

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 75/76 (1920)
Heft: 26

Artikel: Die zweckmässigste Neigung der Eisenbahn
Autor: Petersen, Richard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36571>

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: 06.02.2025

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

INHALT: Die zweckmässigste Neigung der Eisenbahn. — Die neue Kirche in Zürich-Fluntern. — Miscellanea: Schweizer Zentralstelle für das Ausstellungswesen. Der Einfluss eines Nickel- und Kobaltzusatzes auf die Eigenschaften des Gusseisens. Der neue Normal-Studienplan der Ingenieur-Abteilung an der E. T. H. Elektrifizierung der Schwedischen Staatsbahnen. Vom Ritomwerk der S. B. B. Die Wärmepumpe. Schwei-

zerischer Elektrotechnischer Verein. Unterfangung eines Turmpfeiler-Fundaments am Strassburger Münster. Die Kuppel der E. T. H. — Konkurrenzen: Neubau des Bezirk-Spitals Biel. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein. G. e. P.: Protokoll. — Tafeln 11 u 12: Die neue Kirche Zürich-Fluntern. Dieser Nummer ist das Inhalts-Verzeichnis des Bandes LXXVI beigelegt.

Band 76.

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

Nr. 26.

Die zweckmässigste Neigung der Eisenbahn.

Von Prof. Richard Petersen, Danzig.

(Schluss von Seite 285.)

In Abbildung 10¹⁾ soll alsdann noch der Vollständigkeit halber der Einfluss einer Aenderung des Wertes f gezeigt werden. Dabei ist $w = 5 \text{ kg/t}$ eingesetzt. Diese Darstellung hat geringere praktische Bedeutung wie die vorangegangenen Abbildungen, so weit die Werte f selbst in Betracht kommen, da wir nur mit einem gewissen Mindestwert von f rechnen ($= 150 \text{ kg/t}$). Um die Darstellung allgemeiner brauchbar zu machen, sind die Linienzüge bezogen auf den Wert $f:a$. Nimmt man nun beispielsweise $a = 1$ an, so gelten für f die beigeschriebenen Zahlen.

Immerhin ergibt sich aus dieser Darstellung eine weitere Herabminderung der virtuellen Höhen bei der elektrischen Lokomotive, da wegen des gleichmässigen Drehmomentes ein grösserer Wert f in Rechnung gestellt werden kann, als bei dem schwankenden Drehmoment der Kolben-Dampfmaschine. Wenn bei der Dampflokomotive mit $f = 150 \text{ kg/t}$ gerechnet wird, so dürfte für die elektrische Lokomotive zum mindesten $f = 165 \text{ kg/t}$, vielleicht noch $f = 180 \text{ kg/t}$ angenommen werden können. Rechnet man bei der Dampflokomotive mit einem $f > 150 \text{ kg/t}$, so darf man bei der elektrischen Lokomotive gegebenenfalls auch noch höher gehen.

Die unterste c Linie der Abb. 10 entspricht einer elektrischen Lokomotive mit $f = 180$, $a = 1$, $w = 5 \text{ kg/t}$ und zeigt, dass innerhalb der Neigungen $s = 15$ bis 40 ‰ der Wert c tm zwischen $1,44$ bis $1,50 \text{ tm} = 3,92$ und $4,08$ Wattstunden liegt.

Abbildung 11 enthält einen Vergleich der günstigsten elektrischen Lokomotive mit der günstigsten Dampflokomotive mit Schlepptender. Die ausgezogenen Linien geben

die gleichen Widerstände $w_l = 10 \text{ kg/t}$ $w_g = 2 \text{ kg/t}$ angenommen, womit natürlich nicht gesagt werden soll, dass die günstigsten Lokomotiven einen so grossen Fahrwiderstand besitzen.

Zusammenstellung 2 gültig für elektrische Lokomotiven mit $f = 180 \text{ kg/t}$ $a = 1,0$ $\frac{f}{a} = 180 \text{ kg/t}$

s ‰	Q L	w kg/t	c	
			tm	Wattstunden
0	85	2,10	∞	∞
5	23,6	2,33	1,523	4,15
10	13,3	2,56	1,350	3,68
15	9,1	2,79	1,315	3,58
20	6,82	3,03	1,319	3,59
25	5,38	3,26	1,340	3,64
30	4,38	3,49	1,370	3,72
40	3,10	3,96	1,458	3,96
50	2,31	4,43	1,555	4,23
60	1,77	4,89	1,690	4,59
70	1,39	5,35	1,850	5,03

Bei der Dampflokomotive wurde angenommen

$$\frac{f}{a} = \frac{150}{1,5} = 100 \text{ kg/t,}$$

bei der elektrischen Lokomotive

$$\frac{f}{a} = \frac{180}{1,0} = 180 \text{ kg/t.}$$

Man sieht, dass die gleich schwere elektrische Lokomotive bei $s = 30 \text{ ‰}$ mehr als die doppelte Zuglast der Dampflokomotive schleppt, und dass dabei der Arbeitsaufwand, um 1 t Gewicht des angehängten Wagenzuges über die Rampe $s = 30 \text{ ‰}$ auf 1 m Höhe zu fördern, nur 3,72

Wattstunden beträgt gegenüber 4,82 Wattstunden, die der Arbeit der Dampflokomotive entsprechen. Der Arbeitsaufwand der Dampflokomotive ist also bei dieser Neigung um 30% höher als bei der elektrischen Lokomotive. Für grössere Neigungen scheidet die Dampflokomotive mit Schlepptender überhaupt aus, während die elektrische Lokomotive noch bei $s = 58 \text{ ‰}$ die gleiche Zuglast fördert, wie die Dampflokomotive bei $s = 30 \text{ ‰}$, wobei der Arbeitsaufwand der elektrischen Lokomotive mit noch nicht 4,6 Wattstunden sogar niedriger ist, als bei der Dampflokomotive bei $s = 30 \text{ ‰}$.

Nachdem in den Abbildungen 6 bis 10 der Einfluss einer Aenderung der Werte w , a und f auf die spezifische virtuelle Höhe c dargestellt worden ist, möge zum Schluss noch untersucht werden, welchen Einfluss eine Aenderung des angehängten Wagenzuggewichtes Q auf den Wert c hat.

Das grösste Zuggewicht, das die Lokomotive auf der Neigung $s \text{ ‰}$ zu schleppen vermag, sei im folgenden bezeichnet mit Q_{max} . Bisher war unter Q immer dieses Q_{max} verstanden. Das wirklich an die Lokomotive angehängte Zuggewicht Q kann bezeichnet werden durch

$$Q = r \cdot Q_{max} \tag{17}$$

wobei r immer zwischen 0 und 1 liegt.

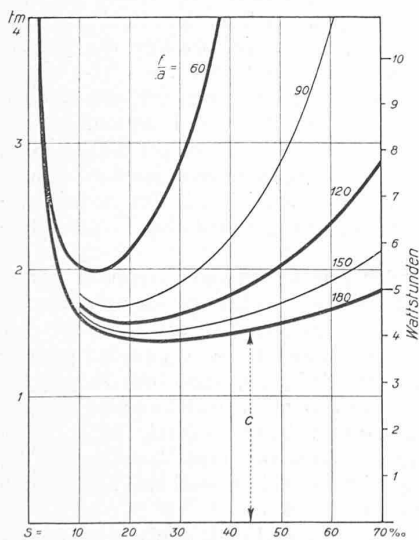


Abb. 10. Einfluss einer Aenderung des Reibungswertes f auf den Wert c , gültig für $w = 5 \text{ kg/t}$, $a = 1$, $f = 60$ bis 180 kg/t .

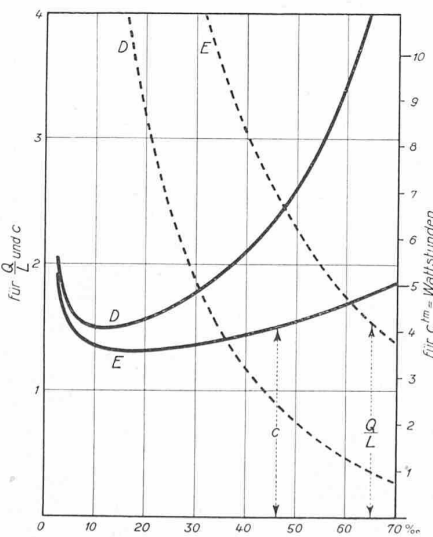


Abb. 11. Günstigste Dampflok. (D) mit $f = 150 \text{ kg/t}$, und Elektrolok. (E) mit 180 kg/t , gültig für $a = 1,5$ bzw. $1,0$, $w_l = 10 \text{ kg/t}$, $w_g = 2 \text{ kg/t}$.

die spezifischen virtuellen Höhen c an, die punktierten Linien das Verhältnis $Q:L$ entsprechend Abbildung 4. Die Dampflokomotive entspricht der Abbildung 5 und Zusammenstellung 1, die elektrische Lokomotive entspricht der Zusammenstellung 2. Für beide Lokomotiven sind

¹⁾ Die Abbildungen 8 und 9 auf Seite 285 letzter Nr. sind irrig. Berichtigungsabzug liegt dieser Nummer bei. Red.

Anstelle der Gleichung (2) tritt dann die Beziehung

$$L = \frac{Q}{r} \cdot \frac{s + w_q}{\frac{f}{a} - (s + w_l)} \quad (18)$$

Anstelle der Gleichungen (12 und 16) tritt die Beziehung

$$c = \left[1 + \frac{1}{r} \cdot \frac{s + w_q}{\frac{f}{a} - (s + w_l)} \right] \cdot \frac{s + w}{s} \quad (19)$$

Für die Ermittlung von w tritt anstelle der auf Seite 272 gegebenen Gleichung (14) die Beziehung

$$w = \frac{(s + w_q) w_l + r \left[\frac{f}{a} - (s + w_l) \right] \cdot w_q}{s + w_q + r \left[\frac{f}{a} - (s + w_l) \right]} \quad (20)$$

Auf der Neigung $s = 25\text{‰}$

wird nach Abbildung	12	13	14
$\frac{Q_{max}}{L} =$	1,48	2,41	5,38
für $r = 1$ wird $c =$	2,03	1,66	1,34
für $r = 1/2$ $c =$	2,97	2,24	1,60

Die Lokomotive schleppt $Q_{max} = 2 L$

nach Abbildung	12	13	14
auf der Neigung $s =$	20	28	55‰
für $r = 1$ wird $c =$	1,82	1,74	1,62
für $r = 1/2$ $c =$	2,56	2,42	2,22

Auf jeden Fall ergibt sich aus einer vergleichenden Betrachtung der Abbildungen 6 und 7, der Abbildungen 8 und 9

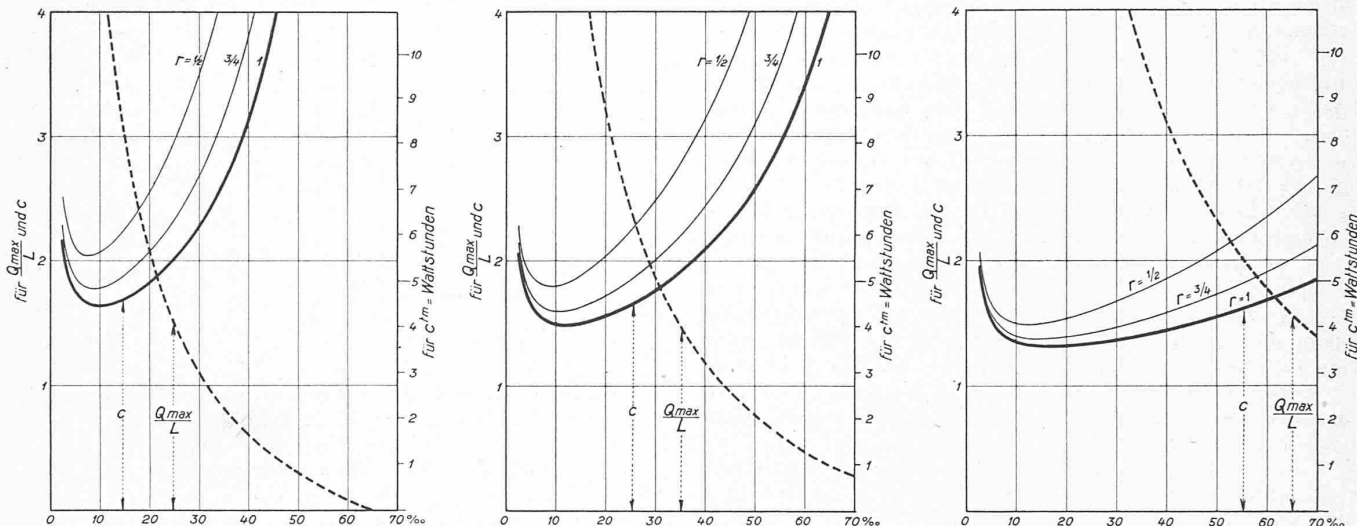


Abb. 12 bis 14. Einfluss einer Aenderung des angehängten Wagenzuggewichtes $Q = r \cdot Q_{max}$ auf den Wert c , gültig für:
 Durchschnitt der schweiz. Güterzuglokomotive $f = 150 \text{ kg/t}, a = 2,0, w_l = 10 \text{ kg/t}, w_q = 2 \text{ kg/t}, r = 1 \text{ bis } 1/2$.
 Günstigste Dampflokomotive mit Schlepptender $f = 150 \text{ kg/t}, a = 1,5, w_l = 10 \text{ kg/t}, w_q = 2 \text{ kg/t}, r = 1 \text{ bis } 1/2$.
 Günstigste elektrische Lokomotive $f = 180 \text{ kg/t}, a = 1,0, w_l = 10 \text{ kg/t}, w_q = 2 \text{ kg/t}, r = 1 \text{ bis } 1/2$.

In den Abbildungen 12 bis 14 sind die spezifischen virtuellen Höhen c dargestellt für $r = 1, r = 3/4, r = 1/2$

$r = 1$ bedeutet, dass an die Lokomotive das volle Wagengewicht angehängt ist, das sie auf der Neigung $s\text{‰}$ schleppen kann.

$r = 3/4$ ($1/2$) bedeutet, dass das an die Lokomotive angehängte Wagenzuggewicht $Q = 3/4$ ($1/2$) des zulässigen Wagenzuggewichtes Q_{max} ist. Ferner ist in diesen drei Abbildungen durch die punktierte Linie das Verhältnis $Q_{max} : L$ dargestellt.

Abbildung 12 gilt etwa für den Durchschnitt der schweizerischen Güterzuglokomotiven, Abbildung 13 für den günstigsten Fall der Dampflokomotive mit Schlepptender, Abbildung 14 für den günstigsten Fall der elektrischen Lokomotive. Dabei ist des Vergleiches wegen in allen drei Fällen der Lokomotivwiderstand $w_l = 10 \text{ kg/t}$, der Wagenwiderstand $w_q = 2 \text{ kg/t}$ angenommen. Dieser Lokomotivwiderstand kann für Abbildung 13 in Betracht kommen. Zu Abbildung 12 und 14 wird er in der Regel niedriger sein.

Während also in allen drei Fällen die Widerstände gleich angenommen sind, ist

in Abbildung 12 $f = 150 \text{ kg/t}, a = 2,0$

in Abbildung 13 $f = 150 \text{ kg/t}, a = 1,5$

in Abbildung 14 $f = 180 \text{ kg/t}, a = 1,0$ angenommen.

Man sieht aus diesen Darstellungen, dass eine Verkleinerung des angehängten Wagenzuggewichtes eine ähnliche Wirkung hat, wie eine Vergrößerung des durchschnittlichen Zugwiderstandes. Im ganzen erscheint der Einfluss einer Aenderung des angehängten Wagenzuggewichtes Q auf die spezifische virtuelle Höhe c wohl kleiner, als man gefühlswiese annehmen möchte.

und der Abbildungen 12 bis 14, dass für die Grösse der von der Lokomotive am Triebbradumfang aufzuwendenden Arbeit unter den Werten f, w, a , und r bei weitem die grösste Bedeutung dem Wert $a = L : L_a$ zukommt.

Die Abbildungen 4 bis 14 kennzeichnen masstäblich die grosse Ueberlegenheit der elektrischen Lokomotive über der Dampflokomotive hinsichtlich der Wagenzuggewichte, die sie über die steileren Neigungen zu schleppen vermögen (Abbildung 4, 12 bis 14) und hinsichtlich des Arbeitsaufwandes am Triebbradumfang bezogen auf die Tonne angehängtes Zuggewicht.

Die Frage nach der zweckmässigsten Neigung beantwortet das hier entwickelte Verfahren der virtuellen Höhen mit viel grösseren Spielräumen, als man bei dem Verfahren der virtuellen Längen zu ermitteln pflegte. Wichtig ist jedenfalls das Ergebnis, dass mit Bezug auf die Arbeit der Lokomotive ein mehr oder minder grosser Spielraum in der Wahl der Neigung zulässig ist. Dieser Spielraum ist abhängig vor allem von dem Verhältnis a des gesamten Lokomotivgewichtes einschliesslich Tender zur Belastung der angetriebenen Achsen.

Dieses Ergebnis deckt sich nicht mit den Auffassungen, die aus den virtuellen Längen hergeleitet wurden. Das Verfahren der virtuellen Längen hat vielfach zu irrigen Vorstellungen über die Bedeutung seiner Ergebnisse geführt und dürfte besser durch das hier entwickelte Verfahren der virtuellen Höhen ersetzt werden.

Die spezifischen virtuellen Höhen c finden ihre beste Anwendung, wenn sie unmittelbar benutzt werden, um die Arbeit am Triebbradumfang zu ermitteln, die aufzuwenden ist zur Förderung von je $1 t$ Wagenzuggewicht über die Rampe $s\text{‰}$ auf die Höhe $h = 1 \text{ m}$. Durch das Einsetzen entsprechender Wirkungsgrade und Preise erlauben die

spezifischen virtuellen Höhen c einen Kostenvergleich der mechanischen Arbeit zwischen Dampf und elektrischem Betrieb auch unter verschiedenen Bedingungen der Energiegewinnung.

Die vorstehenden Untersuchungen gelten für beliebige Geschwindigkeit. Diese findet ihren Ausdruck in dem Widerstand w und bei den Dampflokomotiven auch in dem Sinken des Wertes $a = L : L_a$, sobald die Geschwindigkeit überschritten wird, bei der die Kesselzugkraft unter die Reibungszugkraft sinkt. Dampf-Güterzuglokomotiven sollen ja tunlichst mit dieser Grenzgeschwindigkeit fahren.

Ein weiterer Vorzug des elektrischen Betriebes ist, dass die obere Geschwindigkeitsgrenze nicht durch einen Kessel, sondern nur durch die Motoren gegeben ist. Neben grösserer Zuglast der elektrischen Lokomotive und niedrigerem Arbeitsaufwand geht nebenher schnellere Beförderung.

Die Summe dieser grundsätzlichen Vorzüge ist im Vergleich zu den Leistungen der Dampflokomotive so bedeutend, dass die bisher für Hauptbahnen zugelassenen Neigungsgrenzen bei elektrischem Betrieb beträchtlich erweitert werden können. Eine feste Zahl ist natürlich schwer anzugeben. Eine Steigerung bis auf $s = 40\%$ z. B. erscheint bei elektrischem Betrieb hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und des Arbeitsaufwandes wohl vertretbar. Auch $s = 50\%$ kann noch in Betracht kommen. Die Grenze wird auch durch Rücksichten auf die sichere Bremsung beeinflusst werden. Weiter über $s = 50\%$ hinaus wird dann aus den gleichen Erwägungen die elektrische Lokomotive allmählich vom Triebwagen überwunden.

Bei Neigungen über $s = 25\%$ sollten nur Lokomotiven verwendet werden, bei denen alle Achsen angetrieben sind. Ist $a = L : L_a = 1,0$ so ist hinsichtlich der Zugförderungskosten (genauer hinsichtlich der Arbeit der Lokomotive) die Neigung innerhalb eines weiten Bereiches ziemlich gleichgültig. Die übrigen Ausgaben werden aber im allgemeinen kleiner mit der Verkürzung der Bahnlinie.

Als *zweckmässigste Neigung* einer Eisenbahn für Güterverkehr ergibt sich demnach in der Regel *die grösste Neigung, die hinsichtlich der notwendigen Zuglänge, also der Leistungsfähigkeit noch zulässig* ist.

Um die grösste Zuglänge überall durchführen zu können, ist es natürlich nötig, die *massgebende Neigung* (die grösste Neigung der geraden freien Strecke) dort zu ermässigen, wo der Widerstand grösser wird. In den Krümmungen ist es üblich, die Neigung s um den Betrag des zusätzlichen Krümmungswiderstandes zu verringern. In den engeren Krümmungen empfiehlt sich eine weitere Verringerung mit Rücksicht auf die Abnahme des nutzbaren f . Eine Verringerung der Neigung wegen der Verkleinerung der Reibungsziffer ist bereits üblich in den Tunnelstrecken. Sie sollte auch in den Krümmungen berücksichtigt werden. Allerdings fehlen zur Zeit noch ausreichende Versuche, um die notwendige Ermässigung beziffern zu können.

Bezüglich der geraden Tunnelstrecken kann man die notwendige Ermässigung der Neigung aus Abbildung 4 ablesen. Nimmt man beispielsweise an, dass im Tunnel f auf 100 kg/t sinkt, gegenüber $f = 150 \text{ kg/t}$ auf der freien Strecke, so wäre es dasselbe, als ob a von 1 auf 1,5 oder von 2 auf 3 steigt.

Wenn beispielsweise eine Bahnlinie mit der massgebenden Neigung $s = 35\%$ angelegt wird, so kann eine Lokomotive mit $f = 150 \text{ kg/t}$, $a = 1$ ein Wagenzuggewicht gleich dem dreifachen ihres Eigengewichtes schleppen. (Vergl. Abbildung 4.) Wenn man nun annimmt, dass f im Tunnel auf 100 kg/t sinken kann, so muss die Neigung im geraden Tunnel nach Abbildung 4 auf $s = 22,5\%$ also um $12,5\%$ ermässigt werden. Im gekrümmten Tunnel ist die notwendige Ermässigung noch grösser.

Wenn in den vorstehenden Untersuchungen die grosse Ueberlegenheit des elektrischen Betriebes gegenüber dem Dampfbetrieb wiederholt hervorgehoben wurde, so geschah das, um das wichtige und wesentliche mit möglichst wenig Worten scharf zu kennzeichnen. Genauer, aber für die

Vorstellung weniger deutlich, hätte es heissen müssen, dass die Lokomotive mit $a = 1$ der Lokomotive mit $a = 1,5$ oder $a = 2$ oder $a = 3$ hinsichtlich der anzuhängenden Zuglast und hinsichtlich des Gesamtwirkungsgrades beträchtlich überlegen ist.

Deshalb sei ausdrücklich betont, dass die Untersuchung kein abfälliges Urteil über die Dampflokomotive enthalten soll, so lange die Neigung über 25% nicht hinausgeht. Ferner wird nicht bestritten, dass die grossen Vorzüge, die der elektrischen Lokomotive zuerkannt wurden, auch beim Dampftrieb mit einer Tenderlokomotive erreicht werden können. Beispielsweise hat die preussische 5/5 Tenderlokomotive ein Gewicht $L = 75 \text{ t}$, davon sind 2 t Kohlen, 7 t Wasser. Dabei würde $a = 1$ bis 1,13 zu rechnen sein, also sehr viel günstiger als bei den gebräuchlichen Lokomotiven mit Schlepptender. Andererseits ist natürlich ein Nachteil der Tenderlokomotive, dass sie, ohne ihren Vorrat zu ergänzen, noch nicht die halbe Wegelänge der Lokomotive mit Schlepptender durchlaufen kann. Mit Rücksicht auf den Wert a wäre die Dampfenderlokomotive auch für steilere Neigungen als 25% verwendbar. Doch liegt eine Unbequemlichkeit darin, zu verhüten, dass bei den starken Neigungen die Feuerkistendecke und die Heizrohre vom Wasser entblösst werden. Es soll ferner nicht verkannt werden, dass die nicht angetriebenen Laufachsen bei den Dampflokomotiven auch ihre Vorteile haben, indem sie sehr zur Schonung des Oberbaues beitragen, dadurch, dass sie die Kräfte aus dem Hin- und Herwuchten der Lokomotive verkleinern.

Auf der andern Seite werden die in dieser Arbeit betonten grossen Vorzüge der elektrischen Lokomotive nur dann verwirklicht, wenn man sämtliche Achsen antreibt, also eine Bauart wählt, die heute wohl noch nicht als die Regelform angesprochen werden kann. Auch bei elektrischen Lokomotiven sind ja besondere Laufachsen aus ähnlichen Gründen wie bei der Dampflokomotive beliebt.

Ferner wird das höchste f erreicht, wenn die Lokomotivachsen einzeln, jede durch einen Motor, angetrieben werden. Bei Kuppelstangenantrieb mehrerer Achsen von einem gemeinsamen Motor aus wird das nutzbare f nicht so hoch, da wegen der Unterschiede der Raddurchmesser nicht zu vermeiden ist, dass einzelne Achsen von anderen durchgeschleppt werden müssen. Jedenfalls arbeiten die Räder nicht mit dem gleichen Schlupf. Andererseits wird durch Kuppelung der Achsen das Durchgehen eines einzelnen Motors verhindert.

Hierauf soll aber nicht weiter eingegangen werden, denn eine Erörterung der zweckmässigsten Bauweise der Lokomotiven war nicht Aufgabe dieser Arbeit. Sie ist vielmehr geschrieben aus dem Gesichtswinkel des *Bau-Ingenieurs*, der für eine geplante neue Bahnlinie die zweckmässigste Neigung wählen will. Vielleicht aber enthalten die in dieser Arbeit entwickelten neuen Gesichtspunkte auch Anregungen, die für eine weitere Vervollkommnung der Gebirglokomotiven von Nutzen sein können.

Die neue Kirche in Zürich-Fluntern.

Von Prof. Dr. Karl Moser, Arch., Zürich.

(Schluss von Seite 283, mit Tafeln 11 und 12.)

Das Aeusserere der Kirche.

Aus dem malerisch gruppierten Entwurf des ersten Wettbewerbs wurde ein symmetrisch organisiertes Projekt für den zweiten Wettbewerb ausgearbeitet. Der Turm wurde in grossen Abmessungen (Sockelbreite $11,20 \text{ m}$) an die Vorderfront gerückt, um von der Stadt aus die starken Ueberschneidungen der Terrasse und des Daches zu vermeiden und um der Hauptfassade mehr Bedeutung zu geben. Die Schiffmauern wurden erhöht. Dieser zweite Entwurf (Abbildung 2 auf Seite 281 letzter Nummer) bildete die Grundlage für die Ausführung. Die Ausführungspläne wurden sowohl im Grossen als auch im Detail strenger durchgebildet als Entwurf II. Es kamen noch die Unterfahrt