

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen

Autor(en): **Prášil, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **45/46 (1905)**

Heft 8

PDF erstellt am: **23.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-25390>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vergleichende Untersuchungen an Reaktions-Niederdruckturbinen.

Von Professor Dr. Franz Prášil in Zürich.

Nachdruck verboten.

(Fortsetzung.)

D. Die Messeinrichtungen.

c) Leistungsmessung.

Diese erfolgte mittelst eines Prony'schen Zaums, der an einer auf der vertikalen Turbinenwelle aufgekeilten Bremscheibe angebracht war und mittelst Winkelhebels und Druckstange auf eine Dezimalwage drückte. Das Bremszeug gehört zum Inventar der hydraulischen Abteilung und wurde von der Firma Escher Wyss & Cie. geliefert; es ist für Leistungen bis zu 200 P.S. dimensioniert; die Bremscheibe hat 1 m Durchmesser bei 0,25 m Breite. Dieselbe ist für innere Kühlung eingerichtet; das Kühlwasser wird durch Schleifringe zu- und seitlich abgeführt, derart dass es mit dem Betriebswasser nicht zusammenkommt. Der Balken des Bremszaums musste seiner grossen Länge wegen gestützt werden, was durch Aufhängung an den über der Turbine befindlichen Kran erfolgte, mittelst eines Hängezeuges, dessen Achse möglichst lotrecht eingestellt wurde; bei grosser Länge eines solchen Hängezeuges ist bekanntlich mit massigen Abweichungen von der senkrechten Lage ein bedeutender Fehler mit einer solchen Aufhängung nicht verbunden.

Die Bremsbalkenlänge und die Hebel- Dimensionen ergaben nach zweimaliger Messung im Mittel folgende Formel für die Bremsleistung:

$$N_b = \frac{P \cdot n}{151},$$

wobei P die Netto-Bremsbelastung, n die minutliche Umdrehungszahl und N_b die Bremsleistung in Pferdestärken darstellen.

Da bekanntlich das Drehmoment bei gegebenen N_b und n durch

$$M_d = \frac{N_b}{n} 716,2 \text{ Kilogrammester}$$

bestimmt ist, so folgt für die reduzierte Bremshebellänge

$$l = \frac{716,2}{151} = 4,743 \text{ m.}$$

Man kann nun den Einfluss der Aufhängung wie folgt bestimmen:

Der Aufhängepunkt am Balken liegt 0,994 m von der Achse entfernt (siehe Abb. 10). Die Länge des Hängezeuges beträgt 1,288 m; durch eine eingeschaltete Federwage wurde der Zug Z in derselben gelegentlich der Ausarbeitung der Diplomarbeit mit rund 180 kg bestimmt. Für 1 mm

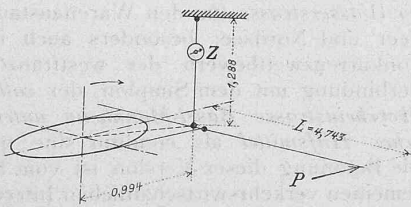


Abb. 10.

Abweichung des untern Aufhängepunktes von der durch den obern Aufhängepunkt geloteten Vertikalen ergibt sich eine Horizontalkomponente der Zugkraft Z von

$$H = Z \frac{0,001}{1,288} = 0,14 \text{ kg.}$$

Kommt diese Komponente mit Bezug auf den Radius des Aufhängepunktes ganz zur Geltung, so ergibt sich als entsprechender Maximal-Betrag am Hebelarm L für 1 mm Abweichung:

$$\Delta P = \pm 0,14 \frac{0,994}{4,743} = \pm 0,0295 \text{ kg.}$$

Der Betrag ist als Korrektur der Bremsbelastung positiv, wenn H entgegengesetzt, negativ, wenn H im Sinne der Drehrichtung wirkt. Bleibt bei einer Versuchs-Serie die Aufhängung in gleicher Lage, so ist die Korrektur bezüglich der Bremskraft eine konstante, bezüglich der Leistung proportional der Umdrehungszahl. Trägt man, wie dies bei Aus-

arbeitung der Versuche geschehen ist, die Werte dieser Grössen als Ordinaten auf eine Abszissenachse, auf der die minutlichen Umdrehungszahlen eingetragen sind, so kommt die Korrektur als Parallelverschiebung der Bremskraft oder Momentenkurve zum Ausdruck; es wird also der allgemeine Verlauf derselben wohl quantitativ, aber nicht qualitativ geändert, was für die spätern Erörterungen von Wichtigkeit ist.

Die zur Messung der Bremsbelastung verwendete Wage (von Ammann und Wild in Ermatingen) ist eine eiserne Dezimalwage mit zwei Laufgewichten, mit denen die

Wagebelastung auf Zehntelkilogramm abgelesen und auf Dekagramm geschätzt werden kann; die Wage wurde vor den Versuchen kontrolliert und deren Angaben richtig befunden.

Für die Zählung der Umdrehungszahlen war ein akustisches Signal angebracht; bei jedem Zustand wurde von mehreren Beobachtern gleichzeitig gezählt und zwar immer während einer ganzen Minute.

Die Bremse funktionierte während der ganzen Versuchsreihe anstandslos bis zu etwa 80 minutlichen Umdrehungen; unter dieser Tourenzahl war eine Einstellung nicht mehr durchführbar. Die Tara des Bremszeuges wurde vor oder nach jeder Versuchs-Serie, mehrfach auch doppelt bestimmt.

d) Messung der äussern Widerstände.

Dieselbe erfolgte durch Ablaufversuche, indem nach Demontieren des Saugrohres ein Riemenantrieb eingerichtet wurde, mittelst dessen die unbeaufschlagte Turbine von der in ihrer Nähe befindlichen Hochdruckturbine von Bell in Umdrehung versetzt werden konnte. Da die Welle der letztern horizontal liegt, musste ein Leitrollenpaar eingeschaltet werden, das samt Lagerung von der Firma Hürli- mann in Zürich geliefert wurde; die Disposition ist aus Abbildung 11 ersichtlich. Der Ablaufzustand wurde herbeigeführt durch Abwerfen des Riemens, was am Leitrollen- ständer leicht ausgeführt werden konnte.

Die Messung der Umdrehungszahlen erfolgte durch ein von Usteri-Reinacher für die hydraulische Abteilung geliefertes Registrierwerk (siehe Abbildung 12), das im Wesen aus einem von einem Uhrwerk angetriebenen Morse- apparat besteht, bei dem für die Einstellung verschiedener Geschwindigkeiten der Papierbahn ein Differentialtriebwerk und Stufenschnurrollen, sowie zum Ein- und Ausrücken eine Kupplung verwendet ist. Der Apparat hat zwei Schreib- stift, von denen der eine von Hand aus betätigt werden kann und die auf Abbildung 13 ersichtlichen obren Linien ergibt, wenn man in bestimmten, an einer Uhr beobachteten Zeitintervallen an einem Hebel drückt. Der andere Schreib-

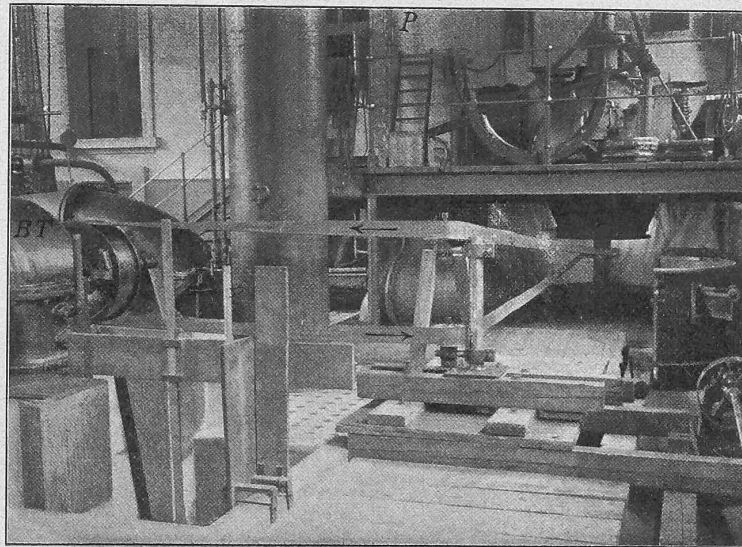


Abb. 11. Leitrollenantrieb für die Ablaufversuche.
BT = Bell-Turbine, P = Piezometer für die Oberwasser-Stände.

stift wird vom Anker eines Elektromagneten bewegt, dessen Magnetisierung durch Einschalten eines Stromes erfolgt, wofür im gegebenen Fall eine Kontakteinrichtung mit der früher erwähnten akustischen Signaleinrichtung verbunden war, sodass bei jeder Umdrehung ein Stromschluss und damit eine Aufzeichnung erfolgte, wie dies aus der untern Linie der Abbildung 13 zu ersehen ist.

Die Kontakteinrichtung ist vom Maschinisten der elektrischen Abteilung des Laboratoriums installiert worden; der Strom wurde der Akkumulatorenbatterie des Laboratoriums entnommen, nachdem sich herausgestellt hatte, dass bei grossen Tourenzahlen ein von 12 galvanischen Elementen gelieferter Strom noch nicht genügt; es musste dann zu dem Zweck ein Lampenwiderstand vorgeschaltet

es sind die Versuche für jeden Beaufschlagungszustand im Prinzip derart durchgeführt worden, dass nach geeigneter Einstellung der Wasserlieferung mit einer Bremsbelastung begonnen wurde, bei der die minutliche Umdrehungszahl der Turbine zwischen den Werten 100 bis 120 in der Minute sich einstellte; bei kleinern Beaufschlagungen begann man auch bei noch niedrigeren Werten. Dann wurde die Bremsbelastung gesteigert, bis jene kleinste Umdrehungszahl erreicht war, bei der sich mit der Bremse noch ein guter Beharrungszustand erzielen liess, und von da ab wurde die Bremsbelastung wieder in, dem Bedarf entsprechenden, mehr oder weniger gleichmässigen Intervallen vermindert bis zum Leerlauf.

Hierauf wurde bis zum Stillstand abgebremst, wobei

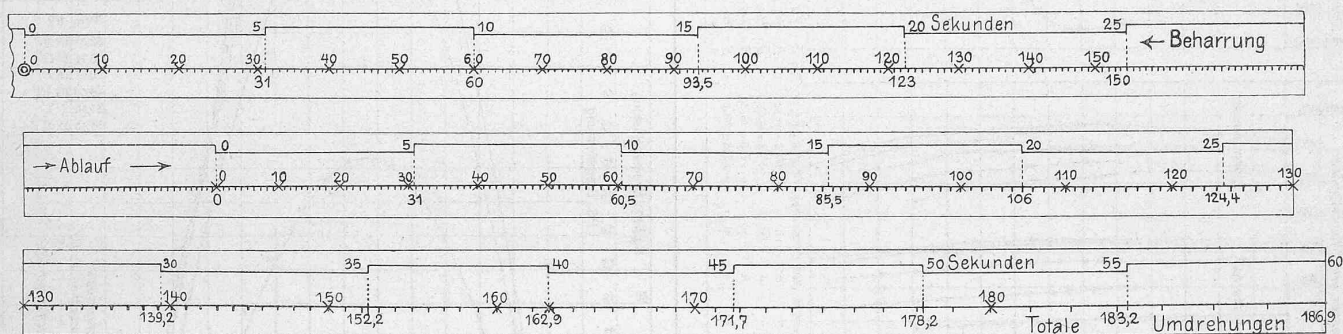


Abb. 13. Registrierstreifen eines Ablaufversuches.

werden. Nach Installation dieser Einrichtungen funktionierte der ganze Apparat anstandslos.

E. Die Versuche.

Ueber die Durchführung der Wassermessungen mit den hydrometrischen Flügeln ist bereits sub D, b berichtet.

Die Bremsversuche waren in folgender Weise organisiert:

Die Piezometer- und Pegelablesungen zur Gefällsbestimmung, sowie die Wageablesungen wurden von Herrn Ingenieur Allitsch, Assistent am eidgen. Polytechnikum, besorgt¹⁾, die Ablesungen an den Schwimmern und am Schiebepegel des Ueberfalls für die Wassermessungen, sowie die gesamte Protokollierung der Beobachtungen vom Berichtserstatter durchgeführt; die Zählung der minutlichen Umdrehungszahl erfolgte beiderseits.

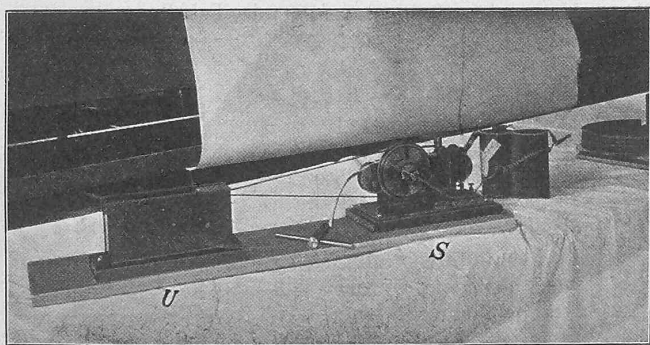


Abb. 12. Das Registrierwerk. (U Uhrwerk, S Registrierwerk.)

Die Bremse wurde zum Teil vom Maschinisten der hydraul. Abteilung, Herrn Krebser, zum Teil von einem der Hilfsarbeiter des Maschinenlaboratoriums geführt; die Einstellung der Beaufschlagung, sowie alle für die Herstellung der verschiedenen Versuchszustände notwendigen Montagearbeiten sind ebenfalls von Letztgenanntem besorgt worden.

Jedes Rad wurde, wie schon eingangs erwähnt, bei verschiedenen Gefällen und Beaufschlagungen gebremst und

¹⁾ Herrn Allitsch sei für seine dienstbereite und gewissenhafte Mithilfe bei Vornahme der Versuche und bei Berechnung der Versuchsergebnisse der beste Dank ausgesprochen.

mit Rücksicht auf die Veränderlichkeit des Bremsdruckes bei verschiedenen Stellungen des Laufrades gegen das Leitrad in einigen Fällen mehrere Aufnahmen stattfanden. (Auf eine eingehende Untersuchung dieser Erscheinung wurde dermalen verzichtet, dieselbe bleibt für später vorbehalten.) Nach jeder solchen Versuchsreihe wurde die Tara gemessen.

Die Beobachtungsziffern wurden gleichzeitig mit der Protokollierung graphisch registriert durch Diagramme, in welchen auf den Umdrehungszahlen als Abszissen die zugehörigen Werte von Gefälle, Ueberfallshöhe und Bremsbelastung als Ordinaten eingetragen wurden. Zeigten sich, wie z. B. bei Rad II, auffällige Erscheinungen im Verlauf der erhaltenen Kurven, so wurden die Versuche ein- oder mehrmals, eventuell unter Gefällswechsel wiederholt. Solche Diagramme sind in den Abbildungen 14, 15, 16, 17 (S. 98 und 99) dargestellt.

Nachdem sich die auf Seite 82 erwähnte Möglichkeit ergeben hatte, die Versuche in dem Sinne durchzuführen, dass die Turbine bei fest eingestellter Beaufschlagung das ganze, von der Zentrifugalpumpe geförderte Wasser konsumieren musste, wurden bei Vollbeaufschlagung die Parallelversuchs-Serien, d. i.: 1. die Bremsung bei möglichst konstantem Gefälle, 2. die Bremsung bei möglichst konstanter Wassermenge systemisiert. Die Diagramme (Abb. 18, S. 98) geben eine Vergleichung solcher Parallelversuche mit Rad II.

Bei diesen Versuchsserien wäre es sehr günstig gewesen, wenn sich trotz der hierbei auftretenden Variationen des Oberwasserstandes die Lieferfähigkeit der Pumpe leicht hätte konstant halten lassen können. Möglich wäre dies wohl gewesen, indem es nur einer genauen Einstellung der Pumpe auf die nötige Tourenzahl oder aber eines regulierbaren Seitenabflusses bedurft hätte. Letzteres wurde tatsächlich versucht, doch stellte sich die Anwendung beider Hilfsmittel als derart zeitraubend heraus, dass von ihrer Verwendung Abstand genommen, dafür jedoch für die Erhaltung möglichst vieler Beobachtungen bei verschiedenen Gefällen unter sonst gleichen Verhältnissen gesorgt wurde.

In der gezeichneten Versuchsserie für konstanten Wasserkonsum hört die starke Steigung der Gefällslinie bei $n = 220$ wieder auf, da von da ab wiederum Ueberlauf eingetreten ist. Bei spätern Versuchen wurde durch Verkleinerung des Anfangsgefälles diesem Uebelstand abgeholfen

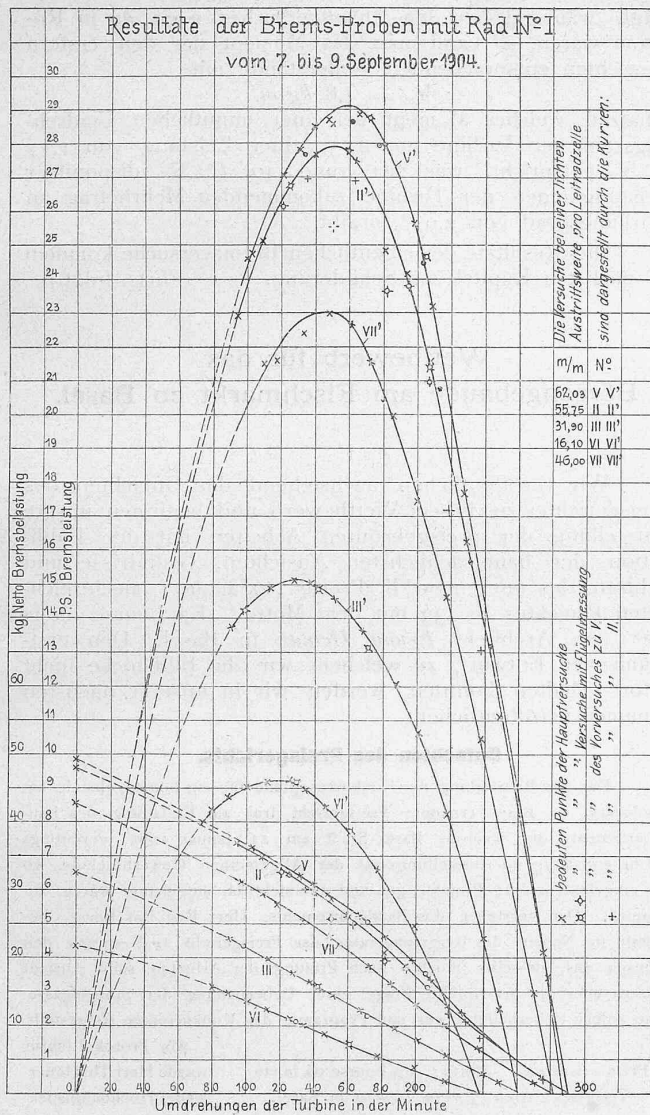


Abb. 17. Bremsproben-Ergebnisse bei Rad II.

Hierbei bedeuten ω die Winkelgeschwindigkeit, t die Zeit, M das wirksame Moment und J das Massenträgheitsmoment bezogen auf die Drehachse.

Während der Ablaufperiode ist $M = -M_w =$ dem durch Zapfenreibung, durch Ventilationswirkung und Luftwiderstand der in der Luft rotierenden Teile, sowie durch alle sonstigen kraftverzehrenden Einflüsse bestimmten Widerstandsmoment. Zu letztem gehören im gegebenen Fall, die Reibung der für die Kühlwasserzuführung angebrachten Schleifringe und der Feder, die als Anschlag am Keil der Bremsscheibe die akustische Signallvorrichtung für die Tourenzahl bildete, und welche daher bei den Ablaufversuchen in gleicher Weise montiert und in Funktion waren, wie bei den Hauptversuchen.

Es wären hiezu auch alle jene Widerstände zu rechnen, die durch Waten der rotierenden Teile im Wasser entstehen, doch ist die Anwendung der Ablaufmethode für die Bestimmung dieser Verluste in der vorliegenden Versuchsdiskussion nicht durchführbar und es muss die Erweiterung der Versuche nach dieser Richtung hin noch vorbehalten bleiben.

Wäre M_w während der ganzen Ablaufperiode konstant, so müssten die erhaltenen, im Diagramm dargestellten Kurven Parabeln sein, wie aus folgendem zu ersehen ist.

$$\text{Aus } \frac{d\omega}{dt} = -\frac{M_w}{J} \text{ folgt}$$

$$\omega = \omega_0 - \frac{M_w}{J} \cdot t = \frac{d\varphi}{dt}$$

wobei φ den Bogen bedeutet, der dem totalen Winkel ent-

spricht, um den sich die rotierenden Teile seit Beginn der Beobachtungen gedreht haben; es ist daher, wenn z die totale Umdrehungszahl bedeutet, $\varphi = 2\pi z$. Wenn ω_0 die Winkelgeschwindigkeit darstellt zur Zeit $t = 0$, also zu Beginn der Ablaufperiode, so folgt hiermit:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\omega_0}{2\pi} - \frac{M_w}{2\pi J} \cdot t \text{ und}$$

$$z = \frac{\omega_0}{2\pi} t - \frac{M_w}{4\pi J} t^2,$$

da für $t = 0$, auch $z = 0$ ist.

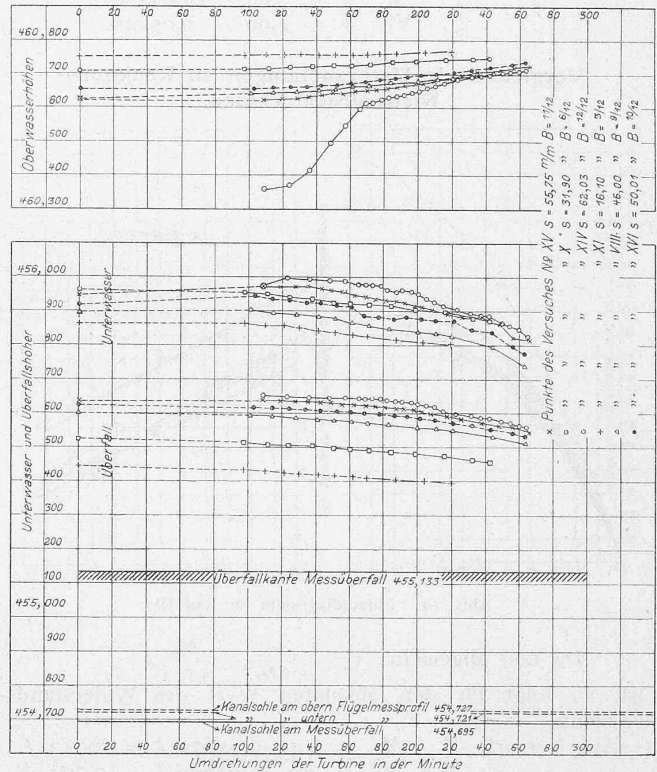


Abb. 15. Gefälls- und Ueberfallsbeobachtungen. Rad II.

Mit $M_w =$ konstant ist dies die Gleichung einer Parabel, da $\frac{\omega_0}{2\pi}$ und $\frac{M_w}{4\pi J}$ Konstante sind.

Um nun die Ablaufkurve zu untersuchen, kann man sich durch eine einfache Umformung ein leicht übersichtliches Verfahren herausbilden: Dividiert man nämlich jedes beobachtete z durch die zugehörige Zeit t (z und t sind am Registrierstreifen ablesbar), so erhält man

$$\left(\frac{z}{t}\right) = y = \frac{\omega_0}{2\pi} - \frac{M_w}{4\pi J} \cdot t;$$

dies ist die Gleichung einer Geraden mit t als Abszisse und y als Ordinate.

Die Anfangsordinate dieser Geraden hängt nur von der bei Beginn der Ablaufperiode vorhandenen Winkelgeschwindigkeit ω_0 und die Neigung derselben gegen die Koordinatenachsen von der Grösse von M_w ab. Ist M_w für alle Versuchsreihen konstant, so erhält man parallele Gerade und wenn man innerhalb einer Versuchsreihe von verschiedenen Zeitpunkten ausgeht, so erhält man ebenfalls parallele Gerade. Ist M_w innerhalb einer Versuchsreihe nicht konstant, so erhält man mit $y = \frac{z}{t}$ eine von den Geraden abweichende Kurve.

Aus den für Rad III erhaltenen Ablaufkurven wurden mit diesem Verfahren die Kurven der Abbildung 19 (S. 100) abgeleitet, aus denen ersichtlich ist, dass zwar weder innerhalb einer Versuchsreihe die y -Kurven rein linear sind, noch dass die Kurven der einzelnen Versuche parallel verlaufen; ein Zeichen, dass die äusseren Widerstände nicht nur innerhalb einer Versuchsreihe, sondern auch von Versuchsreihe zu Versuchsreihe variieren. Das letztere ist jedenfalls, da

