Theorie der hydraulischen Kraftmaschinen

nach [der Vorlesung von Franz] Grashof von Otto Albrecht; WS 1889/90

Albrecht, Otto

[S.l.], (1890)

urn:nbn:de:bsz:31-282996

O. Albrecht.

Theorie der hydraul. Kraftmasch.

nach Geh. Prof. Dr. Grashof.

Heft II.

W. S. 1889/90

Techn. Hochschule Karlsruhe.

Theorie der hydraulischen Kraftmaschinen.

nach Geh. Rat Prof. Dr. Grashof.

II. Heft.

W. St. 1889/90

Otto Albrecht

Es handelt sich nun noch darum, den Coeff φ genauer zu bestimmen.

In der bez. war für φ die Gl. aufgestellt:

$$(1-\varphi)\,Q = \mu' F' \sqrt{2g\,(h-h')}$$

μ' ein Ausflusscoeff., auf die betr. Spaltöffnung sich beziehend. F' Größe der Spaltöffnung, aus der das Wasser verloren geht. h Überdruckhöhe des Wassers, welches durch den Spalt durch die Turb. geht.

Es ergibt sich: $h - h' = (1 - m - \rho)\,H$

$F' =$ Größe der Durchflussfläche $= 2\pi r' s'$

$$Q = k\,k_1\,2\pi r_1\,b\,u \sin\alpha$$

$$(1-\varphi) = \frac{\mu' r' s'}{k\,k_1\,r_1\,b \sin\alpha} \sqrt{\frac{1-m-\rho}{m}}$$

Bei Radialturb. ist $r' = r_1$; für Axialturb.: $r' = r_1 + 0{,}5\,b$.

Die einfache Spaltweite kann bei kleinen Turb. $s' = 0{,}0002$ mtr. angenommen werden. allgem. Durchschnittswert:

$$s' = 0{,}0012 + 0{,}004\, r_1 \quad \text{mtr} \; ; \; \varphi = 0{,}1$$

r_1 der mittlere Eintrittsradius der Turb.

Ausflusscoeff μ' ist bekanntlich abhängig von der Grösse der Geschw. des der Öffnung zufliessenden Wassers. Der Spalt ist vorzustellen als eine schmale Platte. Das Wasser fliesst mit grosser Geschw. u am Spalt vorbei. Da μ' um so kleiner je grösser die Geschw. des vorbeifliessenden Wassers ist. Versuche über die Umstände, die noch weiter den μ' beeinflussen, sind nicht bekannt.

Erfahrungsgemäss der Wasserverlust -

5% vom zufließenden Wasser bei kleineren Turb.

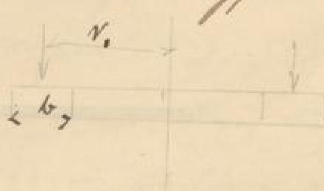
$$1-\varphi = 0{,}05 \quad \text{für:}$$

$$r_1 = 0{,}25$$

$$m = 0{,}5$$

Aus diesen erfahrungsgemäßen Daten läßt sich μ' berechnen:

Eine Axialturb. angenommen (Überdruck-Radturb). Die Breite b der ringf. Eintrittsfläche:



$$b = \frac{r_1}{3{,}5}$$

$\sin\alpha = 0{,}35$, so daß $b \sin\alpha = 0{,}1\, r_1$

Es war ferner $k k_1 = 0{,}82$; $\frac{r'}{r_1} = \frac{8}{7}$

Dann ergiebt sich:

$$1-\varphi = 14 \cdot \mu' \frac{s'}{r_1^2} \sqrt{\frac{0{,}9-m}{m}} = 0{,}05;$$

$$\mu' = 0{,}33$$

proc. Wasserverl. $= 100(1-\varphi)$

$r =$	1	0,75	0,5	0,25
$m = 0{,}75$	1,25	1,4	1,7	2,5
$= 0{,}5$	2,5	2,8	3,3	5,0
$= 0{,}25$	4,5	5,0	6,0	9,0

In § 35 besprech. von Versuchen, welche in betreff der Zapfenreibung angestellt wurden.

$$\eta = \varphi \varepsilon - \mu.$$

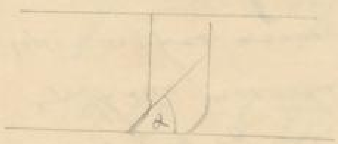
bei Stahlreib. $\mu = 0{,}04$

bei Partialreib. $= 0{,}06$

Die Schaufelformen.

Zweck der Schaufelkrümmung ist der, daß das Wasser zu einer bestimmten Richtung während gezwungen wird, Effektverlust soll so klein wie möglich ausfallen.

Leitcanäle sind stets vollständig von Wasser erfüllt, die Strömung ist also eine stetig sichere. Hier kann es sich bloß noch darum handeln, daß das Wasser mit mögl. kleinstem Effektverlust geführt wird. Um den Reibungswiderstand so klein als mögl. zu machen, erscheint es naturgemäß, die Leitcanäle so kurz wie möglich zu machen. Das für den Fall, daß die Widerstände durch Reibung überwiegend groß wären gegenüber den Krümmungswiderstand.



Auf Grund Weißbach'scher Versuche, nimmt der Krümmungswiderstand bedeutend zu, wenn der Krümmungshalbmesser abnimmt. Wenn aber der Krümmungswiderstand erheblich groß ist, also nicht zu vernachlässigen ist, läßt man den Krümmungshalbm. klein beginnen; l ist dann zu nehmen.

Nach Weissbach ist die besondere Krümmungswiderstandshöhe eines rechtwinkl. Krümmers von rechteck. Querschn.:

$$\left[0,124 + 3,104 \left(\frac{a}{2\rho}\right)^{3,5}\right]\frac{u^2}{2g}$$

Im vorlieg. Falle hat man keine rechtwinkl. gekr. Räume, die beiden Dimensionen wechseln auch, ρ ist nicht dasselbe, es ändert sich von ρo bis ρ ändert.

Unter diesen Umst. ist näherungsweise der Krümmungswiderstand für ein

Elemente wenigstens proportional
obigem Ausdruck.
a Kanalbreite $\overset{\text{mitt.}}{}$ ρ Kr. radius.

$$\left[0,04 + \left(\frac{a}{2\rho}\right)^{3,5} \right] u^2$$

Nimmt a_0 bis a ab, wenn ρ sich ändert von ρ_0 bis ρ, bleibt gemäss der Bezeichnung u Geschw. am Anfang, am Ende Ku.

Sollte also der spez. Krümmungswiderstand am Anfang u. Ende möglichst gleich sein, so sind die Verhältnisse so einzurichten, dass

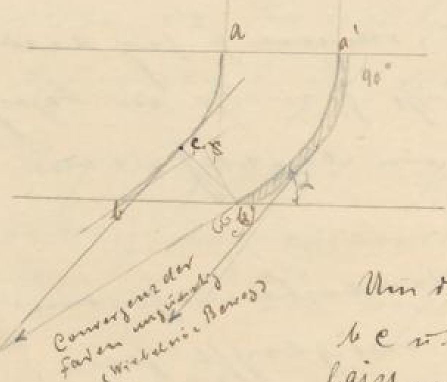
$$\frac{0,04 + \left(\frac{a_0}{2\rho_0}\right)^{3,5}}{0,04 + \left(\frac{a}{2\rho}\right)^{3,5}} = \left(\frac{Ku}{u_0}\right)^2$$

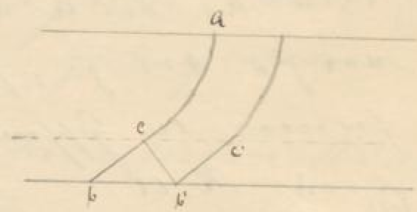
ρ ändert sich gemäss dieser Gleichung.

ds ein Längenelement der Leitschaufelkranzes.

$$\int_{\rho_0}^{\rho} \frac{ds}{\rho} = 90^\circ - \alpha$$

Man wird kaum jemals die Gestalt der Leitschaufelkr. nach obiger Beziehung zu berechnen.





Um dies zu vermeiden führt man bc u. b'c' ‖ aus, von hier erst läßt man die Krümmung beginnen. Die Fäden treten dann ‖ aus der Schaufel heraus.

Von c bis C muß dann die Krümmung entsprechend größer gemacht werden; ob damit eine Wirbelbildung erzielt wird, ist noch fraglich. Auf der einen Seite Wirbeln durch ‖ Hinströmen der Wasserfäden, auf der anderen Seite wieder Nachteil durch Erhöhung des Krümmungswiderstandes.

Für die Turbinenkanäle gilt im allgem. dasselbe wie bei den Leitcanälen wenigstens bei Überdruckturb.
Bei Druckturb., deren Canäle nicht völlig vom Wasser erfüllt sind, sind die Verhältnisse anders. Jedes Wasserteilchen muss notwendig durch eine [illegible] Kraft gegen die concave Seite der Schaufel gedrängt werden.
Von der relat. Bewegung jedes Teilchens gegen die Schaufel vorläufig abgesehen. Denkt man das Wasserteilchen in Berührung mit der Schaufel: die [illegible] Kraft zu

Masseneinheit ist die Resultante aus folgenden Kräften:

An der betr. Stelle sei die relat. Geschw. des Wasserteilchens = w; der Krümmungsradius = ρ

Dann ist pro Masseneinheit die relative Centrifugalkraft an dieser Stelle, vorausgesetzt, daß die Bahn der Wasserteilchen, welche sich den Schaufeln entlang laufen, dieselbe ist, als die Bahn der Schaufel. Dies ist annähernd richtig.

$\frac{w^2}{\rho}$ + der zur Schaufel normalen Comp. der relativ beschleunigenden Kraft

Bei Druckturb. muss eine gewisse resultierende Normalkraft vorhanden sein, welche die Schaufeln nach vorn gegen die concave Seite drückt.
Es handelt sich nun um die rel. Bewegung eines Punktes in Bezug auf ein selbst in Beweg. befindliches

starrer Systems. Um die relat. Bewg. gerade so betrachten wie eine absol. Bewg. betrachten zu können, müssen noch 2 Ergänzungskräfte vorhanden.

Beschleunigende Kraft = bewegende Kraft pro Masseneinheit, diese ist die Schwerkraft. diese ist pro Masseneinheit $= g$

Hierzu noch 2 Ergänzungskräfte hinzuzufügen. Die erste ist entgegengesetzt gleich der Beschleunig. des Systempunktes, mit welchem die relat. Bewg. des Systempunktes zusammenfällt.

Die 2te Ergänzungskraft ist $2\omega w'$ wenn ω die augenbl. ∠ Geschw. des Systems w die relat. Geschw. des Systempunktes w' die Projektion d. w auf eine zur Momentanachse senkrechte Ebene.

durch Drehung von w' um 90° entgegengesetzt dem Drehungssinne von ω, ist die Richtung dieser 2ten Cfg. Kraft. entstanden.

ω = const. Größe.

Die Lage eines Wasserteilchens fällt zusammen mit dem Hauptgesetz.

Die relat. Centrifugalkraft, wobei w die relat. Geschw. der Teilchen ist,

$$\cancel{\frac{\omega^2}{2g}} \qquad \frac{w^2}{\rho} \qquad g$$

der Punkt hat die Entf. x von der Achse, so ist die Centrifugalbeschl. des Punktes:

$$\cancel{g}\ \omega^2 x$$ d. ist Ergänzungskraft radial gerichtet.

die rel. Beschl.-Kraft besteht noch aus einer 2ten Cfg. Kraft, welche die Größe $2\omega w'$ hat.

Von den 3 Kräften $(g, \omega^2 x, 2w'\omega)$ ist die Res. zu nehmen u. die Tangente zu bewirken, welche normal gegen die Schaufel gerichtet ist.

Es ist zu verlangen, dass diese Summe an jeder Stelle positiv ist:

$$\frac{w^2}{\varrho} + N\,(g,\ \omega^2 x,\ 2w'\omega) > 0$$

d. h. dass die Schaufeln so gekrümmt sind, dass obiges stattfindet.
Ferner soll die Krümmung so gross sein, dass das Moment der Comp. normal gegen das Profil pro Masseneinheit überall constant ist.

Bei der Schaufelfl. einer Axialturb. ist das Verh. der elem. Verdrehung zur elem. Verschiebung eines Punktes der Schaufelfläche gesetzmässig veränderlich (Schraubenfl. allgemeinerer Art).

Regulierung der Turbinen.

Die Regulierung der Turb. durch Verkleinerung der beaufschlagten Wasserquantums ist einzurichten, daß die Verkleinerung des Wirkungsgrades ein min wird.

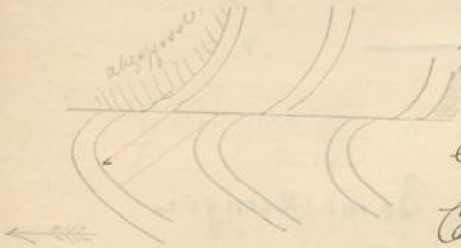
c soll bei jeder Beaufschlg. gleich sein; u, w, w_1, w_2 sollen ebenso durch die Rg. der Turb. möglichst wenig verändern.

Bei Druckturb. können diese Forderungen am besten erfüllt werden. Ein Teil der Leitcanäle wird vollständig geschlossen, die Turb. ist also partiell beaufschlagt; oder sämtliche Leitcanäle werden gleichmäßig verengt.

Die gleichmäßige Verengung der Quersch. kann geschehen durch gleichm. Verkleinerung der Kanalweiten a oder der Kanalbreiten b.

Das gewöhnlichste Verfahren der Rg. ist die Absperrung eines Teiles der Kanäle.

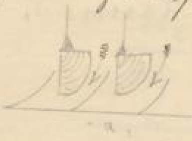
Ein Axialturb. vorausgesetzt: (Druckturb.) zeitweise partiell beaufschlagt.



Durch eine part. Beaufschl. einer Druckturb. findet eine Erhöhung der Einflusswiderstände statt. Auch bei der Bewegung des Wassers längs der Schaufel findet noch eine Erhöhung der Reibungswiderstandshöhe statt.

Zum Zweck der Reg. wählt man 2 diametral gegenüberliegende Gruppen von Leitkanälen durch Verwendung der Rundschütze. Zugleich findet auch bei dieser sehr rationellen Regulierung eine gewisse Verkleinerung des Wirkungsgrades statt.

Weniger vorteilhaft u. gebräuchlich ist die Reg. durch gleichmässige Verengung der Kanäle, welche durch abgerundete Holzklötze hervorgerufen wird. Auch hier Vergrösserung der Widerstände.



Man führt heutzutage hauptsächlich Druckturb. aus, weil sie sich bei einfachsten u. vorteilhaftesten regulieren läßt

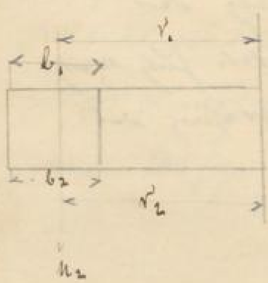
---

Anwendung der erörterten Bemerkungen auf die einzelnen Arten von Turbinen.

Henschelsche axiale Überdruckturb.

Die Turb. ist in einem Rohr eingeschlossen. Sie wurde früher als Jonval Turb. bezeichnet, heutzutage aber richtiger als Henschel turb. genannt.

$$r_1 = r_2 \,;\quad b_1 = b_2$$



Auf Grund einer gegebenen Wassermenge von

$$\frac{b}{r_1} = 0{,}25 \text{ bis } 0{,}4 \text{ kann } r_1$$

große Turb. — kl. Turb.

berechnet werden nach:

der früher entwickelten Formel:

$$Q = k k_1 \, 2\pi r_1^2 \frac{b}{r_1} u \sin\alpha$$

$k' = \frac{k k_1}{k_2}$; u. nach Gl. (6) ist dann:

$$\mathrm{tg}\,\delta = m \frac{\varphi}{\varepsilon} k' \sin 2\alpha$$

$$u_2 = \mathrm{tg}\,\delta \cdot v_1 = m \frac{\varphi}{\varepsilon} k' \sin 2\alpha \, \frac{\varepsilon}{\cos\alpha} \sqrt{\frac{gH}{2m}}$$

$$u_2 = \varphi k' \sin\alpha \sqrt{m \cdot 2gH}$$

$$\frac{u^2}{2g} = (\varphi k' \sin\alpha)^2 \, m H$$

α kann so grösser angenommen, je grösser Q & je kleiner u.

Für $m = 0,5$ kann $\alpha = 20^\circ$ angenommen werden, & $\varepsilon = 0,8$; ferner $\varphi k' = 0,9$

Dann würde sich ergeben $\delta = 20^\circ$

u.

$$\frac{u_2^2}{2g} = 0,047\,H$$

$$\overset{tg}{\cancel{\sin}}\,\alpha = \frac{r_0}{r_x}\sin\alpha_0 \qquad 2r\pi\,d\varphi\,\mathrm{tg}\,\alpha = 2\pi r_0\,d\varphi\,\mathrm{tg}\,\alpha_0$$

$$\overset{tg}{\cancel{\sin}}\,\beta = \frac{r_0}{r}\sin\beta_0$$

$$\overset{tg}{\cancel{\sin}}\,\delta = \frac{r_0}{r}\sin\delta_0$$

die Geschw. u ist von der Entf. r von der Achse unabhängig.
Hängt von der Größe der Spalten ab; Schneide die Turb. mantelfläche mit einer Ebene ⊥ zur Achse u. wickle irgend einen Kreisschnitt mit r ab.

Seitenschlächtige Druckturb.

Sie ist zu entwerfen bei

$H = 2,5$

$N = 40$

$\varphi = 1$

$\varepsilon = 0,8$ (angenommen)

$\eta = 0,76$ (angenommen)

Das erforderliche Aufschlagwassermenge

$$Q = \frac{0,075\, N}{\eta\, H} = 1,579$$

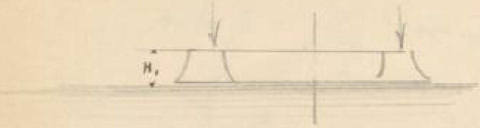
Die Turb. soll wenig über Unterwasserspiegel liegen. Unter dieser Bed. ist der Überdr. im Spalt = 0, weil derselbe in atm. Luft liegt.

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{c_1^2}{2g} + H_0 - H_1 - \rho H = H + \frac{c_2^2}{2g} - H_1 - \rho H$$

$$H = H_0 + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}$$

$\frac{c_2^2}{2g} = 0{,}05$; $H_1 = 0{,}3$, vorläufig geschätzt.

bei Einsetzung dieser Werte und Annahme der Radien ist:



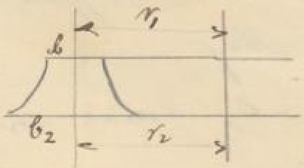
$$\frac{u^2}{2g} = (0{,}9 - \rho) H = 0{,}84 H$$

Nach früher war $\frac{u^2}{2g} = m H$; folglich ist hier der vorläufige Wert der Charakteristik.

$$m = 0{,}84.$$

Dimension b muss sich nach außen hin vergrößern. $r_1 = r_2 = r$. Gleichzeitig werden die

$$v_1 = v_2 = v$$



Es werde angenommen $b_2 = 1{,}75\, b$, ferner

$\alpha = 20^\circ$ durchaus gebräuchlich.

Dann ergiebt sich Einsetzung dieser Werte in Gl. (6) der Annäherung

($\frac{kk_1}{k} = 0,9$ der Winkel.

$(\delta = 19^\circ\ 9')$ ist aber nur kein besonders gesuchter Winkel; er sollte aber dazu dienen, die Begrenzungsfehler der Annahme erkennen zu lassen.

$\beta = 38^\circ\ 18'$

bei allen Drehlenden – nur wenig kleiner als der doppelte von δ ausfallen.

$\nu = 3,253$

Weil nun für vorläufige Werte von ν kann jetzt u berechnet werden.

$u = 6,418.$

Nach Gl. 1

wird d. Geschw. mit der der Masse des Fund-
geschwindigk.: $w = 3,543.$

Ein passender Wert von r zu bestimmen.
Es wurde ausgegangen von $\frac{b}{r} = 0,2$, $r = 0,846$
$= 0,25$, $r = 0,756$

Es wurde festgesetzt:

$r = 0,8$

Grenzen des Verh. nach Versuchen

$\frac{s}{r} = 0,06 - 0,01$

je größer, je größer der Ungleichf. Gesch.

$s = s_1 - s_2 = 0,005 = 0,5$ cm angenommen

Passende Schaufelzahl der Schaufelräder

Vorläufig $z = 20 + 30\, r = 44$

Man nimmt ~~$z \angle 44$~~.

$$z = 46 \,, \quad z_1 = 40$$

Nach Gl. (7) u. (8) berechnet sich

$$a = 0{,}0324$$
$$a_1 = 0{,}0728$$

Danach die Übergangscoeff.

$$k_x = \frac{a_x}{a_x + b_1} = 0{,}936$$

$$k_y = \frac{a_2}{a_2 + b_2} = 0{,}866$$

bei der vorläufigen Annahme war früher $k = 0{,}9$ gesetzt.

Nach Gl. (10) ist

$$b = 0{,}176\ m = 0{,}22\ r$$

Wird bezeichnet mit: $A = m \frac{f}{\varepsilon} k k_1 \frac{b}{b_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \sin 2\alpha =$

$$= 0{,}3126$$

$$u.\quad e_2 = \frac{2\pi r_2}{z_1} = 0{,}1256$$

Daraus:

$$\left(\frac{1}{A^2}+1\right)a_2^2 + 2 s_2 a_2 = e_2^2 - s_2^2$$

die + Wurzel:

$$a_2 = 0{,}0370 \text{ mtr.}$$

$$\delta:\ \cos\delta = \frac{a_2}{A e_2}\ ;\ \delta = 19^\circ 32'$$

$k_2 = 0{,}881$

$u_2 = 1{,}154$

$w_2 = 3{,}452$

$$\frac{u_2^2}{2g} = 0{,}0679 = 0{,}027\ H.$$

2,7 % der disp. Gefälles gehen beim Austritt verloren.

$w_1 < w$

$w_1 = w\cos 12^\circ = 3{,}466$ m. sec.

$H_1 = 0{,}3$

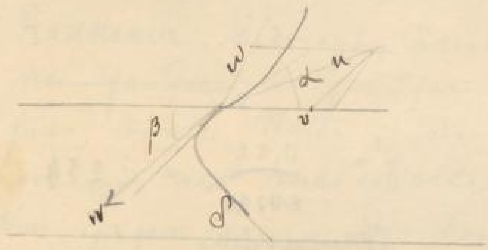
$H_2 = 0{,}02$

$H_1 - H_2 = 0{,}28$ mtr. $= 0{,}355\ r$

bezw. $h = 0{,}242$ gewöhnlich.

Es hatte sich ergeben v

Man nimmt v aus folg. Gründen gewöhnlich etwas kleiner:



$$\frac{r_e}{r} = \frac{r+\frac{b}{2}}{r} = 1,1$$

$$tg\,\alpha_e = \frac{r}{r_e}\,tg\,\alpha \qquad \alpha_e = 18°\,9'$$

$$tg\,\beta_e = \frac{r}{r_e}\,tg\,\beta \qquad \beta_e = 35°\,26'$$

Soll an der Umf. r_e ~~aus~~ der Achse ein stossfreier Einfluss geschehen, so muss

$$\frac{v_e}{\cancel{u}} = \frac{\sin(\beta_e-\alpha_e)}{\sin\alpha_e}\cdot u = 3,077$$

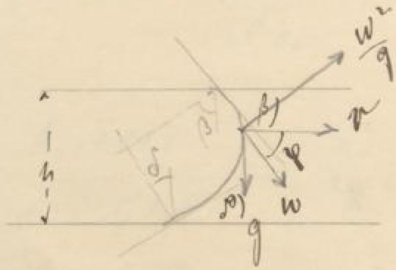
$$v = 2,772$$

$$n = 9,55\,w = 9,55\,\frac{v}{r} = 33,1$$

Kreuzung der Querachse von ε, m

$$\rho' = \frac{0{,}22}{\cos 20^\circ} = 0{,}234$$

Leitschaufel



$$\rho = \frac{0{,}28}{\cos\beta + \cos\delta} = 0{,}162 \text{ mtr.}$$

Der Normaldruck der Wasserteilchen gegen die Wand, erzeugt:

1) Die relat. Centrifugalkraft

2) die Schwerkraft

3) die erzeugenden Kräfte der relat. Bewegung

Wasserräder im engeren Sinn.

Radkranz der ringförmige Raum, der bei der Drehung von den Schaufeln durchlaufen. Weil die Schaufeln gerade hier keine Rolle, die Schaufeln selbst nur werden also materielle Flächen aufgepaßt. Im Gegensatz zu der Turb. ist der Querschn. des Radkranzes stets rechteckig. derselbe hat 2 Seiten ⊥ und 1 mit der Achse. Die Schaufeln sind hier entweder eben, gebrochen od. krumme Flächen, also stets Zylinderfl. im weiteren Sinn.

Das Wasser tritt hier an der äußern Stelle aus & ein. zum Unterschied von den Turbinen.

Schaufel- & Zellenräder Unterschieden

Schaufelräder im engern Sinn, solche, bei denen die Schf. radial gestellt sind, oder tangential.

Zellenräder sind an den Seiten und materiellen Wänden abgeschl. Bei Schaufelrädern sind die Seiten entweder begrenzt od. offen.

Schaufelrad

Zellenrad

Ferner Unterschied:

Hochhängendes- oder Kropfrad

Hochhängend, welches, bei dem der tiefste Punkt noch höher liegt als der Unterwasserspiegel.

Im weiteren Sinne versteht man darunter auch ein im Wasser hängendes Rad.

Kropfrad ein solches, bei dem der wasserhaltende Teil des Rades mit einem mantelartigen Kropf umhüllt ist, wodurch das Wasser möglichst lange im Rad erhalten bleibt. In der Regel ist der Kropf zu einem sog. Kropfgerinne ausgebildet. Der Mantel umgibt den Bogen mit möglichst kleinem Spielraum, ist mit 2 [illegible] versehen.

Diese Anordnung ist unbedingt nötig bei einem Rad mit offenem Radkranz.

Die Kropfräder sind gewöhnlich Schaufelräder.

Man unterscheidet ferner nach d. Wasserzuführung die Räder:

1) Spannschützen
2) Überfallschützen
3) Leitschaufelschützen (Coulissen)

die Menge des zug. Wassers, die Gefälle u.s.w. der
[illegible] [illegible] [illegible] einer schwankenden Ober-
wasserspiegel sollen mittels Schütze regulirt
werden
bei geg. Höhe der OW. d. gr. [illegible] gesch. Menge u.
Gefälle unabhängig von einander regulirt
werden.

Am wenigsten vollkommen die Wirkung
der Spannschütze.
bei Verkleinerung der Wassergeschwindigkeit wird [illegible] die
Gefälle größer.
Wenn sich d. OW. verändern, u. will man Q
const erhalten, so wäre der nicht möglich.
Überfallschütze: bei ver. Höhe [illegible] d. OW. kann
Menge u. Gefälle unabhängig verändert werden.
Wenn d. OW. sein Lage ändert, so braucht man
die Schütze höher zu lassen und [illegible],
so behält auch die Menge u. Gefälle der über-
fließenden dasselbe Wert.
Zu passend bei veränderlicher OW. ist jedoch
selbst die Überfallschütze nicht passend.

In aller Beziehung die vollkommenste ist die Rechtsparabelspitze,

Vertiefung der Eintritte entsteh. man aber innere mittelpst. Räder.

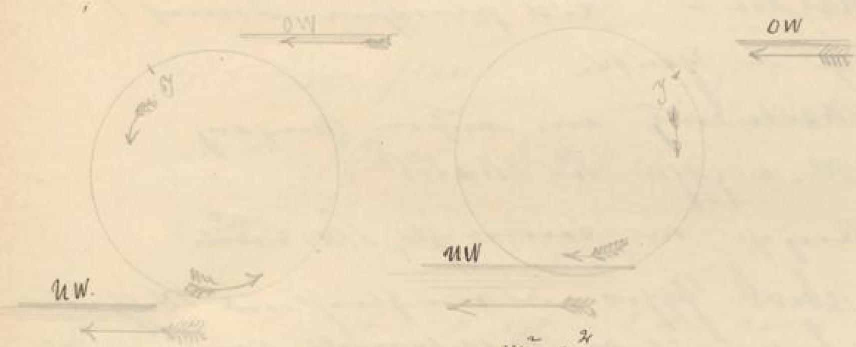
Räder, deren Eintrittsstelle der Verzahnung zwischen der mittleren Eingriffsstelle, nennt man Rücken- od. Vollzahnverzahnung, solche, bei denen der Eintritt zwischen Eingriff und mittlerer Lage ist, heißen Tiefzahn.

Überschl. Räder in der Regel als fortlaufende Zellenräder, zuerst nur die mittl. durch einen Spaltschutz.

Bei den andern Räder, sogst mittelpst. Räder findet man vorzugsweise Zuschärfung durch Rechtssp. Spitze von mittl.

Man sieht von mittelpst. Rad den abgesp. Kreis vor, wenn er darauf ankommt, bei dem Verz. jeder Schritt der Räder zu vergrößern, die aber der

Radius entsprechend größer wird.
Das Wasser wirkt bei diesen Rädern mittels
seiner Bewegung Stoßwirkung [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible], [illegible] [illegible]
[illegible] zu [illegible] [illegible] [illegible].



$v^2 + c^2$

Rad fängt frei

$v^2 - c^2$

Rad kann in UW. [illegible]

Mittel = d. Kropfschaufel. Räder als Schaufelräder [illegible]
3 Arten [illegible] für angewandt
Das Wasser wirkt bei den Unterschl. Räd. nur
durch seine leb. Kraft. d. Schaufeln [illegible] [illegible]
weder oben [illegible] radial od. [illegible].
Wenn bei den unterschl. d. Wirkung nur durch d.
leb. Kr. bewirkt wird, so wäre [illegible] [illegible]

erhebl. Wasserverluste entstehen, daher stimmt man besser die Schaufeln so, daß der Wasser tangential an die Schaufeln heraustritt.

Buchstabenbezeichnungen:

R Radius des Rades

im eigentl. $\left\{ \begin{array}{l} a = \text{Kranzbreite - radial gemessen der Kranzes} \\ b = \text{Radbreite axial gemessen Kranz d.} \end{array} \right.$

z = Zahl der Schaufeln

ε = Radteilung am äußern Umfang

ω = Winkelgeschw. des Rades

n = Anzahl der Touren pro Minute

u = absol. Geschw. des einfließenden Wassers bezogen auf den Mittelpunkt der Leitschaufel.

h = derjenige Teil des ges. Gefälles H, der zur Erzeugung dieser u verwendet wird

$$= (1 + \xi)\,\frac{u^2}{2g}$$

v = äußere Umfangsgeschw. des Rades

w = relat. Zuflußgeschw. bezogen auf den Mittelpunkt der Leitschaufel

α = $\angle$ der u u. v

β = $\angle$ der v u. w

ε = Füllungsgrad = $\dfrac{Q}{a\,b\,v}$

F = Querschnitt der Wasserfüllung der Schaufelräume mit einer zur Achse $\perp$ Ebene.

Zwischen diesen Elementen finden folgende Beziehungen statt:

$$n = \frac{30}{\pi}\,\omega = 9{,}55\,\omega$$

$$2R\pi = z\,e$$

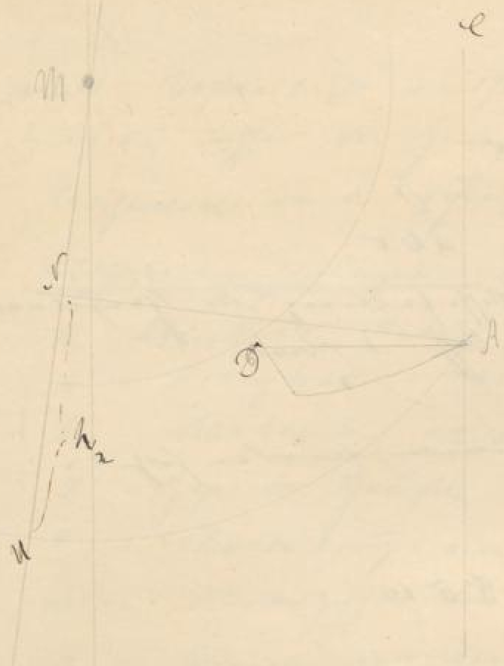
$$w^2 = u^2 + v^2 - 2uv\cos\alpha$$

$\dfrac{Q}{v}$ = pro Längeneinheit des Radumfangs geförderten Wasser.

$\dfrac{Q}{v}\,e$ = Wasservolumen einer Schaufelräume

$= F\,b.$

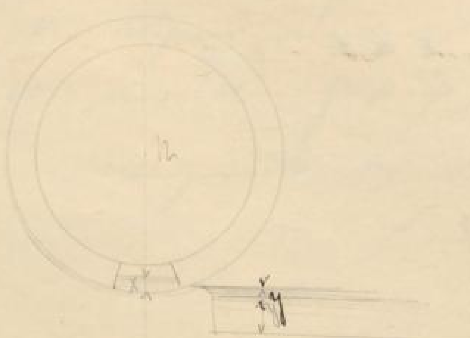
$$F = \frac{Q\,e}{b\,v} = \varepsilon\,a\,b$$



$\frac{1}{2}\Sigma ac.$ y Breitwand...

AC so gezogen, daß dies. dem
Fläche begrenzt von $\frac{1}{2}\Sigma ac$
$AC \perp AD$

In demselben Maße daß $v > c$
steigt der UW höher, was einen
großen Verlust verursacht
Man legt daher den UW. tiefer.



y wird $< x' + 70.$ gemacht.

[illegible] von y ist das
frei wegen der sog. [illegible] ein Mi-
nimum.

$$\gamma Q h_1 = \gamma Q \frac{(x-y)^2}{2x} + \vartheta \gamma b y \frac{(v-c)^2}{2g} v = \gamma Q\left[\frac{(x-y)^2}{2x} + \frac{\vartheta}{x} y \frac{(v-c)^2}{2g}\right]$$

– Gefällverlust vom Austritt des Wassers bis zum UW herrührend.

$Q = b x v$

Für welchen Wert von h_1 wird der Ausdr. ein min.?

Man findet $h_1 = \min$ wenn $y = x - \frac{\vartheta (v-c)^2}{2g}$

$\vartheta = 1{,}5$ ungefähr zu setzen.

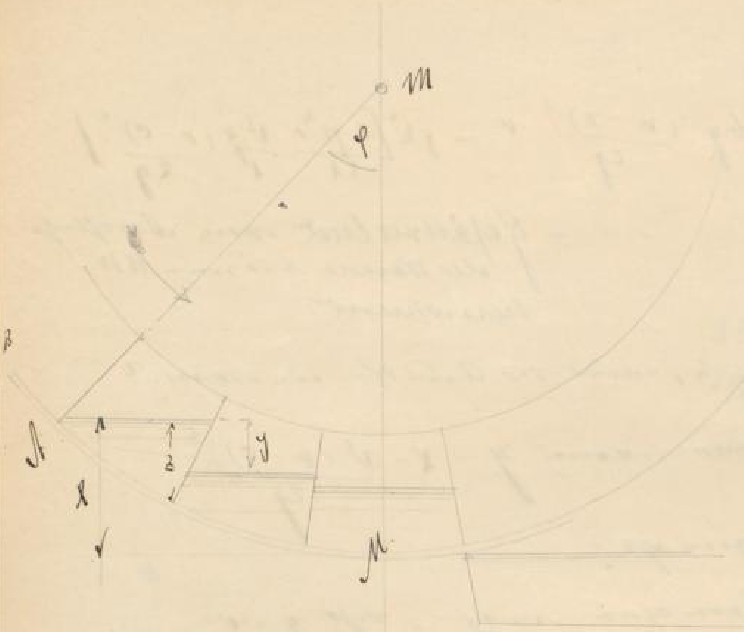
Man kann die Anordnung so machen, daß $y = v$ um sicher zu gehen bei einer etwaigen Steigung des UW.

Es kann dann durchschnittlich der Gefällverlust

$h_1 = \frac{a_r}{4}$

Effectverlust während des Aufenthaltes im Rade.

Bei Bergrädern etc. sehr groß



Durch den Spaltraum fließt einer Wasser heraus nach der nächsten Schaufel.

Es treten durch 2 Spalten ein Verlust statt:

1) der Längsspalt $b.s.$ mit Spalthöhe y

2) 2 Seitenspalten mit der Spalthöhe x

V das Vol., welches durch den Längsspalt per sec. im Beharrungszustand durchfließen würde.

Dann ist das ^Gew.^ Vol., welches in dt wirklich durchfließt:

$\gamma V dt$ u. der Effektverlust: $\gamma V dt\, y = \gamma V\left(-\frac{R d\varphi}{v}\right) y.$

$-R\,d\varphi$ der [illegible] [illegible], der [illegible] A [illegible] [illegible] die [illegible] der [illegible] $d\varphi$ [illegible] [illegible].

Wenn [illegible] durch v dividirt, so erhält man dann die betreffende Zeit dt.

Indem sich der Längsschnitt durch den ganzen [illegible] erstreckt, so erhält man durch [illegible] [illegible] v u. 0, u. setzt man $+R\,d\varphi$ so muss man die Grenzen umkehren. u. es wird:

bei der Bewegung der [illegible] [illegible] [illegible]

$$\gamma \frac{R}{v}\int_0^{\vartheta} v\,y\,d\varphi$$

haben die [illegible] [illegible] [illegible], so wird

$$\gamma \frac{R}{c}\int_0^{\vartheta} v\,y\,d\varphi$$ Effectivarbeit pro sec.

$$v = \mu\, b s \sqrt{2g\,z}$$; z [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

u. [illegible] erhält:

$$\gamma \frac{R}{c}\,\mu\, b s\sqrt{2g}\int_0^{\vartheta} y\sqrt{z}\,d\varphi = \gamma Q h'$$

$$h' = \mu\sqrt{2g}\,\frac{R b s}{c Q}\int y\sqrt{z}\,d\varphi$$

Den Mittelwert von $y\sqrt{z}$ [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] mal ϑ gibt [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

$$V = 2\cdot\frac{2}{3}\,\frac{\mu\,\mathfrak{T}\,s}{\sin\varphi}\left(z'\sqrt{z'} - z''\sqrt{z''}\right)$$ Ausflussmenge zwischen d. beiden Dämmen d. Schützenreihe.

für 2 Seitenhälften.

$$\mathfrak{D} = \frac{z'\sqrt{z'} - z''\sqrt{z''}}{\sin\varphi}$$

dann ist:

$$V = \frac{4}{3}\,s\,\mu\sqrt{2g}\;\mathfrak{D}$$

$$h'' = \frac{4}{3}\,\mu\sqrt{2g}\,\frac{R\,s}{e\,\mathfrak{Q}}\int_0^{\vartheta} x\,\mathfrak{D}\,d\varphi$$

Dieses $\int$ wurde näherungsweise aufgelöst wie bei h' vorher. Man nahm 4 Lagen u. rechnete dann $x\,\mathfrak{D}$. den Mittelwert nach der Simpson'schen Regel berechnet.

h_3 = Gefällsverlust beim Durchfluss des Aufschlagwassers durch den Spalt:

$$h_3 = \mu\sqrt{2g}\,\frac{R\,s}{e\,\mathfrak{Q}}\left[b\int_0^{\vartheta} y\sqrt{z}\,d\varphi + \frac{4}{3}\int_0^{\vartheta} x\,\mathfrak{D}\sin\varphi\right]$$

$\mu\sqrt{2g} = 3{,}4$ gesetzt.

$\mu = 0{,}77$ entspr. Ausflusscoefficient.

Die W.R. sind bis zu Gefällen zu 12 m. concurrenzfähig geblieben bei kleinem Gefälle sind ~~wirthsch~~ Räder rationeller. Oberschl. und über 12 m Gefälle einen sehr η, deshalb sehr vortheilhaft.

Man wird die Grenze anzugeben wissen um den Wasserverlust zu verhüten.
bei großen Schwankungen der H.

Man findet alle diese Verluste nicht größer als zu 1% der absol. ~~Gefälle~~ Effektes.

Ist H_1 der gesamte Gefällverlust

$$E_0 = \gamma Q H \text{ mkg}$$

dann kann der
Nutzeffekt der Räder gleichgesetzt werden

$$E = \gamma (Q - Q_1)(H - H_1) - \varepsilon.$$

Größe von Verlust ε bezieht sich auf die verlorene Menge u. Gefälle.

Dann ist

$$\eta = \frac{E}{E_0} = \left(1 - \frac{Q_1}{Q}\right)\left(1 - \frac{H_1}{H}\right) - \frac{E_1}{E_0}$$

Es kann sein

$$H = \xi \frac{u^2}{2g} + \frac{w_1^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} + h_1 + h_? + h_2$$

ξ bei [illegible] = 0,1
" bei [illegible] = 0,33.

$\frac{w_1^2}{2g}$ rührt der Masse der [illegible]

$$\frac{w_1^2}{2g} = \frac{w^2}{2g} + k$$

; k die Höhe der Mittleren [illegible] über ein [illegible]