Resultate für den Maschinenbau

[Hauptband]

Redtenbacher, Ferdinand

Heidelberg, 1869

Sechster Abschnitt. Wasserräder

SECHSTER ABSCHNITT.

Wasserräder.

Tafel XXXII und XXXIII.

175.

Bezeichnungen.

In den folgenden Resultaten für die Berechnung und Construction der Wasserräder haben die verschiedenen Bezeichnungen folgende Bedeutung:

H das Gefäll, d. h. der Vertikalabstand des Wasserspiegels im Zuflusskanal über dem Wasserspiegel im Abflusskanal.

Q der Wasserzufluss in Kubik-Metern in 1 Sekunde.

$E_a = 1000\ Q\ H$ der in Kilgmtr. ausgedrückte absolute Effekt der Wasserkraft.

$N_a = \frac{E_a}{75}$ der in Pferdekräften ausgedrückte absolute Effekt der Wasserkraft.

E_n, N_n der in Kilgmtr. und der in Pferdekräften ausgedrückte Nutzeffekt des Wasserrades.

R Halbmesser des Rades.

a Tiefe des Rades, d. h. die Differenz zwischen dem äussern und innern Halbmesser des Rades.

b die Breite des Rades, d. h. die mit der Axe des Rades parallele Dimension der Schaufeln oder Zellen.

c die Länge a f, Fig. 5, Tafel XXXIII, des äusseren Theiles einer Schaufel oder Zellenwand. Für ein Rad mit geraden radial gestellten Schaufeln ist $c = 0$ zu setzen. Wenn das Rad gerade, aber schief gestellte Schaufeln hat, bedeutet c die ganze Länge der Schaufel. Wenn die Schaufel oder die Zelle gekrümmt ist, kann man (zur Effektberechnung) eine ebenflächige Form substituiren, welche mit der krummflächigen möglichst nahe übereinstimmt, und dann bedeutet c die Länge des äusseren Theiles der ebenflächigen Form.

β Winkel, unter welchem der äussere Theil einer Zelle oder Schaufel den Umfang des Rades durchschneidet.

e Entfernung zweier Schaufeln oder Zellen.

$i = \frac{2 R \pi}{e}$ Anzahl der Schaufeln oder Zellen.

v Umfangsgeschwindigkeit des Rades.

V Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser den Umfang des Rades erreicht. Für das unterschlächtige Rad und für das Poncelet-Rad ist zu setzen:

$$V = \sqrt{2 g H}$$

Für die übrigen Räder ist für V die Geschwindigkeit zu nehmen, welche der Tiefe des Durchschnittspunktes der unteren Begränzungsfläche des Strahles mit dem Radumfang unter der Oberfläche des Wassers im Zuflusskanal entspricht.

δ Winkel, den die Richtung von V mit dem Umfang des Rades bildet.

γ Winkel, den der nach dem Eintrittspunkt gezogene Radius mit dem vertikal abwärts gerichteten Radius bildet; wobei unter Eintrittspunkt derjenige Punkt verstanden wird, in welchem die untere Begränzungsfläche des Strahles den Umfang des Rades durchschneidet.

ε bedeutet bei Rädern mit Gerinne den Spielraum zwischen den äusseren Schaufelkanten und dem Radgerinne.

h bedeutet: 1) bei den Rädern mit Gerinne die Höhe des Wasserstandes in der untersten Zelle über dem Wasserstand im Abflusskanal; 2) bei dem oberschlächtigen Rade das Freihängen, d. h. die Höhe des untersten Punktes des Radumfanges über dem Spiegel des Unterwassers.

$m = \frac{Q}{a b v}$ der Füllungscoeffizient, d. h. das Verhältniss zwischen dem Volumen der Wassermenge Q, die in 1″ dem Rade zufliesst, und dem Volumen der Zellenräume, welche diese Wassermenge aufzunehmen haben.

f der Reibungscoeffizient für die Zapfenreibung.

s die Höhe, in der sich unmittelbar nach beendigter Füllung der Schwerpunkt der Wassermasse über dem Punkt a (Fig. 6, Tafel XXXIII) der Zelle befindet.

S bedeutet bei Rädern mit Gerinnen die Summe der Bögen, längs welchen das in den Zellen enthaltene Wasser den Gerinnboden berührt.

$g = 9{\cdot}808$ Meter.

Regeln für die Anordnung eines neu zu erbauenden Rades.

176.

Wahl der Maschine.

Wenn eine Einrichtung zum Betrieb eines Werkes durch Wasserkraft angegeben werden soll, muss vor allem Andern bestimmt werden, was für eine Kraftmaschine unter gegebenen Umständen am besten dem Zweck entspricht. Vorausgesetzt, dass nur allein die Grösse des Baukapitals, welches für ein Unternehmen verwendet werden darf oder kann, und die Grösse so wie Beschaffenheit der disponibeln Wasserkraft zu berücksichtigen sind, wird man in den meisten Fällen eine zweckmässige Maschine wählen, wenn man sich an nachstehende Vorschrift hält. In derselben bedeutet der Kürze wegen:

K das Baukapital, welches verwendet werden kann oder verwendet werden darf,

H und Q das Gefälle und den Wasserzufluss in 1″,

$N_a > N_n$ es sei die disponible Kraft bedeutend (z. B. zweimal) grösser als der zum Betrieb erforderliche Nutzeffekt,

$N_a = N_n$ es sei die disponible Kraft nur bei sehr vortheilhafter Benutzung zum Betrieb der Maschinen hinreichend.

Ist das Gefälle und die Wassermenge		so soll gewählt werden		
H	Q	ein hölzernes Wasserrad.	ein eisernes Wasserrad.	eine Turbine.
nicht über 2^m	klein oder gross	wenn K klein	1) wenn K gross, H u. Q constant, $N_a > N_n$ 2) wenn K gross H und Q veränderlich	wenn K gross H u. Q constant $N_a = N_n$
zwischen 2^m und 6^m	nicht grösser als 0·2 kbm.	wenn K klein	wenn K gross	niemals
zwischen 2^m und 6^m	grösser als 0·3 kbm.	wenn K klein	wenn K gross	wenn K gross
oder		und	und	und
zwischen 6^m und 12^m	klein oder gross	$N_a = N_n$	$N_a = N_n$	$N_a > N_n$
grösser als 12^m	klein oder gross	niemals	niemals	jederzeit

177.

Wahl des Rades.

Wenn man sich für den Bau eines Wasserrades entschieden hat, ist dann weiter die Frage zu beantworten, welche von allen Anordnungen von Wasserrädern in dem gegebenen Falle die zweckmässigste sei? Diese Frage kann mit Zuverlässigkeit und ohne Schwierigkeit vermittelst der Fig. 1, Tafel XXXIII beantwortet werden. In dieser Figur bedeutet: die obere horizontale Zahlenreihe die in Metern ausgedrückten Gefälle, die vertikale Zahlenreihe (linker Hand) die in Kubik-Metern ausgedrückten Wassermengen, welche in 1″ den Rädern zufliessen. Die verschiedenen geraden und krummen Linien innerhalb der Grenzen der ganzen Figur bestimmen die Grenzen der vortheilhaften Anwendbarkeit der verschiedenen Arten von Rädern. Die Linie A B bestimmt die grösste Wasserkraft, welche noch durch ein einziges Wasserrad mit Vortheil nutzbar gemacht werden kann.

Um vermittelst dieser Figur zu entscheiden, was für ein Rad gewählt werden soll, sucht man vermittelst der horizontalen Zahlenreihe die Vertikallinie auf, welche dem gegebenen Gefälle entspricht, ferner vermittelst der vertikalen Zahlenreihe die Horizontallinie, welche mit der gegebenen Wassermenge übereinstimmt. Der Punkt, in welchem sich diese zwei Linien schneiden, liegt dann in dem Wasserkraft-Gebiet des zu wählenden Rades. Ist z. B. das gegebene Gefäll 3^m und die Wassermenge 1·5 Kubik-Meter, so führen diese Daten auf ein Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf.

178.

Nutzeffekt der Wasserräder.

Es ist für viele Zwecke ganz genügend, den Nutzeffekt eines Wasserrades schätzungsweise zu bestimmen; dies ist insbesondere der Fall, wenn die Dimensionen eines zu erbauenden Rades bestimmt werden sollen.

Wenn die Constructionsverhältnisse, die Füllungen und die Geschwindigkeiten nicht zu weit von denjenigen abweichen, welche bei gut angeordneten Wasserrädern getroffen werden, darf man für das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt folgende Werthe annehmen:

Unterschlächtiges Rad	0·30 bis 0·35
Kropfrad	0·40 „ 0·50

Poncelet-Rad	0·60	bis	0·65
Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf	0·60	„	0·65
Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf	0·65	„	0·70
Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulissen-Einlauf	0·60	„	0·70
Oberschlächtiges Rad für kleine Gefälle von 3 bis 5^m . . .	0·50	„	0·60
Oberschlächtiges Rad für grössere Gefälle über 5^m	0·60	„	0·75

179.

Wassermenge.

Wenn die Wassermenge, welche in einer Sekunde auf das Rad wirken soll, nicht unmittelbar gegeben ist, so muss dieselbe aus dem Nutzeffekt, den das Rad entwickeln soll, und aus dem Gefälle berechnet werden*). Vermittelst der in voriger Nummer angegebenen Leistungen der Wasserräder findet man für die Wassermenge Q, welche in einer Sekunde den Rädern zugeleitet werden

*) Wenn diese Grössen N_n und H gegeben sind, so kann der Wirkungsgrad $\eta = \frac{N_n}{N_a}$ genauer, als nach Nr. 178, nach folgenden Formeln berechnet werden.

Kropfrad:

$$\eta = 0{\cdot}97 - \frac{(0{\cdot}09 + 0{\cdot}008\,H)\,v^2 + 0{\cdot}002\,v\sqrt{N_n}}{H} - \frac{0{\cdot}034 + 0{\cdot}05\,H}{v} - (0{\cdot}011 - 0{\cdot}002\,H)\,v^2$$

$v = 1{\cdot}7 - 2$, wachsend mit H.

Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf:

$$\eta = 0{\cdot}87 - 0{\cdot}006\,v^2 - \frac{0{\cdot}130\,v^2 + 0{\cdot}052 + 0{\cdot}004\,v\sqrt{N_n}}{H}$$

$$v = 1{\cdot}5;\ \eta = 0{\cdot}856 - \frac{0{\cdot}345 + 0{\cdot}006\sqrt{N_n}}{H}$$

Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf:

$$\eta = 0{\cdot}86 - 0{\cdot}0053\,v^2 - \frac{0{\cdot}136\,v^2 + 0{\cdot}092\,\frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{v\,H}} + 0{\cdot}0056\,v\sqrt{N_n}}{H}$$

$$v = 1{\cdot}6;\ \eta = 0{\cdot}846 - \frac{0{\cdot}348 + 0{\cdot}073\,\frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{H}} + 0{\cdot}009\sqrt{N_n}}{H}$$

muss, um einen Nutzeffekt von N_n Pferdekräften zu 75 Klgmtr. zu erhalten, folgende Werthe:

Unterschlächtiges Rad	$Q = 0{\cdot}214 \frac{N_n}{H}$	bis $0{\cdot}250 \frac{N_n}{H}$
Kropfrad	$Q = 0{\cdot}150 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}187 \frac{N_n}{H}$
Poncelet-Rad	$Q = 0{\cdot}115 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}125 \frac{N_n}{H}$
Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf .	$Q = 0{\cdot}115 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}125 \frac{N_n}{H}$
Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf .	$Q = 0{\cdot}107 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}115 \frac{N_n}{H}$
Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulissen-Einlauf	$Q = 0{\cdot}107 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}125 \frac{N_n}{H}$
Oberschlächtiges Rad für kleinere Gefälle bis zu 5^m	$Q = 0{\cdot}125 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}150 \frac{N_n}{H}$
Oberschlächtiges Rad für grössere Gefälle über 5^m	$Q = 0{\cdot}100 \frac{N_n}{H}$	„ $0{\cdot}125 \frac{N_n}{H}$

Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulissen-Einlauf:

$$\eta = 0{\cdot}94 - \frac{0{\cdot}156\, v^2 + 0{\cdot}634 \frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{v\,H}} + 0{\cdot}0084\, v \sqrt{N_n}}{H}$$

$$v = 1{\cdot}5;\ \eta = 0{\cdot}94 - \frac{0{\cdot}351 + 0{\cdot}517 \frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{H}} + 0{\cdot}013 \sqrt{N_n}}{H}$$

Oberschlächtiges Rad:

$$\eta = 0{\cdot}91 - \frac{0{\cdot}114\, v^2 + 0{\cdot}5 \frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{v\,H}} + 0{\cdot}1 + 0{\cdot}013\, v \sqrt{N_n}}{H}$$

$$v = 1{\cdot}5;\ \eta = 0{\cdot}91 - \frac{0{\cdot}357 + 0{\cdot}41 \frac{\sqrt[3]{N_n}}{\sqrt{H}} + 0{\cdot}02 \sqrt{N_n}}{H}$$

Ist hiernach η berechnet, so findet man: $Q = \frac{0{\cdot}075}{\eta} \frac{N_n}{H}$

G.

180.

Umfangsgeschwindigkeit der Räder v.

Die Wasserräder geben einen befriedigenden Nutzeffekt und fallen nicht zu gross aus, wenn die Umfangsgeschwindigkeiten derselben genau oder ungefähr folgende Werthe haben:

	Umfangsgeschwindigkeit.
Unterschlächtiges Rad	$v = 0{\cdot}4\ \sqrt{2gH}$
Kropfrad	$v = 1{\cdot}5$ bis 2
Poncelet-Rad	$v = 0{\cdot}55\ \sqrt{2gH}$
Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf	$v = 1{\cdot}4$
Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf	$v = 1{\cdot}6$
Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulissen-Einlauf	$v = 1{\cdot}5$
Oberschlächtiges Rad für kleinere Gefälle	$v = 1{\cdot}3$ bis $1{\cdot}5$
Oberschlächtiges Rad für grössere Gefälle	$v = 1{\cdot}5$

181.

Halbmesser der Räder R.

Die Wasserräder geben einen guten Effekt und werden nicht zu kostspielig, wenn die Halbmesser nach folgenden Regeln genommen werden:

Für das unterschlächtige Rad jenachdem die Lokalverhältnisse sind	$R = 2^m, 3^m$ bis $3{\cdot}5^m$
Für das Kropfrad	$R = 1{\cdot}5\,H$ bis $2{\cdot}5\,H$
Für das Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf	$R = 1{\cdot}25\,H$ bis $1{\cdot}5\,H$
Für das Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf	$R =$ ungefähr H
Für das rückschlächtige Zellenrad mit Coulissen-Einlauf	$R = \frac{2}{3}\,H$
Für das oberschlächtige Rad	$R = \frac{1}{2}\left(H - \frac{V^2}{2g}\right)$
In der Regel ist $V = 2v$ zu nehmen und dann wird	$R = \frac{1}{2}\left(H - 4\frac{v^2}{2g}\right)$
Für das Poncelet-Rad	$R = 2\,H$

182.

Füllung der Räder m.

Das Maass der Füllung eines Rades ist das Verhältniss zwischen dem Volumen der Wassermasse, welche ein Schaufel- oder Zellenraum aufzunehmen hat, und dem Volumen eines solchen Raumes.

Es ist:

$$m = \frac{Q}{a\,b\,v}.$$

Die Füllung darf für die Schaufelräder nicht grösser als $\frac{1}{2}$ und für die Zellenräder nicht grösser als $\frac{1}{3}$ sein. Man hat daher:

für Schaufelräder:

$$m = \frac{Q}{a\,b\,v} \text{ ungefähr} = \frac{1}{2}$$

für Zellenräder:

$$m = \frac{Q}{a\,b\,v} = \frac{1}{5},\ \frac{1}{4} \text{ bis } \frac{1}{3}$$

183.

Wassermenge, welche ein Schaufel- oder ein Zellenraum aufzunehmen hat.

Ist der Füllungs-Coeffizient bekannt, so findet man die Wassermenge in Kubikmetern, welche ein Schaufel- oder ein Zellenraum aufzunehmen hat, wenn man diesen Raum mit dem Füllungs-Coeffizienten multiplizirt.

Auch ist die Wassermenge eines Schaufel- oder Zellenraumes gleich

$$Q\,\frac{e}{v}$$

184.

Verhältniss der Breite b und Tiefe a der Räder.

Durch Vergleichung einer grösseren Anzahl von ausgeführten Rädern habe ich gefunden, dass man mit der Erfahrung übereinstimmende Verhältnisse erhält, wenn man nimmt:

für Schaufelräder:

$$\frac{b}{a} = 1{\cdot}75\ \sqrt[3]{N_a}$$

für Zellenräder:

$$\frac{b}{a} = 2{\cdot}25\ \sqrt[3]{N_a}$$

Von diesen Regeln macht das Poncelet-Rad eine Ausnahme.

185.

Bestimmung der Breite b und Tiefe a der Räder.

Hat man, nach den im Vorhergehenden angegebenen Regeln, m, v, $\frac{b}{a}$ bestimmt, so findet man durch folgende Formeln die Breite und Tiefe eines Rades von älterer Construction:

$$b = \sqrt{\frac{Q}{mv} \frac{b}{a}}$$

$$a = \frac{b}{\frac{b}{a}}$$

186.

Anzahl der Radarme.

Die Anzahl der Arme eines Armsystems ist gleich derjenigen ganzen Zahl, welche dem Werthe

$$2 (1 + R)$$

am nächsten liegt.

187.

Anzahl der Schaufeln oder der Zellen.

Die Anzahl der Schaufeln oder der Zellen wird durch diejenige ganze Zahl bestimmt, welche dem Werthe

$$\frac{2 R \pi}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7 a}$$

am nächsten liegt und durch die Anzahl der Arme eines Armsystems theilbar ist. Die Schaufelzahl darf jedoch grösser genommen werden als diese Regel angibt.

188.

Schaufel- und Zellentheilung.

Diese wird gefunden, wenn man den Umfang 2 R π des Rades durch die Anzahl der Schaufeln oder Zellen dividirt.

189.

Spielraum des Rades im Gerinne.

Bei den Rädern, welche Gerinne haben, richtet sich der Spielraum zwischen dem Rade und dem Gerinne nach dem Material, aus welchem beide hergestellt werden, und nach der Genauigkeit der Ausführung.

Für genau gebaute hölzerne Räder ist dieser Spielraum $0{\cdot}02^m$ bis $0{\cdot}025^m$, für eiserne Räder $0{\cdot}015^m$ bis $0{\cdot}02^m$ zu nehmen.

Verzeichnung der Räder.

Für die Verzeichnung der Räder werden die folgenden Andeutungen in Verbindung mit den Figuren Taf. XXXII und XXXIII genügen.

190.

Verzeichnung des unterschlächtigen Rades.

Taf. XXXIII, Fig. 2.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau“, II. Band, Taf. III, Fig. 1.)

O Mittelpunkt des Rades. — C der tiefste Punkt des Rades. — B C D bogenförmiger Gerinnboden. — Neigung der schiefen Ebene B A gegen den Horizont $= \frac{1}{20}$. — Der Schützen J E nahe am Rade. — Neigung desselben gegen den Horizont $= 60^0$. — Dicke des Wasserstrahles vor dem Rade annähernd:

$$\frac{Q}{b_1 \sqrt{2\,g\,h}}\,; \quad b_1 = b - 0{\cdot}1 \text{ Meter.}$$

F E parallel mit B A. — Höhe des Wasserstandes im Zuflusskanal über dem Punkt F gleich H. — Höhe des Wasserspiegels im Abflusskanal übereinstimmend mit der Höhe des Punktes F. — Stellung der Schaufeln so, dass sie im Punkte D eine vertikale Richtung haben.

191.

Verzeichnung des Kropfrades. Taf. XXXIII, Fig. 3.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau“, II. Band, Taf. III, Fig. 2.)

p q der mittlere Wasserstand im unteren Kanal. — m n der niedrigste Wasserstand im oberen Kanal. — O Mittelpunkt. —

C tiefster Punkt des Rades; letzterer in einer Tiefe $\frac{1}{2}$ a unter p q. — O C = R. — Tiefe des Punktes B unter m n: h = 0·46 Mtr. bis $4 \frac{v^2}{2g}$.

A B parabolischer Einlauf.

Neigungswinkel der zum Punkt B gehörigen Tangente gegen den Horizont w = 35° bis 45° $\overline{\overline{<}}$ Winkel C O B.

Coordinaten des Scheitels der Parabel $\begin{cases} B\,D = h \sin 2\,w. \\ A\,D = h \sin^2 w. \end{cases}$

Neigung des Schützens gegen den Horizont ungefähr 60°. Für die Schaufelstellung ist zu machen: C L = $\frac{1}{4}$ a, $\widehat{LM}$ aus O beschrieben. M N vertikal. M P radial. Diese Regel für die Schaufelung gilt für alle Schaufelräder.

192.

Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf. Taf. XXXIII, Fig. 7.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau", II. Band, Taf. III, Fig. 3.)

A B parabolische Einlauffläche.

t Tiefe des Scheitels A der Parabel unter dem Spiegel des Wassers im oberen Kanal

$$t = \left(\frac{Q}{0{\cdot}44\, b_1 \sqrt{2\,g}}\right)^{\frac{2}{3}}; \quad b_1 = b - 0{\cdot}1 \text{ Meter.}$$

Diese Tiefe t kann auch vermittelst der Tabelle (142) bestimmt werden.

Tiefe des Punktes B unter dem oberen Wasserspiegel = 0·46 Mtr.

Coordinaten des Scheitels A der Parabel $\begin{cases} B\,D = 2\sqrt{t\,(0{\cdot}46 - t)} \\ A\,D = 0{\cdot}46 - t \end{cases}$

Rad, Gerinne und Schaufelung werden wie bei dem Kropfrade verzeichnet.

193.

Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf. Taf. XXXIII, Fig. 4.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau", II. Band, Taf. IV, Fig. 1.)

Rad, Gerinne und Schaufelung werden, wie bei dem Kropfrad angedeutet wurde, verzeichnet. Für die Verzeichnung des Einlaufes dienen folgende Bemerkungen:

m n niedrigster Wasserstand im oberen Kanal.

Tiefe des Punktes 1 unter m n gleich 0·3^{m}.

Winkel $\widehat{K\,1\,O} = 36^0$.

Theilung $1{,}2 = 2{,}3 = 3{,}4 \ldots = \frac{1}{3}$ a.

Halbmesser 1 I = 2 II = 3 III . . . = 0·8 a.

Die Linien II 2, III 3 . . . werden so gezogen, dass sie alle den Kreis berühren, dessen Mittelpunkt der Mittelpunkt des Rades und dessen Halbmesser das von diesem Mittelpunkte auf die Linie I 1 K gefällte Perpendikel ist.

Die Wassermenge, welche zwischen irgend zwei auf einander folgenden Coulissen ausfliesst, findet man durch

$$0{\cdot}4\ b\ p\ \sqrt{2gt}$$

wobei

p die normale äussere Entfernung der Coulissen,

t die Tiefe des Mittelpunktes der Ausflussöffnung unter m n bedeutet*).

Um die Anzahl der Coulissen zu finden, berechne man die Wassermengen, welche zwischen den auf einander folgenden Coulissen ausfliessen; addire die erste und zweite, dann die erste, zweite und dritte u s. f., bis man eine Summe erhält, die gleich oder grösser als Q ist. Zu der Anzahl, welche die Wassermenge Q liefert, füge man noch so viele Kanäle nach oben hinzu, als der Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand im obern Kanal entspricht.

194.

Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulissen-Einlauf.

Taf. XXXIII, Fig. 6.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau“, II. Band, Taf. IV, Fig. 2.)

Der höchste Wasserstand im unteren Kanal liegt in der Höhe $\frac{1}{2}$ a über dem tiefsten Punkt des Rades.

---

*) Der Ausflusscoeffizient 0·4 erscheint hier sehr klein gegriffen und dürfte auf wenigstens 0·6 erhöht werden müssen. G.

Die Punkte 5, a, b liegen in einer geraden radialen Linie. a liegt in der Mitte zwischen 5 und b; es ist also $ab = \frac{1}{2}$ a. Bei b muss eine Ventilation angebracht werden. Wenn die äusseren Wände auffallend convergirend erscheinen, müssen dieselben concav gemacht werden. Wenn die Zellenwände von Blech gemacht werden, muss man für den geradlinigen Winkel 1 a b eine durch 1, a, b gehende krumme Linie nehmen.

Zur Verzeichnung der Coulissen dienen folgende Bemerkungen:

m n der niedrigste Wasserstand im oberen Kanal.

Tiefe des Punktes 1 unter m n gleich $0{\cdot}3^m$

1 e der Richtung nach die Verlängerung von a i.

1 c = v tangirend an den Umfang des Gerinnes.

c d der Richtung nach parallel mit 1 e.

$1\,d = \sqrt{2\,g \times 0{\cdot}3} = 2{\cdot}42^m$, 1 I = a, senkrecht auf 1 d.

1,2 = 2,3 = 3,4 ... = 0·4 a.

Die Punkte I, II, III... liegen so, dass die geraden Linien I 1, II 2, III 3... alle denselben aus dem Mittelpunkte des Rades beschriebenen Kreis berühren, und es ist:

$$2\ \mathrm{II} = 3\ \mathrm{III} = 4\ \mathrm{IV} \ldots = 1\ \mathrm{I} = a$$

Die Anzahl der erforderlichen Coulissen wird bestimmt, wie bei dem Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf angedeutet wurde, nur muss hier bei der Berechnung der Wasserquantitäten statt des dort angewendeten Coeffizienten 0·4, 0·75 genommen werden. Auch sind nach oben hin noch so viele Coulissen hinzuzufügen, als der Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand im oberen Kanal entspricht.

195.

Das oberschlächtige Rad. Taf. XXXIII, Fig. 5.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau", II. Band, Taf. V, Fig. 2 und 3.)

Der äussere Umfang des Rades wird von dem höchsten Wasserstand im unteren Kanal berührt.

Tiefe des Punktes a unter dem niedrigsten Wasserstand im oberen Kanal gleich $4\,\frac{v^2}{2\,g}$.

$a\,a_1$ = e die Zellentheilung, $a_1\,1 = \frac{1}{4}$ e, 1 f g gerade radiale Linie, $1\,f = f\,g = \frac{1}{2}$ a.

Wenn die äusseren Zellenwände auffallend convergirend erscheinen, muss f a schwach gekrümmt werden. Wenn die Zellenwände von Blech gemacht werden, ist für dieselben eine durch a, f, g gehende stetig krumme Linie anzunehmen.

a d der Richtung nach tangirend an dem äusseren Umfang des Rades, der Grösse nach = v.

a c der Richtung nach die Tangente an dem Punkt a der Zellenwand a f, d b der Richtung nach parallel mit a c; a b der Grösse nach gleich 2 v.

Nach der Richtung b a muss das Wasser bei a ankommen, um ohne Stoss gegen die Zellenwände in das Rad eintreten zu können. a e parabolische Einlauffläche; dieselbe wird bei a von a b berührt. e Scheitel der Parabel.

Horizontalabstand der Punkte a und e gleich . $\overline{aj} \sin 2 (bad)$

Vertikalabstand der Punkte a und e gleich . . $\overline{aj} \sin^2 (bad)$

196.

Regeln für die Berechnung und Verzeichnung des Poncelet-Rades. Taf. XXXII, Fig. 2.

(Siehe auch des Verfassers „Maschinenbau“, II. Band, Taf. V, Fig. 1.)

O Mittelpunkt des Rades.

Halbmesser des Rades	R = 2 H
Spielraum zwischen Rad und Gerinne . .	= 0·015 bis 0·02 Mr.
Winkel, welche dem bogenförmigen Theil des Gerinnes entsprechen: B O C = C O D .	= 15°
Neigung der schiefen Ebene A B gegen den Horizont	= 3°
Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade	= 0·19 H
E F parallel mit A B.	
F G Horizontallinie, deren Verlängerung den Wasserstand im unteren Kanal bestimmt.	
Höhe des Wasserspiegels m n über dem Punkt F	= H
N L der mittlere Wasserfaden. L M senkrecht auf N L.	
U T Höhe der Radkrone	= 0·509 H
L M Krümmungshalbmesser für die Schaufeln	= 0·711 H
Anzahl der Radschaufeln	= 42
Breite des Rades	$b = 5{\cdot}26 \dfrac{Q}{H\sqrt{2gH}}$

Tiefe des Wassers im Abflusskanal unmittelbar hinter dem Rade . . . . $=0{\cdot}6\,H$

Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . . $v=0{\cdot}55\,\sqrt{2gH}$ *)

Regeln für den Bau der Wasserräder.

197.

Eintheilung der Räder nach ihrer Bauart.

Die Wasserräder können nach ihrer Bauart in folgende Classen eingetheilt werden:

1) Räder mit steifen Armen, durch welche der den Schaufeln oder Zellen mitgetheilte Effekt in die Radwelle und durch diese auf die Transmission übertragen wird.
2) Räder mit steifen Armen und mit einem an die Radarme oder an die Radkränze befestigten Zahnkranze, von welchem aus der dem Rade mitgetheilte Effekt an die Transmission übergeben wird.
3) Räder mit dünnen schmiedeisernen, stangenartigen Armen

*) Passende Verhältnisse für das Poncelet-Rad liefern u. A. auch folgende Regeln:

Spielraum zwischen Rad und Gerinne . . . . $= 0{\cdot}015$ Mtr.

Halbmesser des Rades . . . . $R = 2\,H$

Kranzbreite (Tiefe des Rades) . . . . $a = \frac{2}{3}\,H$

Radbreite . . . . $b = 6\,\frac{Q}{H\sqrt{2\,g\,H}}$

Dicke der Wasserschichte vor dem Rade . . . . . . $= \frac{1}{6}\,H$

Krümmungshalbmesser der Schaufeln . . . . $= \frac{1}{2}\,H$

Neigung der schiefen Ebene A B gegen den Horizont . . $= 3^0$

Winkel zwischen der Lothrechten O C und dem zum mittleren Eintrittspunkt L gezogenen Halbmesser . . $C\,O\,L = 18^0$

Winkel, unter welchem der Umfang des Rades von den Schaufeln geschnitten wird . . . . $\beta = 30^0$

Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . . $v = 0{\cdot}5\,\sqrt{2\,g\,H}$

Anzahl der Schaufeln, wachsend mit der Grösse des Rades $i = 32$ bis 48.

Unter solchen Umständen kann der Wirkungsgrad des Rades gesetzt werden:

$$\frac{N_n}{N_a} = \eta = 0{\cdot}76 - \frac{0{\cdot}05}{H} - \frac{i}{800} - 0{\cdot}0055\,\sqrt{\frac{N_n}{H}}$$

und es ergibt sich damit:

$$Q = \frac{0{\cdot}075}{\eta}\,\frac{N_n}{H}.$$

G.

und mit einem an die Radkränze befestigten Zahnkranz, welcher den Effekt an die Transmission abgibt.

4) Räder mit einem in der Mitte befindlichen Zahnkranz.

5) Räder (von grosser Breite und bedeutender Kraft) mit zwei Zahnkränzen; auf jeder Seite des Rades einer derselben.

198.

Kräfte, welchen die einzelnen Theile der Räder zu widerstehen haben.

1) Ist das Rad nach der ersten Art gebaut, und hat es z. B. drei Armsysteme, so überträgt jedes Armsystem $\frac{1}{3} N_n$ nach der Welle herein. Das erste Wellenstück a b, Taf. XXXII, Fig. 1, überträgt $\frac{1}{3} N_n$, das zweite Stück b c: $\frac{2}{3} N_n$, die Fortsetzung c d die ganze Kraft N_n, und es geschieht diese Uebertragung in der Welle durch Torsion.

2) Soll das Rad nach der zweiten Art und mit drei Armsystemen erbaut werden, Taf. XXXII, Fig. 3, so überträgt jedes der Armsysteme A und B $\frac{1}{3} N_n$ nach der Welle herein; das Armsystem C überträgt $\frac{2}{3} N_n$ nach dem Zahnkranz hinaus, das Wellenstück a b ist durch $\frac{1}{3} N_n$, das Wellenstück b c durch $\frac{2}{3} N_n$ auf Torsion in Anspruch genommen.

3) Ein Rad, das nach der dritten Art erbaut und mit radialen, so wie auch mit Diagonal- und mit Umfangsstangen versehen ist, gibt die Kraft direkt an den Zahnkranz ab. Die Radialarme und die Welle haben nur das Gewicht des Rades zu tragen; die Diagonalstangen schützen gegen Seitenschwankungen; die Umfangsstangen übertragen die Kraft, welche der einen Seite des Rades mitgetheilt wird, nach dem Zahnkranz.

4) Ist ein Rad nach der vierten Art erbaut, und sind die Radkronen mit dem mittleren Zahnkranz durch Umfangsstangen oder durch Traversen verbunden, so haben die Arme und die Welle nur das Gewicht der ganzen Construction zu tragen.

5) Ist ein Rad nach der fünften Art erbaut, so haben wiederum die Arme und die Welle nur das Gewicht des Baues zu tragen, vorausgesetzt, dass die Zwischenkränze, wenn solche

vorhanden sind, durch Umfangsstangen mit den äussern Kränzen verbunden sind.

Diese Bemerkungen sind um so richtiger, je genauer (bei Rädern mit Zahnkränzen) der Kolben, d. i. das mit dem Zahnkranz im Eingriff stehende Getriebe, in demjenigen Radius des Rades liegt, welcher durch den Schwerpunkt des im Rade enthaltenen Wassers geht.

Regeln für die wichtigsten Dimensionen.

199.

Zahnkranz.

Halbmesser des Zahnkranzes . . $= R_1$

Dicke eines Zahnes auf dem Theilriss gemessen . . . . $= z = 0{\cdot}086 \sqrt{\frac{75\,N_n}{v}\frac{R}{R_1}}$ Centim.

Breite des Kranzes . . . . . $= 5{\cdot}5\,z$ Centim.

Länge der Zähne nach dem Radius gemessen . . . . . . $= 1{\cdot}5\,z$ „

Theilung . . . . $= 2{\cdot}1\,z$ „

Gewöhnlich ist v ungefähr $1{\cdot}5^m$, und R_1 genau oder nahe $= R$, und dann wird die Dicke eines Zahnes . . . . $= 0{\cdot}6\sqrt{N_n}$ Centim.

Breite, Länge, Theilung wie oben.

Die Zahndicke z und die Theilung $= 2{\cdot}1\,z$ sind schliesslich nöthigenfalls noch etwas zu modificiren so, dass die Anzahl der Zähne theilbar wird durch die Anzahl der Segmentstücke, aus welchen der Kranz besteht und welche gleich der Anzahl der Arme eines Armsystems zu nehmen ist.

200.

Eiserne Wellen.

Die Wellen oder Wellenstücke, welche auf Torsion in Anspruch genommen sind, dürfen nach der Regel bestimmt werden, die für Transmissionswellen im Allgemeinen gilt, nur muss man, wenn alle Theile den auf sie einwirkenden Kräften entsprechend construirt werden sollen, bei der Bestimmung jedes Wellenstückes nur die Pferdekraft in Rechnung bringen, welche das Wellenstück überträgt. Wellen, welche nur die Gewichte des Baues zu tragen haben, müssen nach den Regeln der respektiven Festigkeit construirt werden. Der Coeffizient der respektiven Festigkeit ist dabei im Allgemeinen = 300 zu nehmen.

Das Wellenstück von einem tragenden Zapfen bis zur nächsten Rosette wird immer nur auf respektive Festigkeit in Anspruch genommen, und es ist bei cylindrischer Form sein Durchmesser D an der Rosette (nach dem Zapfen hin darf er etwas abnehmen) nach der Formel zu berechnen:

$$D = d \sqrt[3]{\frac{l}{\frac{1}{2} c}}$$

worin d den Durchmesser, $c = 1 \cdot 2\, d$ die Länge des Zapfens und l die Entfernung des Zapfenmittels von der Rosette bedeutet. Letztere soll immer so klein als möglich genommen werden.

Hat die Welle überhaupt nur zu tragen und ist sie mit dem Radkranz durch 2 Armsysteme verbunden, so behält sie zwischen diesen denselben Durchmesser D, wobei es jedoch vorzuziehen ist, hier die cylindrische Form durch eine der Formen Taf. X, Fig. 3—5 mit gleichwerthigem Querschnitt zu ersetzen.

201.

Zapfen der Wasserradwelle.

Der Durchmesser eines Wasserradzapfens ist annähernd gleich $3 \sqrt{N_a}$ Centimeter.

Genau können die Zapfen erst bestimmt werden, nachdem das Rad entworfen und das Gewicht desselben berechnet worden ist.

Ist der Druck, welchen ein Zapfen auszuhalten hat, bestimmt und gleich P, so findet man den Durchmesser desselben vermittelst der Formel

$$0 \cdot 18 \sqrt{P} \text{ Centim.}$$

oder vermittelst der Tabelle Nr. 67.

202.

Hölzerne Wellen.

Der Durchmesser einer hölzernen Welle ist 5 Mal so gross zu nehmen als der Durchmesser des Wellzapfens.

203.

Radarme.

a) Steife eiserne. Diese sind nach der Regel zu construiren, welche Nr. 90, g. für die Arme von Transmissionsrädern aufgestellt wurde.

Nennt man nämlich:

d den Durchmesser, welchen eine Transmissionswelle haben muss, welche so schnell umgeht wie das Wasserrad, und die so viel Effekt überträgt wie das Armsystem, von welchem die Dimensionen eines Armes bestimmt werden sollen,

h die Höhe eines Armes (am Mittelpunkt der Welle und senkrecht auf die Längenrichtung des Armes gemessen),

b die Dicke desselben,

$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Arme des Armsystems, so hat man hier, wie bei den Transmissionsrädern:

$$\frac{h}{d} = \frac{1{\cdot}7}{\sqrt[3]{\mathfrak{N}}} \qquad b = \frac{1}{5}\,h$$

Für $\mathfrak{N}$ =	4	6	8	10	12
wird $\frac{h}{d}$ =	1·07	0·94	0·85	0·79	0·74

Dabei kann $\mathfrak{N} = 2\,(R + 1)$ resp. der zunächst kommenden ganzen Zahl gleich genommen und die Zahl der Armsysteme bis zu 2·5 Meter Radbreite = 2, bei grösserer Breite = 3 genommen werden.

b) Steife hölzerne Arme. Die Höhe dieser Arme bestimme man genau so, wie wenn die Arme von Eisen wären, die Dicke dagegen nehme man $= \frac{5}{7}$ h.

Diese beiden Regeln beziehen sich auf Arme, die auf respective Festigkeit in Anspruch genommen sind, gelten also für Räder nach der ersten und zweiten Bauart.

c) Dünne schmiedeiserne Tragarme für Räder nach der dritten, vierten und fünften Bauart.

Durchmesser eines radialen Armes*) . $d = 0{\cdot}65\,\sqrt{N_a}$

*) Ist G das Gewicht der äusseren Theile des Rades, und sind die radialen Arme so stark angezogen, dass in der höchsten Lage ihre Spannung = Null ist und sie dadurch eben der Gefahr der Verbiegung entzogen sind, so ist ihre grösste Spannung in der tiefsten Lage

$$= \frac{4}{\mathfrak{N}}\,G = \frac{1600}{\mathfrak{N}}\,N_a$$

wenn mit Redtenbacher G = 400 Kilogr. per Pferdekraft des absoluten Effekts gesetzt wird. Damit ergibt sich, wenn $\mathfrak{S}$ die zugelassene grösste Spannungsintensität bedeutet:

$$d = \sqrt{\frac{6400}{\pi\,\mathfrak{S}\,\mathfrak{N}}}\,\sqrt{N_a}$$

Durchmesser einer Diagonalstange . . $= 0{\cdot}75$ d
Durchmesser einer Umfangsstange . . $= 0{\cdot}6$ d

204.

Rosetten.

Nennt man d den Durchmesser des Wasserradzapfens, h die grössere von den Querschnittsdimensionen eines Radarms, so ist:

A) die Länge einer Armhülse an der Rosette
- a) für Räder mit steifen Armen, nach Bauart 1 und 2, $= 2$ h bis $2{\cdot}4$ h;
- b) für Räder mit hölzernen Tragarmen, nach Bauart 3, 4, 5 $= 4$ h;
- c) für Räder mit schmiedeisernen Tragarmen gleich 6 Stangen-Durchmessern.

B) Metalldicke der Rosettenhülse, welche zum Aufkeilen der Rosette dient, $= \frac{1}{3}d + 0{\cdot}5$.

C) Länge dieser Hülse $= 1{\cdot}2$ d bis $1{\cdot}6$ d.

205.

Kegelkränze.

Radiale Dimension eines Kegelkranzes sowohl für Eisen als auch für Holz		$\frac{1}{3}a$
Dicke des Kranzes	für Holz	$\frac{1}{3}a$
	für Eisen	$\frac{1}{20}a$

106.

Radkränze für Zellenräder.

Hölzerne Kränze	Dicke der inneren Felgen	$\frac{a}{6}$
	Dicke der äusseren Felgen	$\frac{a}{7}$

Für $\mathfrak{N} = 8$ stimmt diese Formel mit der obigen Regel $d = 0{\cdot}65\sqrt{N_a}$ überein, wenn $\mathfrak{S} = 600$ gesetzt wird; für andere Werthe von $\mathfrak{N}$ aber erhält man:

$$d = 0{\cdot}65\sqrt{\frac{8}{\mathfrak{N}}N_a} = 1{\cdot}84\sqrt{\frac{N_a}{\mathfrak{N}}}$$ G.

Eiserne Seitengetäfer, Dicke derselben . . . . . . $\frac{a}{25}$ bis $\frac{a}{20}$

207.

Schaufel- und Zellenbretter.

Dicke der hölzernen Schaufelbretter . . . . $\frac{a}{14}$ bis $\frac{a}{11}$

Dicke des Kübelbodens . . . . $\frac{a}{8}$

Dicke der äusseren Kübelwand { in der Mitte von a . . . . . . $\frac{a}{8}$; am Umfang des Rades . . . . $\frac{a}{10}$ }

208.

Radboden.

Dicke des Radbodens bei Schaufelrädern . . . . . . $\frac{a}{15}$ bis $\frac{a}{11}$

Dicke des Radbodens bei Kübelrädern . . . . . . $\frac{a}{7}$

209.

Gerinnboden).*

Dicke der Gerinnböden . . . . $\frac{a}{10}$

Regeln zur Berechnung des Nutzeffektes der älteren Wasserräder.

Das unterschlächtige Rad.

210.

Wasserverluste.

Um den Nutzeffekt eines unterschlächtigen Rades zu berechnen, müssen zuerst die Wassermengen bestimmt werden, welche zwischen

*) Einige Darstellungen von Detailconstructionen der in den vorhergehenden Nummern besprochenen Theile von Wasserrädern siehe Redtenbachers „Maschinenbau“, II. Band, Taf. VIII und IX. G.

den Schaufeln und unter dem Rade wirkungslos entweichen. Es ist die Wassermenge q_1, welche in jeder Sekunde zwischen den Schaufeln durchgeht, ohne gegen dieselben zu wirken,

a) wenn der Boden des Zuflusskanals und jener des Abflusskanals eine fortlaufende gerade Linie bilden:

$$q_1 = \frac{1}{24} b \frac{e^2}{R} \left(\frac{V}{V - v}\right)^2 V \; . \; . \; . \; . \quad \text{wenn } \frac{Q}{bV} > \frac{e^2}{8R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

$$q_1 = Q \left(1 - \frac{4}{3} \frac{1}{e} \frac{V - v}{V} \sqrt{\frac{2RQ}{bV}}\right) \text{wenn } \frac{Q}{bV} < \frac{e^2}{8R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

$$q_1 = \frac{1}{3} Q \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{wenn } \frac{Q}{bV} = \frac{e^2}{8R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

b) wenn im Abflusskanal Boden und Wasserspiegel tiefer liegen, als im Zuflusskanal:

$$q_1 = Q\left(1 - \frac{2}{3} \frac{1}{e} \frac{V - v}{V} \sqrt{\frac{2RQ}{bV}}\right) \text{wenn } \frac{Q}{bV} < \frac{e^2}{2R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

$$q_1 = \frac{1}{6} b \frac{e^2}{R} \left(\frac{V}{V - v}\right)^2 V \; . \; . \; . \; . \quad \text{wenn } \frac{Q}{bV} > \frac{e^2}{2R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

$$q_1 = \frac{1}{3} Q \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{wenn } \frac{Q}{bV} = \frac{e^2}{2R}\left(\frac{V}{V - v}\right)^2$$

c) wenn der Boden des Zuflusskanals mit einem über zwei Schaufeltheilungen sich erstreckenden gekrümmten Theil versehen ist:

$$q_1 = 0$$

Es ist ferner die Wassermenge q_2, welche in 1 Sekunde durch den Spielraum des Rades im Gerinne entweicht,

a) bei einem geradlinig fortlaufenden Gerinne:

$$q_2 = b V \left(\varepsilon + \frac{e^2}{16 R}\right) \sqrt{1 - \frac{2g}{V^2} \frac{Q}{bv}}$$

b) wenn der Boden des Abflusskanals tiefer liegt, als jener des Zuflusskanals:

$$q_2 = b V \left(\varepsilon + \frac{e^2}{16 R}\right)$$

c) wenn der Boden des Zuflusskanals mit einem über zwei Schaufeltheilungen sich erstreckenden gekrümmten Theil versehen ist:

$$q_2 = 0$$

211.

Nutzeffekt des unterschlächtigen Rades.

Hat man nach den so eben gegebenen Regeln die Wasserverluste q_1 und q_2 berechnet, so findet man den Nutzeffekt durch folgenden Ausdruck:

$$E_n = \frac{1000}{2g} (Q - q_1 - q_2) \left[2 v (V - v) - \frac{3 Q v}{b R} \right]$$

$$- 0{\cdot}118 \, i \, a \, b \, v^3 - 0{\cdot}8 \, n \, f \, N_n \sqrt{N_n}$$

Für den Nutzeffekt N_n darf man $0{\cdot}35 \, N_a$ in Rechnung bringen.

212.

Nutzeffekt des Kropfrades, des Schaufelrades mit Ueberfall-Einlauf und des Schaufelrades mit Coulissen-Einlauf.

Man findet den Nutzeffekt dieser Räder vermittelst folgender Formel:

$$E_n = 1000 \, Q H - 1000 \, Q \left[\frac{V^2}{2g} + \frac{1}{2} h - \frac{v (V \cos \delta - v)}{g} \right]$$

$$- 1000 \, Q \left[\frac{e}{2} \sin \gamma + c \sin (\gamma - \beta) - s \right]$$

$$- 1000 \, \varepsilon \, b \sqrt{2 g e} \left(H - \frac{V^2}{2g} \right) \left(0{\cdot}43 + 0{\cdot}26 \frac{Q}{a b v} \right)$$

$$- 0{\cdot}188 \, i \, a \, b \, v^3$$

$$- 0{\cdot}366 \, b \, S \, v^3$$

$$- 0{\cdot}8 \, n \, f \, N_n \sqrt{N_n}$$

Das erste von den negativen Gliedern gibt den Effektverlust, welcher beim Eintritt des Wassers durch seine relative Geschwindigkeit gegen das Rad, und den Effektverlust, welcher beim Austritt durch die Geschwindigkeit des Rades und durch den Wasserstand im untern Kanal entsteht.

Das zweite negative Glied gibt den Effektverlust, welcher beim Eintritt durch die Schaufeltheilung, durch die Füllung und durch die Form der Schaufeln entsteht. Die Höhe s des Schwerpunktes der Wassermenge muss aus der Zeichnung des Rades entnommen werden.

Das dritte negative Glied bestimmt den Effektverlust durch das Entweichen des Wassers am Umfang des Rades,

das vierte Glied den Verlust durch Luftwiderstand,

das fünfte Glied den Verlust durch Wasserreibung,

das sechste Glied den Verlust durch Zapfenreibung.

Für N_n ist in dem letzten Glied zu setzen $0{\cdot}5\ N_a$.

213.

Nutzeffekt des rückschlächtigen Zellenrades mit Coulissen-Einlauf und mit Radgerinne.

Man findet den Nutzeffekt dieses Rades durch folgenden Ausdruck:

$$E_n = 1000\ Q\ H - 1000\ Q \left[\frac{V^2}{2g} + \frac{1}{2}\ h - \frac{v\ (V \cos\delta - v)}{g}\right]$$

$$- 1000\ Q \left[\frac{e}{2} \sin\gamma + c \sin(\gamma - \beta) - s\right]$$

$$- 464\ \varepsilon \sqrt{2\ g\ e}\ R\ \frac{Q}{a\ v}$$

$$- 0{\cdot}366\ b\ S\ v^3$$

$$- 0{\cdot}8\ n\ f\ N_n \sqrt{N_n}$$

Die negativen Glieder dieses Ausdruckes haben die gleiche Bedeutung wie bei den vorhergehenden Rädern, nur fehlt in dem vorliegenden Fall das Glied, welches im vorhergehenden Falle den Einfluss des Luftwiderstandes ausdrückt.

214.

Nutzeffekt des oberschlächtigen Rades.

Zur Berechnung des Nutzeffektes eines oberschlächtigen Rades dient folgender Ausdruck:

$$E_n = 1000\ Q\ H - 1000\ Q \left[\frac{V^2}{2g} + h - \frac{v\ (V \cos\delta - v)}{g}\right]$$

$$- 1000\ Q\ a \left(1 - \frac{1}{2}\ \frac{Q}{a\ b\ v}\right)$$

$$- 1000\ Q\ R \left(0{\cdot}50 - 0{\cdot}07\ \frac{a\ b\ v}{Q}\right) - 0{\cdot}8\ n\ f\ N_n \sqrt{N_n}$$