triebfahrzeuge mit mechanischem Energiespeicher . . . . .	667

Siebenter Abschnitt

Beispiele ausgeführter elektrischer Triebfahrzeuge

1. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Gruppe E 424 der «Ferrovie dello Stato» . . . . .	Tafel I und	671
2. $C_0^2 C_0^2$ -Lokomotive Serie 7101 der «Société Nationale des Chemins de Fer Français» . . . . .	Tafel II u. III u.	672
3. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Serie 9001 der «Société Nationale des Chemins de Fer Français» . . . . .	Tafel IV und	674
4. ( $1^1 C_0$ ) ( $C_0 1^1$ )-Lokomotive Serie Ae $\frac{5}{8}$ 205 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon . . . . .	Tafel V und	675
5. $C_0^2 C_0^2$ -Lokomotive Serie E 94 der Deutschen Bundesbahn und Serie 1020 der Österreichischen Bundesbahnen . . . . .	Tafel VI und	677
6. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Serie Ae $\frac{4}{4}$ 251 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon . . . . .	Tafel VII und	678
7. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Serie Re $\frac{4}{4}$ 401 der Schweizerischen Bundesbahnen . . . . .	Tafel VIII und	679
8. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Serie 1041 der Österreichischen Bundesbahnen . . . . .	Tafel IX und	680
9. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Nr. E 10.003 der Deutschen Bundesbahn . . . . .	Tafel X und	682
10. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Nr. E 10.004 und E 10.005 der Deutschen Bundesbahn . . . . .	Tafel XI und	685
11. $C^2 C^2$ -Lokomotive Serie Ee $\frac{5}{6}$ 16801 der Schweizerischen Bundesbahnen . . . . .	Tafel XII und	684
12. $C_0^2 C_0^2$ -Lokomotive Serie Ae $\frac{5}{6}$ 11401 der Schweizerischen Bundesbahnen . . . . .	Tafel XIII und	685
13. $B_0^2 B_0^2$ -Lokomotive Serie Ge $\frac{4}{4}$ 601 der Rhätischen Bahn . . . . .	Tafel XIV und	686
14. $C_0^2 C_0^2$ -Lokomotive Nr. 6051 der «Société Nationale des Chemins de Fer Français» . . . . .	Tafel XV und	687