$$P = \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v) \, Sin\, \alpha \qquad (17)$$

und daraus wieder durch Zerlegung in zwei Seitenstöfse, für

$$\left.\begin{array}{l} \text{den Parallelstofs: } P_1 = \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v) \, Sin^2 \alpha \\ \text{und den Seitenstofs: } P_2 = \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v) \, Sin\,\alpha \, Cos\,\alpha \end{array}\right\} (18)$$

also dieselben Werthe, wie im vorigen Falle.

Anmerkung. *Weisbach* findet unter der Annahme einer allerdings willkürlichen Voraussetzung $P = 2 \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v \frac{Sin\,\alpha}{1 + Sin^2 \alpha}$.

Duchemin dagegen setzt $P = 2 \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v) \frac{Sin^2 \alpha}{1 + Sin^2 \alpha}$ (gl ich dem Parallelstofs nach *Weisbach*).

Navier erhält obschon die Voraussetzung, dafs alle abgelenkten Wasserfäden eine gleiche Stärke besitzen, nicht richtig ist, für den Normalstofs P den obigen Werth (17), dagegen für den Parallelstofs den unrichtigen Werth $P_1 = \frac{\gamma a}{g} V(V \mp v)$.

Schlüfslich ist zu bemerken, dafs die obigen theoretischen Resultate und Formeln über den Stofs isolirter Strahlen mit der Erfahrung nur dann übereinstimmen, wenn die Ausdehnung der Stofsfläche wenigstens so grofs ist, dafs die Wasserfäden in parallelen Richtungen zu den letzten Elementen der gestofsenen Fläche austreten können, ohne jedoch im Gegentheile wieder so grofs zu seyn, dafs das Gewicht und die Adhäsion der auf der Fläche befindlichen Flüssigkeit einen hemmenden Einflufs äufsern kann.

Nach den gemachten Erfahrungen mufs, namentlich bei dem geraden Stofs, der Durchmesser der Stofsfläche wenigstens 4 Mal so grofs als jener des anstofsenden Strahles seyn. Nach den Versuchen von *Langsdorf* vermindert sich, wenn die Fläche nur eben so grofs als der Querschnitt des Strahles ist, der Stofs gegen diese Fläche beiläufig um die Hälfte des durch die obige Formel (12) angegebenen Werthes.

Von den Wasserrädern.

(§. 363.)

216. Obschon wir dem Verdienste jener Autoren, welche, wie namentlich Herr Professor ***F. Redtenbacher***, bemüht waren eine vollständige Theorie der Wasserräder zu entwickeln, volle Gerechtigkeit widerfahren lassen; so ziehen wir es hier dennoch vor, nach dem Vorgange der französischen Schule, bei dieser Entwicklung nur jene Widerstände in Rechnung zu bringen, welche sich mit einiger Verläfslichkeit bestimmen lassen und alle übrigen, welche entweder an und für sich unbedeutend oder deren Bestimmung nur annäherungsweise möglich ist und für den practischen Gebrauch zu äufserst unbequemen, complicirten Formeln führen, auszulassen und summarisch durch einen so weit wie möglich richtig ermittelteten Erfahrungscoefficienten, welcher selbst auch im erstern Falle nicht ganz entbehrt werden kann, zu ersetzen.

Von diesem Gesichtspuncte ausgehend sey allgemein für was immer für ein Wasserrad oder einen sonstigen hydraulischen Motor, Q das per Secunde zufliefsende Wasser in Kubikfufs, $M = 56 \cdot 5\, Q$ die Masse desselben in Pfunden ausgedrückt, H die Gefällshöhe, d. i. der Verticalabstand des Wasserspiegels im Zuflufs- über dem Wasserspiegel im Abflufscanal (oder des Ober- vom Unterwasserspiegel), V die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in das Rad eintritt oder den Umfang desselben erreicht, w die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser aus dem Rade austritt und v die Umfangsgeschwindigkeit des Rades, alle diese Mafse in Fufsen ausgedrückt, ferner P der auf den Umfang des Rades reducirte Nutzwiderstand, welchen das Rad wirklich überwindet, $E_a = MH = 56 \cdot 5\, QH$ der absolute Effect des verwendeten Wassers oder (wie man sich auch ausdrückt) dessen dynamische Kraft, $E_n = Pv$ der Nutzeffect des Rades, diese beiden Gröfsen in Fufspfund ausgedrückt, so wie endlich $N_a = \frac{E_a}{430}$ und $N_n = \frac{E_n}{430}$ der absolute Effect und der Nutzeffect in Pferdekräften ausgedrückt.

Theilt man die Gefällshöhe H in zwei Theile und setzt $H = h_1 + h'$, wobei h_1 die verticale Höhe vom Oberwasserspiegel bis zu dem Eintrittspunct des Wassers in das Rad, und h' die Höhe dieses Punctes über dem Unterwasserspiegel bezeichnet, setzt ferner die Geschwindigkeitshöhe $\frac{V^2}{2g} = h$; so ist fürs erste (§. 365) immer $h < h_1$, so, dafs das eigentlich disponible oder wirksame Gefälle $h + h' < h_1 + h'$ d. i. immer $< H$ ist, und zwar hängt dieser, schon von vorne herein Statt findende Verlust an lebendiger Kraft oder Wirkungsgröfse von der Anordnung der Schütze und Zuführung des Wassers in das Rad ab. Die Berücksichtigung aller in den frühern Nrn. oder §§. gemachten, hierauf bezüglichen Bemerkungen, geben die Mittel an die Hand, diesen Verlust so weit als möglich zu vermindern.

Da beim Eintritte des Wassers in das Rad durch den Stofs, oder überhaupt dadurch, dafs V von v, sey es der Gröfse oder Richtung nach, verschieden ist, ein Verlust an lebendiger Kraft, also auch (§. 201

und Zusatz auf S. 605) an Wirkungsgröfse entsteht; so werde dieser letztere allgemein durch $\frac{Mu^2}{2g}$ ausgedrückt, wobei u eine gewisse Function von V, v und dem Winkel, welchen die Richtungen dieser beiden Geschwindigkeiten miteinander bilden, so wie von der Anordnung der Schaufeln oder Zellen seyn wird.

Da ferner das austretende Wasser noch die absolute Geschwindigkeit w, welche von der Richtung und Geschwindigkeit des Wassers und des letzten Schaufelelementes abhängt, also die Wirkungsgröfse $\frac{Mw^2}{2g}$ besitzt, so mufs auch dieser Theil von der disponiblen Arbeits- oder Wirkungsgröfse des Wassers abgezogen werden, und da diese letztere $= M(h + h')$ ist, so hat man offenbar für den theoretischen Nutzeffect des Wasserrades oder hydraulischen Motors Pv oder

$$E_n = M(h + h') - \frac{M}{2g}(u^2 + w^2) \quad . \ . \ (1)$$

so wie für den wirklichen Nutzeffect e_n den Werth $e_n = k' E_n$, oder für die Praxis bequemer

$$e_n = k E_a = k M H \quad . \ . \ (2)$$

wobei k der betreffende Erfahrungscoefficient und dabei immer kleiner als die Einheit ist.

Anmerkung. Zu den in der Formel (1) nicht berücksichtigten, oben erwähnten Widerständen oder Effectverlusten gehören besonders 1) die Zapfenreibung, 2) die Wasserreibung oder Adhäsion desselben und 3) der Luftwiderstand. Mit Ausnahme jedoch des erstern Widerstandes, welcher sich übrigens immer leicht nach §. 237 bestimmen läfst und dem Effectverlust, welcher durch die eintretenden, von dem besondern Baue und der Anordnung jeder einzelnen Radgattung abhängigen Wasserverluste entsteht, sind alle übrigen Widerstände in der Regel sehr unbedeutend und werden am besten und einfachsten durch den Erfahrungscoefficienten k vertreten oder in Rechnung gebracht.

Was namentlich den durch die Zapfenreibung herbeigeführten Effectverlust anbelangt, so ist dieser $= \frac{\pi}{60} n d f G = \frac{1}{19} n d f G$ F. Pf, wenn G das gesammteGewicht des Rades in Pfunden, d den Durchmesser des Zapfens in Fufsen, n die Anzahl der Umdrehungen per Minute und f den betreffenden Reibungscoeffizienten bezeichnet.

Da aber *Redtenbacher* aus vielen Berechnungen über die Gewichte der verticalen Wasserräder gefunden hat, dafs dasselbe für jede Pferdekraft Nutzeffect von 400 bis 500 Kilogramm beträgt; so kann man in runder Zahl $G = 900 N$ Pfund, ferner den Zapfendurchmesser diesem Gewichte proportional und zwar $d = \cdot 095 \sqrt{N}$ Fufs setzen. Werden diese Werthe für d und G in dem vorigen Ausdrucke substituirt, so erhält man bei allen verticalen Wasserrädern für den Effectverlust durch die Zapfenreibung den Näherungswerth:

$$4{\cdot}5\,nfN\sqrt{N}\;.\;.\quad(\alpha)$$

217. Die vorige Gleichung (1) zeigt, daſs das absolute Maximum des Nutzeffectes, nämlich der Werth

$$E_n = M(h + h')\;.\;.\quad(3)$$

nur erreicht wird, wenn $u^2 + w^2 = 0$, d. h. wenn sowohl $u = 0$ als auch $w = 0$ ist, wenn nämlich das Wasser ohne Stoſs in das Rad gelangt und ohne alle Geschwindigkeit aus demselben austritt (§. 366). Zugleich wird dabei angenommen, daſs das Wasser so tief als möglich, nämlich im Unterwasserspiegel austrete.

Da sich übrigens diese beiden Bedingungen nur sehr selten realisiren lassen, ja sogar oft miteinander im Widerspruche stehen, so muſs man in diesen Fällen wenigstens das relative Maximum, welches auf die bekannte Weise (indem man den betreffenden Differenzialquotienten $= 0$ setzt) gefunden wird, zu erreichen trachten.

Anmerkung. Es ist übrigens leicht zu erkennen, welche Vorzüge die Wasserräder durch ihre gleichförmige rotirende Bewegung gegen oscillirende Motoren (wie z. B. der hydraulischen Schaukel) haben, bei welchen, da v und w niemals constant werden, immer ein Verlust an lebendiger Kraft eintritt, welcher nur dadurch vermindert werden oder fast auf Null gebracht werden kann, daſs man V und v sehr klein macht.

218. Untersucht man die obige Bedingung von $u = 0$ genauer und nimmt an, die Schaufel AMB (Fig. 144) werde in der Richtung CM von dem Wasserstrahle mit der Geschwindigkeit V getroffen und sie selbst weiche in der Richtung MN mit der Geschwindigkeit v aus, setzt, wenn ST eine Tangente im Puncte M bildet, W. $CMT = \alpha$, W. $TMN = \beta$ und zerlegt jede der beiden Geschwindigkeiten V und v in zwei V', V'' und v', v'', wovon V'' und v'' in die Richtung ST der Tangente oder der Schaufelfläche fallen und die beiden andern V' und v' auf derselben perpendikulär stehen; so hat man $V' = V\,Sin\,\alpha$, $v' = v\,Sin\,\beta$, $V'' = V\,Cos\,\alpha$ und $v'' = v\,Cos\,\beta$.

Ist nun $V\,Sin\,\alpha > v\,Sin\,\beta$, so entsteht beim Eintritt des Wassers in die Schaufel ein Stoſs und für die während der Zeit dt zum Stoſs gelangende Wassermasse dM ein Verlust an Wirkungsgröſse (§. 354) von $\frac{dM}{2g}(V\,Sin\,\alpha - v\,Sin\,\beta)^2$, welcher Verlust bei der continuirlichen Wiederholung gegen die nämliche oder eine ähnliche Schaufel in der Zeiteinheit, d. i. während einer Secunde den Werth

$$\int \frac{dM}{2g} (V \, Sin \, \alpha - v \, Sin \, \beta)^2 = \frac{M}{2g} (V \, Sin \, \alpha - v \, Sin \, \beta)^2 \text{ erhält.}$$

Die erwähnte Bedingung von $u = 0$ wird also erfüllt und daher der Verlust an lebendiger Kraft beim Eintritt in das Rad vermieden, wenn $V \, Sin \, \alpha = v \, Sin \, \beta$ ist. Diefs findet aber Statt:

1) wenn man über $Ma = V$ und $Mb = v$ das Parallelogramm construirt und es sich zeigt, dafs ac mit ST parallel läuft, weil dann $V \, Sin \, \alpha = Ma \, Sin \, \alpha = am$, $v \, Sin \, \beta = Mb \, Sin \, \beta = bn$ und $am = bn$ ist;

2) wenn $V = v$ und gleichzeitig $\alpha = \beta$ oder $\alpha = 180^0 - \beta$ ist, und

3) wenn $\alpha = 0$ oder 180^0 und $\beta = 0$ und 180^0 ist, nämlich das Wasser in der Richtung der Schaufel eintritt und die Geschwindigkeit der letztern mit jener des Wassers in eine gerade Linie fällt.

Anmerkung. Im Falle sich die Schaufeln dem eintretenden Wasserstrahle entgegen bewegen, müfste man entweder v oder β mit dem entgegengesetzten Zeichen einführen und dann wäre der obige Verlust an Wirkungsgröfse in der Zeiteinheit $= \frac{M}{2g} (V \, Sin \, \alpha + v \, Sin \, \beta)^2$

219. Die relative Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser nach dem Stofse über die Fläche der Schaufel fliefst, ist $V'' - v''$, oder wenn man für V'' und v'' die Werthe aus Nr. **218** setzt, wird diese relative Geschwindigkeit, je nach dem Sinne von v:

$$V \, Cos \, \alpha \mp v \, Cos \, \beta.$$

Tritt der vorhin erwähnte günstige Fall von $\alpha = 0$ und $\beta = 0$ (welcher nur bei krummen Schaufeln möglich ist) ein und sind V und v im gleichen Sinne gerichtet; so ist $Cos \, \alpha = Cos \quad = 1$ und daher die genannte relative Geschwindigkeit $= V - v$. (Vergleiche auch Nr. **201**, Anmerk.)

220. Tritt der Strahl in ein Gefäfs oder eine Zelle (Kübel) wie in Fig. 145 ein, so verliert er durch wiederholte Stöfse (die man jetzt nicht mehr wie vorhin nach normaler Richtung auf die Schaufel ab zu untersuchen braucht) seine ganze relative Geschwindigkeit u. Diese ist, wenn wieder V und v die Geschwindigkeiten des eintretenden Wasserstrahls und der ausweichenden Zelle bezeichnen und ihre positiven Richtungen den Winkel φ einschliefsen (Nr. **201**, Gleich 1)

$$u = \sqrt{(V^2 + v^2 - 2 \, V v \, Cos \, \varphi)}$$

folglich ist der in der Zeiteinheit oder einer Secunde Statt findende Verlust an Wirkungsgröfse

$$\frac{Mu^2}{2g} = \frac{M}{2g}(V^2 + v^2 - 2\,V\,v\,Cos\,\varphi)\;.\;.\;(m)$$

eine Gröſse, welche im Allgemeinen nur verschwinden oder Null werden kann, wenn $\varphi = 0$ und $V = v$ ist, d. h. wenn die beiden Geschwindigkeiten V und v sowohl ihrer Richtung als Gröſse nach einander gleich sind.

221. Untersucht man nun auch die zweite der obigen, dem absoluten Maximum entsprechenden Bedingungsgleichungen, nämlich jene $w = 0$, so flieſst das Wasser nach der Bemerkung in Nr. **219** nach dem Stoſs mit der relativen Anfangsgeschwindigkeit $V\,Cos\alpha \mp v\,Cos\beta$ über die Schaufelfläche, tritt jedoch im Allgemeinen durch die Einwirkung von beschleunigenden oder verzögernden Kräften von der Schaufel nach der Verlängerung BG (Fig. 133) des letzten Elementes mit einer davon verschiedenen relativen Geschwindigkeit $BG = u'$ aus, wofür, wenn v' die Geschwindigkeit des letzten Elementes der Schaufelfläche und γ der Winkel zwischen u' und v' ist, für die absolute Geschwindigkeit BJ oder (Nr. **201**, Gleich. 3)

$$w = \sqrt{(v'^2 + u'^2 + 2\,v'\,u'\,Cos\,\gamma)}$$

Statt findet.

Diese Gröſse kann aber im Allgemeinen nur Null werden, wenn man gleichzeitig $v' = u'$ und $\gamma = 180^0$ hat, d. h. wenn das Wasser mit einer Geschwindigkeit und nach einer Richtung die Schaufel verläſst, welche jener des letzten Elementes derselben gleich und direct entgegengesetzt ist. Da diese Bedingung jedoch in der Wirklichkeit fast niemals vollständig zu erreichen ist, indem erstlich wegen der Schwierigkeit beim Austreten des Wassers der Supplementswinkel $180^0 - \gamma$ niemals (wie es eben verlangt wurde) $= 0$, sondern öfter sogar bis 30^0 genommen werden muſs und zweitens auch nicht immer v' genau gleich u' seyn kann, indem v' von v abhängt und v gegen V, wenn die erste der genannten Bedingungen, d. i. $u = 0$ erfüllt werden soll (Nr. **218**), in einer bestimmten Relation stehen müssen, so folgt, daſs es im Allgemeinen nicht möglich ist, den genannten beiden Bedingungsgleichungen $u = 0$ und $w = 0$ vollständig zu entsprechen und den absolut gröſsten Nutzeffect (3) in Nr. **217** zu erreichen, und daſs man daher darauf angewiesen ist, für jedes einzelne Wasserrad das relative Maximum des Nutzeffectes (Nr. **217**) oder das Minimum von $\frac{M}{2g}(u^2 + w^2)$ zu bestimmen.

222. Für das unterschlächtige Wasserrad (§. 368) folgt nun mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen, wenn sich dabei P und v auf den mittlern Umfang des Rades (in welchem nämlich die Stoſsmittelpuncte der Schaufeln liegen) beziehen, wegen $u = V - v$, $w = v$, $h' = 0$ und $h = \frac{V^2}{2g}$ für den theoretischen Nutzeffect aus der allgemeinen Formel (1) in Nr. **216**:

$$E_n = \frac{M V^2}{2g} - \frac{M}{2g}(V - v)^2 - \frac{M v^2}{2g}$$

oder nach gehöriger Reduction:

$$E_n = \frac{M v}{g}(V - v) \quad . \; . \quad (4)$$

(§. 374 und Nr. **205**, wo $\gamma a V = M$ ist.)

Dabei tritt (da hier das absolute Maximum unmöglich) das relative Maximum, wie bereits in Nr. **212**, Anmerk. 2 gezeigt ist, bei der Geschwindigkeit von $v = \frac{1}{2} V$ ein und es ist dafür

$$(E_n)_{\max.} = \tfrac{1}{4}\frac{M V^2}{g} = \tfrac{1}{2} M h.$$

Was endlich den zur Bestimmung des wirklichen Nutzeffectes betreffenden Erfahrungscoeffizienten k' oder k (in Nr. **216**) betrifft, so ist im Durchschnitt $k' = \frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{5}$ also für diesen leztern Werth

$$e_n = \cdot 3\, M h = 16\, Q h' \quad . \; . \quad (5)$$

(wegen $M = 56{\cdot}5\, Q$), wobei $h = H - \cdot 6$ Fuſs gesetzt werden kann.

Anmerkung 1. Für vorkommende Fälle, in welchen der Spielraum zwischen den Schaufeln sn (Fig. 146) und dem Gerinne ad unverhältniſsmäſsig groſs ist, kann man die vorige Formel (5) der Wirklichkeit dadurch etwas näher bringen, daſs man statt der Fläche $abcd = A$ jene $mnop = A'$ in die Rechnung bringt.

Es läſst sich nämlich der mittelbare Wasserstand ac unterm Rade im Beharrungsstande entweder durch directe Messung oder dadurch finden, daſs man $Q = A V = ab.ac.V$ setzt, woraus diese Höhe $ac = \frac{Q}{ab.V}$ folgt. Dadurch ist aber mo, folglich auch die Fläche $A' = mn.mo$ bekannt, welche man statt A in dem vorigen Ausdrucke $e_n = 16\, A V h$ setzen wird, obschon auch selbst dadurch noch der Effect zu groſs gefunden wird, indem das Wasser auf die durch das Gerinne gehörig begrenzte Schaufel, wie diese Formel (5) voraussetzt, eine gröſsere Wirkung als im vorliegenden Falle ausübt, wo das Wasser nach allen Seiten mehr oder weniger ausweichen kann.

Anmerkung 2. *Redtenbacher* berechnet zuerst (S. dessen Theorie u. Bau der Wasserräder S. 44) das zwischen den Schaufeln durchgehende Wasser, welches keine Geschwindigkeitsänderung erleidet, also auch keine Wirkung ausübt, und findet, dafs dieses für gewöhnlich ausgeführte unterschlächtige Räder (von 12 Fufs Durchmesser, 19 Zoll Schaufeltheilung, $v = \frac{1}{2} V$ und die Dicke der zufliefsenden oder anstofsenden Wasserschichte von 4 bis 5 Zoll beträgt) 18 bis (wenn nämlich das Rad schneller geht und $v = \frac{2}{5} V$ ist) 27 Procent des zufliefsenden Wassers beträgt, und dafs dieser Verlust nur dadurch vermieden werden kann, dafs man dem Gerinne am tiefsten Puncte des Rades auf die Länge von zwei Schaufeln (die eine vor und die andere nach dem tiefsten Puncte) eine mit dem Radumfange concentrische Krümmung gibt und das Rad in diese einsenkt.

Was den Wasserverlust betrifft, welcher durch das Entweichen des Wassers durch den Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Gerinne entsteht; so ist dieser (wenn man den Spielraum an den Seitenwänden des Gerinnes unberücksichtigt läfst) nur bei einem geradlinig fortlaufenden Gerinne, oder wenn der Boden des Abflufscanales tiefer liegt als jener des Zuflufscanals, von einigem Belange, dagegen dort, wo der Boden des Zuflufs- in den Boden des Abflufscanals durch einen Bogen übergeht, beinahe Null.

Redtenbacher berechnet ein unterschlächtiges Wasserrad, für welches der äufsere Durchmesser 15·8 Fufs, die per Secunde zufliefsende Wassermenge 31·66 Kubikfufs, Tiefe des Rades (Differenz zwischen dem äufsern und innern Halbmesser) 19 Zoll, Breite desselben $6\frac{1}{3}$ Fufs, die Schaufeltheilung am äufsern Umfang des Rades gemessen 19 Zoll, der Spielraum zwischen den Radschaufeln und Gerinnsboden, bei einem geradlinig fortlaufenden Gerinne $\frac{3}{4}$ Zoll und die Geschwindigkeit des zufliefsenden Wassers 14 Fufs beträgt, und er findet dafs die vortheilhafteste Geschwindigkeit v zwischen $\cdot 3 V$ und $\cdot 4 V$ liege, das dabei zwischen den Schaufeln durchgehende Wasser, ohne zum Stofs zu gelangen oder seine Geschwindigkeit zu verändern, per Secunde 1 Kubikfufs, also 10 Procent, jenes, welches zwischen den Schaufeln und dem Gerinnsboden durchgeht 2·3 Kubikfufs oder 23 Procent des zufliefsenden Wassers und der wirkliche Nutzeffect 23·7 Procent von dem absoluten, d. i. nahe 5650 F. Pf. betrage. Man kann also nach dieser Annahme von einem unterschlächtigen Wasserrade mit geradlinigem Gerinne nur einen Nutzeffect von ungefähr 25 Procent erwarten, während bei einem Gerinne, wobei der Gerinnsboden des Zuflufscanals durch einen Bogen oder gekrümmten Theil (in welchem das Rad eingesenkt) mit dem Boden des Abflufscanals verbunden ist, also die Wasserverluste beinahe gänzlich verschwinden, dieser Nutzeffect, welcher dann bei einer Geschwindigkeit von $v = \cdot 45 V$ eintritt, bei sehr günstiger Construction des Rades bis 37 Procent steigen kann.

Nach dieser Regel ist in Fig. 147 C der Mittelpunct und D der tiefste Punct des Rades, EDF der bogenförmige und AE der gerade Gerinnsboden, welcher gegen den Horizont um $\frac{1}{20}$ geneigt ist. Die nahe am Rade angebrachte Schütze LB ist gegen den Horizont um 60° geneigt. Die Dicke des Wasserstrahles vor dem Rade ist annähernd $= \frac{Q}{b\sqrt{2gh}}$, wobei b die Breite des Rades (parallel zur Achse) und H

die Höhe des Wasserstandes JG im Zuflufscanal über den Punct G ist. BG ist parallel mit AE, die Höhe des Wasserstandes im Abflufscanal correspondirt mit der Höhe des Punctes G. Endlich sind die Schaufeln so gestellt, dafs sie im Puncte F vertical stehen. Die Umfangsgeschwindigkeit ist $v = \cdot 4 \sqrt{2gH}$, der Halbmesser R beträgt von 6 bis 12 Fufs. Die Anzahl der Schaufeln wird durch diejenige ganze Zahl n bestimmt, welche dem Werthe $\frac{2R\pi}{\cdot 6 + \cdot 7a}$ (wobei, Alles in Fufsen ausgedrückt, $u = R - r$ die Tiefe des Rades ist) am nächsten liegt und aufserdem durch die Anzahl der Radarme (gleich jener dem Werthe $\cdot 6(3 \cdot 2 + R)$ am nächsten liegenden ganzen Zahl) theilbar ist. Ist b die Breite des Rades (parallel zur Achse gemessen) und a die Tiefe desselben, d. h. die Differenz zwischen dem äufsern und innern Halbmesser, so soll abv wenigstens $= 2Q$ seyn; setzt man $abv = 2Q$, so ist die Gröfse einer Schaufelfläche $ab = \frac{2Q}{v}$.

Ist endlich e die Entfernung von einer Schaufel zur andern, am äufsern Umfang gemessen (die Schaufeltheilung), so ist $e = \frac{2R\pi}{n}$.

Übrigens wendet man das unterschlächtige Rad mit Vortheil nur bis zu einem Gefäll von 3 Fufs an, was man als die Grenze für dessen Kraftgebiet ansehen kann.

223. Für das *Poncelet*'sche Rad (§. 379) wird man nach den im §. 380 gegebenen Erläuterungen in der obigen Formel (1) $u = 0$, $h' = 0$ und $w = V - 2v$ setzen; dadurch erhält man für dieses Rad nach einer einfachen Reduction:

$$E_{\text{u}} = 2\,\frac{Mv}{g}\,(V - v) \quad . \quad . \quad (5)$$

welche Formel mit jener (4) verglichen, sofort zeigt, dafs der theoretische Nutzeffect bei dem *Poncelet*'schen Rade doppelt so grofs als bei dem gewöhnlichen unterschlächtigen Rade mit ebenen Schaufeln ist. Da ferner für den gröfsten Effect $w = 0$, also $v = \frac{1}{2}V$ seyn mufs, so hat man dafür:

$$(E_{\text{u}})_{\text{max.}} = \tfrac{1}{2}\,\frac{MV^2}{g} = Mh,$$

wodurch in der That, wenn auch noch durch eine zweckmäfsige Anlage der Schütze $h = H$ würde, der Nutzeffect dem absoluten Effect des Wassers gleich, und so das Ideal eines guten hydraulischen Motors erreicht seyn würde.

Indefs ist für den wirklichen Nutzeffect der Erfahrungscoeffizient (§. 381) $k' = \frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$, nämlich $e_{\text{u}} = \frac{2}{3}Mh$ bis $\frac{3}{4}Mh$ und wenn man die ganze Gefällshöhe H berücksichtiget $k = \cdot 60$ bis $\cdot 65$, d. i. $e_{\text{u}} = 60\, MH$ bis $\cdot 65\, MH$, also immer noch mehr als doppelt so grofs als bei dem unterschlächtigen Rade mit ebenen Schaufeln.

224. Um bei diesem Rade den Einflufs der Centrifugalkraft kennen zu lernen, indem mit Rücksicht darauf die Kranzbreite oder Tiefe des Rades zu bestimmen ist, sey w die Winkelgeschwindigkeit des Rades und dm ein Element der Wassermasse, welches von der Achse des Rades den Abstand ρ hat und an der krummen Schaufelfläche hinaufsteigt; so ist ρw die Geschwindigkeit dieses Wassertheilchens, und daher die, nahe mit der Richtung der Schwere zusammenfallende Centrifugalkraft (welche dem Aufsteigen des Elementes entgegenwirkt) nach Nr. **61**, Formel (i)

$$F = \mathrm{d}m\, \rho\, w^2,$$

oder wenn dM das Gewicht der Masse dm ist (§. 155):

$$F = \frac{\mathrm{d}M}{g}\, \rho\, w^2.$$

Durchläuft das Element dM während der unendlich kleinen Zeit dt den Raum dρ im Sinne des Radhalbmessers, so ist die während dieser Zeit von der Centrifugalkraft ausgeübte Wirkungs- oder Arbeitsgröfse $= \frac{\mathrm{d}M}{g} . w^2 \rho\, \mathrm{d}\rho$. Sind daher R und r der äufsere und innere Radhalbmesser, und nimmt man auf die geringe Veränderung in der Lage der Schaufel, welche durch die Umdrehung des Rades während der kurzen Zeit als das Wasserelement mit derselben Schaufel in Berührung bleibt, keine Rücksicht; so hat man für diese Arbeitsgröfse vom Augenblicke des Eintrittes des Wasserelementes in die Schaufel bis es zum innern Umfange des Rades gestiegen ist:

$$\int_r^R \frac{\mathrm{d}M}{g} . w^2 \rho\, \mathrm{d}\rho = \frac{\mathrm{d}M}{g} . w^2 \frac{(R^2 - r^2)}{2}.$$

Was ferner die Arbeitsgröfse der in demselben Sinne wirkenden Schwerkraft betrifft, so ist diese, wenn das Wasser im tiefsten Puncte des Rades eintritt und sich auf die Höhe $R - r$ erhebt $= \mathrm{d}M . (R - r)$.

Da nun das Wasserelement dM mit der relativen Geschwindigkeit $V - v$ in das Rad tritt, so ist dessen Wirkungsgröfse $= \mathrm{d}M . \frac{(V - v)^2}{2g}$ und da diese, während die Masse dM über die Schaufel hinaufsteigt und zuletzt alle Geschwindigkeit verliert, durch die Gegenwirkung der Centrifugal- und Schwerkraft erschöpft wird, so hat man

$$\mathrm{d}M . \frac{(V - v)^2}{2g} = \mathrm{d}M . \frac{w^2}{2g} (R^2 - r^2) + \mathrm{d}M . (R - r)$$

oder, wenn man abkürzt, $(V-v)^2 = w^2(R^2 - r^2) + 2g(R-r)$ aus welcher Gleichung sich ganz einfach, da die Gröſsen, V, $v = Rw$ R und w gegeben sind, r also auch die Radtiefe $R - r$ bestimmen läſst.

Läſst man den Einfluſs der Centrifugalkraft, welche verursacht daſs das Wasser an der Schaufel nicht so hoch als ohne dieselbe hinaufsteigen kann, auſser Acht; so hat man ganz einfach $R - r = \frac{(V-v)^2}{2g}$ oder für den gröſsten Effect, d. i. für $v = \frac{1}{2}V$ auch $R - r = \frac{1}{4}\frac{V^2}{2g} = \frac{1}{4}h$ als Radkranzbreite, welcher Werth sofort etwas zu groſs ist, so, daſs wenn man diese dem 4ten Theile des disponiblen Gefälles gleich macht, man sicher seyn kann, daſs das Wasser nicht darüber hinaussteigt.

Anmerkung 1. Da sich indeſs das Rad oft etwas langsamer als mit $v = \frac{1}{2}V$ bewegt und das, was von einer unendlich dünnen Wasserschichte gilt, nicht auch von dem wirklichen Strahle angenommen werden kann, indem die zuerst eintretenden Wassertheilchen durch die nachfolgenden etwas weiter hinaufgestoſsen werden; so nimmt man in der Praxis diese Kranzbreite bei Gefällen von 1·9 bis 2·5 Fuſs von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{2}$, und bei gröſseren Gefällen, von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des Gefälles H.

Anmerkung 2. Nach *Redtenbacher*'s Angabe gelten für das *Poncelet* Rad folgende Regeln:

Ist (Fig. 148) $ba = H$ das Gefäll, so ist der Halbmesser des Rades $R = 2H$, der Spielraum zwischen Rad und Gerinne $= \cdot 02\,H$. Neigung der schiefen Ebene AB gegen den Horizont $= 3^\circ$, Winkel, welche dem bogenförmigen Theile des Gerinnes entsprechen $BCF = FCD = 15^\circ$, Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade $= \cdot 19\,H$, fa parallel mit AB, am Horizontallinie, welche den Wasserstand im Abfluſscanal bestimmt, dc der mittlere Wasserfaden, co senkrecht darauf, oc Krummungshalbmesser der Radschaufeln, Höhe der Radkrone $st = \cdot 509\,h$, Breite des Rades $b = 5\cdot 26\,\frac{Q}{h\sqrt{(2gH)}}$, wobei Q die obige Bedeutung (216) hat, Tiefe des Wassers im Abfluſscanal, unmittelbar hinter dem Rade $mn = \cdot 6\,H$, Umfangsgeschwindigkeit $v = \cdot 55\sqrt{2gH}$. Der Nutzeffect wird dabei durchschnittlich von 60 bis 65 Procent und die Grenze, bis zu welcher das *Poncelet*'sche Rad noch mit Vortheil angewendet werden kann, mit $R = 9\frac{1}{2}$ und $b = 12\frac{1}{2}$ Fuſs, also die Gefällshohe H unter 3 bis $5\frac{1}{2}$ Fuſs (weil man für groſsere Gefälle $R = 1\cdot 75\,h$ setzt) angenommen.

225. Für das oberschlächtige Rad (§. 383) hat man in der allgemeinen Formel (1) (Nr. **216**), wenn die Richtungen von V_t und v zusammenfallen, $u = V - v$ und $w = v$ zu setzen; dadurch erhält man für den theoretischen Nutzeffect dieses Rades:

$$E_n = M(h + h') - \frac{M}{2g}\left[(V - v)^2 + v^2\right] \;.\;.\; (a)$$

oder wenn man für h seinen Werth $\frac{V^2}{2g}$ setzt und gehörig reducirt:

$$E_n = Mh' + \frac{Mv}{g}(V - v) \;.\;.\; (b)$$

wobei augenfällig das 1ste Glied im zweiten Theil dieser Gleichung die Wirkung oder Arbeit des Wassers während des Herabsinkens durch die Höhe h' und das 2te Glied die Wirkung durch den Stofs beim Eintritt in die Zellen (**222**, Gleich. 4) bezeichnet.

Anmerkung. Bildet die Richtung der Geschwindigkeit V mit jener der Geschwindigkeit v den nicht ganz zu vernachlässigenden Winkel φ, so darf man nicht mehr $\frac{M}{2g}u^2 = \frac{M}{2g}(V - v)^2$, sondern man mufs in der Gleich. (a), um diesen durch den Stofs entstehenden Verlust an Wirkungsgröfse zu erhalten, nach Nr. 220, $\frac{Mu^2}{2g} = \frac{M}{2g}(V^2 + v^2 - 2\,Vv\,Cos\,\varphi)$ setzen.

226. Die Gleichung (a) zeigt, dafs beim oberschlächtigen Rade das absolute Maximum nicht zu erreichen ist, weil dafür $(V - v)^2 + v^2$ d. i. $(V - v)^2 = 0$ und $v^2 = 0$, nämlich $V = v$ und $v = 0$ Statt finden müfste.

Um dagegen das relative Maximum zu erhalten, hat man, wenn V durch die Anlage der Zuleitung des Wassers auf das Rad bestimmt, und nur v veränderlich ist, aus der Gleichung (b):

$$\frac{dE_n}{dv} = \frac{M}{g}(V - 2v) = 0, \text{ folglich } v = \tfrac{1}{2}V \text{ und damit}$$

$$(E_n)_{max.} = Mh' + \tfrac{1}{2}Mh = M(h' + \tfrac{1}{2}h) \;.\;.\; (6)$$

Ist dagegen für gewisse Zwecke die Geschwindigkeit des Rades v im Voraus festgesetzt worden und soll dafür die Geschwindigkeit V des in das Rad tretenden Wassers so bestimmt werden, dafs der Effect E_n ein Maximum wird; so hat man aus der Gleichung (a), in welcher $h + h'$ als constant anzusehen ist:

$$\frac{dE_n}{dV} = 2(V - v) = 0, \text{ also } V = v \text{ und mit diesem Werthe:}$$

$$(E_n)_{max.} = M(h + h') - \frac{Mv^2}{2g} \;.\;.\; (7)$$

so, dafs beim Eintritt des Wassers gar kein, sondern überhaupt nur jener Verlust an Wirkungsgröfse entsteht, welche das Wasser bei seinem Austritt aus dem Rade noch besitzt, woraus sofort folgt, dafs man dem Rade die möglichst kleinste Geschwindigkeit geben soll. Übrigens werden, wenn man die Geschwindigkeitshöhe des austretenden Wassers $\frac{v^2}{2g} = h''$ setzt, diese beiden Maximalwerthe für $h'' = \frac{1}{2} h$ einander gleich.

Anmerkung. Es bedarf kaum der Bemerkung, dafs auch hier in diesem theoretischen Nutzeffect die Zapfenreibung mit inbegriffen ist, und dafs man zur Erlangung des disponiblen Nutzeffectes von E_n den durch die Formel (α) in Nr. 216 (Anmerk.) näherungsweise angegebenen Effectverlust abziehen mufs.

Die noch übrigen Effectverluste betreffend, so entsteht durch das „Freihängen" des Rades, wenn der tiefste Punct des Rades noch um die Höhe h'' über dem Spiegel des Unterwassers liegt, zuerst der Verlust Mh''. Ferner tritt ein nicht unbedeutender Verlust auch dadurch ein, dafs die Zellen das Wasser nicht bis zu dem tiefsten Puncte des Rades führen, sondern dasselbe schon früher fallen oder entweichen lassen. *Redtenbacher* findet durch eine genauere Rechnung, wobei jedoch die bei guten Anordnungen ohnehin ohne bedeutenden Einflufs bleibende Centrifugalkraft vernachlässigt wird, für den betreffenden Effectverlust, je nach dem der Füllungscoeffizient $\frac{Q}{abv}$ (wo a die Tiefe des Rades oder Radkranzbreite, b die Radbreite parallel zur Achse und v die Umfangsgeschwindigkeit ist*), d. i. das Verhältnifs zwischen dem Volumen der Wassermenge Q, welche per Secunde dem Rade zufliefst und dem Volumen der Zellenräume, welche diese Wassermenge aufzunehmen haben $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ ist, beziehungsweise ·198, ·179, ·144, ·109, es beträgt nämlich dieser Verlust bei Rädern mit gewöhnlichem Zellenbau von 10 (wenn die Füllung $\frac{1}{4}$) bis 20 Procent (wenn die Füllung $\frac{2}{3}$ ist) von dem absoluten Effecte des Motors.

Dieser Verlust kann jedoch durch eine enge Theilung, einen zweckmäfsigen Zellenbau und namentlich bei schnell gehenden und stark gefüllten Rädern, durch einen genau anschliefsenden Mantel (Mantelräder) gröfstentheils vermieden werden.

Mit Rücksicht auf alle diese Verluste kann man den wirklichen Nutzeffect der oberschlächtigen Wasserräder, bei kleineren Gefällen (von 9 bis 15 Fufs) von 50 bis 60, dagegen bei gröfseren Gefällen über 15 oder 16 Fufs von 60 bis 75 Procent rechnen. (§. 388.)

---

*) Ist e die Entfernung von einer Zelle zur andern auf dem äufsern Umfang gemessen, d. i. die Zellen- oder Schaufeltheilung, so ist $Q\frac{e}{v}$ die Wassermenge, welche ein Schaufel- oder Zellenraum aufzunehmen hat, und das Volumen eines solchen Raumes $= abe$; es mufs also $abe > Q\frac{e}{v}$ oder $abv > Q$, d. i. $abv = mQ$ oder $\frac{1}{m} = \frac{Q}{ab\,s}$ eyn. Für Schaufelräder ist gewöhnlich $m = 2$, für Zellenräder $m = 3$, 4 und selbst $= 5$.

$\frac{Q}{bv}$ [illegible]

227. Da es nicht uninteressant ist den Einflufs der Centrifugalkraft bei diesem Rade genauer kennen zu lernen, sey C (Fig. 149) der Mittelpunct des Rades, aMb die Oberfläche des Wassers in einer Zelle, $MB = m$ das Gewicht eines in M befindlichen Wassertheilchens, $CM = x$ die Entfernung desselben vom Mittelpuncte des Rades, $MA = \frac{mv^2}{gx}$ (§. 155) die nach radialer Richtung auf das Theilchen m wirkende Centrifugalkraft und MD die Resultante aus diesen beiden Kräften MA und MB. Verlängert man diese Gerade DM, welche sofort (Nr. **138**) auf der Wasseroberfläche aMb normal seyn mufs, bis zum Durchschnitt O mit dem verlängerten verticalen Durchmesser, so folgt aus den beiden ähnlichen Dreiecken MDB und MOC:

$$OC : CM = MB : BD \text{ d. i. } OC : x = m : \frac{mv^2}{gx}$$

woraus also $OC = g\left(\frac{x}{v}\right)^2$, oder wenn man, was hier erlaubt ist, $x = R$ setzt, $OC = g\left(\frac{R}{v}\right)^2$ folgt; da also OC für alle Puncte der Oberfläche aMb sehr nahe constant bleibt; so schneiden sich die sämmtlichen Normallinien sehr nahe in einem Puncte O und es bilden daher die Wasserflächen in den einzelnen Zellen concentrische Cylinderflächen, deren gemeinschaftliche horizontale Achse durch den Punct O geht.

Macht das Rad per Minute n Umdrehungen, so ist $v = \frac{n \cdot 2R\pi}{60}$ oder $\frac{R}{v} = \frac{9{\cdot}55}{n}$; setzt man diesen Werth in den vorigen Ausdruck, so wird auch, wegen $g = 31$ nahe

$$OC = \frac{2830}{n^2} \text{ Fufs.}$$

Da nun für die gröfseren oberschlächtigen Wasserräder n immer so klein ist, dafs OC sehr grofs ausfällt, so kann man in solchen Fällen, die Wasseroberflächen in den Zellen nahezu als horizontale Ebenen ansehen, gerade so, als ob die Centrifugalkraft gar nicht vorhanden wäre.

Anmerkung. *Redtenbacher* empfiehlt für das oberschlächtige Wasserrad folgende Verzeichnung (Fig. 150):

Der äufsere Umfang des Rades wird von dem höchsten Wasserstande im untern Canal berührt. Die Tiefe des Punctes a unter dem niedrigsten Wasserstande im obern Canal ist $ah = 4\frac{v^2}{2g}$. Ist n die Anzahl der Zellen, so wird diese durch diejenige ganze Zahl bestimmt, welche dem Werthe $\frac{2R\pi}{6 + 7a}$ (wo a die Tiefe des Rades $= R - r$, Alles in Fufsen ausgedrückt) am nächsten liegt und die durch die Anzahl der Radarme theilbar ist. Ist e die Entfernung zweier Zellen, so ist die Zellentheilung $e = \frac{2 R \pi}{n}$. Ist $a a' = e$ und $a' l = \frac{1}{4} e$, so ist $l f g$ eine gerade radiale Linie und $l f = f g = \frac{1}{2} a$. Erscheinen die äufsern Zellenwände zu convergirend, so mufs $f a$ schwach gekrümmt werden. Werden die Zellenwände aus Blech hergestellt, so nimmt man für diese eine durch die Puncte $a f g$ gehende stetige krumme Linie an. Ist $a d$ der Richtung nach eine Tangente an den äufsern Radumfang und der Gröfse nach $= v$, ferner $a c$ eine Tangente an den Punct a der äufsern Zellenwand; so mufs die Diagonale $a b$ des Parallelogramms $c d$ der Gröfse nach $V = 2 v$ seyn und das Wasser nach der Richtung $b a$ bei a ankommen, um ohne Stofs gegen die Zellenwände in das Rad zu gelangen. Dazu ist $a e$ ein parabolischer Einlauf, dessen Scheitel in e liegt und in a von $b a$ berührt wird. Der Horizontalabstand der Puncte a und e ist $= a h . Sin . 2 b a d$ und deren Verticalabstand $= a h . Sin^2 . b a d$. Die Wassermenge, welche eine Zelle aufzunehmen hat, ist $= Q \frac{e}{v}$. Das Verhältnifs zwischen der Breite b und Tiefe a kann durch $u = \frac{b}{a} = 2{\cdot}25 \sqrt[3]{N_a}$ (wo N_a die absolute Arbeit des zufliefsenden Wassers in Pferdekräften ist) ausgedrückt und dann $b = \sqrt{\frac{u Q}{m v}}$ (wo $m = \frac{Q}{a b v}$ der Füllungscoeffizient ist) und $a = \frac{b}{u}$ gesetzt werden. Der Halbmesser ist $R = \frac{1}{2}\left(h - \frac{V^2}{2 g}\right)$ oder für $V = v$ auch $R = \frac{1}{2}\left(h - 4 . \frac{v^2}{2 g}\right)$. Die Umfangsgeschwindigkeit ist für kleinere Gefälle $v = 4$ bis $4{\cdot}8$, für gröfsere Gefälle 5 Fufs. Das Kraftgebiet dieses Rades erstreckt sich von 8 bis 40 Fufs Gefällshöhe und von 9 bis 25 Kubikfufs Wassermenge, welche per Secunde auf das Rad fällt.

228. Für das Kropfrad (§. 392) gelten dieselben Bemerkungen, welche in Nr. **225** für das oberschlächtige Rad gemacht wurden, daher auch die beiden Gleichungen (a) und (b), so wie für den gröfsten Effect die Formeln (6) und (7) in Nr. **226**. Was dabei den Erfahrungscoeffizienten k (Nr. **216**) anbelangt, so wäre nach den in Frankreich mit solchen Rädern angestellten Messungen für Geschwindigkeiten von v, welche zwischen 2 und 7 Fufs liegen, $k = {\cdot}74$, also der wirkliche Nutzeffect $e_n = {\cdot}74\, E_a$; dabei kann diesen Versuchen zufolge v ohne merklichen Nachtheil zwischen ·33 und ·66 V liegen.

Anmerkung 1. Der Spielraum zwischen den Schaufeln und dem Kreis- oder Kropfgerinne betrug dabei nicht mehr als $4\frac{1}{2}$ Linie, so wie auch die Wasserhöhe über dem Eintrittspunct des Wassers in das Rad nur einen sehr kleinen Bruch der ganzen Gefällshöhe ausmachte. Bei einer weniger genauen und sorgfältigen Ausführung geht daher der genannte Coeffizient k bis ·65 und zuweilen auch noch weiter herab.

Da für kleine Umfangsgeschwindigkeiten v, auch $V = 2v$ und daher auch die Geschwindigkeitshöhe h nur gering ausfällt, so wendet man für solche Fälle gerne eine Überfallsschütze an, gibt aber der darüber stehenden Wasserschichte höchstens eine Dicke oder Höhe von 7 bis 10 Zoll und lieber, wenn eine bedeutende Wassermasse verwendet werden muſs, dem Rade eine gröſsere Breite parallel zur Achse.

Anmerkung 2. Nach *Redtenbacher* wird das Kropfrad auf folgende Weise construirt:

Ist C (Fig 151) der Mittelpunct und D der tiefste Punct des Rades, mn der niedrigste Wasserstand im obern, pq der mittlere Wasserstand im untern Canale, dabei $Dm = \frac{1}{2} DL = \frac{1}{2} a$ und $CD = R$; so liegt der Punct B um $2\frac{1}{2}$ Fuſs unterm Wasserspiegel mn. AB bildet einen parabolischen Einlauf, wobei die an den Punct B gezogene Tangente gegen den Horizont um $\alpha = 35$ bis 45 Grad geneigt ist. Die Coordinaten des Scheitels A sind $BE = 2·5 \, Sin\, 2\alpha$, $EA = 2·5 \, Sin^2 \alpha$ (da nämlich die Parabel BAF mit jener übereinstimmen soll, welche ein mit der Geschwindigkeit V vom Puncte B aus in der Richtung BT unter dem Winkel $EBT = \alpha$ mit dem Horizonte geworfener Körper beschreibt, deren Scheitel A also Nr. 57, Gleich. (w) die Coordinaten $x = \frac{V^2}{2g} Sin\, 2\alpha$ und $y = \frac{V^2}{2g} Sin^2 \alpha$ hat). Die Schütze ist gegen den Horizont um beiläufig 60 Grad geneigt. Um die Schaufelstellung zu erhalten, macht man $Dn = \frac{1}{4} a$, beschreibt aus C den Bogen ns, zieht su vertical und st radial (diese Regel gilt zugleich für die Schaufelung aller Schaufelräder). Den Zwischenraum zwischen dem äuſsern Umfang des Rades und der innern Krümmung des Gerinnes macht man für eiserne Räder von ·57 bis $\frac{3}{4}$ Zoll oder gegen 7 Linien, für hölzerne von $\frac{3}{4}$ bis 1·1 Zoll.

Da bei dieser Anordnung des Einlaufes das Wasser den Punct B mit einer Geschwindigkeit von nahe $12\frac{1}{2}$ Fuſs erreicht, so ist die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 6\frac{1}{4}$ Fuſs. Darf diese Geschwindigkeit kleiner seyn, so erhält man einen bessern Effect, wenn man den Punct B nur um $1\frac{1}{2}$ Fuſs $\left(\text{oder überhaupt um } 4\,\frac{v^2}{2g}\right)$ unter den Wasserspiegel legt. Auch kann man die Tangente an den Punct B so ziehen, daſs sie zugleich auch den Radumfang an dieser Stelle berührt.

Den Halbmesser des Rades betreffend, so nimmt man $R = 1·5\, H$ bis $2·5\, H$ und den Füllungscoeffizienten $\frac{Q}{abv}$ (Nr. 226) = ·2. $=\frac{1}{2}$

Die Schaufelzahl wird wie beim unterschlächtigen Rade (Nr. 222, Anmerk.) und die Breite b wie beim oberschlächtigen Rade (Nr. 227, bestimmt. Der Nutzeffect wird dabei bloſs mit 40 bis 50 Procent angenommen.

Das Kropfrad wird am zweckmäſsigsten bei einem ziemlich constanten Wasserstand im obern Canal und einem Gefäll unter 5 Fuſs, so wie einer zuflieſsenden Wassermenge, welche mehr als 60 Kubikfuſs per Secunde beträgt, angewendet.

229. Legt man bei diesem Rade eine Überfallsschütze an, so erhält man das sogenannte Schaufelrad mit Überfall-Einlauf, für welches sofort dieselben Bemerkungen wie für das Kropfrad gelten.

Da man die obere Kante der Schütze sehr zweckmäſsig mit einer parabolischen Leitfläche AB (Fig. 152) versieht, so kann man dabei die Parabel auf folgende Weise bestimmen:

Ist b die Breite des Einlaufes (in der Regel um 3 bis 4 Zoll schmäler als die lichte Breite des Rades), s die Dicke oder Höhe der Wasserschichte über dem Scheitel des Überfalles und wieder Q die per Secunde abflieſsende Wassermenge (in Kubikfuſs); so hat man (§. 333):

$$Q = \cdot 44\, b\, s \sqrt{2\, g\, s} \text{ und daraus } s = \left(\frac{Q}{\cdot 44\, b \sqrt{2 g}}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

Ist B der Punct, in welchem die Parabel AB den äuſsern Radumfang berührt, d. h. in welchem beide Curven (Kreis und Parabel) eine gemeinschaftliche Tangente besitzen, so nimmt man die Tiefe dieses Punctes B um $1 \cdot 5\, s$ unterm Wasserspiegel mn und bestimmt den Scheitel A der Parabel mittelst der rechtwinkeligen Coordinaten $BC = 1 \cdot 4\, s$ und $CA = \cdot 5\, s$, dabei ist die Umfangsgeschwindigkeit v zu $4\frac{1}{2}$ Fuſs angenommen.

Anmerkung. Nach *Redtenbacher* soll für das Überfallrad $H > 4 \cdot 75$ Fuſs und $Q < 65$ Kubikfuſs seyn. Der Halbmesser R wird dabei von $1\frac{1}{4}\, H$ bis $1\frac{1}{2}\, H$ und der Nutzeffect von 60 bis 65 Procent angenommen. Das Kraftgebiet dieses Rades soll sich bis $7\frac{1}{2}$ Fuſs Gefällshöhe und 77 Kubikfuſs Wasser per Secunde und nicht darüber hinaus erstrecken.

230. Für das Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf bleibt wieder, bis auf den Einlauf, Alles dasselbe wie beim vorhergehenden Rade, nur kann die Umfangsgeschwindigkeit v bis auf 5 Fuſs und die Gefällshöhe H von $7\frac{1}{2}$ bis 14 Fuſs steigen, dagegen die Wassermenge Q von 75 bis 10 Kubikfuſs abnehmen, ohne daſs der Nutzeffect weniger als 65 bis 70 Procent beträgt; was den Halbmesser R betrifft, so nimmt man $R = H$.

Anmerkung. Was den Coulissen-Einlauf anbelangt, so muſs das Wasser auf eine solche Weise in das Rad treten, daſs weder das Stoſsgefäll zu groſs ausfällt, noch die Schaufeln gegen den eintretenden Strahl schlagen können. Nach *Redtenbacher*'s Berechnung soll bei einer Umfangsgeschwindigkeit von $4\frac{3}{4}$ bis $5\frac{3}{4}$ Fufs der Winkel, unter welchem die Coulissen dem Umfange des Rades begegnen sollen, im Mittel 36 Grad betragen. Ist daher C (Fig. 153) der Mittelpunct des Rades und mn der obere Wasserspiegel (welcher um die Gefällshohe H über dem untern Spiegel, und dieser selbst um $\frac{1}{2}a$ über dem tiefsten Punct des Rades gezeichnet wird), so nimmt man den Punct 1 in einer Tiefe von 1 Fufs unter mn an, macht $1,2 = 2,3 = .. = \frac{1}{3}a$ (für gewöhnlich nahe 4 Zoll), zieht die Gerade $A\,1$ unter einem Winkel $A\,1\,C = 36^0$, verlängert diese bis I so, dafs $1\,I = \cdot 8\,a$ wird und beschreibt aus C mit dem Halbmesser CI den Kreisbogen ab; so liegen in diesem Bogen die Mittelpuncte der Coulissenkrümmungen $1,1', 2,2', 3,3'$.. als Kreisbögen vom Halbmesser $I1 = II2 = III3 = . = \cdot 8\,a$.

Ist t die äufsere normale Entfernung von zwei aufeinander folgenden Coulissen und h' die Tiefe des Mittelpunctes der betreffenden Ausflufsöffnung unterm Spiegel mn; so kann man die aus dieser Öffnung per Sec. ausfliefsende Wassermenge $= 4\,b\,t\,\sqrt{2gh'}$ setzen. Theilt man nun die Wassermenge Q durch diesen Werth, so erhält man die nöthige Anzahl solcher Coulissenöffnungen, welche man jedoch noch um so viele Canäle vermehren mufs, als der Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande im Obercanal entspricht.

231. Schlüfslich erwähnen wir noch des rückenschlächtigen Zellenrades mit Coulissen-Einlauf, welches sich für Gefälle von 8 bis 25 Fufs und Wassermengen von 12 bis 40 Kubikfufs per Secunde eignet (also ein bedeutendes Kraftgebiet besitzt) und bei richtiger Ausführung einen Nutzeffect von 60 bis 70 Procent gewährt. Man nimmt dabei $R = \frac{2}{3}H$, die Umfangsgeschwindigkeit $v = 4\frac{3}{4}$ bis 5 Fufs, die Breite b und Tiefe a, so wie die Anzahl der Zellen genau so wie beim oberschlächtigen Rad in Nr. **227** (Anmerk.) und den Füllungscoeffizienten $\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ und selbst $\frac{1}{5}$. Das Wasser tritt dabei etwas oberhalb der Achse des Rades ein und die Zellen erhalten, damit die eingeschlossene Luft entweichen kann, der ganzen Breite des Rades nach $\frac{3}{4}$ bis 1 Zoll hohe Luftspalten, d. h das Rad wird ventilirt.

Anmerkung. Die Verzeichnung des Coulisseneinlaufes betreffend, so dienen nach *Redtenbacher* folgende Angaben:

Der tiefste Punct des äufsern Radumfanges wird vom höchsten Wasserstande im untern Canal berührt. Nachdem man den innern und äufsern Umfang des Rades, und mit diesem concentrisch in einem Abstand von $\frac{3}{5}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll die Krümmung des Gerinnes gezeichnet, nehme man (Fig. 154) auf der letztern den Punct 1 in einer Tiefe von 1 Fufs unterm Wasserspiegel mn, mache $1,2 = 2,3 .. = \cdot 4\,a$ (gewöhnlich von 4 bis 5·7 Zoll), verzeichne die Zelle $1\,de$ in einer solchen Lage, dafs sie durch den Punct

1 geht; so liegen die Puncte 5, d, e in einem Radius und es ist $5, d = de = \frac{1}{2}a$ (bei e werden die Luftspalten gelassen). Wird $d1$ nach b verlängert, $1, a$ tangirend an den Umfang des Gerinnes gezogen, $1, a = v$ abgeschnitten, durch a eine Parallele ac mit $1, b$ gezogen und der Punct c von 1 aus so abgeschnitten, dafs $1, c$ gleich der Geschwindigkeit V, hier also $= \sqrt{2g \times 1} = 7{\cdot}874$ Fufs ist; so stellt $c1$ (als Diagonale des Parallelogramms ab) die Richtung vor, in welcher das Wasser in die Zelle eintreten mufs, um weder die Schaufel $1, d$ zu stofsen, noch von ihr gestofsen zu werden. Endlich ist $1\,I = a$ senkrecht auf $1, c$ und wenn man aus dem Mittelpunct C des Rades mit dem Halbmesser CI einen Kreisbogen beschreibt, so liegen in demselben die sämmtlichen Mittelpuncte $II, III\ldots$ der Coulissen, als Kreisbögen vom Halbmesser $1,I = 2,II = 3,III = \ldots = a$.

Die Anzahl der Coulissen wird eben so wie beim Überfallsrad der vorigen Nr. bestimmt, nur dafs man anstatt des dortigen Coeffizienten ·4 hier ·75 nimmt.

232. Nimmt man für den Nutzeffect der verticalen Wasserräder, die oben bei den einzelnen Rädern angegebenen Mittelwerthe, nämlich für das unterschlächtige Rad ~~25~~ bis 35, für das *Poncelet*-Rad 60 bis 65, für das Kropfrad 40 bis 50, für das Schaufelrad mit Überfalleinlauf 60 bis 65, für das Schaufelrad mit Coulisseneinlauf 65 bis 70, für das rückenschlächtige Zellenrad mit Coulisseneinlauf 60 bis 70, für das oberschlächtige Rad für kleinere Gefälle (von $9\frac{1}{2}$ bis 16 Fufs) 50 bis 60 und für gröfsere (über 16 Fufs betragende) Gefälle von 60 bis 75 Procent an; so kann man die nöthige Wassermenge, welche per Secunde auf das Rad fliefsen mufs, näherungsweise, jedoch in vielen Fällen und namentlich bei der ersten oder vorläufigen Berechnung der Anlage eines Wassertriebwerkes genau genug aus dem Nutzeffecte, welchen das Rad entwickeln soll und dem disponiblen Gefälle berechnen. Man hat nämlich für die in Kubikfufs ausgedrückte Wassermenge, welche dem Rade per Secunde zugeführt werden mufs, wenn man Kürze halber den Quotienten aus der in Fufsen ausgedrückten Gefällshöhe H in den in Pferdekräften (zu $430^{\text{F. Pf.}}$) ausgedrückten Nutzeffect N_n, welchen das Rad liefern soll, d. i. $\frac{N_n}{H} = K$ setzt, sofort für das

unterschlächtige Rad: . . . . . $Q = 21{\cdot}8\,K$ bis $25{\cdot}5\,K$
Poncelet-Rad: . . . . $Q = 11\,7\,K - 12{\cdot}7\,K$
Kropfrad: . . . . $Q = 15{\cdot}2\,K - 19\,K$
Schaufelrad mit Überfalleinlauf: $Q = 11{\cdot}7\,K - 12{\cdot}7\,K$
„ „ Coulisseneinlauf: $Q = 10{\cdot}9\,K - 11{\cdot}7\,K$

rückenschlächtige Zellenrad mit
Coulisseneinlauf . . . . . $Q = 10{\cdot}9\,K$ bis $12{\cdot}7\,K$
oberschlächtige Rad für kleinere
Gefälle . . . . $Q = 12{\cdot}7\,K - 15{\cdot}2\,K$
oberschlächtige Rad für gröſsere
Gefälle . . . . $Q = 10{\cdot}2\,K - 12{\cdot}7\,K$

Anmerkung. In jenen, nur selten vorkommenden Fällen, in welchen Wasserkräfte von mehr als 80 Pferdekraft verwendet werden müssen, wendet man lieber zwei Räder an, weil Wasserräder über 80 Pferdekraft schon zu colossale Dimensionen erhalten. Auch muſs man dort, wo ein System von Arbeitsmaschinen zu betreiben ist, welche nicht wohl mit einander arbeiten können, wie z. B. bei Eisenwerken, statt einem Rade mehrere Räder anlegen.

Die *Jonval*'sche Turbine.

233. Da die von *Jonval* angegebene Turbine in neuester Zeit und zwar mit dem besten Erfolge vielfältig zur Anwendung kommt, so soll hier in Kürze das Wichtigste hierüber bemerkt und entwickelt werden.

Diese Turbine, welche in Fig. 155 im Durchschnitte, in Fig. 155, *a* in einer äuſsern Ansicht dargestellt ist, und wobei noch Fig. 155, *b* den Grundriſs der Turbinenstube (in etwas kleinerem Maſsstabe), Fig. 155, *c* den vierten Theil der obern Ansicht des Leit-Curvenapparates und Fig. 155, *d* einen solchen Quadranten der obern Ansicht des Turbinenrades vorstellt, unterscheidet sich von der *Fourneyron*'schen (§. 407), deren Princip auch dabei zum Grunde liegt, wesentlich dadurch, daſs das Leitcurvenrad nicht innerhalb, sondern über, in besondern Fällen auch unter dem Turbinenrade angebracht und auſserdem so aufgestellt wird (wodurch sich diese Turbine auch von der *Fontaine*'schen unterscheidet), daſs das Turbinenrad *ab* (Fig. 155) mehrere (selbst nahe bis 30) Fuſs über den Wasserspiegel *CD* des Abfluſscanales zu liegen kommt. Da das Wasser aus dem Zuleitungscanal *K* in den etwas conisch zulaufenden Leitcurvenapparat (das Leitcurvenrad) *bf*, und von da in das Turbinenrad *ab* eintritt, von wo es, nachdem es gewirkt, in dem cylinderischen Rohre *ag*, in welchem der ganze Apparat sammt dem um die verticale Achse *cd* umlaufenden Rade eingeschlossen ist, herabfällt; so wirkt das Wasser von oben durch den Druck und von unten durch den Zug (durch Saugen), weſshalb solche Turbinen auch doppelt wirkend genannt werden. Die unten angebrachte Schütze *EE* (Fig. 155 und Fig. 155, *a*), welche das Wasser aus dem Cylinder-Mantel entweder