Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 11

Artikel: Aus dem modernen Wasserturbinen-Bau
Autor: Perrig, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83284

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: 16.12.2025

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

und schalltechnischen Gründen zu empfehlen. Nur die Forderung von mehr Fassaden-Lichtfläche oder Gewichtsverminderung kann zur Ausbildung von Eisenbetonpfeilern oder Stahlstützen führen.

4. Der Zeitaufwand, der für die Erstellung eines gemauerten Pfeilers benötigt wird, ist nicht grösser als für einen Eisenbetonpfeiler, selbst wenn bei bester Organisation die Rundeisen in fertig geflochtenem Zustande und die Schalungen versetzbereit auf den Bauplatz gelangen.

5. Bei den heute üblichen Raumtiefen, den normalen Fensteraxabständen und bei dem baugesetzlich festgelegten Verhältnis der Fensterfläche zur Bodenfläche, ist bei Bauten bis zu fünf Stockwerken das Mörtelmauerwerk als Traggebilde wirtschaftlich und hinsichtlich des Baufortschrittes, sowie aus wärme- und schalltechnischen Gründen zweckmässig. Bei den selben Verhältnissen kommt vom 3. bis zum 11. Stockwerk aus wirtschaftlichen Gründen das Eisenbetonskelett und vom 12. Stockwerk ab das Stahlskelett bzw. die Verbundbauweise in Betracht.

6. Die Eisenbetonvorschriften 1934 gestatten für Eisenbetonstützen ganz wesentliche Querschnittsverminderungen, was sich zudem wirtschaftlich günstig auswirkt.

Vergleichsberechnungen (siehe Tabelle 2) ergeben:

a) Mit dem selben Kostenaufwande ist es möglich, mit normalem Beton und schlaffen Stahleinlagen, Pfeiler von 70 % und mit hochwertigem Beton solche von nur 40 % des nach den Vorschriften von 1915 erforderlichen Querschnittes zu bauen.

b) Die Verwendung von spiralarmierten, runden oder vieleckigen Stützen gestattet bei dem selben Kostenaufwand unter Verwendung von normalem Beton bzw. hochwertigem Beton die Ausbildung von Pfeilerquerschnitten, die gegenüber den Normen von 1915 nur mehr 55 % bzw. 45 % betragen.

7. Die Verbilligung eines Eisenbetonpfeilers, berechnet nach den Normen von 1915 gegenüber einem Pfeiler mit normalem Beton auf Grund der Verordnung von 1934 beträgt bis 25 % und gegenüber einem Pfeiler mit hochwertigem Beton bis 30 %. Aehnlich sind die Verbilligungen bei den spiralarmierten Pfeilern.

8. Bei gleichem, möglichst geringem Querschnittaufwand ist bei grossen Pfeilerlasten (z. B. 200 t) die runde spiralarmierte Stütze mit hochwertigem Beton nach den Normen 1934 am wirtschaftlichsten. Der rechteckige Pfeiler mit hochwertigem Beton und die spiralarmierte Stütze mit normalem Beton sind rd. 20 % teurer. Die Verwendung von hochwertigem Beton gestattet also nicht nur Querschnittsverringerungen, sondern auch Kosteneinsparungen. Die Stahlstütze bzw. die Verbundstütze erfordern einschliesslich der feuersicheren Umhüllung einen Kostenmehraufwand von rd. 20 % bzw. rd. 15 % gegenüber einer normal armierten Stütze mit hochwertigem Beton nach den Normen von 1934.

9. Die Verwendung von normalem Beton bei kleinen Pfeilerlasten und von hochwertigem Beton bei grossen Lasten mit jeweils geringsten bis höchst möglichen Eisenprozentsätzen, sowie die Anordnung von Verbundstützen mit hochwertigem Stahl und hochwertigem Beton gestattet für eine grosse Anzahl von Stockwerken die Durchführung einer und derselben Pfeilerdimension.

10. Sofern ein Stahlskelettbau aus baulichen Gründen zur Ausführung kommt, verbilligt die Verbundbauweise unter der Voraussetzung, dass eine feuersichere Ummantelung Bedingung ist, die Pfeilerkonstruktionen. Sie gestattet, je nach der Anzahl Stockwerke für die Stützen allein 30 bis 45 % Ersparnis an Stahl.[4])

11. Die Verordnung 1934 erlaubt die Erstellung von Eisenbetonstützen von ungefähr gleichen Querschnitten, wie sie erforderlich sind für Stahlstützen einschliesslich feuersicherer Ummantelung.

Die für die Stützen absolut wirtschaftlichste Form ist aber nicht diejenige mit dem geringsten Querschnitt, sondern jene mit dem geringsten Eisenprozentsatz (s. Tab. 2).

Bei Fundationen auf wenig tragfähigen Bodenarten kann aber die Stütze mit dem geringsten Eigengewicht zweckmässig sein. In den graphischen Darstellungen Tabelle 2 sind für Pfeilerlasten von 240 t bzw. 40 t die Beziehungen zwischen den Kosten pro m und den erforderlichen Querschnitten dargestellt. Schon für eine Belastung von 35 t ist der Eisenbetonpfeiler dem Backsteinpfeiler und dem Stampfbetonpfeiler wirtschaftlich überlegen. Auch sind darin deutlich die Fortschritte hinsichtlich Verbilligung und Querschnittsverringerung von Stützen bei Anwendung der Vorschriften 1934 gegenüber jenen von 1915 ersichtlich.

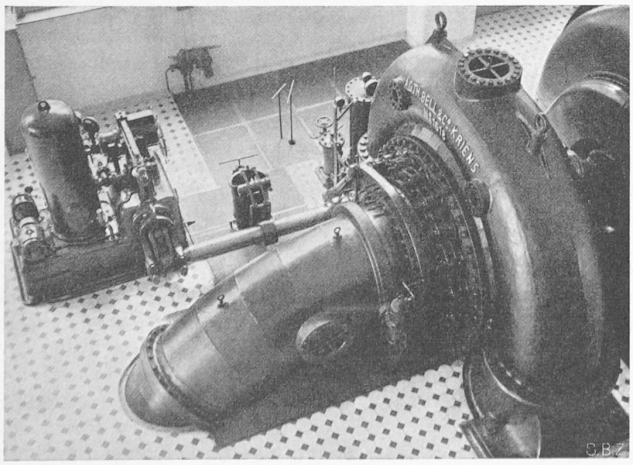

Abb. 8. Spiralfrancisturbine der A.-G. Th. Bell & Cie. (Kriens) für die Zentrale Unteraa des Lungernsee-Kraftwerks. 22750 PS, H 203 m, 428 U/min.

Aus dem modernen Wasserturbinen-Bau.

Von A. PERRIG, Dipl. Ing. S.I.A., Luzern. (Schluss von Seite 103)

Ins Gebiet der Hochdruck-Francis-Turbinen führt uns Abb. 8; sie veranschaulicht eine der beiden Spiralturbinen von je 22750 PS Höchstleistung bei 202,75 m und 428 U/min für die jüngste grosse Erweiterung der *Zentrale Unteraa* der Zentralschweizerischen Kraftwerke. Da der „SBZ" ein einlässlicher Aufsatz über diese Anlage von berufener Seite zugesagt ist, sehen wir an dieser Stelle von weitern Ausführungen ab. Mitteldruck-Verhältnissen entsprechen die in Abb. 2 (S. 102) dargestellten Zwillings-Spiralturbinen und die vertikalachsigen einfachen Francis-Spiralturbinen der spanischen *Anlage Jándula* (Abb. 9 bis 13). Zum Verständnis der turbinentechnischen Lösung dieser Anlage müssen wir etwas weiter ausholen.

Die Flüsse des gebirgsreichen Spanien weisen durchwegs ausserordentlich grosse Schwankungen ihrer Abflussmengen auf. Langandauernde Perioden grösster Trockenheit, die infolge Ausbleibens aller Niederschläge zum völligen Versiegen der Wasserläufe führen können, wechseln mit Perioden sintflutartig auftretender Hochwasser, während denen geradezu unglaublich anmutende Wassermengen zum Abfluss gelangen. Die ausserordentliche Wichtigkeit, die bei solchen Verhältnissen der Wasserspeicherung, d. h. dem künstlichen Ausgleich der Abflussmengen zukommt, ist in die Augen springend. Dank des privaten Unternehmungsgeistes und seiner grosszügigen staatlichen Förderung sind denn auch in Spanien die verschiedenen Flussgebiete nach einheitlichen Gesichtspunkten planmässiger erforscht und eine ganze Reihe von Ausgleichbecken projektiert und zum Teil bereits verwirklicht worden, die den Bedürfnissen der Bewässerung und jenen der Krafterzeugung bestens gerecht werden.

Eines der grössten dieser Akkumulierbecken in Spanien und wohl in Europa ist jenes, das von der Gesellschaft Canalizacion y Fuerzas del Guadalquivir am Rio Jándula, einem

[4]) *F. von Emperger:* „Verbundsäulen". Kongress Paris 1932.

Seitenfluss des Guadalquivir-Oberlaufes gebaut wurde. Durch eine als Gewichtstaumauer ausgeführte Talsperre von 93 m grösster Höhe, bei etwa 88 m Sohlen- und 4 m Kronenstärke und rd. 350 000 m³ Kubatur des Mauerwerkes, wird das Tal des Jándula abgeriegelt und ein nutzbarer Stauraum von 350 Millionen m³ geschaffen. Da die totale Jahresabflussmenge des Rio Jándula von einem Jahr zum andern stark wechselt, ist die Möglichkeit gleichmässiger Wasserentnahme, d. h. einer Wasserentnahme nach Massgabe der Bewässerungsbedürfnisse nur dann gewährleistet, wenn die jeweilige Akkumulierung eine Zeitspanne von mehreren Jahren — von trockenen wie auch nassen — zu umfassen vermag. Aus diesem Grunde bleibt das alljährlich ausnutzbare Stauvolumen auf etwa 180 Mill. m³ beschränkt; die maximale Absenkung beträgt rund 56 m.

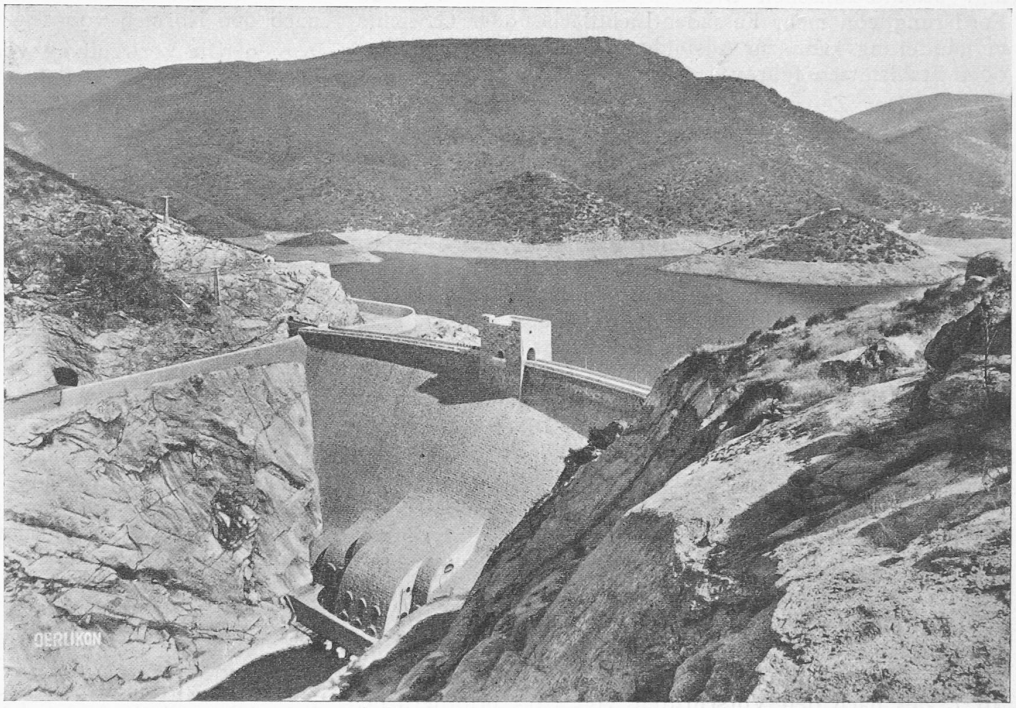

Abb. 9. Gesamtbild der Staumauer mit angebauter Kraftzentrale Jándula, Spanien.

Die im Stausee schlummernde Energie wird in einem unmittelbar an die Talsperre angebauten Kraftwerk in elektrische umgesetzt, wobei das verfügbare Rohgefälle zwischen 85 bis 29 m wechselt. Die Notwendigkeit, in erster Linie der Bewässerung Rücksicht zu tragen, legt der Kraftnutzung gewisse Beschränkungen auf und bestimmt die Grösse der durchschnittlich ausnützbaren Tages-Wassermengen. Das Betriebsjahr (vgl. Diagramm in Abb. 10) gliedert sich für die Stauhaltung und Krafterzeugung in drei markante Perioden von je vier Monaten: eine Winterperiode reiner Aufstauung bei abgestelltem Kraftwerk, eine daran anschliessende Frühlingsperiode mit Aufstauung und auf 1 bis 4 m³/sec beschränkter Wasserentnahme für Krafterzeugung, schliesslich eine Sommerperiode, während der die nutzbare Wassermenge mit 9 bis 22 m³/sec ihren Höchstwert erreicht. Der Frühlingsperiode entspricht ein Rohgefälle von 85,5 bis 55 m, der Sommerperiode ein solches von 83 bis 29 m.

Das dem Turbinenbauer gestellte, überaus reizvolle Problem lässt sich somit auf die Formel bringen, Turbinen zu finden, die gestatten, eine Wasserkraft mit einem variablen Gefälle von 85,5 bis 29 m und einer variablen Wassermenge von 1 bis 22 m³/sec möglichst restlos, d. h. bei dauernd guten Wirkungsgraden auszunützen. Dieses Problem ist identisch mit der Forderung, eine Turbinenkombination zu verwirklichen, die sowohl gegen Beaufschlagungs- wie Gefällswechsel in weitesten Grenzen unempfindlich ist. Auf Grund weitestgehender Spezialversuche in ihrer Versuchsanstalt ist es der Firma Bell gelungen, eine Reihe von Radtypen zu schaffen und eingehend zu erproben, die die Eigenschaften des Langsam- und des Schnelläufers in vorzüglicher Weise vereinigen und die ihr gestatteten, dem bei der Anlage Jándula gestellten turbinentechnischen Problem gerecht zu werden.

Die Anlage umfasst drei vertikale Francis-Spiral-Turbinen: Eine erste kleinere Gruppe von max. 4500 PS (mit Rücksicht auf die Generator-Kapazität auf 4100 PS limitiert) und 500 U/min ist bestimmt, vorwiegend in der Frühlingsperiode zu arbeiten; sie nützt die kleinen Wassermengen von 1 bis etwa 5 m³/sec bei 85,5 bis 53 m aus. Das Laufrad dieser Gruppe ist so entworfen, dass es diese ganze Gefällsvariation bis herab zu kleinen Beaufschlagungen mit sehr guten Wirkungsgraden zu umfassen vermag.

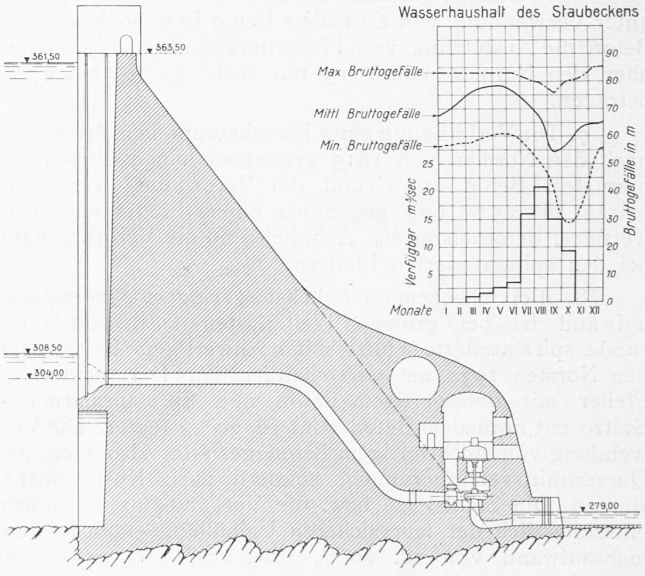

Abb. 11. Schnitt 1 : 1250. Abb. 10 (oben) Wasserhaushalt.

Zwei weitere unter sich genau gleiche Turbinen, jede von max. 10 300 PS (wie oben auf 8620 PS limitiert) und 375 U/min, bestimmt, vorwiegend in der Sommerperiode zu arbeiten, nützen einzeln oder zusammen die Wassermengen von 5 bis 22 m³/sec aus. Da es nicht möglich ist, ein Francisrad zu entwerfen, das die gesamte Gefällstufe von 83 bis 29 m mit dauernd guten Wirkungsgraden zu überspannen vermöchte, wurde jede dieser grössern Turbinen mit zwei unter sich rasch auswechselbaren Rädern ausgerüstet: Rad I überspannt die Gefällszone von 83 bis etwa 45 m, und wird dann durch Rad II ersetzt, das der untern Zone bis herab zu 29 m Genüge leistet, wie aus dem Betriebsdiagramm Abb. 13 der entsprechenden Modellturbine ersichtlich.

Die Aufstellung vertikaler Gruppen (vgl. Abb. 11 und 12) liegt nicht allein begründet in der Möglichkeit günstiger Wasser-Zu- und Abführung, in der Möglichkeit, das Sauggefälle und damit die Kavitations- und Korrosionsgefahr auf ein Mindestmass zu beschränken, in der Möglichkeit schliesslich, den Raumbedarf der Zentrale und die Spann-

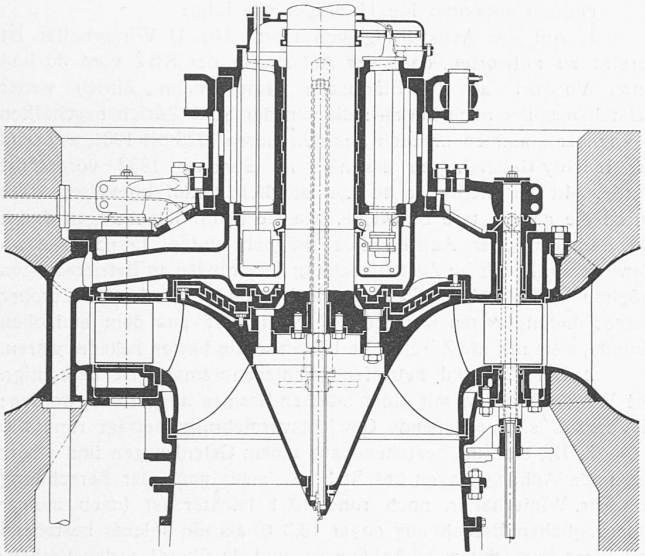

Abb. 12. 10 000 PS-Turbinen Jándula für H = 83 m bis 29 m. — Hauptschnitt 1 : 30.

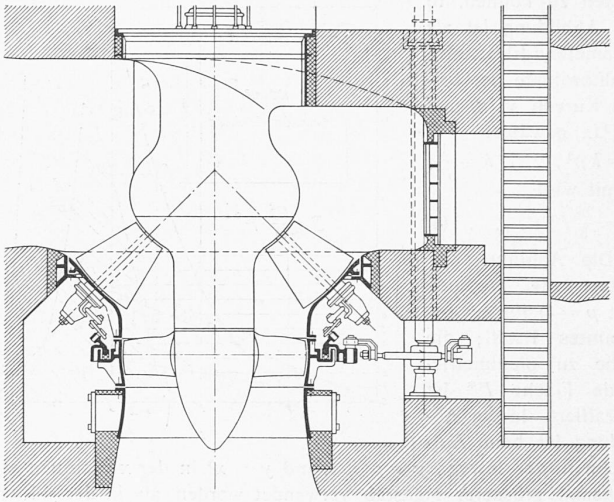

Abb. 14. Propeller-Turbine mit regulierbarem Laufrad und konischem Leitapparat Pat. Bell für die Anlage Jonnage. 6000 PS, H 12 m, 214 U/min. — 1 : 100.

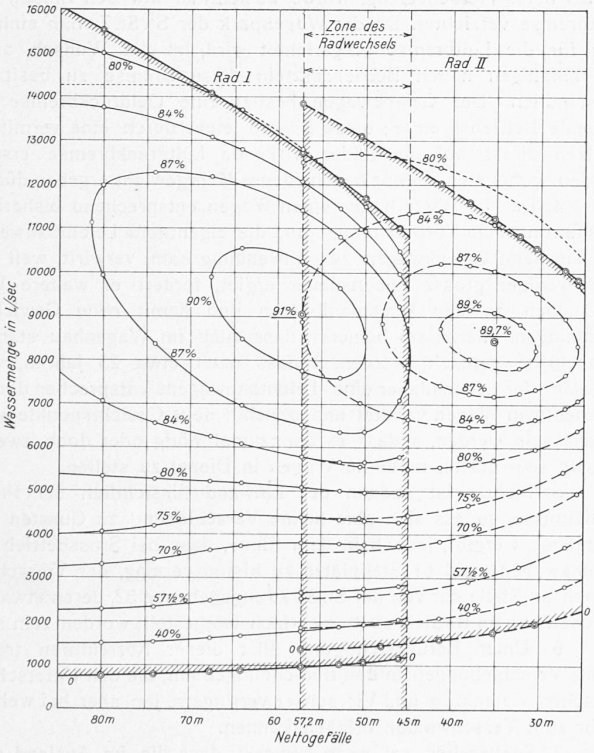

Abb. 13. Betriebcharakteristik der Modellturbine für die grossen Turbinen Jándula.

weite der Krane aufs Aeusserste zu vermindern. Abgesehen von alldem drängte sich die vertikale Anordnung deshalb gebieterisch auf, weil der Unterwasserspiegel einer maximalen Schwankung von 10 m unterliegen kann. Durch die vertikale Anordnung ist es nun ohne weiteres möglich, die Generatoren über dem höchsten Unterwasserspiegel aufzustellen und damit vor Ueberflutung zu schützen. Die konstruktive Durchbildung der Turbine ist aus Abb. 12 ersichtlich.

Sodann geben wir als Beispiel einer Niederdruck-Anlage in Abb. 14 die Disposition einer Propellerturbine mit automatisch regulierbarem Laufrad und konischem Leitapparat (Patent Bell) wieder.[2] Diese Turbine, die nächstens zur Ablieferung gelangt, ist für das französische Kraftwerk Jonnage der Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône bestimmt und für rund 6000 PS bei 12 m Gefälle und 214 Uml/min berechnet.

[2]) Vgl. die Konus-Turbine von Ing. W. Zuppinger (†) in Bd. 70, Seiten 130*, 146* und 254* (1917); Bd. 73, S. 157* (1919). Red.

Neue Methode zur Bestimmung des Trägheitsmomentes eines beliebigen Querschnitts.

Gemäss Definition ist das Trägheitsmoment eines Flächenstücks bezüglich einer Geraden seiner Ebene, der Trägheitsaxe, das über das Flächenstück zu erstreckende Integral

$$J = \int y^2 \, df, \qquad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

worin y den Abstand des Flächenelements df von der Trägheitsaxe bedeutet. Zur Bildung dieses Doppelintegrales stehen zwei Möglichkeiten offen:

1. Zunächst Integration über x durch Bildung von Flächenstreifen dt parallel zur Trägheitsaxe, und danach Integration über y. Darauf beruht die Methode von Mohr.

2. *Die neue Methode:* Zuerst wird über y integriert und erst nachher über x. Die Integration über y ergibt:

$$dJ = \frac{1}{3} (y^3{}_1 - y^3{}_2) \, dx$$

Durch Integration über x erhält man:

$$J = \frac{1}{3} \int_{x_1}^{x_2} (y^3{}_1 - y^3{}_2) \, dx$$

Wenn die obere und untere Berandung $y_1 = f(x)$ und $y_2 = \Phi(x)$ bekannt sind, lässt sich das Integral analytisch bestimmen. Andernfalls muss graphisch integriert werden. Zu diesem Zweck bestimmt man die Kurven $y_1{}^3(x)$ und $y_2{}^3(x)$.

Die von diesen Kurven eingeschlossene Fläche ist

$$F = \int_{x_1}^{x_2} (y^3{}_1 - y^3{}_2) \, dx.$$

Somit ist $$J = \frac{1}{3} F \qquad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Die Fläche F lässt sich durch Planimetrieren leicht feststellen.

Bemerkungen zur Anwendung der Methode. In praxi geht bei gegebener Berandung $y_1(x)$ die Kurve $y_1{}^3(x)$ leicht über den Papierrand hinaus. Man wird sie deshalb in einem den Querschnittsdimensionen angepassten Grade verkürzen, d. h. statt ihrer die Kurve $k\,y_1{}^3(x)$ benutzen, wo k ein geeigneter Verkürzungsfaktor ist. Die von den Randkurven $k\,y_1{}^3(x)$ und $k\,y_2{}^3(x)$ umschlossene Fläche F^* ist $= k\,F$, sodass $$J = \frac{F}{3} = \frac{F^*}{3k} \qquad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

wird. Um zu den Werten y_1 die Werte $k\,y_1{}^3$ bequem zu ermitteln, zeichne man sich die Gerade $\sqrt[3]{k}\,y = x$ und die Parabel $z = x^3$ auf. Die Gerade liefert zu der Ordinate y_1 die Abszisse $x = \sqrt[3]{k}\,y_1$; zu dieser Abszisse liefert die Parabel die Ordinate $z = (\sqrt[3]{k}\,y_1)^3 = k\,y_1{}^3$. Man braucht sich also ausser der einen Parabel nur eine Strahlenschar durch den Koordinatenursprung mit verschiedenen Parametern p anzulegen, um alle etwa vorkommenden Querschnitte leicht aus-