Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 51/52 (1908)
Heft: 3

Artikel: Ueber elektrische Bremsung bei Drehstrombahnen und besonders bei Drehstrombergbahnen
Autor: Kummer, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-27452

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: 14.12.2025

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

une entière sécurité, soit contre les effractions, soit contre l'incendie (fig. 6 et 7). Ces installations ont été faites par la maison Fichet de Paris.

Les locaux du rez-de-chaussée sont reliés avec ceux du 1er étage au moyen d'ascenseurs, d'escaliers de service et de monte-lettres. Le tout est installé suivant les dernières exigences modernes.

Au sous-sol se trouvent encore l'appartement du concierge et les locaux nécessaires pour le chauffage central et le combustible.

Dans le même bâtiment, des entrées indépendantes de celles de la Banque (fig. 8) donnent accès au café aménagé au rez-de-chaussée de la façade postérieure, et qui sera agrémenté d'un jardin. Il portera le nom de „Café-restaurant des Merciers", en souvenir de l'ancien immeuble dont nous de parler.

Ces mêmes entrées conduisent au 2e étage et aux mansardes où sont installés des locaux de Société et deux appartements.

L'Hôtel de la Banque de l'Etat de Fribourg

par *L. Hertling*, architecte, Fribourg.

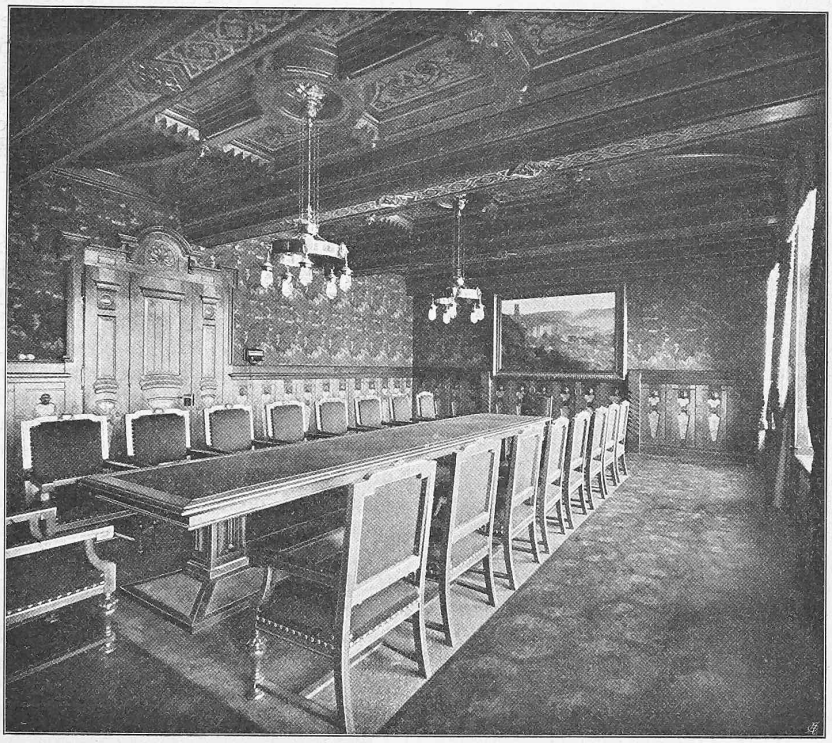


Fig. 5. La salle du Conseil d'administration.

Le coût des travaux de construction du bâtiment se récapitule comme suit:

a)	Bâtiment	750 000 Fr.
b)	aménagement du jardin, des abords et des trottoirs	15 000 „
c)	mobilier et installation des safes .	100 000 „

soit un total de 865 000 fr. ou environ 40 fr. le m^3 de construction, pour une hauteur mesurée du sol des caves à la poutraison des combles.

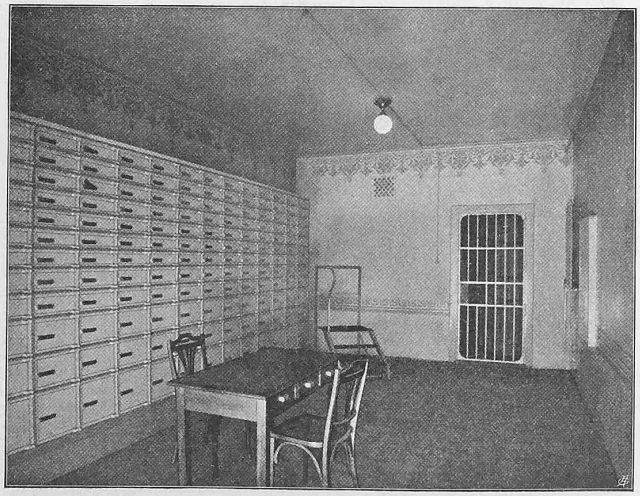


Fig. 6. Chambre forte au sous-sol.

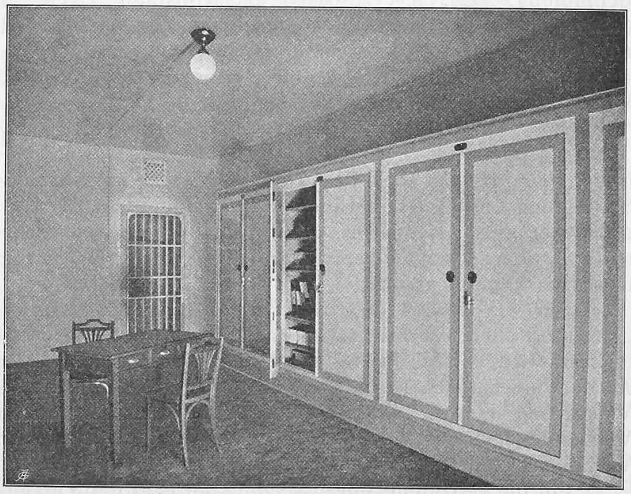


Fig. 7. Chambre forte au sous-sol.

Ueber elektrische Bremsung bei Drehstrombahnen und besonders bei Drehstrombergbahnen.

Von Dr. *W. Kummer*, Ingenieur.

Anschliessend an einen unlängst in dieser Zeitschrift erschienenen Artikel [1]), in dem die Verfahren der elektrischen Bremsung der Seriemotoren für Gleichstrom und Wechselstrom bei elektrischen Bahnen und besonders bei elektrischen Bergbahnen besprochen wurden, soll nun in der vorliegenden analogen Studie die elektrische Bremsung bei Drehstrombahnen und besonders bei Drehstrombergbahnen zur Behandlung kommen. Ebenso wie sich bei der früheren Studie die den Bremsverfahren zu Grunde liegenden generatorischen Wirkungen der Seriemotoren aus einer entsprechenden Arbeit über das motorische Verhalten dieser Maschinen [2]) herleiten liessen, so können für die vorliegende Studie die den Bremsverfahren der Drehstrommotoren zu Grunde liegenden generatorischen Wirkungen wenigstens teilweise ebenfalls aus einer entsprechenden Arbeit über deren motorisches Verhalten [3]) erläutert werden. In dieser letztgenannten Arbeit haben wir für das motorische Verhalten der geradlinig magnetisierten und abgesehen von den Rotorkupferverlusten verlustlosen asynchronen Drehstrommaschine die analytische

Gleichung: $$D = 2\, D_{max} \cdot s_m \cdot \frac{s}{s^2 + s_m^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

als mechanische Charakteristik kennen gelernt, wobei der

[1]) Bd. L, S. 217 u. 223. [2]) Bd. IL, S. 247 u. 256. [3]) Bd. L, S. 112 u. 153.

L'Hôtel de la Banque de l'Etat de Fribourg

par *L. Hertling*, architecte, Fribourg.

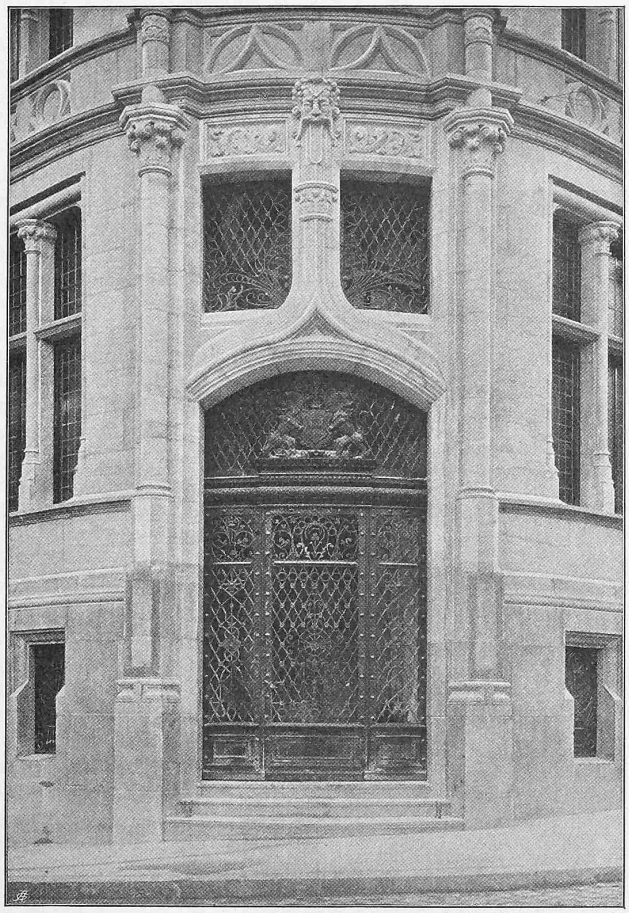


Fig. 9. Entrée de la Banque à l'angle ouest.

Schlüpfung s nur Zahlwerte zwischen o und $+1$ zu erteilen waren; es genügt nun, für s alle zwischen $-\infty$ und $+\infty$ liegenden Zahlwerte zuzulassen, damit die genannte Gleichung die vollständige mechanische Charakteristik sowohl für das motorische, wie auch für das generatorische Verhalten gleichzeitig zum Ausdruck bringt; in dieser Gleichung bedeuten D das variable Drehmoment in *mkg*, s die variable Schlüpfung, D_{max} das zunächst als Konstante zu behandelnde und weiter unten noch zu erörternde Maximaldrehmoment in *mkg* und s_m den ihm entsprechenden und zunächst ebenfalls als Konstante zu behandelnden Wert der Schlüpfung. Durch die Gleichung:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

hatten wir damals auch den Zusammenhang zwischen der Schlüpfung s mit der unveränderlichen sekundlichen Winkelgeschwindigkeit ω_0 des Drehfeldes und der veränderlichen ω des rotierenden Systems der asynchronen Drehstrommaschine kennen gelernt.

Für die vollständige Kenntnis des motorischen und generatorischen Verhaltens bedürfen wir ausserdem der Kenntnis des Verlaufes der Grössen: elektrische Leistung L_e und mechanische Leistung L_m, und erhalten dann am Vorzeichen von L_m ohne weiteres das Kriterium für das Vorhandensein des motorischen bezw. des generatorischen Verhaltens der Asynchronmaschine.

Für die getroffene Voraussetzung der geradlinig magnetisierten und, abgesehen von den Rotorkupferverlusten, verlustlosen asynchronen Drehstrommaschine ist die elektrische Leistung dargestellt durch die Beziehung:

$$L_e = E_2 \cdot J_2 \cos \varphi_2 = \frac{D \cdot \omega_0}{m} \cdot \frac{1}{9{,}81}$$

sie ist also dem Drehmoment direkt proportional; in dieser Gleichung bedeuten E_2 die sekundäre Spannung, J_2 die sekundäre Stromstärke, $\cos \varphi_2$ den sekundären Leistungsfaktor und m die Phasenzahl des Sekundärteils, wie in der frühern Arbeit. Für die mechanische Leistung erhält man:

$$L_m = \omega \cdot D = \omega_0 D (1 - s) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c)$$

weil aus Gleichung b der Zusammenhang: $\omega = \omega_0 (1 - s)$ folgt. Wir besitzen nun genügend Anhaltspunkte, um alle mechanisch wesentlichen Grössen für das gesamte motorische und generatorische Verhalten der Asynchronmaschine in Abhängigkeit von einander zu beurteilen, wie dies seinerzeit auch für die Seriemaschine für Gleichstrom und Wechselstrom geschehen ist. Als unabhängige Variable wählen wir das Drehmoment D und damit gleichzeitig auch, allerdings abgesehen vom Masstab, die elektrische Leistung L_e. Aus der Gleichung a folgt dann die Bestimmungsgleichung der Schlüpfung s als Funktion des Drehmoments D zu:

$$s = s_m \cdot \frac{D_{max}}{D}\left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{D^2}{D^2_{max}}}\right] \quad . \quad . \quad . \quad (d)$$

und aus den Gleichungen a und c folgt ebenso die Bestimmungsgleichung der mechanischen Leistung L_m als Funktion des Drehmoments D zu:

$$L_m = \omega_0 \cdot D - s_m \cdot \omega_0 \cdot D_{max}\left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{D^2}{D^2_{max}}}\right] \quad (e)$$

Es lassen sich unschwer auch entsprechende Bestimmungsgleichungen für die elektrischen Grössen: Primärer Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$ und primäre Stromstärke J_1 als Funktionen des Drehmoments D aufstellen. Mit Benutzung der Formeln 8 und 9 auf Seite 154 von Band L und der obigen Gleichung (d) entstehen die nebenstehenden Gleichungen (f) und (g).

Anstelle dieser mathematisch uneleganten, aber mit Rücksicht auf die explizite Schreibweise gewählten Gleichungen d, e, f, g könnten durch Zurückgehen auf die fundamentalen Beziehungen mit Leichtigkeit elegantere implizite Zusammenhänge der Grössen: Schlüpfung, mecha-

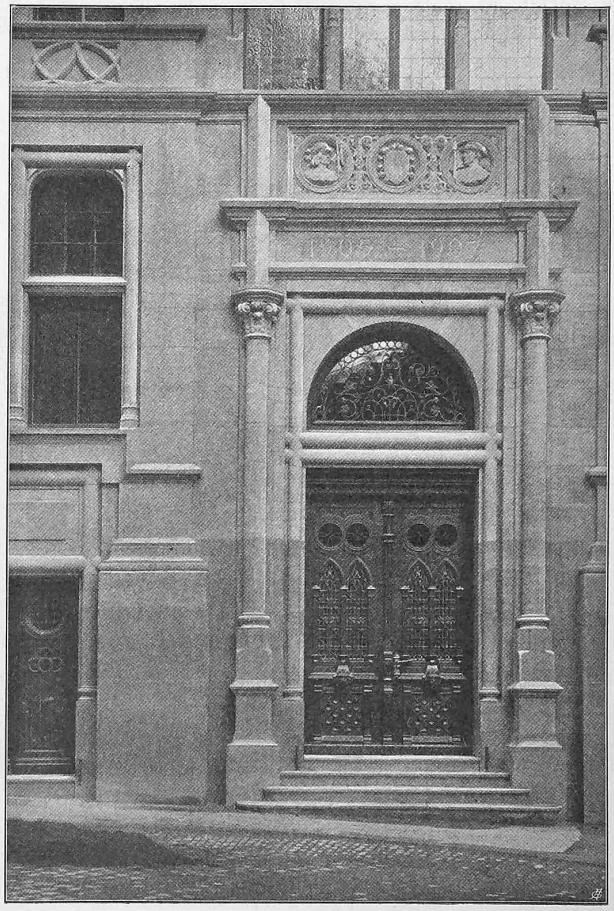


Fig. 8. Entrée latérale.

Ueber elektrische Bremsung bei Drehstrombahnen, besonders bei Drehstrombergbahnen.

$$\cos\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{\left[1+\left(\frac{D_{max}}{D}\right)^2\left(1\pm\sqrt{1-\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2}\right)^2\right]\cdot\left[1+2\sigma+\sigma^2\cdot\left\{1+\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2\cdot\frac{1}{1\pm\sqrt{1-\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2}}\right\}\right]}} \quad \ldots \quad (f)$$

$$J_1 = \sqrt{\frac{(2\,\omega_0\,D_{max})^2\cdot(1+\sigma)^2\cdot\left[1+2\sigma+\sigma^2\cdot\left\{1+\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2\cdot\frac{1}{1\pm\sqrt{1-\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2}}\right\}\right]}{(9\cdot 81)^2\cdot(m\cdot E_1)^2\cdot\left\{1+\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2\cdot\frac{1}{1\pm\sqrt{1-\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2}}\right\}}} \quad \ldots \quad (g)$$

nische Leistung, primärer Leistungsfaktor und Primärstrom mit dem Drehmoment aufgestellt werden. Die analytische Diskussion dieser Gleichungen würde indessen auch so noch unübersichtlich, sodass wir statt der abstrakten Gleichungen mit Vorteil ein konkretes Zahlenbeispiel zur Diskussion der Verhältnisse heranziehen, aus dem sich die für die Beurteilung des gesamten motorischen und generatorischen Verhaltens der mehrphasigen Asynchronmaschine massgebenden Schaulinien mit voller Deutlichkeit ergeben.

Wie seinerzeit bei der Aufstellung der charakteristischen Kurven der Seriemotoren für Gleichstrom und Wechselstrom legen wir auch hier einen Traktionsmotor zu Grunde mit den normalen Daten:

$$D_n = 450\ mkg \text{ und}$$
$$\omega_n = 60 \text{ in der Sekunde,}$$

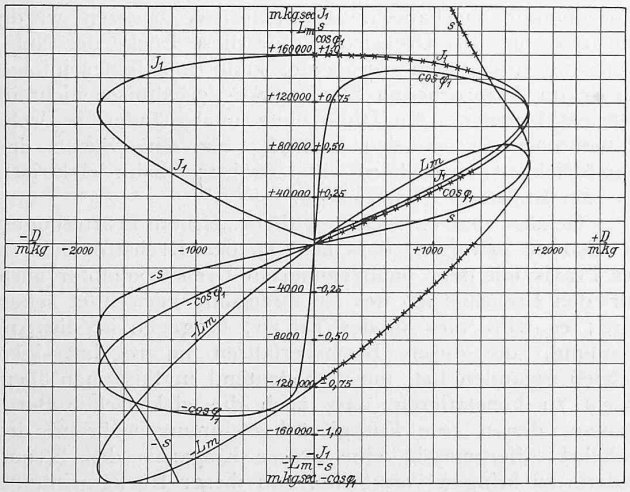
welcher somit eine normale Leistung:

$$\omega_n \cdot D_n = 27000\ mkg/Sek. = 360\ PS.$$

bei 574 minutlichen Umdrehungen entwickelt. Durch die weitern Festsetzungen:

$$D_{max} = \frac{D_n}{0{,}248};\ s^2_m = 0{,}2;\ \sigma = 0{,}05 = \text{Schlüpfung}$$

ist dieser Motor dann vollständig bestimmt und ergibt sich für sein gesamtes motorisches und generatorisches Verhalten das Schaubild nach beistehender Abbildung.



Schaulinien des motorischen und generatorischen Verhaltens der asynchronen Drehstrommaschine für konstantes D_{max}.

Wie die Abbildung lehrt, ergeben sich für die Grössen mechanische Leistung, Primärstrom[1]) und primärer Leistungsfaktor im Endlichen geschlossene Kurven, während die Schlüpfungslinie zwei asymptotisch ins Unendliche verlaufende Aeste aufweist. Solche Kurven sind in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung, statt wie hier vom Drehmoment, zuerst von Heyland angegeben worden und zwar für den Drehstrommotor, wie er gemäss den Vorbedingungen von Heylands Diagramm aufgefasst ist[2]). Für die hier geltenden Voraussetzungen sind, wie bereits mitgeteilt, Drehmoment und elektrische Leistung einfach proportionale Grössen, während für die Voraussetzungen von Heylands Diagramm dieser Zusammenhang verwickelter ist und sich daraus ergibt, dass dann das Drehmoment als Funktion der elektrischen Leistung eine ähnlich gelegene Ellipse ergibt, wie hier und dies auch noch gemäss den Voraussetzungen Heylands die mechanische Leistung.

Von besonderem Interesse ist in der Abbildung der Verlauf der mechanischen Leistung, deren Vorzeichen, wie bereits erwähnt, das Kriterium für das Vorhandensein des motorischen bezw. generatorischen Verhaltens der asynchronen Drehstrommaschine ist. Die für das motorische Verhalten massgebenden Kurven liegen in der Figur alle im ersten Quadranten; die im ersten und vierten Quadranten gekreuzelt gezeichneten Kurven beziehen sich auf das generatorische Verhalten der Drehstrommaschine bei Antrieb entgegen der Drehrichtung als Motor; schliesslich beziehen sich die im zweiten und dritten Quadranten gezeichneten Kurven auf das generatorische Verhalten bei übersynchroner Drehzahl und gleicher Drehrichtung wie beim motorischen Betrieb. Betriebstechnisch führt nun das durch die Kurven des ersten und vierten Quadranten gekennzeichnete Bremsverfahren den Namen der Gegenstrombremsung und das durch die Kurven des zweiten und dritten Quadranten gekennzeichnete Bremsverfahren den Namen der Nutzbremsung. Dem Schlüpfungswerte $s = 1$ im ersten Quadranten entspricht die charakteristische Nullstelle der Kurve L_m, die den Uebergang vom Betrieb als Motor zum Betrieb als Gegenstrombremse markiert. Dem Schlüpfungswert $s = -1$ im dritten Quadranten kommt eine derartige physikalische Bedeutung nicht zu.

Man kann eine synoptische Tafel für das gesamte motorische und generatorische Verhalten der asynchronen Drehstrommaschine aufstellen, wobei mit $+L_m$ die abgegebene, mit $-L_m$ die aufgenommene mechanische Leistung, mit $+L_e$ die abgegebene und mit $-L_e$ die aufgenommene elektrische Leistung und mit ↷ und ↶ die beiden Drehrichtungen bezeichnet sind; aus dieser Tabelle kann dann sehr deutlich das gesamte Verhalten übersehen werden:

Drehrichtungen	L_m	L_e	Betriebsart
↷	+	−	als Motor
↷	−	+	als Nutzbremse
↶	−	−	als Gegenstrombremse

Es frägt sich nun, inwieweit die beschriebenen generatorischen Wirkungen für die praktische Verwendung in der elektrischen Traktion mittels Drehstrom in Betracht kommen können. Dabei ist in erster Linie zu berücksichtigen, dass die Drehstrommotoren der Praxis von dem idealen Drehstrommotor, für den die aufgestellten Formeln und Kurven gültig sind, abweichen und zwar namentlich durch das Auftreten der Reibungsverluste, Eisenverluste und primären Kupferverluste, sowie durch den nicht geradlinigen Verlauf der Magnetisierungscharakteristik. Der Charakter der Kurven der Abbildung wird aber dadurch nur unwesentlich geändert, mit Ausnahme der Kurve der Schlüpfung, für deren sich ins Unendliche erstreckenden Aeste nun nicht mehr die vertikale Koordinatenachse, sondern

[1]) In der Figur ist für J_1 nur ein Relativmasstab $\frac{J_1}{J_{1max}}$ benutzt.

[2]) *A. Heyland:* „Eine Methode zu experimentellen Untersuchungen an Induktionsmotoren". 2. Heft des 2. Bandes der Voitschen Sammlung elektrotechnischer Vorträge.

eine dazu parallele und im ersten und vierten Quadranten liegende Gerade die Bedeutung einer Asymptote erlangt; im Zusammenhang mit dieser Abweichung der Schlüpfungskurve für die asynchronen Drehstrommaschinen der Praxis steht dann auch eine Beschränkung des Gebietes der Gegenstrombremsung.

Wenn wir nun die praktische Anwendbarkeit der Bremsmethoden der Nutzbremsung und der Gegenstrombremsung, deren Existenz wir auf rein theoretischem Wege kennen lernten, beurteilen wollen, so haben wir uns zunächst daran zu erinnern, dass die aufgestellten Formeln und Kurven sich ausser auf die Vernachlässigung gewisser Verluste auch noch auf die Voraussetzung stützen, das Maximaldrehmoment D_{max} und die ihm entsprechende Schlüpfung s_m seien Konstante des Motors; diese Voraussetzung ist gleichbedeutend mit der Annahme einer konstanten magnetischen Induktion im aktiven Motoreisen und einer Konstanz der Reaktanz und des Ohm'schen Widerstandes im Sekundärteil des Motors. Unter dieser Voraussetzung ist dann der Verlauf des Primärstroms gemäss der Abbildung das hinreichende Kriterium für die Brauchbarkeit der zu untersuchenden Bremsmethoden. Wie wir seiner Zeit bei der Untersuchung des motorischen Verhaltens von Bahnmotoren zeigten, richtet sich deren Dimensionierung nach einer magnetischen Materialkonstante, die mit der magnetischen Induktion im aktiven Motoreisen identisch ist und nach einer elektrischen Materialkonstante, deren Grösse sich nach der zugelassenen Stromstärke richtet; demnach muss also für die vorliegende Beurteilung von Bremsmethoden, für welche die Konstanz der magnetischen Induktion vorausgesetzt ist, der Zahlwert der Stromstärke ausschlaggebend sein. Ein Blick auf die Kurven lehrt nun, dass Stromstärkewerte, die dem Normaldrehmoment (450 *mkg* für das gewählte Beispiel) für das motorische Verhalten entsprechen, sich nur im Gebiete der Nutzbremsung nicht aber im Gebiete der Gegenstrombremsung vorfinden; das Gebiet der Gegenstrombremsung ist sogar durchwegs durch das Auftreten von so beträchtlichen Stromstärken gekennzeichnet, wie sie für das motorische Verhalten nicht einmal für das Maximaldrehmoment vorkommen. Es ist daher der Schluss berechtigt, unter der Voraussetzung D_{max} und s_m seien Motorkonstante müsse der Gegenstrombremsung eine praktische Verwendbarkeit abgesprochen werden. Anderseits ist jedoch der Nutzbremsung eine praktische Anwendbarkeit zuzuerkennen und zwar für einen ungefähr gleich grossen Bereich der mechanischen Charakteristik, wie dem gewöhnlichen motorischen Verhalten des asynchronen Drehstrommotors.

Lassen wir nun die bisherige Voraussetzung, D_{max} und s_m seien unveränderliche Grössen, fallen, womit, wie bereits bemerkt, auch die Voraussetzungen einer konstanten magnetischen Induktion im aktiven Motoreisen und einer Konstanz der Reaktanz und des Ohm'schen Widerstandes im Sekundärteil des Motors entfallen, so geben uns die Bestimmungsgleichungen für D_{max} und s_m:

$$D_{max} = \frac{m E_1^2}{2 \omega_0 x_2} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \cdot \frac{1}{9{,}81}$$

$$s_m = \frac{w_2}{x_2}$$

Anhaltspunkte über allfällige Verfahren der Regelung, auf Grund derer vielleicht eine Erweiterung der Bremsmöglichkeiten zu erreichen ist; in diesen Gleichungen bedeuten, wie in der frühern Studie, E_1 die primär aufgedrückte Spannung, N_1 die primäre und N_2 die sekundäre Windungszahl, x_2 die unveränderliche[1]) sekundäre Motorreaktanz und w_2 der bisher ebenfalls unveränderliche Ohm'sche sekundäre Widerstand. Solche Verfahren der Regelung, die hier in Betracht kommen können, sind eine Spannungsregelung, eine Widerstandsregelung und eine Stufenregelung der Geschwindigkeit, also prinzipiell dieselben Verfahren, wie wir sie auch schon bei der eingehenden Behandlung des gewöhnlichen motorischen Verhaltens der asynchronen Drehstrommaschine kennen lernten. Würde man unter der Voraussetzung derartiger Verfahren der Regelung die Möglichkeit der elektrischen Bremsung rechnerisch genau verfolgen, so ergäbe sich folgendes Resultat: Das Verfahren der Gegenstrombremsung kann auch unter der Benutzung dieser Reguliermöglichkeiten nicht derart verbessert werden, dass es praktisch verwendbar würde; andererseits erlangt das Verfahren der Nutzbremsung bei Anwendung einer Stufenregelung der Geschwindigkeit (Kaskadenschaltung oder Polumschaltung) eine Erweiterung des Anwendungsgebietes, ebenso wie ja auch das motorische Verhalten der Drehstrommotoren durch die Anwendung der Stufenregelung eine entsprechende Verbesserung erfährt; für jede Stufe gibt es je ein Kurvenbild entsprechend unserer Abbildung, also liegen die Stromstärkewerte für das motorische Verhalten und das generatorische Verhalten bei Nutzbremsung, soweit dieses praktisch in Betracht kommt, symmetrisch in Bezug auf die vertikale Koordinatenachse, woraus die Richtigkeit der oben ausgesagten Resultate ersichtlich ist.

Es lässt sich übrigens ganz allgemein eine Uebereinstimmung des Verhaltens der Asynchronmaschine beim Betrieb als Motor und beim Betrieb als Nutzbremse feststellen. Wenn wir somit seinerzeit am Drehstrommotor anlässlich der Behandlung seiner Betriebseigenschaften als Eisenbahnmotor seine geringe Regelungsmöglichkeit der Geschwindigkeit zu rügen hatten, so gilt dies nun voll und ganz auch hinsichtlich seiner Betriebseigenschaften als Nutzbremse; die Verfahren der Stufenregelung der Geschwindigkeit sind im einen wie im andern Fall nur als Notbehelfe zu bezeichnen und wenn sie schliesslich für den motorischen Betrieb noch gerade gut genug sind, so sind sie unter allen Umständen unzureichend für die Anforderungen, die an ein Bremsorgan gestellt werden müssen. Von einem brauchbaren Bremsorgan muss denn doch eine Bremswirkung innerhalb weiter Bereiche der Geschwindigkeit und wenn möglich bis zum Stillstand gefordert werden. Die Gegenstrombremsung, die in dieser Beziehung eine befriedigende mechanische Charakteristik besitzen würde und also für den Drehstrommotor diese Lücke der Nutzbremsung auszufüllen vermöchte, kann nun leider infolge der schon besprochenen Stromstärke-Verhältnisse nicht in Betracht kommen. Mit Hülfe eines unabgeänderten Drehstrommotors ist es also vorläufig als eine Sache der Unmöglichkeit anzusehen, eine Drehstrombahn elektrisch bis zum Stillstand abzubremsen.

Gemäss den entwickelten theoretischen Erörterungen ist also zu erwarten, dass man an den Drehstrombahnen der Praxis mit dem unabgeänderten Drehstrommotor auch nur den Bremsbetrieb der Nutzbremsung verwendet sehen wird; es trifft dies in der Tat zu; hingegen ist die Anwendung, die dieses Bremsverfahren im regelmässigen Betrieb gefunden hat, nur unbedeutend und ist man überrascht zu konstatieren, dass auch die elektrischen Bergbahnen, denen eine Energierückgewinnung während der Talfahrt ziffernmässig eine grosse Ersparnis des Strombedarfs zu bringen vermöchte, von dieser Rückgewinnung nur ausnahmsweise Gebrauch machen und sich andern, noch zu besprechenden Verfahren der elektrischen Bremsung zugewandt haben. Die Ursachen dieser Tatsache liegen in Folgendem: Einerseits benützen die elektrischen Bergbahnen für ihren Betrieb in der Regel eigene Wasserkräfte, die gerade während der Saison das Maximum der disponiblen Energie aufweisen, sodass auf die äusserste Oekonomie im Gebrauch dieser Naturkraft kein besonderes Augenmerk gerichtet werden muss; andererseits müssten ihre Zentralen für die Möglichmachung der Nutzbremsung auf talwärts fahrenden Fahrzeugen mit besondern Regulier-einrichtungen und Pufferungsrezipienten (Akkumulator mit Umformer) ausgerüstet sein, um zu verhindern, dass ein allfälliger Ueberschuss der bei der Talfahrt frei werdenden Energie über die total von angeschlossenen Stromverbrauchern absorbierte nicht eine gefährliche Erhöhung der Umlaufszahl der hydraulischen Antriebsmotoren zur Folge

[1]) Bei diesem Anlass müssen wir darauf hinweisen, dass es sinngemäss in der frühern Arbeit auf Zeile 39 Seite 112, Spalte 2, Band L, ebenfalls «*unveränderliche*» statt «veränderliche Motorreaktanz» heissen muss.

hätte. Solche Einrichtungen sind jedoch bei eigenen und genügenden Wasserkräften wirtschaftlich nicht begründet. Diese Verhältnisse haben namentlich die schweizerischen Bergbahnen schon in frühern Jahren veranlasst, das Prinzip der Nutzbremsung zu alterieren oder ganz aufzugeben. Als eine Alterierung dieses Prinzips ist es aufzufassen, wenn an die Stromzuführungsanlage der Bergbahn entweder auf dem talwärts fahrenden Fahrzeug oder in der Zentrale Belastungswiderstände angeschlossen werden, um die überschüssige Energie zu vernichten; werden diese Belastungswiderstände in der Zentrale angeordnet, so erreicht man damit eine Abfuhr der zu vernichtenden Energie aus dem talwärts sich bewegenden Fahrzeug, wodurch dessen Ausrüstung eine willkommene Vereinfachung erfährt. Die beschriebene Bremsanordnung hat nun für den eigentlichen Traktionsdienst der Talfahrt gegenüber der Anordnung der reinen Nutzbremsung keinen Vorteil, indem ja dadurch die mechanische Charakteristik des Bahnmotors nicht verändert wird; es ist daher einleuchtend, dass man bei einer so unwesentlichen Abänderung der elektrischen Bremsung von Drehstrombergbahnen nicht stehen blieb, sondern dazu überging, dieselbe von Grund aus umzugestalten.

Die Erfahrungen, die man mit der elektrischen Bremsung der ältern Traktion mittels Gleichstrom bereits gemacht hatte, dienten dabei als Wegleitung. So wurde insbesondere das Prinzip der sog. Kurzschlussbremsung von der Traktion mittels Gleichstrom entlehnt und sinngemäss für die Drehstromtraktion weiter entwickelt. Da ein sich selbst überlassener und vom Netz abgetrennter Drehstrommotor sich nicht selbst erregen kann, so wurde ihm eine besondere Gleichstromenergiequelle (kleine Gleichstromerregerdynamo) beigegeben, mit deren Hilfe ein geeigneter Teil der Wicklung des rotierenden Systems erregt wird, wobei in der Wicklung des feststehenden Systems bei der Talfahrt ein regelbarer Drehstrom erzeugt und in abgestuften Bremswiderständen verbraucht wurde; bei dieser Anordnung wird innerhalb eines gewissen Bereichs der Geschwindigkeit der Talfahrt eine ordentliche Regelung der Bremsung erreicht. Um nun die Komplikation der besondern Erregermaschine zu vermeiden, wurde in der weitern Entwicklung der Bremsverfahren der Versuch unternommen, den rotierenden Teil der Drehstromtriebmotoren nicht nur in der üblichen Weise mit den für das Anlassen benötigten Schleifringen auszurüsten, sondern ausserdem mit einem Stromwender, um mit dessen Hilfe bei der Talfahrt den Drehstrommotor in eine selbsterregende Gleichstromdynamo verwandeln zu können und mit dieser in bekannter Weise eine Gleichstromkurzschlussbremsung auszuführen. Da indessen die Verwendung derselben Wicklungssysteme sowohl für den motorischen Drehstrombetrieb der Bergfahrt, wie auch für den generatorischen Gleichstrombetrieb der Talfahrt für deren zweckentsprechende Dimensionierung höchst erschwerend wirkt, so finden wir als eine Verbesserung der Ausführung dieses Prinzips auch die Anordnung von zwei getrennten Wicklungen auf dem rotierenden Teil, von welchen die für den Drehstrombetrieb bestimmte mit Schleifringen und die für den Gleichstrombetrieb bestimmte mit einem Stromwender ausgerüstet ist; diese Anordnung bedingt natürlich ein grösseres und teureres Motormodell.[1])

Die besprochenen Phasen der Entwicklung des Drehstrom-Bergbahnmotors für Bremszwecke finden wir alle an den verschiedenen schweizerischen Bergbahnen noch in Anwendung; deren Betriebserfahrungen sind im Ganzen und Grossen allseitig befriedigende. Die Nachteile der in letzter Phase eingeführten Kurzschlussbremsung sind natürlich dieselben, wie wir sie seinerzeit schon bei der Besprechung der Kurzschlussbremsung der Gleichstromseriemotoren kennen lernten, und die namentlich im ungenügenden Bereich der mechanischen Charakteristik begründet sind. Gegenüber der Nutzbremsung des Drehstrommotors stellen diese Verfahren der Kurzschlussbremsung jedoch schon eine erhebliche Erweiterung des Regulierbereichs dar und von den Freunden dieser Bremsverfahren wird namentlich auch die Unabhängigkeit von der Stromzuführungsanlage gerühmt, sowie die Möglichkeit der Anwendung einer kleinern Geschwindigkeit für die Talfahrt, als für die Bergfahrt.

Mit der geschilderten Weiterbildung der elektrischen Bremsung von Drehstrombahnen sind die Bremsmöglichkeiten der Drehstrommotoren keineswegs erschöpft; es sollen nun die weitern Entwicklungsmöglichkeiten kurz besprochen werden: Anstatt der Kombination Drehstrom-Gleichstrom erscheint auch die Kombination Drehstrom-Einphasenstrom naheliegend, wenn man einmal den Schritt getan hat, einen Stromwender für den Drehstrom-Berg-

[1]) Eine auf Grund dieser letztern Anordnung ausführbare Schaltung mit einer allerdings etwas abweichenden Arbeitsweise, dank welcher beide Rotorwicklungen für den Bremsbetrieb verfügbar werden, also eine gewisse Ersparnis in den Motordimensionen erreicht wird, ist in Bd. XLVI, S. 137 der Schweiz. Bauzeitung beschrieben.

Von der XXX. Generalversammlung der G. e. P. 4. bis 6. Juli 1908 in Bern.

Erst die Arbeit, dann das Vergnügen! Nach diesem soliden Grundsatz wurde die Generalversammlung der G. e. P. dieses Jahr in noch erhöhterem Masse als sonst eingeleitet, denn der üblichen Ausschuss-Sitzung vom Samstag abend ging noch eine Diskussionssitzung der Arbeitskommission, des «Ausschusses für Standesfragen», voraus. Die Kombination war naheliegend; stellt doch der «Ausschuss für Standesfragen» infolge seiner Zusammensetzung[1]) sozusagen eine Personalunion her zwischen der G. e. P. und dem Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, von der wir hoffen und glauben, dass sie den beiden Verbänden zum Nutzen gereichen werde. Dieser Umstand verschaffte verschiedenen Kollegen, die das Glück hatten, von 2 bis 7 Uhr beiden Sitzungen beiwohnen zu dürfen, die Genugtuung eines rechtmässig erworbenen Durstes, der ihnen dann beim Begrüssungsbierhock im Dämmerschatten des Café Merz-Gartens trefflich zu statten kam.

Hier erschienen von 8 Uhr an, entsprechend den Ankunftszeiten der Bahnzüge, jeweils ganze Scharen von Ehemaligen aller Jahrgänge, mit dem offiziellen gelben Couvert in der Hand und geschmückt mit dem allerliebsten *Festzeichen*. Auf einer Anstecknadel steht, zu oberst auf einem kleinen Schrifttäfelchen mit der Jahreszahl 1908 ein Bernermutz, umgeben von einem wallenden, äusserst fein in Filigran gearbeiteten Bande mit dem Monogramm G. e. P. Unter dem Schrifttäfelchen ist durch eine Verdickung in der Nadel ein beweglicher, offener Ring geschoben, der sowohl zur Aufnahme einer Blume dient wie auch durch Verschlingung mit der Nadel das Ganze zu einer zierlichen Agraffe macht. Die Berner Kollegen haben sich durch dieses originelle, in massivem Silber gearbeitete Festzeichen äusserst vorteilhaft bei unsern Gattinen eingeführt, denen das Festzeichen eine bleibende Erinnerung an die galante Berner G. e. P. sein wird!

Bald war der Garten bis auf den letzten Platz gefüllt und der Inhalt begann langsam überzufliessen. Dieser Ueberfluss versickerte aber nur zum kleinern Teil in die Stadt, das meiste lief in verschiedenen Höhlungen der Oberfläche Berns wieder zusammen, so z. B. im «Café du Théâtre», wo besonders ein 15 000-Voltiger Ehemaliger allerhand Erbauliches wusste. Schliesslich brach man auf; die Gesellschaft zerstreute sich, fand sich aber hinter den Laubenpfeilern des gegenüberliegenden «Zytglogge» glücklich wieder und feierte solches Wiedersehen in diesem neuen Lokale, das nicht nur vom architektonischen Standpunkt aus Beachtung verdient und in dem die Vertreter des Standes Zürich Gelegenheit hatten, das ihnen noch unbekannte Institut der Polizeistunde kennen zu lernen. Der Aufenthalt im «Zytglogge» war auch in anderer Beziehung sehr lehrreich, denn ein in allerhand Künsten bewährter Oberlokomotivheizer der S. B. B. erteilte da Unterricht im Konjugieren von Hauptwörtern wie «Vorzimmer» und «Amalie» usw. Auf solche Weise wurde der angebrochene Nachmittag angenehm ausgefüllt.

Der Sonntagmorgen war verschiedenen Besichtigungen gewidmet, zu denen um 8 Uhr angetreten werden musste. Man besuchte das Gas- und Wasserwerk, die eidg. Münze, deren sonst in vorsichtiges Dunkel gehüllten Einrichtungen besonderes Interesse erweckten, dann die neue nach dem Zentralbatteriesystem mit Glühlampen-Aufruf gebaute Telephonzentrale, die uns bis in alle Einzelheiten erklärt und gezeigt wurde. Eine weitere Gruppe machte unter Führung von Architekt Widmer einen Gang durch verschiedene sonst selten besuchte Gassen und Gässlein, den ältesten Stadtteil in der Gegend der Nydeckbrücken und anderorts, wobei eine Fülle des Interessanten und Schönen zu Gesichte kam.

[1]) Vergl. Geschäftsbericht des G. e. P., S. 341 des letzten Bandes.

bahn-Motor zuzulassen. Da der mehrphasige kurzgeschlossene Sekundäranker des Drehstrommotors stets durch einen Anker mit Kollektor und zwei oder mehr in sich kurzgeschlossenen Bürstensätzen für jedes Polpaar ersetzbar ist, ohne an der Wirkungsweise des Motors zu ändern, so liegt es nahe, den Drehstrommotor mit Stromwender nun in Betracht zu ziehen. Einen solchen Motor kann man durch geeignete Umschaltung ohne weiteres in einen Einphasenwechselstrom-Motor mit Stromwender verwandeln; anderseits kann man auch die Stromzuführung ohne weiteres von Drehstrom auf Einphasenwechselstrom reduzieren, indem die eine Zuleitung unterbrochen wird; die Kombination ermöglicht also, dass man mit demselben Traktionsmotor und derselben Zentrale für den Bahnbetrieb den Traktionsmotor für sämtliche Betriebsfunktionen sowohl bei einphasiger als bei dreiphasiger Stromzufuhr verwenden kann; von dieser Anordnung wird man also beispielsweise Gebrauch machen, wenn bestimmte Strecken der Bahn (Stationen, Ausweichestellen) mit Rücksicht auf Vereinfachung der Kontaktleitung für einphasigen Wechselstrombetrieb ausgerüstet werden sollen; uns ist jedoch für die vorliegende Beurteilung wichtiger, dass ein solcher Motor ohne weiteres auch die Anordnung der Gegenstrombremsung, die wir beim Vorhandensein eines regelbaren Transformators als schätzbares Charakteristikum der Kommutatormotoren für einphasigen Wechselstrom kennen lernten[1]), zulässt. Der erforderliche Einphasentransformator braucht nur für eine geringe Leistung dimensioniert zu werden und es muss auch nur diese geringe Leistung, durch welche die drei Phasen der Stromversorgungsanlage eine Ungleichmässigkeit in der Inanspruchnahme erleiden, von aussen zugeführt werden. Die bei einzelnen Typen der Kommutatormotoren für Einphasenwechselstrom besonders leicht ausführbare Nutzbremsung hat im vorliegenden Fall keine Bedeutung, man wird vielmehr die Nutzbremsung einer Drehstrombahn auf keinen Fall anders als auch in allen drei Phasen vornehmen und dazu ist der Drehstrommotor von vorneherein vorzüglich geeignet. Die Kombination der Möglichkeiten einer einphasigen Gegenstrombremsung mit einer drei-

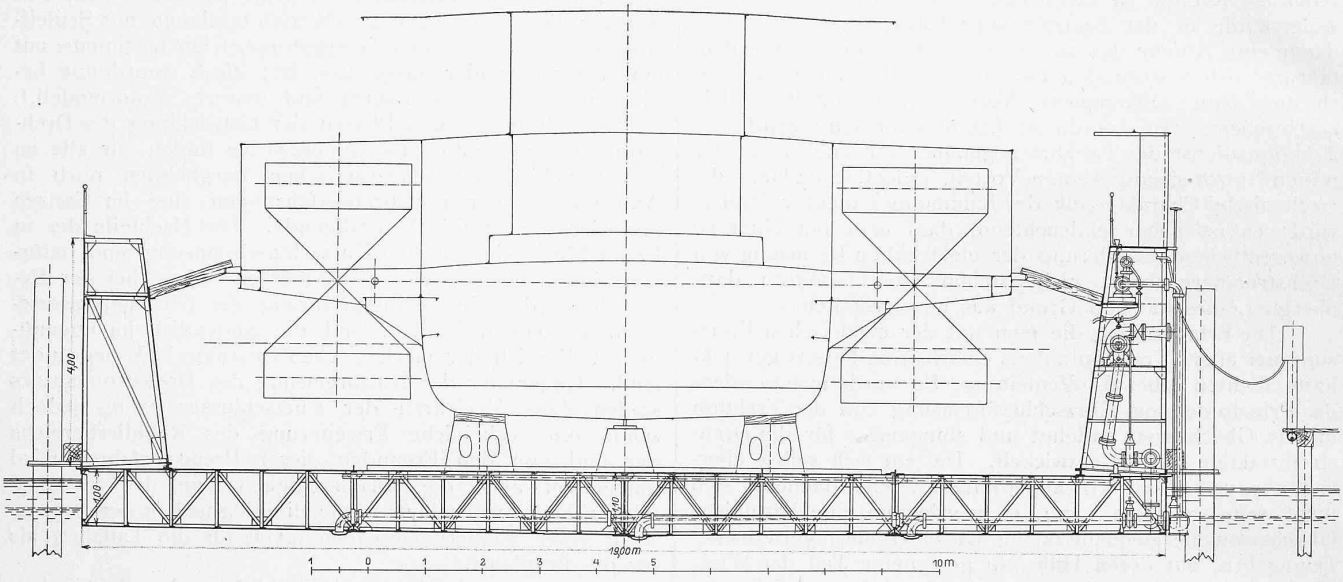


Abb. 2. Schwimmdock auf dem Vierwaldstättersee. — Querschnitt. — Masstab 1 : 120.

[1]) Band L, Seite 217 und 223.

Gegen 10 Uhr fand man sich im Parlamentsgebäude zusammen, wo im Nationalratssaal die eigentliche Generalversammlung abgehalten wurde, über deren Verlauf «über dem Strich» berichtet wird. Während der Sitzung ging ein starkes Gewitter nieder, das sich aber bald wieder verzog, sodass während der nach 1 Uhr in drei Zügen der Dampfstrassenbahn vollzogenen Fahrt nach Worb die Sonne bereits hin und wieder hervorblickte. Doch vermochte sie nicht das Interesse der Ehemaligen ernstlich auf die Witterung zu ziehen, denn man war männiglich hungrig und freute, sich an den langen Tafeln im Saal und Garten zum «Bären» der Stillung dieses Bedürfnisses entgegenzusehen, einstweilen in das Studium eines von Kollege Daxelhoffer in Bern ausgeführten unheimlich polytechnischen Menu versunken, in welchem sogar «geräucherte Repetitorien» in Aussicht gestellt waren; die reichliche Fütterung lief aber zur allgemeinen Befriedigung der 410 knurrenden Mägen ab. Die Kunstpausen wurden angenehm ausgefüllt durch Vorträge des gemischten Chores von Worb, dessen bessere Hälfte in der kleidsamen Bernertracht prangte und grossen Jubel hervorrief. Auch die üblichen Tischreden erhöhten durch ihren Gehalt die schon gehobene Stimmung der Ehemaligen noch mehr. Das Wort ergriff zuerst der Präsident der G. e. P., Direktor *A. Bertschinger*, zunächst zur Begrüssung der erschienenen Vertreter eingeladener Behörden, so namentlich Regierungs- und Stadtrat von Bern, sowie der andern Ehrengäste und Gesellschaftsmitglieder. Dann führte er aus, dass wir dem Rufe unserer Berner Kollegen heute umso lieber und zahlreicher gefolgt seien, als die langersehnte Vorlage des neuen Reglements für unsere Technische Hochschule, das wir mit Ungeduld aber auch mit Vertrauen erwarten, an den Bundesrat erfolgt sei. Wenn auch darin nicht alle Wünsche erfüllt sein werden, so trösten wir uns damit, dass es ja nicht so sehr auf das Wort, als vielmehr auf den Geist ankommt. Dass die Bedeutung unserer Hochschule für die Wohlfahrt unseres Landes auch in Volk und Rat erkannt und gewürdigt wird, das ging aus der glänzenden Abstimmung über den «Aussonderungsvertrag», sowohl im Zürchervolke als auch in der Bundesversammlung deutlich hervor. Dem Vaterlande, dem wir dienen und dem wir unsere Bildungsstätte verdanken, gilt sein Hoch.

Reg.-Rat Dr. *C. Moser* von Bern, Mitglied der G. e. P., wies auf den mannigfachen Einfluss hin, den das Polytechnikum und die aus ihm hervorgegangenen Techniker auf unser Wirtschaftsleben ausüben. Die technischen Wissenschaften sind zu einem mächtigen Faktor der Volkswirtschaft geworden. Im Vertrauen auf die Männer der Technik hat Bern den Bau der Lötschbergbahn unternommen. Aber auch auf andern Gebieten sind die technischen Wissenschaften zu grosser Bedeutung gelangt, auch Land- und Forstwirtschaft erfreuen sich in immer steigendem Masse ihrer Errungenschaften. Uns, den ehemaligen Polytechnikern liegt es ob, diese Fortschritte hinauszutragen in die Praxis, sie in reelle Werte umzusetzen. Sein Hoch bringt er darum der glücklichen Fortentwicklung unserer Technischen Hochschule und der G. e. P. — Nun folgte die Rede des Herrn Prof. Dr. *Franel*, die wir auf Seite 26 in letzter Nummer in extenso wiedergegeben haben und die geradezu begeisterten Widerhall fand. «Pour apprendre nager il faut se jeter à l'eau avec tous les risques que cela comporte!» Solchen Gedanken aus dem Munde des Direktors des Polytechnikums zu vernehmen, musste bei allen, denen das Wohl unserer höchsten Bildungsstätte und ihrer Angehörigen am Herzen liegt, freudige Zustimmung erwecken und die Lehrerschaft ihrerseits mag aus dem lang andauernden Beifall die Ueberzeugung gewinnen, dass sie sich in solchem Geiste mit der G. e. P. solidarisch fühlen darf! — Als Vertreter des Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Vereins sprach dann noch Oberingenieur *A. Schafir* im Auftrage des Zentral-Komitees von den uns zurzeit alle bewegenden «Standesfragen». Er bat die G. e. P., auch ihr Interesse und