

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 81/82 (1923)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Der Aktionsradius der Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge  
**Autor:** Christen, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-38852>

### **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:** 02.04.2025

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

INHALT: Der Aktionsradius der Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge. — Wettbewerb für die Erweiterungs-Bauten des Kantonspitals Glarus. — Reorganisation der Schweiz. Bundesbahnen. — Nebenspannungen infolge vernieteter Knotenpunkt-Verbindungen eiserner Fachwerk-Brücken. — Miscellanea: Doppelfrequenz-Generatoren. Eid-

genössische Technische Hochschule. Neue Strassenbahnlinien im Kanton Genf. Ein „Haus der Elektrotechnik“ auf der Leipziger Messe. Waldbrand-Bekämpfung mit Hilfe des Flugzeuges. — Nekrologie: Friedr. v. Steiger. — Konkurrenzen: Wehrmannenkmal in Basel. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ing.- u. Arch.-Verein. S. T. S.

Band 81.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 4.

## Der Aktionsradius der Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge.<sup>1)</sup>

Von Dr. sc. techn. *F. Christen*, Ingenieur, Bern.

Die Akkumulatoren-Fahrzeuge gewinnen in neuerer Zeit, nachdem die für sie günstigsten Betriebsverhältnisse ermittelt worden sind und sie dementsprechend verwendet werden, immer grösser werdende Bedeutung. Die nachfolgenden Untersuchungen sollen dazu beitragen, die Bestimmung der den gegebenen Betriebsverhältnissen am besten entsprechenden Konstruktionsgrössen zu erleichtern und die Zweckmässigkeit der Verwendung der Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen anderer Betriebsarten richtig beurteilen zu können.

Die geeignetsten Vergleichswerte sind einerseits der Aktionsradius, und andererseits der aus diesem abgeleitete Begriff der „pro Tonne Batterie entwickelbaren Tonnenkilometer Verkehrsarbeit“. Diese letztgenannte Grösse charakterisiert ganz besonders die verschiedenen Verwendungsgebiete der Akkumulatoren-Fahrzeuge und stellt somit eine Kennziffer dar, die sich auch leicht zahlenmässig bestimmen lässt.

Für die Akkumulatoren-Batterien werden Blei- oder alkalische Akkumulatoren verwendet. Diese letzten scheinen sich mit Rücksicht auf ihre technischen Eigenschaften vorzüglich für Eisenbahnfahrzeuge zu eignen, und zwar insbesondere, wenn Strecken mit Steigungen zu befahren sind. Die Preussische Staatsbahnverwaltung hat denn auch in den letzten Jahren verschiedene Fahrzeuge mit Edison-Akkumulatoren ausgerüstet. Die Versuchszeit ist aber zu kurz, um darüber ein endgültiges Urteil abgeben zu können. Aus diesem Grunde werden in der nachstehenden Untersuchung nur die Blei-Akkumulatoren berücksichtigt.

### Die maschinellen und fahrtechnischen Grundlagen.

Zur Bestimmung der grundlegenden Kennziffer d. h. des Wertes des Verhältnisses der „Förderarbeit in Tonnenkilometer zum Akkumulatortengewicht in Tonnen“ gehen wir aus von der folgenden, für die Förderarbeit in tkm geltenden Gleichung<sup>2)</sup>

$$G S = G_A \frac{K_A}{W} \eta_T 367 \quad (1)$$

Diese Formel ergibt sich durch Gleichstellung der nachfolgenden, für die Arbeitsabgabe  $A$  des Bleiakkumulators in kWh geltenden Beziehungen, und zwar, bezogen einerseits auf die Fortbewegungsarbeit,

$$A = G W S \frac{1}{\eta_T} \frac{9,81}{3600}$$

andererseits auf das Akkumulatortengewicht in t, unter Benützung eines Gewichtskoeffizienten  $K_A$  in kWh/t,

$$A = K_A G_A$$

Dabei bedeuten:

- $G$  das totale Zugsgewicht in t
- $S$  den Aktionsradius in km
- $G_A$  das Gewicht der Akkumulatoren-Batterie in t
- $K_A$  einen Gewichtskoeffizienten, nämlich das Arbeitsvermögen  $A$  der Akkumulatoren-Batterie in kWh/t, definiert durch die Gleichung  $K_A = \frac{A}{G_A}$
- $W$  den Fahrwiderstand in kg/t
- $\eta_T$  den totalen Wirkungsgrad zwischen Radumfang und Batterie.

<sup>1)</sup> Vergl. Dr. sc. techn. *Fernand Christen* «Der Aktionsradius der Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge», Zürich 1922, Gebr. Leemann & Co. A.-G., Preis 3 Fr.

<sup>2)</sup> Vergl. Dr. *W. Kummer*, «Formeln zur Berechnung und Prüfung von Automobilen» E. T. Z. 1900, S. 346.

Durch Auflösung der Gleichung (1) ergibt sich der Aktionsradius zu

$$S = \left( \frac{G_A}{G} \right) \frac{K_A}{W} \eta_T 396 \quad (2)$$

Bei der Ableitung der vorstehenden Beziehung wurde der Fahrwiderstand  $W$  als konstant angenommen. Es lässt sich aber, ohne einen grösseren Fehler zu begehen, diese Gleichung auch bei einem veränderlichen Fahrwiderstand benützen. Weil dieser in kg/t äquivalent ist mit der durchschnittlichen spezifischen Zugkraft pro Tonne  $z$ , ersetzen wir  $W$  allgemein durch  $z$ .

Durch Umstellung der obigen Gleichung erhalten wir dann den der gewählten Kennziffer „tkm/t Batterie“ entsprechenden Ausdruck:

$$\frac{S G}{G_A} = \frac{K_A}{z} \eta_T 367$$

Das Verhältnis  $\left( \frac{S G}{G_A} \right)$  wird umso grösser und demnach umso günstiger, je grösser  $K_A$  und  $\eta_T$  und je kleiner  $z$ . Es ist somit  $\left( \frac{S G}{G_A} \right)$  der aus dem Aktionsradius weiter entwickelte Begriff, dessen Bedeutung die des Aktionsradius übertrifft, weil er für das Projektieren und für die Beurteilung sofort einen Wert liefert, der alle in Frage kommenden Grössen enthält.

Nun ist der Zahlenwert für die durchschnittliche Zugkraft  $z$ , in kg/t ausgedrückt, identisch mit demjenigen für die Arbeit zur Ueberwindung des spezifischen Widerstandes in 1000 mkg/tkm oder  $\frac{1000 \times 9,81}{3600}$  Wh/tkm. Wir bezeichnen die spezifische Arbeit in letzterer Einheit ausgedrückt mit  $a_s$ .

Ersetzen wir daher  $z$  durch den auf den Radumfang bezogenen spezifischen Arbeitsverbrauch  $a_s$ , so ergibt sich:

$$\left( \frac{S G}{G_A} \right) = \frac{K_A}{a_s} \eta_T 1000 \quad (3)$$

Die Grössen  $a_s$ ,  $\eta_T$  und  $K_A$  sind abhängig:  $a_s$  vom spezifischen Fahrwiderstand und dem Verhalten des Motors mit Uebersetzung und des Anlassers; ferner ist  $a_s$  begrenzt durch die Adhäsion. —  $\eta_T$  vom Motor mit Uebersetzung und dem Anlasser. —  $K_A$  von der Akkumulatoren-Batterie. Für die Bestimmung der günstigsten Verhältnisse für  $a_s$ ,  $\eta_T$  und  $K_A$  sind ferner die maximale Leistung und die mittlere Geschwindigkeit massgebend.

Die vorstehende Gleichung für  $\left( \frac{S G}{G_A} \right)$  lässt sich mit Rücksicht auf das in der Praxis veränderliche Verhältnis  $\frac{G}{G_A}$  in eine allgemeinere Form überführen.

Die Grösse  $K_A$  der Hauptgleichung (3) stellt, wie bereits erwähnt, das Arbeitsvermögen  $A$  der Akkumulatoren-Batterie pro Gewichtseinheit dar, gemäss:

$$K_A = \frac{A}{G_A} \text{ in kWh/t} \quad (4)$$

Ein ähnlicher Koeffizient lässt sich mit Bezug auf die mittlere Leistung  $L_k$  an den Klemmen der Batterie, bzw. für  $L_G$  am Radumfang des Zuges aufstellen:

$$K_L = \frac{L_k}{G_A} \text{ in kW/t} \quad (5)$$

Es besteht nun die auf Grund von Versuchen aufgestellte Beziehung

$$K_A K_L^n = c_1 \quad (6)$$

wobei für mittlere Akkumulatortengrössen der Akkumulatoren-Fabrik Oerlikon  $n = 0,4$  und  $c_1 = 13$  für  $K_A$  in kWh/t und  $K_L$  in kW/t gesetzt werden kann. Diese Beziehung legt die Kapazitäts-Abnahme des Akkumulators mit wachsender Leistungsentnahme dar.

Weil  $L_K = \frac{L_G}{\eta_K}$  1) ergibt sich unter Benützung des Wirkungsgrades  $\eta_K$  des Akkumulators:

$$K_L = \frac{L_G}{\eta_K} \frac{1}{G_A} \quad \text{und} \quad K_A = c_1 \left( \frac{\eta_K}{L_G} \right)^n G_A^n$$

Wir setzen diesen Wert in die Hauptgleichung ein und erhalten

$$\left( \frac{S G}{G_A} \right) = \frac{c_1 \eta T}{a_s} \left( \frac{\eta_K}{L_G} \right)^n G_A^n 1000$$

Bezeichnen wir nun mit  $L$  die mittlere Leistung am Radumfang für das Zugsgewicht  $1 t$ , dann ist mit Rücksicht auf

$$K_L = \frac{L_K}{G_A} = \frac{L_G}{\eta_A} \frac{1}{G_A}$$

und weil  $L_G = G L$ , somit:

$$K_L = \frac{G L}{\eta_K G_A}$$

Es folgt nun die Hauptgleichung in der Form:

$$\left( \frac{S G}{G_A} \right) = c_1 \frac{\eta T}{a_s} \left( \frac{\eta_K}{L} \right)^n \left( \frac{G_A}{G} \right)^n 1000 \quad (7)$$

Dieser Ausdruck stellt unsere Hauptgleichung in der allgemeinsten Form dar.

Für  $c_1 \frac{\eta T}{a_s} \left( \frac{\eta_K}{L} \right)^n 1000 = C = \text{konstant}$ , d. h. bei einer bestimmten Fahrordnung, für die  $a_s$  und  $L$  als gegeben zu betrachten sind, wird nun

$$\left( \frac{S G}{G_A} \right) = C \left( \frac{G_A}{G} \right)^n \quad (8)$$

Mit Hilfe dieser Gleichung können die für ein bestimmtes Verhältnis  $\left( \frac{G}{G_A} \right)$  gefundenen Werte von  $\left( \frac{S G}{G_A} \right)$  auf jedes Verhältnis von  $\left( \frac{G}{G_A} \right)$  umgerechnet werden. Die Abhängigkeit dieser Kennziffer von der Grösse des Verhältnisses des Akkumulatengewichtes zum Zugsgewicht ist somit durch eine einfache Potenzformel gegeben, deren Exponent demjenigen der Formel (6), für die Kapazitätsabnahme von Akkumulatoren bei wachsender Entladeleistung, entspricht. Es genügt somit, die nachfolgenden Untersuchungen für ein einziges und zwar gleichgültiges Verhältnis von  $\frac{G}{G_A}$  durchzuführen.

Die durchschnittliche Zugkraft pro Tonne entspricht der Summe der zu überwindenden Widerstände, ebenfalls bezogen auf die Tonne, nämlich:

- des spezifischen Fahrwiderstandes der horizontalen, geraden und gleichförmigen Bewegung;
- des spezifischen Krümmungswiderstandes;
- des spezifischen Steigungswiderstandes und der Trägheitskraft.

Die spezifische Widerstandsarbeit ist daher mit Rücksicht auf die durchschnittliche Zugkraft zu bestimmen sowohl für die Beschleunigung, den Beharrungszustand und die Verzögerung auf der horizontalen geraden Fahrstrecke, als auch auf einer Fahrstrecke mit Steigungen und Krümmungen. Ferner ist der Widerstand der rotierenden Massen zu berücksichtigen.

Der Einfluss der Steigungen und Krümmungen wird in nachstehendem nicht weiter verfolgt, da eine bezügliche Untersuchung nichts wesentlich neues bietet. Immerhin sei erwähnt, dass mit zunehmender Steigung die Kapazität und Leistungsfähigkeit rasch abnimmt.

Ferner wurde die Einwirkung der rotierenden Massen vernachlässigt, da der dadurch bedingte Korrektionsfaktor, der bei Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeugen im allgemeinen kleiner ist wie 10%, auf das Endresultat der Untersuchung ohne wesentlichen Einfluss ist.

Was den Arbeitsrückgewinn auf der Talfahrt anbelangt, so sind die grossen, in diesen gesetzten Hoffnungen nicht in Erfüllung gegangen.

Wir untersuchen somit nur die Betriebsverhältnisse auf der horizontalen geraden Fahrstrecke.

1) Bei den weitem Untersuchungen gehen wir von der mittleren Leistung  $L_k$  aus und vernachlässigen den Einfluss der Veränderlichkeit der Entladestromstärke.

### Die Betriebsverhältnisse auf der horizontalen, geraden Fahrstrecke.

Die Veränderlichkeit der Kennziffer  $\frac{S G}{G_A}$  wird in Abhängigkeit der massgebenden Elemente des Fahrvorganges bestimmt und zwar unter Annahme eines Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuges in der üblichen Ausführung, ausgerüstet mit zwei Gleichstrom-Reihenschlussmotoren mit je einer einfachen Zahnradübersetzung und einer Anlasser-Regulierung vermittelt Vorschaltwiderstandes und Serie- und Parallelschaltung der Motoren. Es sind zu ermitteln die spezifische Widerstandsarbeit, der maximale Effekt, die mittlere Fahrgeschwindigkeit, die Verluste und das spezifische Arbeitsvermögen der Batterie. Zum bessern Vergleich werden alle diese Grössen auf die unserer Ansicht nach zu diesem Zweck sich am besten eignende Anfahr-Endgeschwindigkeit  $V_e$  als Grundgeschwindigkeit bezogen.

Für die Untersuchung der Verhältnisse, die bei der Beschleunigung, beim Beharrungszustand und bei der Verzögerung auftreten, wird von der Betrachtung der verschiedenen Abschnitte einer Fahrt ausgegangen und zwar einer einfachen Fahrt, d. h. einer solchen mit einer einmaligen Beschleunigung während der Anfahrt (Stromaufnahme) und nur einer Verzögerung am Schluss. Diese Fahrt lässt sich nach Abbildung 1 die bei Annahme einer idealen Motor-Zugkraft-Kurve die aus derselben bei konstantem Fahrwiderstand sich ergebende schematische Zeitgeschwindigkeitskurve oder sogenannte Fahrlinie darstellt, in folgende fünf Abschnitte teilen.

1. Abschnitt, Anfahrt mit Anlasser  $a-b$
2. „ Anfahrt ohne Anlasser  $b-c$
3. „ Beharrungszustand  $c-d$
4. „ Auslauf  $d-e$
5. „ Bremsung  $e-f$

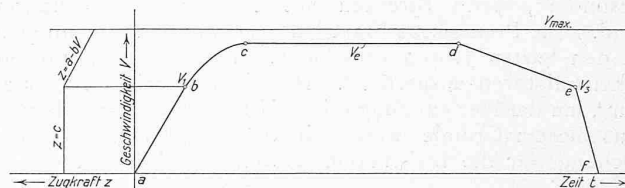


Abbildung 1.

Die Motorcharakteristik wird, da sie innerhalb der in Frage kommenden Grenzen nahezu geradlinig verläuft, um die Allgemeinheit der Betrachtung besser zu wahren, durch eine Gerade von der Gleichung

$$z = a - bV \quad (9)$$

ersetzt, in der  $z$  in  $\text{kg/t}$ ,  $V$  in  $\text{km/h}$  verstanden seien, während  $a$  und  $b$  Motorkonstanten bedeuten.

Während der Anfahrt lässt sich die Zugkraftkurve bei der idealen Anlasser-Charakteristik (eine Gerade) durch den Ausdruck

$$z = c \quad (10)$$

darstellen;  $c$  ist die Anlasserkonstante.

Zur Bestimmung der Zeit- und Geschwindigkeits-Kurve, sowie des Fahrweges, des Energieverbrauches und der maximalen Leistung benützen wir anhand der graphischen Methode 1) kontrollierte Gleichungen 2). Diese analytische

1) Vgl. M. Müller und W. Mattersdorff, Die Bahnmotoren für Gleichstrom. Berlin, Julius Springer, 1903, S. 26 u. f. — Dieses graphische Verfahren, das im Prinzip zum ersten Male durch Bork im Aufsatz «Die elektrische Zugförderung auf der Wannseebahn (Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, Ergänzungsheft zu dem Jahrgang 1900) veröffentlicht und wahrscheinlich schon gleichzeitig von A. Blondel (André Blondel et F. Paul Dubois, La Traction Electrique sur Voies Ferrées, Paris, Ch. Béanger, 1898, Tome II, p. 519 à 532) in Vorschlag gebracht wurde, ist in der Folge durch M. Müller und W. Mattersdorff und ferner durch Prof. W. Reichel, (Ueber die Einführung des elektrischen Betriebes auf den Bayerischen Staatseisenbahnen, EKB, 1908, Heft Nr. 14) ausgebaut worden.

2) Die benützten Gleichungen sind zum Teil Annäherungsformeln, die in der Mitte liegen zwischen der Rechnung mit  $w_0 = \text{konst.}$  nach W. Kummer, «SBZ» Bd. 44, S. 14 und 28, 9./16. Juli 1904) und  $w_0 = r_1 + n_2 V^2$  nach demselben Autor («SBZ» Bd. 44, S. 287, 17. Dez. 1904).

Methode nimmt weniger Zeit in Anspruch, als das graphische Verfahren und ist gleichwohl ebenso genau, weil im letzten Falle eine allgemein zutreffende Geschwindigkeitskurve nur angenähert konstruiert werden kann.

Die Gesamtverluste der Uebersetzung werden entsprechend *Kummer*<sup>1)</sup> zu 8% der für die Anfahrt aufgewendeten Arbeit angenommen und für den Motoren-Wirkungsgrad mittlere Versuchswerte benützt. Schliesslich wird der Wirkungsgrad des Anlassvorganges unter Annahme einer Regulierung mit Vorschaltwiderstand und gleichzeitiger Serie- und Parallelschaltung der Motoren mit abgerundet 66,7% eingesetzt.

Wir untersuchen nun vorerst die Anfahrverhältnisse. Weil die für die Anfahrt aufgewendete Arbeit zum Teil in der Auslauf- und Bremsperiode zurückgewonnen wird, werden diese beiden Vorgänge mitberücksichtigt. Die Fahrt mit Beharrungszustand wird daran anschliessend behandelt.

Die Anfahrverhältnisse sind bestimmt durch die mittlere Anfahbeschleunigung, die Anfah-Endgeschwindigkeit und das Verhältnis zwischen Anlass- und Anfah-Endgeschwindigkeit. Im allgemeinen kann dieses Verhältnis

<sup>1)</sup> Vgl. Dr. W. Kummer, «S.B.Z.», Bd. 46, S. 145 (16. Sept. 1905).

angenommen werden zu  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{2}{3}$ . Die Brems-Anfangsgeschwindigkeit  $V_3$  ergibt sich aus der Praxis zu etwa  $\frac{2}{3} V_e$ . Ferner sei die mittlere Bremsverzögerung  $\gamma_{b_2} = 1,0 \text{ m}^2/\text{sek}$  und das Verhältnis zwischen dem Akkumulatoren-gewicht und dem Gesamtgewicht des Zuges  $\frac{G}{G_A} = \frac{1}{0,4}$  entsprechend dem abgerundeten kleinsten Werte der in der nachfolgenden Tabelle für verschiedene Ausführungen zusammen-gestellten Verhältnisse von  $\frac{G}{G_A}$ , angenommen.

Es wird nun die Untersuchung über den Einfluss der mittlern Anfahbeschleunigung und der Anfah-Endgeschwindigkeit durchgeführt, und zwar bestimmen wir bei konstantem Verhältnis  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{2}{3}$  für die mittleren Beschleunigungen

$\gamma = 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$  und  $0,7 \text{ m}/\text{sek}^2$  und für die Anfah-Endgeschwindigkeiten

$V_e = 7,5; 15; 30; 45; 60$  und  $75 \text{ km}/\text{h}$  die spezifische Arbeit am Radumfang, den maximalen Effekt, die Reisegeschwindigkeit, den totalen Wirkungsgrad, die Akkumulatoren-gewichtskonstante  $K_A$  und schliesslich die gesuchte Kennziffer  $\left(\frac{S G}{G_A}\right)$  in tkm pro Tonne Batterie.

**Normalspurige Akkumulatoren-Eisenbahnfahrzeuge.**

| Bauart  | Typ                                      | Motoren |                                 | Gewichte  |                   |                         |                      |                                 | Fahr-geschwin-digkeit<br>km/h | Verhältnis<br>$\frac{G}{G_A}$ |
|---|--|---------|---------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|   |  | Anzahl  | Stunden-Leistung<br>Total<br>kW | Tara<br>t | Lade-Gewicht<br>t | norm.-Anhänge-Last<br>t | Totales Gewicht<br>t | Blei-Akk.-Batterie Gewicht<br>t |                               |                               |
| Schweizerische Bundesbahnen <sup>1)</sup>                           |  |         |                                 |           |                   |                         |                      |                                 |                               |                               |
| Plattform-Wagen   | Xa <sup>2</sup> / <sub>2</sub> Nr. 1—5   | 2       | 33,8                            | 20,4      | 4,0               | 100                     | 124,4                | 8,6                             | —25                           | 1:0,069                       |
| Lokomotiven   | Ea <sup>2</sup> / <sub>2</sub> Nr. 31—34 | 2       | 35,3                            | 18,5      | —                 | 100                     | 118,5                | 8,6                             | —25                           | 1:0,073                       |
| "   | Da <sup>2</sup> / <sub>2</sub> Nr. 51—53 | 2       | 147,2                           | 36,0      | —                 | 200                     | 235,0                | 14,0                            | —45                           | 1:0,06                        |
| "   | Werkstätte Olten <sup>2)</sup>           | 1       | 3,7                             | 7,0       | —                 | 45                      | 52,0                 | 1,4                             | —10                           | 1:0,027                       |
| Preussisch-Hessische-Staatseisenbahnverwaltung <sup>3)</sup>        |  |         |                                 |           |                   |                         |                      |                                 |                               |                               |
| Trieb-Wagen   | A. T. A 1 A (A <sub>1</sub> )            | 2       | 73,5                            | 33,5      | 4,5               | —                       | 38,0                 | 11,0                            | —45                           | 1:0,29                        |
| "   | A. T. 2 A + A 2 (A <sub>2</sub> )        | 2       | 125                             | 58,5      | 8,5               | —                       | 67,0                 | 18,0                            | —60                           | 1:0,27                        |
| "   | A. T. 2 A + A 2 (A <sub>3</sub> )        | 2       | 125                             | 61,6      | 8,4               | —                       | 70,0                 | 20,0                            | —60                           | 1:0,285                       |
| "   | A. T. 2 A + A 2 (A <sub>4</sub> )        | 2       | 132,5                           | 68,0      | 7,0               | —                       | 75,0                 | 25,5                            | —60                           | 1:0,34                        |
| "   | A. T. 3 A + A 3 (A <sub>5</sub> )        | 2       | 132,5                           | 82,0      | 13,0              | —                       | 95,0                 | 25,5                            | —60                           | 1:0,27                        |
| Lokomotiven   | Eisenb.-Werk-Inspekt. Tempelhof 1905     | 2       | 29,4                            | 24,3      | —                 | 158,7                   | 183                  | 10,5                            | —20                           | 1:0,057                       |
| "   | " " 1913                                 | 3       | 157,0                           | 42,2      | —                 | 283,8                   | 326                  | 18,9                            | —20                           | 1:0,058                       |
| "   | " " Delitzsch 1911                       | 2       | 26,4                            | 28,5      | —                 | 38,5                    | 67                   | 11,1                            | —25                           | 1:0,166                       |
| "   | " " Königsberg 1911                      | 2       | 100                             | 28,1      | —                 | 596,9                   | 625                  | 13,5                            | —10                           | 1:0,022                       |
| Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden <sup>4)</sup>        |  |         |                                 |           |                   |                         |                      |                                 |                               |                               |
| Plattform-Wagen   | A. P. 531                                | 1       | 8,0                             | 9,5       | 20,0              | 38,5                    | 68                   | 2,36                            | 4,5—10                        | 1:0,035                       |
| "   | A. P. 631                                | 1       | 8,0                             | 9,8       | 20,0              | 38,2                    | 68                   | 2,36                            | 4,5—10                        | 1:0,035                       |
| "   | A. P. 832                                | 2       | 22,0                            | 20,0      | 10,0              | 70                      | 100                  | 6,56                            | 12—15                         | 1:0,066                       |
| Lokomotiven   | A. L. 262                                | 2       | 22,0                            | 18,0      | —                 | 140                     | 158                  | 6,56                            | 6,4—11                        | 1:0,042                       |
| "   | A. L. 272                                | 2       | 88,0                            | 31,6      | —                 | 200,4                   | 232                  | 13,12                           | 17,4—30                       | 1:0,057                       |
| "   | A. L. 462                                | 2       | 130                             | 43,2      | —                 | 165,8                   | 209                  | 11,2                            | 25,7—50                       | 1:0,054                       |
| Westinghouse Electric & Manufacturing Company, U.S.A. <sup>5)</sup> |  |         |                                 |           |                   |                         |                      |                                 |                               |                               |
| Lokomotiven   | 10 t, max. Zugkraft = 2150 kg            | 2       | 23,5                            | 10        | —                 | 120                     | 130                  | 2,9                             | 5,5—9                         | 1:0,022                       |
| "   | 15 t, " " = 3300 kg                      | 2       | 23,5                            | 15        | —                 | 120                     | 135                  | 2,9                             | 5,5—9                         | 1:0,021                       |
| "   | 20 t, " " = 4800 kg                      | 2       | 36,8                            | 20        | —                 | 185                     | 205                  | 4,1                             | 5,5—9                         | 1:0,02                        |
| "   | 25 t, " " = 6000 kg                      | 2       | 36,8                            | 25        | —                 | 185                     | 210                  | 4,1                             | 5,5—9                         | 1:0,019                       |

<sup>1)</sup> Vgl. Statistik des Rollmaterials der Schweiz. Eisenbahnen 1920 (Angaben ergänzt).

<sup>2)</sup> Vgl. A. Keller, Das Rollmaterial der Schweiz. Eisenbahnen an der schweiz. Landesausstellung in Bern 1914. Schweiz. Bauzeitung, 3. Juli 1915.

<sup>3)</sup> Vgl. Merkbuch für die Fahrzeuge der Preussisch-Hessischen Staats-Eisenbahnverwaltung. Ausgabe 1915. Die Angaben wurden vervollständigt an Hand von Mitteilungen des Eisenbahn-Zentralamtes in Berlin und der Akkumulatoren-Fabrik Oerlikon. Die normale Anhängelast für die Lokomotiven wurde wie auch bei den nachfolgenden Akkumulatoren-Eisenbahn-fahrzeugen von B. B. C. und Westinghouse unter Annahme eines totalen Wirkungsgrades zwischen Batterie und Radumfang von 85% und einer Widerstandszahl von 5 kg/t für mittlere Fahrgeschwindigkeit berechnet.

<sup>4)</sup> Vgl. B. B. C.-Mitteilungen vom Mai 1918 und Mai 1919.

<sup>5)</sup> Gemäss Mitteilung der Société Anonyme Westinghouse, Filiale Bern, der wir diese Angaben verdanken, werden diese Lokomotiven, die für eine Spannung von 80 Volt und doppelter Uebersetzung gebaut werden, auch mit Edison-Akkumulatoren geliefert. Für die verschiedenen Lokomotiv-Grössen sind folgende Batterien vorgesehen, wobei die Kapazität auf 5 Stunden Entladezeit bezogen ist:

| Lokomotiv-Typ        |                  | 10 t | 15 t | 20 t | 25 t |
|----------------------|------------------|------|------|------|------|
| Blei-Akkumulatoren   | Kapazität in kWh | 47,5 | 47,5 | 71   | 71   |
|                      | Gewicht in kg    | 2900 | 2900 | 4100 | 4100 |
| Edison-Akkumulatoren | Kapazität in kWh | 48,5 | 52   | 97   | 97   |
|                      | Gewicht in kg    | 1900 | 1925 | 3900 | 3900 |



Die Zahlenergebnisse der Berechnungen für die massgebenden Grössen, nämlich der maximale Effekt, die mittlere Geschwindigkeit und das Verhältnis  $\left(\frac{SG}{GA}\right)$  sind durch die Kurven der Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

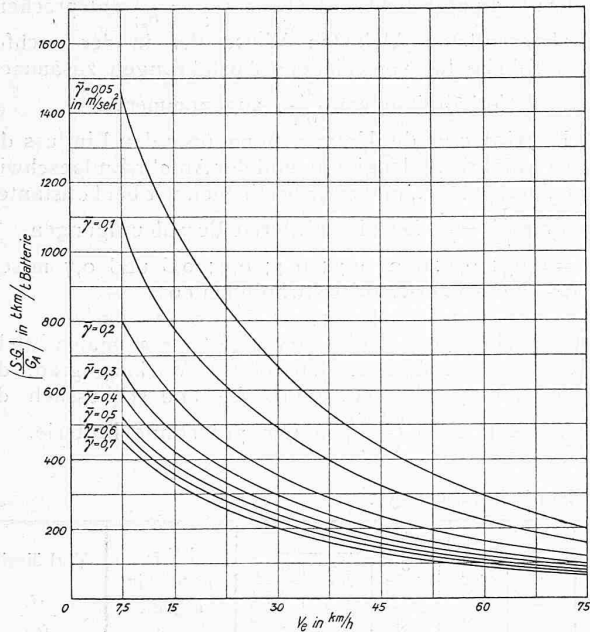


Abbildung 2.

Zur Ermittlung des Einflusses des Verhältnisses der Anlass- zur Anfahr-Endgeschwindigkeit auf die Anfahrgrössen verfahren wir wie im vorhergehenden Abschnitt, für  $\frac{V_1}{V_e} = \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$  und  $\frac{5}{6}$ . Der Einfachheit halber betrachten wir nur die Anfahrten für die Endgeschwindigkeiten  $V_e = 7,5, 45$  und  $75$  km/h und die mittleren Beschleunigungen  $\gamma = 0,05, 0,3$  und  $0,7$ . Die Ergebnisse sind aus den Abbildungen 4 und 5 ersichtlich.

\*

Die Berechnungen betreffend die Anfahrverhältnisse, deren Haupt-Resultate in den Abbildungen 2, 3, 4 und 5 eingetragen sind, führen zu folgenden Schlüssen:

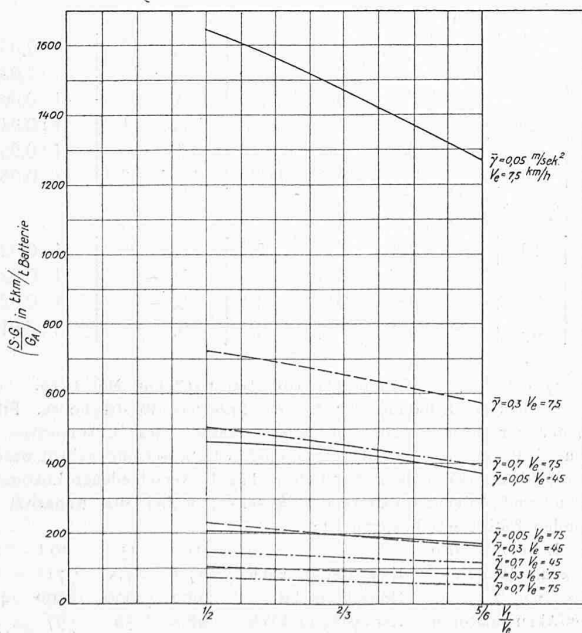


Abbildung 4.

1. Die Kennziffer  $\left(\frac{SG}{GA}\right)$  und damit der Aktionsradius — konstantes Gewichtsverhältnis  $\frac{G}{GA}$  vorausgesetzt — nehmen mit wachsender Anfahrbeschleunigung und Anfahr-Endgeschwindigkeit ab und zwar in besonderem Masse bei grösser werdendem Verhältnis zwischen der Anlass- und Anfahr-Endgeschwindigkeit  $\left(\frac{V_1}{V_e}\right)$ . Während die Abnahme, bezogen auf die mittlere Anfahrbeschleunigung, gleichmässig verläuft, erfolgt sie besonders rasch bei kleinen

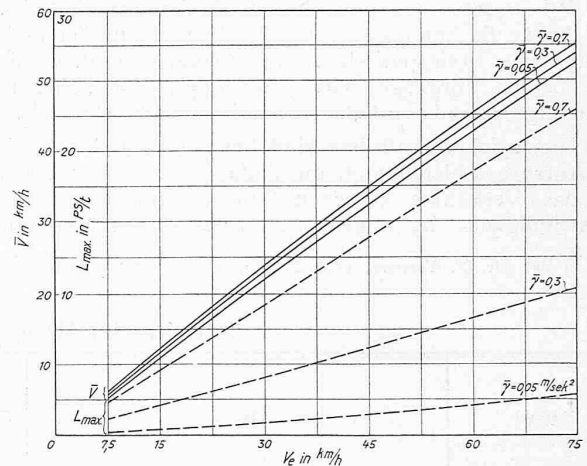


Abbildung 3.

Anfahr-Endgeschwindigkeiten. Das Mass der Abnahme ist aus den Abbildungen 2 und 4 ersichtlich.

Gemäss den Zahlenergebnissen wird das Verhältnis  $\left(\frac{SG}{GA}\right)$  bei veränderlichem Wert von  $\frac{V_1}{V_e}$  in der Hauptsache durch den Anlasser-Wirkungsgrad bzw. durch die Verluste in den Vorschalt-Widerständen bestimmt. Der Einfluss dieser Verluste nimmt mit wachsender Anfahrbeschleunigung und Anfahr-Endgeschwindigkeit ab.

2. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit wächst mit der Anfahr-Endgeschwindigkeit, der Anfahrbeschleunigung und mit abnehmendem Verhältnis  $\frac{V_1}{V_e}$ , wie die Abbildungen 3 und 5 erkennen lassen.

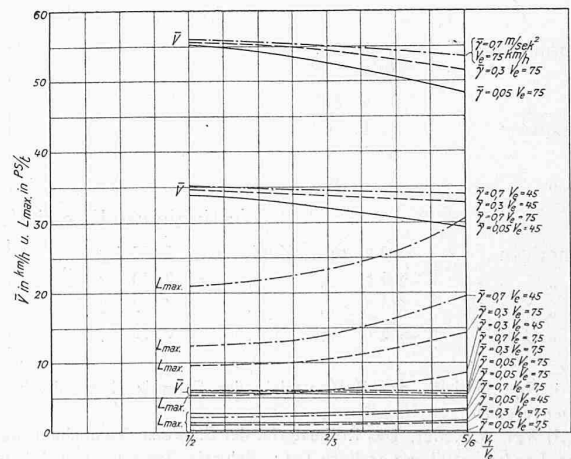


Abbildung 5.

3. Die für die Anfahrt benötigte maximale Leistung vergrössert sich mit der Anfahr-Endgeschwindigkeit und ganz besonders mit der mittleren Anfahrbeschleunigung und zwar mit zunehmendem Verhältnis  $\frac{V_1}{V_e}$ . (Siehe Abbildungen 3 und 4.) (Schluss folgt.)