

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83/84 (1924)
Heft: 24

Artikel: Hydrodynamische Zeitkurven
Autor: Prášil, Franz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82809>

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: 09.02.2026

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

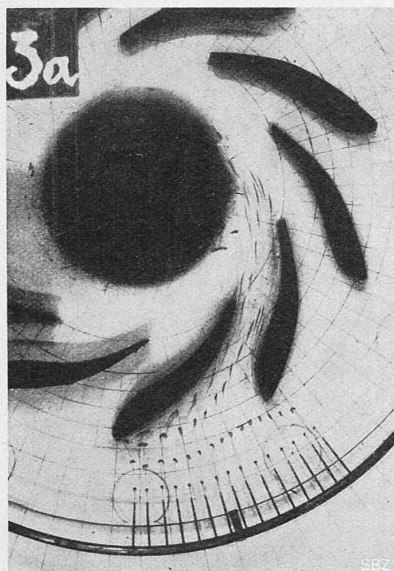


Abb. 3.

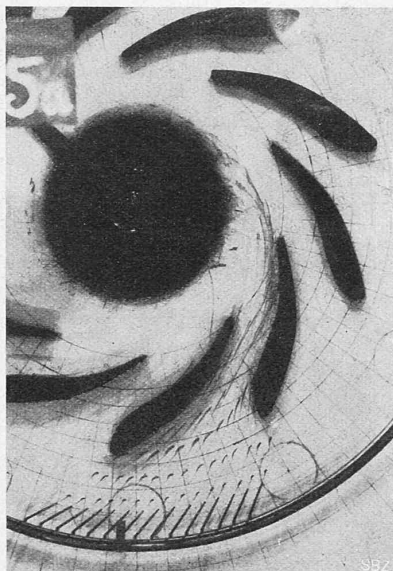


Abb. 4.

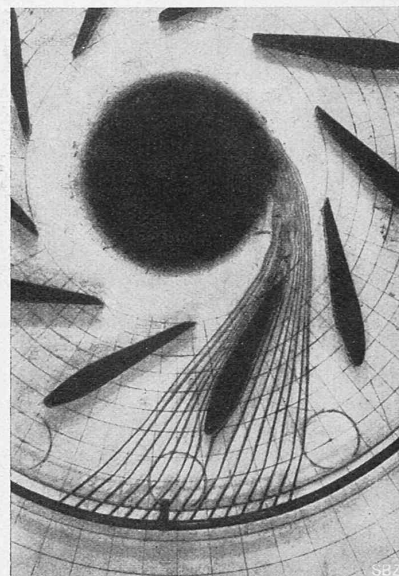


Abb. 6.

Hydrodynamische Zeitkurven.

Von Prof. Dr. F. Prášil, Zürich.

In Heft 25 des letzten Bandes der „S. B. Z.“ wurde über die Aufnahme von Zeitkurven im Strömungsfeld eines Leitapparates berichtet. Die dort beschriebenen und in Bildern vorgeführten Erscheinungen wurden bei Strömung des Wassers zwischen Platten von nur 0,5 mm Abstand erhalten. Sowohl die reine Strömungsdarstellung, wie auch die der Zeitkurven lässt erkennen, dass bei der von innen erfolgten radialen Zuströmung auch die Abströmung im wesentlichen radial erfolgt. Die geringen Abweichungen vom radialen Abfluss können durch störende Einflüsse im Ablaufraum namentlich durch die deutlich erkennbaren Wirbelschichten hinter den Schaufeln erklärt werden. Die Versuche wurden am bestehenden Apparat fortgesetzt und dabei namentlich angestrebt, den Einfluss einer Zuströmung mit kreisender (tangentialer) Komponente auf die Strömung in den Zellen und im Abfluss kenntlich zu machen. Dies gelang aber bei der dünnen Schicht von 0,5 mm nicht; die im zentralen Zulauf erzeugte kreisende Komponente wurde kurz nach Eintritt in die Schicht vernichtet, das Strömungsbild wurde nicht wesentlich verändert; hingegen zeigte es sich, dass bei grösserer Schichtdicke die kreisende Komponente erhalten blieb, dass aber die hierbei auftretende Turbulenz die gute Ausbildung der Strombahnen störte. Diese Erfahrung wies unmittelbar darauf hin, dass die bei 0,5 mm Schichtdicke die ganze Schicht beeinflussende Wandreibung die kreisende Komponente vernichtet, was dann später durch die photographische Aufnahme von Strömungen an der Grundplatte und in der Mittelebene der Schicht bestätigt wurde. Da orientierende Versuche am bisher benutzten Apparat ein Gelingen der angestrebten Untersuchungen erwarten liessen und es dabei nun zweckdienlich erschien, die Versuche auch zur Klärung der Strömungserscheinungen in der Praxis angepassten Leitradformen zu erhalten, so wurde ein hierfür bereits vorhandener, grösserer Plattenapparat benutzt; der Abstand der, mit einem polaren, konformen Grundnetz versehenen, untern Platte von der obren Glasplatte wurde auf 30 mm eingestellt, und die Zuströmung von aussen angeordnet, wie dies beim Apparat bereits vorgesehen war. Es wurde dabei vorderhand davon abgesehen, die Farbstoffdüsen am ganzen äusseren Umfang des Apparates anzuordnen, da dies unter Beachtung der Gleichmässigkeit der Verteilung bei den Versuchen am kleinern Apparat nicht nötig erschien.

Ueber die Anordnung des Apparates, die Einrichtungen zur Sichtbarmachung und photographischen Auf-

nahme der Strömungserscheinungen, über diese selbst und ihre Verwendbarkeit für die Erkenntnis der Strömungsvorgänge in Leitapparaten des praktischen Gebrauches wird Herr dipl. Masch.-Ing. O. Walter in einer besondern Arbeit eingehend berichten; an dieser Stelle werden nur diejenigen hauptsächlichsten Ergebnisse vorgeführt, die nötig sind, um in Ergänzung des eingangs erwähnten Berichtes die Verschiedenheit der Strömungserscheinungen in laminaren und turbulenten Schichten erkenntlich zu machen und durch Gegenüberstellung der Erscheinungen an Blechschaufeln und an geformten Schaufeln den Nutzen solcher Versuche zu veranschaulichen. Schliesslich wird noch ein Strömungsversuch mit Zeitkurven an einem für rein zweidimensionale Strömung umgerechneten und dem entsprechend geformten Manschetten-Saugrohr vorgeführt, der ebenfalls von Ing. Walter für das Inventar des Demonstrationsmaterials zu den Vorlesungen des Referenten durchgeführt und photographisch fixiert wurde.

Strömungen mit kleinern Durchflussgeschwindigkeiten konnten am besten in Einzeln-Momentaufnahmen photographisch fixiert werden; für grössere Geschwindigkeiten musste die Aufnahme kinomatographisch erfolgen; der bezügliche Film soll gelegentlich zu einem Vortrag benützt werden.

Schon im erwähnten Bericht wurde auf die theoretische Grundlage der Zeitkurven in der „technischen Hydrodynamik“ des Referenten hingewiesen; in diesem Buch ist, im Anschluss an die Theorie, die Nutzbarmachung der Zeitkurven für die Analyse der Strömungserscheinungen an zwei Beispielen demonstriert, indem die Veränderung der Form einer Kugel in einem Potential-Strömungsfeld und in einem wirbelhaften Strömungsfeld auf analytischem Weg bestimmt wurde; für die experimentelle Darstellung fehlten damals noch die Mittel, die nun bei den jetzigen Versuchen zu Gebote standen, wie sich aus der nachstehenden Schilderung ergeben wird.

Die Abb. 1 und 2 stellen die mit dem Tropfenverfahren erzeugten Zeitkurven im Strömungsfeld eines Leitapparates mit Blechschaufeln dar. Die Tropfen wurden durch plötzliches Abklemmen des Farbstoff-Zufluss-Schlauches erhalten; ihre Deformation ist vergleichbar mit der analytisch bestimmten Deformation von Kugeln. Die gegenseitige Lage der Tropfen kennzeichnet die Zeitkurven der Strömung. Der Versuch Abb. 1 mit radialer Zuströmung zeigt grössere Ablösung als der in Abb. 2 mit schräger Zuströmung; die Blechschaufeln geben Anlass zu einer Diskontinuität mit einer Grenzfläche, die dem Profil der geformten Schaufeln ähnlich ist. Ein Strömungsbild ohne Ablösung

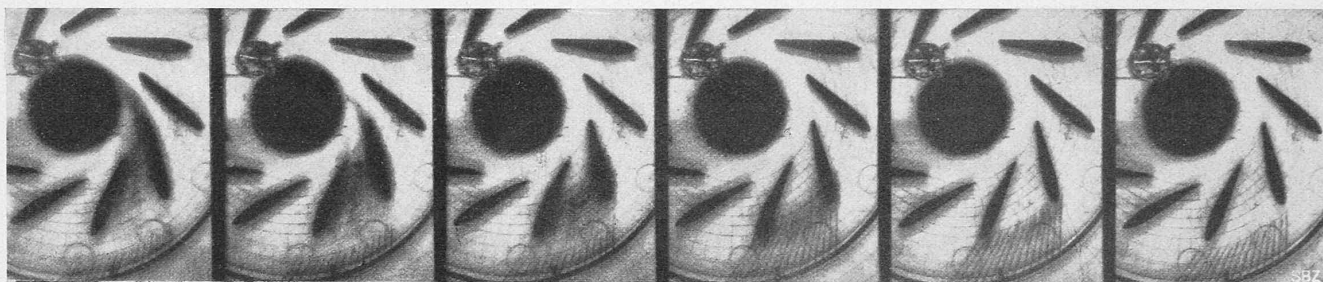


Abb. 5. Kinematographische Aufnahme (von rechts nach links zu verfolgen) einer Strömung zwischen geformten Leitschaufeln.

konnte nicht erhalten werden: je näher man der hierfür geeigneten Neigung der Zuführungsdüsen kam, desto mehr trat heftige Turbulenz im Zuströmungsraum ein.

Die Abb. 3 und 4 veranschaulichen in analoger Weise den Durchfluss zwischen geformten Schaufeln. In Abb. 5 ist die Filmaufnahme einer Strömung zwischen geformten Leitschaufeln mit geraden Mittellinien wiedergegeben; die Aufnahme der Zeitkurven konnte nicht mehr bei Verwendung des Tropfenverfahrens, wohl aber bei Verwendung des im erwähnten Bericht beschriebenen Verfahrens erfolgen. Abb. 6 (S. 277) zeigt die Momentaufnahme einer Strömung beidseits einer geformten Schaufel mit schräger Zuströmung; deutlich tritt die Wirbelbildung am Abflussende der Schaufeln hervor, die bekanntlich auch bei den Tragflügeln der Aeroplane eine bedeutende Rolle spielt.

Abb. 7 gibt die Momentaufnahme einer Saugrohrströmung mit Zeitkurven wieder; die Saugrohrform ist das rein zweidimensionale Analogon der axensymmetrischen Manschettenform, die wegen der Eigenschaft, an der engsten Stelle nur axial gerichtete Geschwindigkeit zu besitzen, zum Anschluss an Turbinengehäuse geeignet erscheint. Ueber die mathematische Ableitung solcher Formen, die übrigens bezüglich der axensymmetrischen Form auf Grund der Erörterungen in der Studie des Referenten „Ueber Flüssigkeitsbewegungen in Rotationshöhlräumen“ („S. B. Z.“ Bd. 41, S. 207 ff., Mai/Juni 1903) leicht durchzuführen ist, wird an anderer Stelle berichtet werden.

Durch Filmaufnahmen konnten die jedenfalls bei Turbinensaugrohren sehr wichtigen Einflüsse von gestörten Abströmungen und die hierdurch verursachten Ablösungen im Innern des Saugrohrs anschaulich gemacht werden.

Zürich, im Mai 1924.

Die Wiederherstellung der brandbeschädigten Fabrik Sarotti durch das Betonspritzverfahren.

Von Ministerialrat Dr. E. G. Friedrich, Berlin.

Da es in der Geschichte des Eisenbetonbaues wohl zum ersten Mal vorgekommen ist, dass ein so gewaltiger Fabrikbau aus Eisenbeton trotz der mannigfachen und umfangreichen Beschädigungen aller seiner Tragglieder sowohl an den Eisen wie am Beton durch Ausbesserung wieder hergestellt worden ist, seien im Folgenden die bei der Wiederherstellung der Schokoladenfabrik Sarotti in Berlin angewandten Methoden beschrieben.

Wie erinnerlich, hatte das Feuer die Betonschichten über den Eiseneinlagen sämtlicher Eisenbetontragwerke so stark beschädigt und zermürbt, dass sie samt und sonders entfernt werden mussten. Der eigentliche Kern, besonders

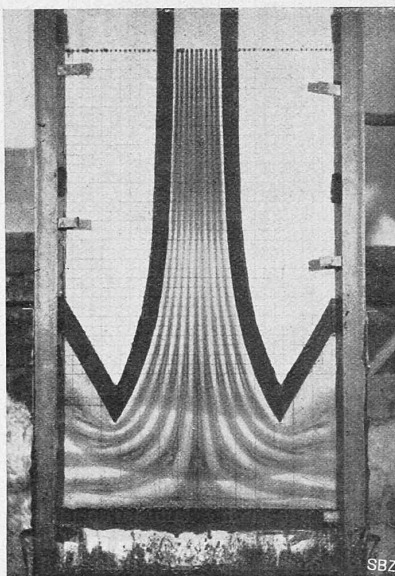


Abb. 7.

bei den Pfeilern, war aber unverletzt geblieben.¹⁾ Die schwierige Aufgabe bestand nun darin, die Balken, Stützen und Pfeiler so zu verstärken, dass nicht nur der frühere Querschnitt wiedergewonnen wurde, sondern dass auch dieser neu angebrachte Beton eine feste und innige Verbindung mit dem Kern einging. Ein solche Verbindung zu erzielen, ist sehr schwierig, einmal weil neuer Beton an den alten abgeordneten Teilen nur schwer haftet, ausserdem weil beim Abbinden des frischen Beton wieder innere Kräfte entstehen, die ein nachträgliches Ablösen der angetragenen Schichten begünstigen.

Bei den Säulen (Abb. 1 und 2) wurden alle zermürbten und auch feste Teile soweit abgestemmt, dass die eiserne Spiralarmierung zur Hälfte des Querschnitts freilag, um hierdurch gewissermassen eine Verzahnung mit dem neuen Beton zu bekommen. Dann erhielten die Säulenkerne eine neue Längs- und Spiralarmierung, wobei die Abmessungen des neuen Eisenbetonmantels so stark gewählt wurden, dass dem Kern allein die ständige Last, und dem Kern und der Ummantelung zusammen die Nutzlast zugewiesen wurde.

Komplizierter waren die Aufgaben an den Eisenbeton-Unterzügen. Nach Beseitigung aller bröckeligen Teile und gründlicher Reinigung mittels des Sandstrahlgebläses zeigte es sich, dass die Beschädigungen nicht nur aus Absprengungen der Betondeckschichten über den Zugseisen bestanden (Abb. 3), sondern dass auch diese Zugseisen vielfach ausgeknickt waren und dass der Balken von vielen teils vertikalen, teils schrägen Rissen durchsetzt war. Es war überraschend zu sehen, mit welcher Deutlichkeit nach der Reinigung durch den Sandstrahl Risse in die Erscheinung traten, die vorher unsichtbar waren.

Soweit die Beschädigungen nur unterhalb der Eisen auftraten, sodass die an sich unverletzten Eisen nur umhüllt zu werden brauchten, war es einfach, den neuen Beton anzuspritzen. Seine Haftung wurde dabei sehr erleichtert durch ein Drahtgeflecht.

Soweit Schubrisse im Steg des Plattenbalkens vorhanden waren, musste die verloren gegangene Schubfestigkeit durch wagrecht liegende Eisen wieder aufgenommen werden, die genügend Sicherheit gegen Abscheren boten. Nach den Berechnungen waren fast durchweg zu beiden Seiten des Steges fünf Eisen von je 8 mm Stärke erforderlich. Zur bessern Verbindung dienten lotrechte U-förmig gebogene Eisen, deren hakenförmige Enden etwas in den Kernbeton eingreifen. Hin und wieder hatte die Glut die Eiseneinlagen so stark ausgedehnt, dass sie wulstartig ausknickten. Die Knickstellen solcher ausgebogenen Eisen

¹⁾ Vgl. Dr. E. G. Friedrich: „Die Feuersicherheit des Eisenbeton bei der Brandkatastrophe der Sarotti-Fabrik Berlin“, in „S. B. Z.“, Bd. 80, Seite 100 (26. August 1922).

tels der hier mitgeteilten Beziehungen a priori berechneten Kurven verglichen. Angesichts der Kleinheit des Versuchsobjekts, dessen wenn auch verhältnismässig grosse Eigenverluste doch nur wenig störend auftreten, ist eine bemerkenswerte Uebereinstimmung von Berechnung und von Versuch festzustellen. In den praktisch wichtigen Schlussfolgerungen, insbesondere in der Beurteilung des erwähnten Unfalls auf der „Chicago, Milwaukee & St. Paul Rd.“, gehen die genannten Autoren mit den von uns im frühern Aufsatz enthaltenen Urteilen völlig einig. Weitere, ebenfalls bemerkenswerte Einzelheiten der englischen Arbeit mögen ihr direkt entnommen werden.¹⁾

Zum Schluss möge noch das Unterscheidende zwischen der neuen und unserer frühern Darstellung beleuchtet werden, das im wesentlichen darin liegt, dass wir früher auf Grund des Parameters:

$$\alpha = \frac{\omega_n}{\omega_0}$$

die Beurteilung der Betriebskurven vornahmen, während die neuere Darstellung dies an Hand des Parameters:

$$\beta = \frac{\omega_n}{\omega_n - \omega_0} = \frac{J_c}{J_n}$$

besorgt. Mit dem Parameter α verwirklicht man in erster Linie den für die Erkenntnis belangreichen Vorteil, die Compoundmaschine als die Allgemeindynamo zu erkennen, die auch die Sonderfälle der Serie-Erregung und der Fremderregung umfasst. Mit dem Parameter β wird dagegen dem messtechnischen Bedürfnis, verschiedene Regulierkurven ohne weiteres nach der verwendeten Stromstärke der Sondererregung zu gruppieren, aufs Beste gedient.



Abb. 2.

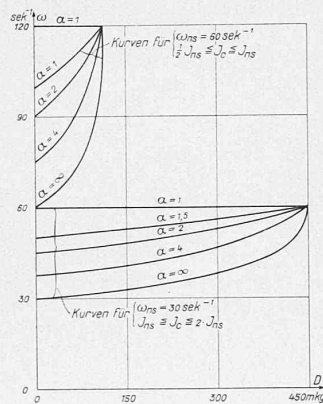


Abb. 3

In Bezug auf die Befriedigung der praktischen Bedürfnisse des Fahrbetriebs dürften Regulierkurven, die auf Grund des Parameters α gebildet sind, den Vorzug vor Regulierkurven auf Grund des Parameters β verdienen, wie an Hand der Abbildungen 2 und 3 dargelegt werden kann. Die Abbildung 3, die nach unserer Methode auf Seite 142 von Band 77 Regulierkurven für verschiedene Werte α , für die verlustlose Maschine (mit Wirkungsgrad $\eta_n = 1$), auf Grund der Gleichung:

$$D \omega^2 = D_n \omega_n m^2 \frac{\omega_n - \alpha \omega}{1 - \alpha}$$

mit den Zusatzbeziehungen (bei $\alpha = \infty$ zwecks Elimination von α):

¹⁾ Ein eingehendes Referat über diese Arbeit findet sich übrigens auf Seite 66 von Band XV der «Revue Générale de l'Electricité» (vom 12. Januar 1924).

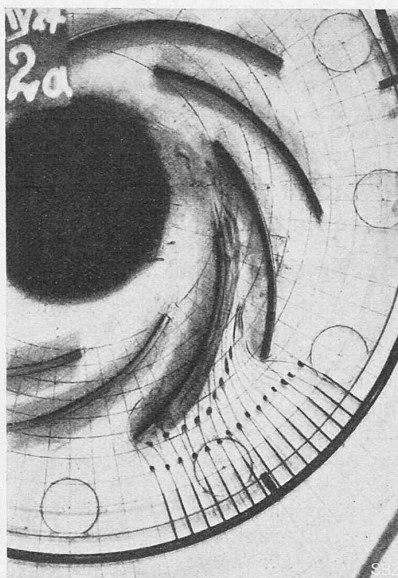


Abb. 1.

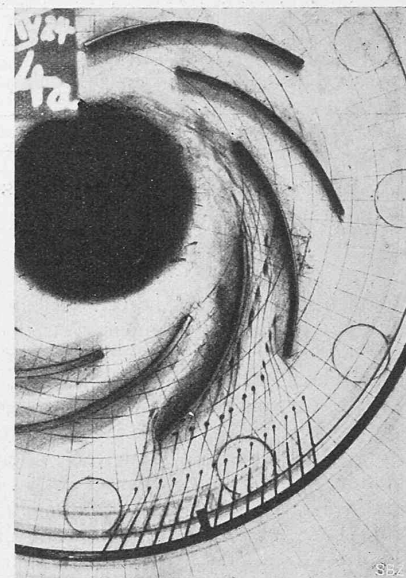


Abb. 2.

$$\left. \begin{aligned} \alpha < \infty, & \quad \omega_n = (1 + \alpha) \omega_{ns} \\ \alpha = \infty, & \quad \omega_{ns} = \omega_0 = \frac{1}{\alpha} \omega_n \end{aligned} \right\}$$

darstellt, berücksichtigt zwei Gruppen von Regulierkurven, nämlich die höher gelegene, mit $\omega_{ns} = 60 \text{ sek}^{-1}$, und die tiefer gelegene, mit $\omega'_{ns} = 30 \text{ sek}^{-1}$ je für dieselben Normaldaten, die auch der Abbildung 2 zu Grunde liegen. Je für $\alpha = \infty$ ist J_c konstant, die betreffende Kurve also zugleich auch dem Reguliersystem mit konstantem β angehörend.¹⁾ Für alle $\alpha < \infty$ dagegen ist J_c variabel, und zwar mit wachsendem Drehmoment ebenfalls zunehmend, von einem Anfangswerte bei $D = 0$ beginnend bis zum gemeinsamen Schnittpunkt aller Kurven derselben Gruppe, der für $\omega_{ns} = 60 \text{ sek}^{-1}$ je ein $J_c = J_{ns}$, für $\omega'_{ns} = 30 \text{ sek}^{-1}$ je ein $J_c = 2 J_{ns}$ bedingt.²⁾ Dass die Regulierkurven nach Abbildung 3 auf variable Werte der Sondererregung aufgebaut sind, während doch, bei der Ableitung der mechanischen Charakteristik ursprünglich, gemäss der Wahl einer Konstanten C_0 , bzw. eines Wertes ω_0 , von einer jeweils unveränderlichen Sondererregung ausgegangen wurde, beruht darauf, dass die in letzter Linie eingeführte Zusatzbeziehung für $\alpha < \infty$ tatsächlich die Elimination von ω_0 aus der Gleichung der mechanischen Charakteristik bewirkte.

Regulierkurven, wie sie in unserer Abbildung 3 dargestellt sind, lassen sich natürlich nach Belieben bilden; die Gruppe für $\omega_{ns} = 60 \text{ sek}^{-1}$ ist indessen dadurch ausgezeichnet, dass keine höhere Stromstärke als $J_c = J_{ns}$ auftritt, während der Gruppe für $\omega'_{ns} = 30 \text{ sek}^{-1}$ ein Maximalstrom $J_c = 2 J_{ns}$ entspricht; es sind also Erwärmungsrücksichten, die hier einschränkend auftreten. Als den Bedürfnissen des praktischen Fahrbetriebs besonders angemessen, müssen nun die aus Abbildung 3 hervorgehenden, nur leicht ansteigenden Regulierkurven mit kleineren Werten des Parameters α bezeichnet werden, weil bei einem solchen Kurvenverlauf die höchstmögliche Stabilität der Rückgewinnung zu erwarten ist. Bei ausschliesslicher Regulierung auf Grund des Parameters β , d. h. mittels konstant gehaltener Erregerströme, ist die Bedingung guter Stabilität ausschliesslich an höhere Werte von J_c , d. h. an stärkere Wärmeverluste in den Magnetspulen und an Ankereisen gebunden, wie ein Blick auf Abbildung 2 lehrt.

¹⁾ Bei $\omega'_{ns} = 60 \text{ sek}^{-1}$ ist dabei $J_c = J_{ns}$, bei $\omega'_{ns} = 30 \text{ sek}^{-1}$ ist $J_c = 2 J_{ns}$.

²⁾ Der an der Serie-Charakteristik erinnernde Index s bringt im vorliegenden Fall die Parameter α und β derart in Uebereinstimmung, dass je für $\alpha = \infty$ zugleich $\beta = 1$ ist.