Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 75/76 (1920)
Heft: 13

Artikel: Zur Festigkeitslehre
Autor: Potterat, L.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36527

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

INHALT: Zur Festigkeitslehre. — Die Pumpen-Anlage des hydraulischen Kraftakkumulierungswerkes Viverone. — Vom „Lehm-Bau". — Vom Ritom-Kraftwerk der S. B. B. — Miscellanea: Eidgenössische Technische Hochschule. Stadtgeometer von Zürich. Elektrische Schweissung im Eisenhochbau. Eine hochbautechnische Auskunftei. Gesellschaft von Freunden der Aachener Hochschule. Untergrundbahn in Madrid. Umbau des „Hôtel des Bergues" in Genf. — Konkurrenzen: Lehr- und Wohngebäude der landwirtschaftlichen Schule in Cernier. Neubau der Volksbank in Payerne. — Nekrologie: A. Flückiger. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Protokoll der Delegierten-Versammlung; Mitteilung des Sekretariates. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Band 76. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 13.**

Zur Festigkeitslehre.

Von Ingenieur *L. Potterat*, Prof. an der E. T. H.

Wohl die grosse Mehrzahl der Bauingenieure ist heute noch der Ansicht, dass die Festigkeitslehre eine auf sicherer Basis fundierte, in weiten Grenzen gültige Wissenschaft sei. In dieser Ansicht werden sie dadurch noch bestärkt, dass auch die meisten für sie bestimmten Lehrbücher diesen Standpunkt vertreten, indem heute der Gegenstand fast genau so behandelt wird wie vor dreissig Jahren, als die Versuchs-Ergebnisse der Festigkeitsanstalten noch nicht vorlagen. In Wirklichkeit ist aber die Festigkeitslehre, infolge der Annahmen, auf denen sie beruht, nur in sehr eng gezogenen Grenzen gültig, wie dies z. B. von Prof. Bach in seinem ausgezeichneten, für Maschinen-Ingenieure bestimmten Werke „Elastizität und Festigkeit" stets hervorgehoben wird.

Die Theoretiker der Festigkeitslehre haben öfters den Grundsatz aufgestellt, dass es Sache der Praktiker sei, die Zulässigkeit ihrer Annahmen zu prüfen und die Folgen des Nichteinhaltens der bei der Berechnung gemachten Voraussetzungen zu beurteilen. Dieser Aufforderung soll hier Folge geleistet werden durch eine kurze Prüfung der der Festigkeitslehre zu Grunde liegenden Voraussetzungen, in der Hoffnung, dass deren Ergebnis die Bauingenieure mahnen wird, bei der Behandlung und Verwertung von Festigkeitsberechnungen vorsichtiger zu sein als es oft geschieht.

1. Der Elastizitätsmodul.

Stellt man den Verlauf der Formänderung eines zentrisch auf Zug oder Druck beanspruchten Probestabes graphisch dar, indem die Beanspruchung σ (in kg/cm^2) als Ordinate, die spezifische Verlängerung λ (in Tausendstel oder Millionstel der ursprünglichen Messlänge) als Abszisse aufgetragen wird, so erhält man eine Kurve, das sog. Spannungs-Dehnungsdiagramm des untersuchten Stabes.

Der durch die ganze Festigkeitslehre sich hinziehende Begriff des „Elastizitätsmodul" ist nun nicht eindeutig bestimmt; man benützt zu seiner Bestimmung zwei Methoden, die Sehnenmethode und die Tangentenmethode, d. h. bald wird der Elastizitätsmodul durch den Neigungswinkel der Sehne vom betr. Kurvenpunkt nach dem Koordinaten-Ursprung, bald durch den Neigungswinkel der entsprechenden Tangente bestimmt. Man trifft daher als Definition des Elastizitätsmoduls manchmal den Ausdruck $\frac{\sigma}{\lambda}$, manchmal aber auch $\frac{d\sigma}{d\lambda}$. Die beiden Ausdrücke bedeuten nur das nämliche, wenn das Diagramm sich auf eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade reduziert, d. h. bei Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes. Das ist jedoch ein schwacher Trost, mit dem man sich heute, wo das *nicht*-lineare Spannungsgesetz unbedingt in der Festigkeitslehre berücksichtigt werden muss und dies graphisch ohne besondere Schwierigkeit geschehen kann[1]), nicht zufrieden stellen wird. Eine Einigung zu Gunsten der einen oder andern der beiden Bestimmungsmethoden ist ebensowenig möglich wie die zwischen Sehne und Tangente; um jede Zweideutigkeit in den Formeln der Festigkeitslehre zu vermeiden, bleibt also nur übrig, beide Definitionen zu berücksichtigen und klar auseinander zu halten durch die Bezeichnungen: für die Sehnenmethode den heute gebräuchlichen

$$\textit{Elastizitätsmodul } E = \frac{\sigma}{\lambda},$$

für die Tangentenmethode dagegen den von Prof. Engesser schon vor 30 Jahren eingeführten

$$\textit{Knickmodul } T = \frac{d\sigma}{d\lambda}.$$

Beide Koeffizienten haben nämlich ihre Berechtigung; der Elastizitätsmodul E tritt besonders bei der Biegungstheorie, der Knickmodul T bei den Knickvorgängen in Erscheinung.

Natürlich sind die beiden Werte von einander abhängig, und es lässt sich einer durch den andern ausdrücken:

$$E = \frac{1}{\lambda}\int T\, d\lambda \text{ und } T = E + \lambda\frac{dE}{d\lambda}.$$

Bei gegebenem Diagramm lässt sich der Wert von E sehr leicht und genau ermitteln, da die Sehne immer bekannt ist. Trägt man dann im Koordinatensystem (E, λ) die E-Kurve auf, so lassen sich die T-Werte ohne Schwierigkeit ermitteln; immerhin ist die Genauigkeit nicht sehr gross, weil dazu die Tangenten an die E-Kurve bestimmt werden müssen. Ist umgekehrt die T-Kurve gegeben, so kann die E-Kurve durch graphische Integration ermittelt werden.

Je nach der Art der Beanspruchung wird man entweder den Elastizitätsmodul E oder den Knickmodul T einführen, um möglichst einfache Ausdrücke zu bekommen. Man wird also für die zentrische Beanspruchung wie üblich

$$P = E \cdot \frac{F\Delta l}{l},$$

für die Knickung aber schreiben:

$$P = T \cdot \frac{\pi^2 J}{l^2}.$$

Durch die Einführung beider Elastizitätskoeffizienten E und T wird bei den Formeln der Festigkeitslehre jede Zweideutigkeit vermieden und eine feste Grundlage für die weitere Entwicklung geschaffen.

II. Die aus der Mechanik starrer Körper übernommenen Annahmen.

Ganz allgemein ist in die Festigkeitslehre die Annahme aus der Mechanik der starren Körper übernommen worden, dass *ohne Aenderung der Wirkung* ein Kräftesystem durch seine Resultierende, bezw. sein resultierendes Kräftepaar ersetzt und dass ein Kräftepaar parallel zu seiner Ebene verschoben werden darf. Bei näherem Zusehen zeigt sich aber, dass diese Annahme unzulässig ist; sie ist es sogar schon in der Mechanik der starren Körper selbst, sobald es sich nämlich um die Berechnung von inneren Kräften handelt. So ist es z. B. bei der Bestimmung der Stabkräfte des gewöhnlichen Fachwerkes mit vertikalen Pfosten nicht angängig, die im obern und im untern Knotenpunkt desselben Pfostens wirkenden Lasten durch ihre Resultierende zu ersetzen, obwohl hier diese Kräfte dieselbe Wirkungslinie besitzen.

In der Festigkeitslehre handelt es sich stets um innere Kräfte; man wird also hier eine gegebene Belastung nicht durch das auf Grund der Statik starrer Körper bestimmte, ideelle resultierende Kräftesystem ersetzen können, ohne die Wirkungen mehr oder weniger zu ändern. Das Rechnen mit Resultierenden an Stelle der wirklich vorhandenen Kräfte muss zu fehlerhaften Ergebnissen führen, und es wird der Fehler um so grösser werden, je grösser der Unterschied zwischen der gegebenen Belastung und dem der Rechnung zu Grunde gelegten, ideellen Kräftesystem ist.

Praktisch wird man natürlich manchmal, wenn die Einführung der wirklich vorhandenen, gegebenen Belastung die Rechnung zu kompliziert oder unmöglich gestalten würde, mit der Resultierenden operieren müssen. Die Ergebnisse sind dann aber nicht mehr als genaue, sondern nur als angenäherte zu betrachten.

[1]) Vgl. *L. Potterat*, «Statique graphique des Corps hétérogènes.» Lausanne 1920, F. Rouge & Cie., besprochen unter «Literatur» in S. B. Z. vom 7. Aug. d. J. *Red.*

Was die Annahme der Verschiebung eines Kräftepaares parallel zu seiner Ebene anbetrifft, so ist dies in der Festigkeitslehre ebenso unzulässig, wie das Ersetzen eines Kräftesystems durch seine Resultierende. Versuche von Prof. Bach („Z. d. V. D. I." 1910, Seite 382 ff.) zeigen z. B., dass bei der Biegung eines [-Eisens Nr. 30 ein Verschieben der Ebene des Kräftepaares um 2,2 *cm*, nämlich von der Stegmitte nach der Schwerpunktsvertikalen, eine Veränderung der Beanspruchung der äussersten Faser von 25 % nach sich zieht.

III. Die Grundlagen der Annahmen der Festigkeitslehre.

Man hat zwei Mittel zur Verfügung, um die Annahmen der Festigkeitslehre auf ihre Richtigkeit zu prüfen und die Grenzen zu bestimmen, über die hinaus sie nicht mehr gültig sind, nämlich: die Versuche der Festigkeitsanstalten und die mathematische Elastizitätstheorie. Diese Mittel werden aber recht selten angewandt und dann noch meistens nur oberflächlich. Man zieht es vor, die gemachten Annahmen als Axiome zu betrachten, was die Sache sehr erleichtert, weil man dann glaubt, die Gültigkeitsgrenzen nicht mehr berücksichtigen zu müssen.

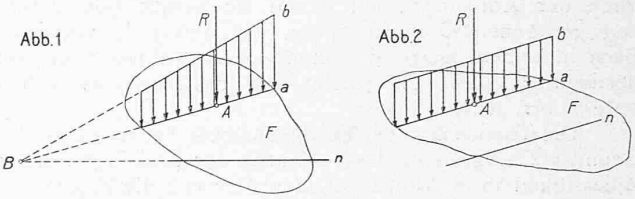
Betrachten wir, als Beispiel, die Annahme des Ebenbleibens der Balkenquerschnitte, eine Annahme, die die Grundlage für die ganze Biegungstheorie der Festigkeits-Lehre bildet. In einem kürzlich erschienenen Lehrbuche wird diese Annahme immer noch als „Bernoullische Annahme" bezeichnet, und für einen beliebigen Querschnitt als gültig angenommen. Irgend ein Beweis dafür wird nicht gegeben; ebensowenig wird untersucht, wie Bernoulli diesen Satz aufgestellt hat. Die Annahme muss einfach als Glaubenssatz hingenommen werden! Wenn aber Prof. Otto Mohr in seiner Abhandlung aus dem Gebiete der Technischen Mechanik VII schreibt, dass für den dort angenommenen Querschnit in Winkelform das Ebenbleiben der Querschnitte eine „von der Erfahrung bestätigte Annahme" sei, so ist dies eben unrichtig.

Die Erfahrung zeigt im Gegenteil, dass das Ebenbleiben der Querschnitte *nur* für einen symmetrischen, in der Symmetrieaxe belasteten Balken gilt; beim nichtsymmetrischen Querschnitt tritt ein Wölben desselben ein und infolgedessen auch ganz andere Beanspruchungen als die auf Grund der Annahme des Ebenbleibens berechneten. Die bereits zitierten Versuche von Prof. Bach an einem in der Schwerpunktvertikalen belasteten [-Eisen zeigen, dass in diesem Fall der Querschnitt drei Punkte mit $\sigma = 0$ enthält, die nicht in gerader Linie liegen. Es gibt also keine gerade Nullinie und somit auch keine ebene Spannungsfläche mehr. Es zeigt sich auch, dass die tatsächlichen Beanspruchungen sich in diesem Falle um 65 bis 90 % höher stellen, als die auf Grund der Biegungslehre berechneten. Die Biegungslehre ist eben wegen der ihr zu Grunde liegenden Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte auf die Behandlung symmetrischer, in der Symmetrieaxe belasteter Balken-Querschnitte beschränkt. Darüber hinaus gibt sie nur angenäherte Werte.

Die mathematische Elastizitätstheorie ist leider nicht in der Lage, der Festigkeitslehre hier auszuhelfen, wie sie es bei der Torsionsfrage gemacht hat. Auch dort wurde zuerst die Voraussetzung des Ebenbleibens der Querschnitte als allgemein gültig angenommen. Erst als sich dabei Widersprüche mit den auf Grund der Elastizitätstheorie erzielten Ergebnissen herausstellten, wurde in der Festigkeitslehre diese Annahme auf den kreisförmigen Querschnitt beschränkt und die Theorie der Torsion der nicht kreisförmigen Stäbe den Angaben der Elastizitätstheorie entsprechend verbessert.

Bei *schiefer* Belastung, d. h. wenn die Belastungsebene mit der Symmetrieebene des Balkenquerschnittes nicht zusammenfällt, wird allgemein das Biegungsmoment in zwei in den Hauptträgheitsebenen des Querschnittes wirkende Momente zerlegt. Auf Grund der Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte und des Superpositionsgesetzes findet man dann, dass die Nullinie durch den zur Spur der Belastungs-Ebene (in Bezug auf die Zentralellipse) konjugierten Durchmesser gegeben ist.

Das kann zur Not für den Fall angenommen werden, wo der Querschnitt in Bezug auf beide Hauptaxen symmetrisch ist, also bei doppeltsymmetrischen Querschnitten (Rechteck, Doppel-T, usw.). Ist dies nicht der Fall, so entbehrt dieses Verfahren jeder Grundlage, und es ist geradezu peinlich zu sehen, wie die Berechnung der unsymmetrischen [- und ⅂-Querschnitte trotz der offenbaren Unrichtigkeit der Annahmen mit aller Finesse durchgeführt wird. Oft werden dabei auch mehrdezimalige Tabellenwerke, z. B. die Meyerhof'schen (die jetzt auch noch im Taschenbuch für Bauingenieure von M. Förster abgedruckt sind) zu Hülfe genommen, in dem guten Glauben, man erhalte dabei genaue Resultate. In Wirklichkeit sind die mit so viel Sorgfalt berechneten Beanspruchungen mit Fehlern von 50 bis 100 % behaftet, weil eben die der Berechnung zu Grunde liegende Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte hier unzulässig ist.



Wie weit es kommen kann, wenn die Gültigkeits-Grenzen der gemachten Annahmen nicht berücksichtigt werden, zeigt am besten die Theorie der Biegung mit Axialkraft. Ist ein Querschnitt z. B. durch ein gegebenes Kräftesystem exzentrisch auf Druck beansprucht, so wird gewöhnlich zuerst die Resultierende dieses Kräftesystems nach den Regeln der Statik starrer Körper bestimmt. Hierauf führt man die Untersuchung ausschliesslich auf Grund dieser Resultierenden durch, ohne sich weiter um das gegebene Kräftesystem zu kümmern, wobei man vergisst, dass es unendlich viele Kräftesysteme gibt, die dieselbe Resultierende haben können.

Nehmen wir an, die Resultierende R sei senkrecht zum gegebenen beliebigen Querschnitt F und habe den Angriffspunkt $A\ (\xi, \eta)$. Die Statik liefert zur Bestimmung der Querschnittspannungen σ die drei Gleichgewichtsgleichungen

$$\left.\begin{aligned} R &= \int \sigma\, dF \\ \xi \cdot R &= \int \sigma\, x\, dF \\ \eta \cdot R &= \int \sigma\, y\, dF \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

wobei die Integrale über den ganzen wirksamen Querschnitt auszudehnen sind.

In der Elastizitätstheorie würde man so vorgehen, dass man versuchen würde, auf Grund des gegebenen Kräftesystems und der elastischen Eigenschaften des Körpers die Spannungsfläche σ zu bestimmen, was allerdings recht kompliziert ist. In der Festigkeitslehre geht man einfacher vor; man nimmt an, die Spannungsfläche sei eine Ebene

$$\sigma = a \cdot x + b \cdot y + c \qquad (2)$$

und bestimmt die unbekannten Koeffizienten a, b und c aus den drei Gleichungen (1). Das Problem ist mathematisch eindeutig bestimmt und man bekommt als Resultat den bekannten Satz, dass die Nullinie die Antipolare des Angriffspunktes der Resultierenden R in Bezug auf die Zentralellipse des wirksamen Querschnittes sei.

Zur Kontrolle sollte man aber untersuchen:

1. Ob die Annahme einer Ebene als Spannungsfläche beim gegebenen Kräftesystem zulässig ist;

2. Wenn ja, ob die durch die gefundene Antipolare und das Kräftesystem gebildete Spannungsfläche wirklich eine Ebene ist.

Diese Kontrolle wird kaum jemals gemacht; macht man sie aber, so sieht man folgendes ein. Die Spannungsfläche kann eine Ebene nur dann sein, wenn das gegebene Kräftesystem so beschaffen ist, dass sämtliche Kräfte in einer Geraden angreifen und deren Verteilung eine lineare ist (also Dreiecks- oder Trapezbelastung (Abbildung 1)

Als praktisch wichtiger Spezialfall ist das geradlinige, gleichmässig verteilte Kräftesystem (Abbildung 2) hervorzuheben. Hat man es aber mit einem solchen in einer Geraden angreifenden, linear verteilten Kräftesystem (Abbildung 1) zu tun, so muss unbedingt die Spannungsebene die Begrenzungs-Gerade b des Kräftesystems enthalten; folglich wird die Nullinie n durch die Spur B derselben mit der Querschnittsebene gehen müssen. Beim gleichmässig verteilten Kräftesystem (Abbildung 2) fällt diese Spur B ins Unendliche; die Nullinie n wird somit parallel zur Belastungslinie a verlaufen; ihre Richtung hängt vom gegebenen Kräftesystem und nicht von der Zentralellipse des Querschnittes ab.

Man sieht also, dass die übliche Theorie der Biegung mit Axialkraft nur in sehr engen Grenzen, nämlich nur für den symmetrischen Querschnitt mit senkrecht zur Symmetrieaxe gleichmässig verteilter linearer Belastung gültig ist.

Steht die Angriffsgerade a der gegebenen, gleichmässig verteilten Belastung nicht senkrecht zur Symmetrieaxe, oder ist der Querschnitt überhaupt nicht symmetrisch, so kann man sich dadurch helfen, dass man die Nullinie parallel zur Belastungslinie a durch den Antipol der letztern (in Bezug auf die Zentralellipse des wirksamen Querschnittes) zieht. Das ist natürlich, wie jede Anwendung der Biegungstheorie auf unsymmetrische Querschnitte, nur eine rohe Annäherung; es ist aber immerhin nicht direkt falsch, wie die übliche Methode, die, von der Voraussetzung einer Spannungsebene ausgehend, in Wirklichkeit auf eine windschiefe Fläche führt.

Ob der Querschnitt Zugspannungen aufnehmen kann oder nicht, ändert an dem oben gesagten grundsätzlich nichts; ist letztgenanntes der Fall, so ist der wirksame Querschnitt unbekannt, wird aber durch eine Parallele zur gegebenen Belastungslinie begrenzt. Die Bestimmung ist also einfacher, als nach der üblichen Methode, bei der es darauf ankommt, einen Prismenstumpf über einem gegebenen Querschnitt so zu bestimmen, dass der Schwerpunkt dieses Körpers eine gegebene Lage hat: ein an und für sich interessantes Problem, das aber mit der Festigkeitslehre nichts zu tun hat.

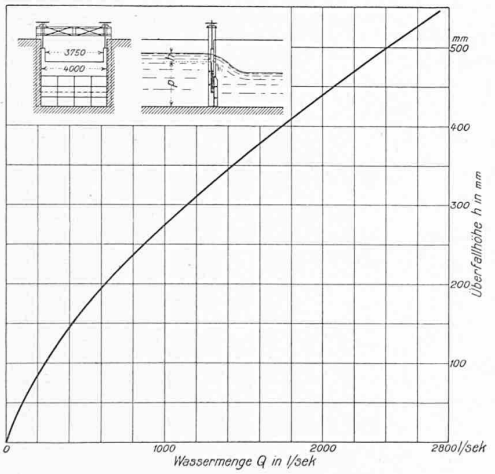


Abb. 8. Kurve der Ueberfallmengen.

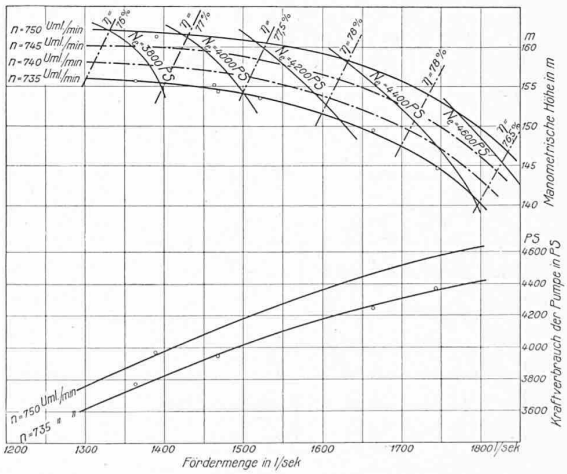


Abb. 9. Charakteristische Kurven der Pumpe von 4500 *PS*.

Aus dieser kurzen Prüfung der Grundlagen der Festigkeitslehre ergibt sich für den Bauingenieur die Notwendigkeit, sich in jedem einzelnen Falle von der Genauigkeit und den Gültigkeitsgrenzen der Formeln der Baustatik Rechenschaft zu geben und die der Berechnung zu Grunde gelegten Voraussetzungen mit den auf dem Bau wirklich vorhandenen Verhältnissen zu vergleichen. Sodann ist darnach zu trachten, die Konstruktionen nach Möglichkeit so anzuordnen, dass die Beanspruchung der Bauteile derart erfolgt, dass die Gültigkeitsgrenzen der betr. Rechnungsmethode der Festigkeitslehre nicht überschritten werden. Dies kann sehr oft mit wenig Mühe erreicht werden.

Die Pumpen-Anlage des hydraulischen Kraftakkumulierungswerkes Viverone.

Von Obering. *G. Müller*, Winterthur.

(Schluss von Seite 132.)

Der Nachweis der angegebenen Garantie-Leistungen hatte naturgemäss am Aufstellungsort zu erfolgen, da die Einrichtungen im Versuchsraum der liefernden Firma für derartige Leistungen nicht ausreichend sind.

Eine Hauptschwierigkeit für die Uebergabe-Versuche bildete die Messung der Fördermenge. Da eine Wassermessung auf der Druckseite ausgeschlossen war, wurde beschlossen, hierfür den 4 m breiten Verbindungskanal zwischen Viverone-See und Pumpensaugkammer (Unterwasserkanal der Turbinen) zu benützen; als Messapparat wurde der Ueberfall ohne Seitenkontraktion gewählt. Die Wassermessung mittels Ueberfall auf der Saugseite der Pumpen hatte den Nachteil, dass die ohnehin grosse Saughöhe der Pumpen um den Betrag der Ueberfallhöhe noch vergrössert wurde, ferner musste die Ueberfallschneide vertikal verschiebbar gemacht werden, denn bei feststehender Schneide wäre entweder bei grosser Pumpenleistung das Saugbassin leer gepumpt worden, und umgekehrt hätte eine kleine Pumpenleistung einen Rückstau bei Ueberfall bewirkt. Es musste also jedesmal, je nach dem beabsichtigten Pumpversuch, die Schneide vorher in die richtige Höhenlage eingestellt werden. Durch entsprechenden Einbau von Bretterwänden wurde eine seitliche Kontraktion beim Ueberfall vermieden. Für die Bestimmung der Turbinenleistung eignete sich der gleiche Ueberfall natürlich ohne weiteres.

Zur Bestimmung der Ueberfallmengen wurde die Formel von H. Bazin für vollkommenen Ueberfall, d. h. ohne Seitenkontraktion, vereinbart:[1])

$$Q = \left(0{,}405 \frac{0{,}003}{h}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{h}{H}\right)^2\right] \cdot b\, h \sqrt{2gh}.$$

Zur bequemen Bestimmung der Ueberfallmengen während der Versuche wurden zum Voraus verschiedene Werte von Q ausgerechnet und in Kurvenform aufgetragen (Abb. 8).

Es wurden sieben Hauptversuche vorgenommen, wovon sechs mit etwa 735 *Uml/min* und einer mit 750 *Uml/min*. Die Ergebnisse sind in Kurvenform in der Abb. 9 zusammengestellt; sie zeigen, dass die vertraglichen Leistungen und Wirkungsgrade im Mittel voll erreicht werden.

Die Gruppe von 1250 *PS* besteht im Gegensatz zu jener von 4500 *PS* nur aus einer Pumpe, direkt gekuppelt mit einem asynchronen Drehstrom-Motor (siehe Abb. 5 auf Seite 131 letzter Nr.). In der Konstruktion und übrigen Ausstattung ist die Pumpe der vorbeschriebenen 4500 *PS*-Pumpe ähnlich.

Für diese Pumpengruppe waren vertraglich folgende Garantien vereinbart:

Fördermenge	365 *l/sek*
Manometrische Förderhöhe	156 *m*
Umdrehungszahl	960 *Uml/min*
Wirkungsgrad der Pumpe	76 %
Kraftbedarf	1000 PS_e.

[1]) Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversion, exécutées à Dijon en 1895 par H. Bazin.