

man dabei von verschiedenen Voraussetzungen ausgehen kann, mit blossen Näherungswerthen.

Scheffler findet, indem er annimmt, dass sich der Strahl auf der ebenen Fläche in vier Theile theilt, welche sich rechtwinkelig schneiden und indem er auf ähnliche Weise, wie dies in der vorigen Nr. geschehen, die Querschnitte der vier abgelenkten Theile bestimmt, für den Normalstoss:

$$P = \frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \sin \alpha, \quad (17)$$

und daraus wieder durch Zerlegung in zwei Seitenstösse, für

$$\text{den Parallelstoss: } P_1 = \frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \sin^2 \alpha$$

$$\text{und den Seitenstoss: } P_2 = \frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \sin \alpha \cos \alpha \quad \left. \vphantom{\frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \sin \alpha \cos \alpha} \right\} (18)$$

also dieselben Werthe, wie im vorigen Falle.

Anmerkung. Weisbach findet unter der Annahme einer allerdings will-

$$\text{kürlichen Voraussetzung } P = 2 \frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \frac{\sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}.$$

Duchemin dagegen setzt $P = 2 \frac{\gamma^a}{g} V(V \mp v) \frac{\sin^2 \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$ (gleich dem Parallelstoss nach Weisbach).

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

Schliesslich ist zu bemerken, dass die obigen theoretischen Resultate und Formeln über den Stoss isolirter Strahlen mit der Erfahrung nur dann übereinstimmen, wenn die Ausdehnung der Stossfläche wenigstens so gross ist, dass die Wasserfäden in parallelen Richtungen zu den letzten Elementen der gestossenen Fläche austreten können, ohne jedoch im Gegentheile wieder so gross zu sein, dass das Gewicht und die Adhäsion der auf der Fläche befindlichen Flüssigkeit einen hemmenden Einfluss äussern kann.

Nach den gemachten Erfahrungen muss, namentlich bei dem geraden Stoss, der Durchmesser der Stossfläche wenigstens 4 Mal so gross als jener des anstossenden Strahles sein. Nach den Versuchen von Langsdorf vermindert sich, wenn die Fläche nur eben so gross als der Querschnitt des Strahles ist, der Stoss gegen diese Fläche beiläufig um die Hälfte des durch die obige Formel (12) angegebenen Werthes.

Von den Wasserrädern.

(§. 387.)

254. Obschon wir dem Verdienste jener Autoren, welche, wie namentlich Herr Professor Fr. Redtenbacher, bemüht

waren, eine vollständige Theorie der Wasserräder zu entwickeln, volle Gerechtigkeit widerfahren lassen; so ziehen wir es dennoch vor, nach dem Vorgange der französischen Schule, bei dieser Entwicklung nur jene Widerstände in Rechnung zu bringen, welche sich mit einiger Verlässlichkeit bestimmen lassen und alle übrigen, welche entweder an und für sich unbedeutend oder deren Bestimmung nur annäherungsweise möglich ist und für den praktischen Gebrauch zu äusserst unbequemen, complicirten Formeln führen, auszulassen und summarisch durch einen so weit wie möglich richtig ermittelten Erfahrungscoefficienten, welcher selbst auch im erstern Falle nicht ganz entbehrt werden kann, zu ersetzen.

Von diesem Gesichtspuncte ausgehend sei allgemein für was immer für ein Wasserrad oder einen sonstigen hydraulischen Motor, Q das per Secunde zufließende Wasser in Kubikfuss, $M = 56.5Q$ die Masse desselben in Pfunden ausgedrückt, H die Gefällshöhe, d. i. der Verticalabstand des Wasserspiegels im Zufluss-, über dem Wasserspiegel im Abflusscanal (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 Masse in Fussen ausgedrückt, ferner P der auf den Umfang des Rades reducirte Nutzwiderstand, welchen das Rad wirklich überwindet, $E_a = MH = 56.5QH$ der absolute Effect des verwendeten Wassers oder (wie man sich auch ausdrückt) dessen dynamische Kraft, $E_n = Pv$ der Nutzeffect des Rades, diese beiden Grössen in Fussfund 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 (§. 389) immer $h < h_1$, so, dass 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 Wirkungsgrösse 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 Stoss, oder überhaupt dadurch, dass V von v , sei es der Grösse oder Richtung nach, verschieden ist, ein Verlust an lebendiger Kraft, also auch (§. 243) an Wirkungsgrösse 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 sein 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 Wirkungsgrösse $\frac{Mw^2}{2g}$ besitzt, so muss auch dieser Theil von der disponiblen Arbeits- oder Wirkungsgrösse 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

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

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

$$e_n = k E_n = k M H \dots (2)$$

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 §. 287 bestimmen lässt 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 mit in Rechnung gebracht.

Was namentlich den durch die Zapfenreibung herbeigeführten Effectverlust anbelangt, so ist dieser $= \frac{\pi}{60} n d f G = \frac{1}{15} n d f G^{F.F}$, wenn G das

gesamte Gewicht des Rades in Pfunden, d den Durchmesser des Zapfens in Fussen, n die Anzahl der Umdrehungen per Minute und f den betreffenden Reibungscoefficienten bezeichnet.

Da aber Redtenbacher aus vielen Berechnungen über die Gewichte der verticalen Wasserräder gefunden hat, dass dasselbe für jede Pferdekraft Nutzeffect von 400 bis 500 Kilogramm beträgt; so kann man in runder Zahl $G = 800 N$ Pfund, ferner den Zapfendurchmesser diesem Gewichte proportional und zwar $d = .095 \sqrt{N}$ Fuss 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:

$$4 n f N \sqrt{N} \dots (\alpha).$$

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

$$E_n = M(h + h') \dots (3)$$

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 (§. 390). 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 mit einander 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 oder fast auf Null gebracht werden kann, dass man V und v sehr klein macht.

256. 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 Punkte M bildet, $\angle CMT = \alpha$, $\angle TMN = \beta$ 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 perpendicularär 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 (§. 378) 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 (wenn nämlich M die in dieser Zeit anstossende Wassermasse bezeichnet), d. i. während einer Secunde den Werth $\int \frac{dM}{2g} (V \sin \alpha - v \sin \beta)^2 = \frac{M}{2g} (V \sin \alpha - v \sin \beta)^2$ 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. Dies findet aber Statt:

1) wenn man über $Ma = V$ und $Mb = Mc = v$ das Viereck $Macb$ construirt und es sich zeigt, dass 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 (oder da dann $\angle Mcb = \alpha$ ist, sofort $bn = Mb \sin \beta$ und zugleich auch $bn = bc \sin \alpha$ also $v \sin \beta = V \sin \alpha$);

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

3) wenn $\alpha = 0$ oder 180° und $\beta = 0$ und 180° 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, müsste man entweder v oder β mit dem entgegengesetzten Zeichen einführen und dann wäre der obige Verlust an Wirkungsgrösse in der Zeiteinheit $= \frac{M}{2g} (V \sin \alpha + v \sin \beta)^2$.

257. Die relative Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser nach dem Stosse über die Fläche der Schaufel fliesst, ist $V'' - v''$, oder wenn man für V'' und v'' die Werthe aus der vorigen Nr. 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 $\text{Cos } \alpha = \text{Cos } \beta = 1$ und daher die genannte relative Geschwindigkeit $= V - v$. (Vergleiche auch Nr. 239, Anmerk.)

258. Tritt der Strahl in ein Gefäss oder eine Zelle (Kübel) wie in Fig. 145 ein, so verliert er durch die Reibung, entstehenden Wirbeln und wiederholte Stösse (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 einschliessen (Nr. 239, Gleich. 1):

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

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

$$\frac{Mu^2}{2g} = \frac{M}{2g} (V^2 + v^2 - 2Vv \text{Cos } \varphi) \dots (m)$$

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

259. 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. 257 nach dem Stoss mit der relativen Anfangsgeschwindigkeit $V \text{Cos } \alpha \mp v \text{Cos } \beta$ 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. 239, Gleich. 3):

$$w = \sqrt{v'^2 + u'^2 + 2v'u' \text{Cos } \gamma}$$

Statt findet.

Diese Grösse kann aber im Allgemeinen nur Null werden, wenn man gleichzeitig $v' = u'$ und $\gamma = 180^\circ$ hat, d. h. wenn das Wasser mit einer Geschwindigkeit und nach einer Richtung die

Schaukel 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 $180^\circ - \gamma$ niemals (wie es eben verlangt wurde) $= 0$, sondern öfter sogar bis 30° genommen werden muss und zweitens auch nicht immer v' genau gleich u' sein kann, indem v' von v abhängt und v gegen V , wenn die erste der genannten Bedingungen, d. i. $u = 0$ erfüllt werden soll (Nr. 256), 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. 255 zu erreichen, und dass man daher darauf angewiesen ist, für jedes einzelne Wasserrad das relative Maximum des Nutzeffectes (Nr. 255) oder das Minimum von $\frac{M}{2g}(u^2 + w^2)$ zu bestimmen.

260. Für das unterschlächtige Wasserrad (§. 392) 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. 254:

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

oder nach gehöriger Reduction:

$$E_n = \frac{Mv}{g}(V - v) \dots (4)$$

(§. 398 und Nr. 244, wo $\gamma a V = M$ ist.)

Dabei tritt (da hier das absolute Maximum unmöglich) das relative Maximum, wie bereits in Nr. 250, Anmerk. 2 gezeigt ist, bei der Geschwindigkeit von $v = \frac{1}{2}V$ ein und es ist dafür:

$$(E_n)_{max.} = \frac{1}{4} \frac{MV^2}{g} = \frac{1}{2} Mh.$$

Was endlich den zur Bestimmung des wirklichen Nutzeffectes betreffenden Erfahrungscoefficienten k' oder k (in Nr. 254) betrifft, so ist im Durchschnitt $k = \frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{5}$, also für diesen letztern Werth:

$$e_n = \cdot 3 Mh = 16 Qh \dots (5)$$

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

Anmerkung 1. Für 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 nähern, 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 $Q = AV = ab \cdot ac \cdot V$ setzt, woraus diese Höhe $ac = \frac{Q}{ab \cdot V}$ folgt. Dadurch ist aber mo , folglich auch die Fläche $A' = mn \cdot mo$ bekannt, welche man statt A in dem vorigen Ausdrucke $e_n = 16 AVh$ 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 und Bau der Wasserräder S. 44) das zwischen den Schaufeln durchgehende Wasser, welches keine Geschwindigkeitsänderung erleidet, also auch keine Wirkung ausübt, und findet, dass dieses für gewöhnlich ausgeführte unterschlächtige Räder (von 12 Fuss Durchmesser, 19 Zoll Schaufeltheilung, $v = \frac{1}{2}V$ und Dicke der zuflussenden oder anstossenden Wasserschichte = 4 bis 5 Zoll) 18 bis (wenn nämlich das Rad schneller geht und $v = \frac{3}{4}V$ ist) 27 Procent des zuflussenden Wassers beträgt, und dass dieser Verlust nur dadurch vermieden werden kann, dass man dem Gerinne am tiefsten Punkte des Rades auf die Länge von zwei Schaufeln (die eine vor und die andere nach dem tiefsten Punkte) eine mit dem Radumfang concentrische Krümmung gibt und das Rad in diese einsetzt.

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 lässt) nur bei einem geradlinig fortlaufenden Gerinne, oder wenn der Boden des Abflusscanales tiefer liegt als jener des Zufusscanales, von einigem Belange, dagegen dort, wo der Boden des Zufuss- in den Boden des Abfluss-Canals durch einen Bogen übergeht, beinahe Null.

Redtenbacher berechnet ein unterschlächtiges Wasserrad, für welches der äussere Durchmesser 15·8 Fuss, die per Secunde zuflussende Wassermenge 31·66 Kubikfuss, Tiefe des Rades (Differenz zwischen dem äussern und innern Halbmesser) 19 Zoll, Breite desselben $6\frac{1}{3}$ Fuss, die Schaufeltheilung am äussern 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 zuflussenden Wassers 14 Fuss beträgt, und er findet, dass die vortheilhafteste Geschwindigkeit v zwischen $\cdot 3V$ und $\cdot 4V$ liege, das dabei zwischen den Schaufeln durchgehende Wasser, ohne zum Stoss zu gelangen oder seine Geschwin-

digkeit zu verändern, per Secunde ein Kubikfuss, also 10 Procent; ferner jenes, welches zwischen den Schaufeln und dem Gerinnsboden durchgeht, 2·3 Kubikfuss oder 23 Procent des zufließenden 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 Zuflusscanals durch einen Bogen oder gekrümmten Theil (in welchem das Rad eingesenkt) mit dem Boden des Abflusscanals verbunden ist, also die Wasserverluste beinahe gänzlich verschwinden, dieser Nutzeffect, welcher dann bei einer Geschwindigkeit von $v = 45 V$ eintritt, bei sehr günstiger Construction des Rades bis 37 Procent steigen kann.

Nach dieser Regel ist in Fig. 147 C, der Mittelpunkt und D der tiefste Punkt 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 Zuflusscanal über dem Punkt G ist. BG ist parallel mit AE , die Höhe des Wasserstandes im Abflusscanal correspondirt mit der Höhe des Punktes G . Endlich sind die Schaufeln so gestellt, dass sie im Punkte F vertical stehen. Die Umfangsgeschwindigkeit ist $v = 4\sqrt{2gH}$, der Halbmesser R beträgt von 6 bis 12 Fuss. Die Anzahl der Schaufeln wird durch diejenige ganze Zahl n bestimmt, welche dem Werthe $\frac{2R\pi}{6 + 7a}$ (wobei, Alles in Fussen ausgedrückt, $a = R - r$ die Tiefe des Rades ist) am nächsten liegt und ausserdem durch die Anzahl der Radarme (gleich jener dem Werthe $6(3\cdot2 + R)$ 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 äussern und innern Radhalbmesser, so soll abv wenigstens $= 2Q$ sein; setzt man $abv = 2Q$, so ist die Grösse einer Schaufelfläche $ab = \frac{2Q}{v}$.

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

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

261. Für das Poncelet'sche Rad (§. 403) wird man nach den im §. 404 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:

$$E_n = 2 \frac{Mv}{g} (V - v) \dots (5),$$

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

$$(E_n)_{max.} = \frac{1}{2} \frac{MV^2}{g} = Mh,$$

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

Indess ist für den wirklichen Nutzeffect der Erfahrungscoeffizient (§. 405) $k' = \frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$, nämlich $e_n = \frac{2}{3}Mh$ bis $\frac{3}{4}Mh$, und wenn man die ganze Gefällshöhe H berücksichtigt, $k = \cdot 60$ bis $\cdot 65$, d. i. $e_n = \cdot 60MH$ bis $\cdot 65MH$, also immer noch mehr als doppelt so gross als bei dem unterschlächtigen Rade mit ebenen Schaufeln.

262. Um bei diesem Rade den Einfluss der Centrifugalkraft kennen zu lernen, indem mit Rücksicht darauf die Kranzbreite oder Tiefe des Rades zu bestimmen ist, sei 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. 131, Formel (i)

$$F = dm \rho w^2,$$

oder wenn dM das Gewicht der Masse dm ist:

$$F = \frac{dM}{g} \rho w^2.$$

Durchläuft das Element dM während der unendlich kleinen Zeit dt den Raum $d\rho$ im Sinne des Radhalbmessers, so ist die während dieser Zeit von der Centrifugalkraft ausgeübte Wirkungs- oder Arbeitsgrösse $= \frac{dM}{g} \cdot w^2 \rho d\rho$. Sind daher R und r der äussere

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 Arbeitsgrösse vom Augenblicke des Eintrittes des Wasserelementes in die Schaufel bis es zum innern Umfange des Rades gestiegen ist:

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

Was ferner die Arbeitsgrösse der in demselben Sinne wirkenden Schwerkraft betrifft, so ist diese, wenn das Wasser im tiefsten Punkte des Rades eintritt und sich auf die Höhe $R - r$ erhebt, $= dM \cdot (R - r)$.

Da nun das Wasserelement dM mit der relativen Geschwindigkeit $V - v$ in das Rad tritt, so ist dessen Wirkungsgrösse $= dM \cdot \frac{(V - v)^2}{2g}$ 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

$$dM \cdot \frac{(V - v)^2}{2g} = dM \cdot \frac{w^2}{2g} (R^2 - r^2) + dM \cdot (R - r),$$

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 , $v = R w$, 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 sein 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 $\frac{1}{3}$ 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 $= \cdot 02H$, Neigung der schiefen Ebene AB gegen den Horizont $= 3^\circ$, die Winkel, welche dem bogenförmigen Theile des Gerinnes entsprechen $BCF = FCD = 15^\circ$, Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade $= \cdot 19H$, fa parallel mit AB , am Horizontallinie, welche den Wasserstand im Abflusscanal bestimmt, dc der mittlere Wasserfaden, co senkrecht darauf, oc Krümmungshalbmesser der Radschaufeln, Höhe der Radkrone $st = \cdot 509h$, Breite des Rades $b = 5\cdot 26 \frac{Q}{HV(2gH)}$,

wobei Q die obige Bedeutung (Nr. 254) hat, Tiefe des Wassers im Abflusscanal, unmittelbar hinter dem Rade $mn = \cdot 6H$, 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 Gefällshöhe H unter 3 bis $5\frac{1}{2}$ Fuss (weil man für grössere Gefälle $R = 1\cdot 75h$ setzt) angenommen.

263. Für das oberschlächlige Rad (§. 407) hat man in der allgemeinen Formel (1) (Nr. 254), wenn die Richtungen von V und v zusammenfallen, $u = V - v$ und $w = v$ zu setzen; dadurch erhält man für den theoretischen Nutzeffect dieses Rades:

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

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

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

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 Stoss beim Eintritt in die Zellen (Nr. 260, 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 muss in der Gleich. (a), um diesen durch den Stoss entstehenden Verlust an Wirkungs-

grösse zu erhalten, nach Nr. 258, $\frac{Mu^2}{2g} = \frac{M}{2g}(V^2 + v^2 - 2Vv \cos \varphi)$ setzen.

264. Die Gleichung (a) zeigt, dass beim überschlächtigen 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 müsste.

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):

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

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

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

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

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

so, dass beim Eintritt des Wassers gar kein, sondern überhaupt nur jener Verlust an Wirkungsgrösse entsteht, welche das Wasser bei seinem Austritt aus dem Rade noch besitzt, woraus sofort folgt, dass man dem Rade die möglich kleinste Geschwindigkeit geben soll. Uebrigens werden, wenn man die Geschwindigkeitshöhe des austretenden Wassers $\frac{v^2}{2g} = h''$ setzt, diese beiden Maximalwerthe (6) und (7) für $h'' = \frac{1}{2}h$ einander gleich.

Anmerkung. Es bedarf kaum der Bemerkung, dass auch hier in diesem theoretischen Nutzeffect die Zapfenreibung mit inbegriffen ist, und dass man zur Erlangung des disponiblen Nutzeffectes von E_n den durch die Formel (α) in Nr. 254 (Anmerk.) näherungsweise angegebenen Effectverlust abziehen muss.

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, dass die Zellen das Wasser nicht bis zu dem tiefsten Puncte des Rades führen, sondern dasselbe schon früher fallen oder ausfliessen lassen. Redten-

bacher findet durch eine genauere Rechnung, wobei jedoch die bei guten Anordnungen ohnehin ohne bedeutenden Einfluss bleibende Centrifugalkraft vernachlässigt wird, für den betreffenden Effectverlust, je nachdem der Füllungscoefficient $\frac{Q}{abv}$ (wo a die Tiefe des Rades oder Radkranzbreite, b die Radbreite parallel zur Achse und v die Umfangsgeschwindigkeit ist*), d. i. das Verhältniss zwischen dem Volumen der Wassermenge Q , welche per Secunde dem Rade zufliesst, 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 $\frac{1}{3}$) 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 zweckmässigen Zellenbau und namentlich bei schnell gehenden und stark gefüllten Rädern durch einen genau anschliessenden Mantel (Mantelräder) grösstentheils vermieden werden.

Mit Rücksicht auf alle diese Verluste kann man den wirklichen Nutzeffect der überschlächtigen Wasserräder bei kleineren Gefällen (von 9 bis 15 Fuss) von 50 bis 60, dagegen bei grösseren Gefällen über 15 Fuss von 60 bis 75 Procent rechnen. (§. 412.)

265. Da es nicht uninteressant ist, den Einfluss der Centrifugalkraft bei diesem Rade genauer kennen zu lernen, sei C (Fig. 149) der Mittelpunkt 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 Mittelpunkte des Rades, $MA = \frac{mv^2}{gx}$ (§. 196) 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. 169) auf der Wasseroberfläche aMb normal sein muss, bis zum Durchschnitt O mit dem verlängerten verticalen Durchmesser, so folgt aus den beiden ähnlichen Dreiecken MDB und MOC :

*) Ist e die Entfernung von einer Zelle zur andern auf dem äussern 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 muss also $abe > Q \frac{e}{v}$ oder $abv > Q$, d. i. $abv = mQ$ oder $\frac{1}{m} = \frac{Q}{abv}$ sein. Für Schaufelräder ist gewöhnlich $m = 2$, für Zellenräder $m = 3, 4$ und selbst $= 5$.

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

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 Punkte der Oberfläche aMb sehr nahe constant bleibt, so schneiden sich die sämtlichen Normallinien sehr nahe in einem Punkte O , und es bilden daher die Wasserflächen in den einzelnen Zellen concentrische Cylinderflächen, deren gemeinschaftliche horizontale Achse durch den Punkt 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

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

Da nun für die grösseren oberflächigen Wasserräder n immer so klein ist, dass OC sehr gross 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 oberflächige Wasserrad folgende Verzeichnung (Fig. 150):

Der äussere 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 $\frac{2R\pi}{6 + \cdot 7a}$ (wo a die Tiefe des Rades $= R - r$, Alles in Fussen ausgedrückt) am nächsten liegt und die durch die Anzahl der Radarme theilbar ist. Ist e die Entfernung zweier Zellen, so ist die Zellentheilung $e = \frac{2R\pi}{n}$. Ist $aa' = e$ und $a'l = \frac{1}{2}e$, so ist lfg eine gerade radiale Linie und $lf = fg = \frac{1}{2}a$. Erscheinen die äussern Zellenwände zu convergirend, so muss fa schwach gekrümmt werden. Werden die Zellenwände aus Blech hergestellt, so nimmt man für diese eine durch die Punkte afg gehende stetige krumme Linie an. Ist ad der Richtung nach eine Tangente an den äussern Radumfang und der Grösse nach $= v$, ferner ac eine Tangente an den Punkt a der äussern Zellenwand; so muss die Diagonale ab des Parallelogramms cd der Grösse nach $V = 2v$ sein und das Wasser nach der Richtung ba bei a ankommen, um ohne Stoss gegen

die Zellenwände in das Rad zu gelangen. Dazu ist ae ein parabolischer Einlauf, dessen Scheitel in e liegt und in a von ba berührt wird. Der Horizontalabstand der Punkte a und e ist $= ah \cdot \sin 2bad$ und deren Verticalabstand $= ah \cdot \sin^2 bad$. Die Wassermenge, welche eine Zelle aufzunehmen hat, ist $= Q \frac{e}{v}$. Das Verhältniss 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 zufließenden Wassers in Pferdekräften ist) ausgedrückt und dann

$b = \sqrt{\frac{uQ}{mv}}$ (wo $m = \frac{Q}{abv}$ der Füllungscoefficient ist) und $a = \frac{b}{u}$ gesetzt werden. Der Halbmesser ist $R = \frac{1}{2} \left(h - \frac{V^2}{2g} \right)$ oder für $V = v$ auch

$R = \frac{1}{2} \left(h - 4 \cdot \frac{v^2}{2g} \right)$. Die Umfangsgeschwindigkeit ist für kleinere Gefälle $v = 4$ bis $4 \cdot 8$, für grössere Gefälle 5 Fuss. Das Kraftgebiet dieses Rades erstreckt sich von 8 bis 40 Fuss Gefällshöhe und von 9 bis 25 Kubikfuss Wassermenge, welche per Secunde auf das Rad fällt.

266. Für das Kropfrad (§. 415) gelten dieselben Bemerkungen, welche in Nr. **263** für das oberflächliche Rad gemacht wurden, daher auch die beiden Gleichungen (a) und (b), so wie für den grössten Effect die Formeln (6) und (7) in Nr. **264**. Was dabei den Erfahrungscoeffizienten k (Nr. **254**) anbelangt, so wäre nach den in Frankreich mit solchen Rädern angestellten Messungen für Geschwindigkeiten von v , welche zwischen 2 und 7 Fuss liegen, $k = \cdot 74$, also der wirkliche Nutzeffect $e_n = \cdot 74 E_a$; dabei kann diesen Versuchen zufolge v ohne merklichen Nachtheil zwischen $\cdot 33$ und $\cdot 66 V$ 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 Coefficient k bis $\cdot 65$ 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 Ueberfallsschütze 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 Mittelpunkt und D der tiefste Punkt des Rades, mn der niedrigste Wasserstand im obren, pq der mittlere Wasserstand im untern Canale, dabei $Dm = \frac{1}{2}DL = \frac{1}{2}a$ und $CD = R$, so liegt der Punkt B um $2\frac{1}{2}$ Fuss untern Wasserspiegel mn . AB bildet einen parabolischen Einlauf, wobei die an den Punkt 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 Punkte B aus in der Richtung BT unter dem Winkel $EBT = \alpha$ mit dem Horizonte geworfener Körper beschreibt, deren Scheitel A also Nr. 126, 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 Punkt 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 sein, so erhält man einen bessern Effect, wenn man den Punkt B nur um $1\frac{1}{2}$ Fuss (oder überhaupt um $4\frac{v^2}{2g}$) unter den Wasserspiegel legt. Auch kann man die Tangente an den Punkt B so ziehen, dass sie zugleich auch den Radumfang an dieser Stelle berührt.

Den Halbmesser des Rades betreffend, so nimmt man $R = 1.5H$ bis $2.5H$, und den Füllungscoefficienten $\frac{Q}{abv}$ (Nr. 264) $= \frac{1}{2}$. Die Schaufelzahl wird wie beim unterschlächtigen Rade (Nr. 260, Anmerkung) und die Breite b wie beim überschlächtigen Rade (Nr. 265) bestimmt. Der Nutzeffect wird dabei bloß mit 40 bis 50 Procent angenommen.

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

267. Legt man bei diesem Rade eine Ueberfallsschütze an, so erhält man das sogenannte Schaufelrad mit Ueberfall-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 schmaler als die lichte Breite des Rades), s die Dicke oder Höhe der Wasserschichte über dem Scheitel des Ueberfalles und wieder Q die per Secunde abfließende Wassermenge (in Kubikfuss), so hat man (§. 356):

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

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 $1.5s$ unterm Wasserspiegel mn und bestimmt den Scheitel A der Parabel mittelst der rechtwinkligen Coordinaten $BC = 1.4s$ und $CA = .5s$; dabei ist die Umfangsgeschwindigkeit v zu $4\frac{1}{2}$ Fuss angenommen.

Anmerkung. Nach Redtenbacher soll für das Ueberfallrad $H > 4.75$ Fuss und $Q < 65$ Kubikfuss sein. 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.

268. 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 $5\frac{3}{4}$ Fuss der Winkel, unter welchem die Coulißen dem Umfange des Rades begegnen sollen, im Mittel 36 Grad betragen. Ist daher C (Fig. 153) der Mittelpunkt des Rades und mn der obere Wasserspiegel (welcher um die Gefällshöhe 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 l in einer Tiefe von 1 Fuss unter mn an, macht $1,2 = 2,3 = \dots = \frac{1}{3}a$ (für gewöhnlich nahe 4 Zoll), zieht die Gerade Al unter einem Winkel $AlC = 36^\circ$, verlängert diese bis I so, dass $1I = .8a$

wird und beschreibt aus C mit dem Halbmesser CI den Kreisbogen ab , so liegen in diesem Bogen die Mittelpuncte der Coulissen-Krümmungen $1,1', 2,2', 3,3' \dots$ als Kreisbögen vom Halbmesser $I1 = II2 = III3 = \dots = 8a$.

Ist t die äussere normale Entfernung von zwei auf einander folgenden Coulissen und h' die Tiefe des Mittelpunctes der betreffenden Ausflussöffnung unterm Spiegel mn , so kann man die aus dieser Oeffnung per Secunde ausfliessende Wassermenge $= 4bt\sqrt{2gh'}$ 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 muss, als der Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande im Obercanal entspricht.

269. Schliesslich erwähnen wir noch des rückenschlächtigen Zellenrades mit Coulissen-Einlauf, welches sich für Gefälle von 8 bis 25 Fuss und Wassermengen von 12 bis 40 Kubikfuss 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 Fuss, die Breite b und Tiefe a , so wie die Anzahl der Zellen genau so wie beim ober-schlächtigen Rad in Nr. **265** (Anmerk.) und den Füllungscoefficienten $\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ 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 Coulissen-Einlaufes betreffend, so dienen nach Redtenbacher folgende Angaben:

Der tiefste Punct des äussern Radumfanges wird vom höchsten Wasserstande im untern Canal berührt. Nachdem man den innern und äussern Umfang des Rades, und mit diesem concentrisch in einem Abstand von $\frac{3}{8}$ 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 Fuss unterm Wasserspiegel mn , mache $1,2 = 2,3 \dots = 4a$ (gewöhnlich von 4 bis 5.7 Zoll), verzeichne die Zelle $1de$ in einer solchen Lage, dass 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, dass $1,c$ gleich der Geschwindigkeit V , hier also

= $-\sqrt{2g \times 1} = 7.874$ Fuss ist, so stellt $c1$ (als Diagonale des Parallelogramms ab) die Richtung vor, in welcher das Wasser in die Zelle eintreten muss, um weder die Schaufel $1,d$ zu stossen, noch von ihr gestossen zu werden. Endlich ist $1I = a$ senkrecht auf $1,c$ und wenn man aus dem Mittelpuncte C des Rades mit dem Halbmesser CI einen Kreisbogen beschreibt, so liegen in demselben die sämmtlichen Mittelpuncte $II, III \dots$ der Coulissen, als Kreisbögen vom Halbmesser $1,I = 2,II = 3,III = \dots = a$.

Die Anzahl der Coulissen wird eben so wie beim Ueberfallsrad der vorigen Nr. bestimmt, nur dass man anstatt des dortigen Coefficienten $\cdot 4$ hier $\cdot 75$ nimmt.

270. 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 Ueberfalleinlauf 60 bis 65, für das Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf 65 bis 70, für das rückenschlächtige Zellenrad mit Coulissen-Einlauf 60 bis 70, für das obereschlächtige Rad für kleinere Gefälle (von $9\frac{1}{2}$ bis 16 Fuss) 50 bis 60 und für grössere (über 16 Fuss betragende) Gefälle von 60 bis 75 Procent an; so kann man die nöthige Wassermenge, welche per Secunde auf das Rad fliessen muss, 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 Kubikfuss ausgedrückte Wassermenge Q , welche dem Rade per Secunde zugeführt werden muss, wenn man Kürze halber den Quotienten aus der in Fussen ausgedrückten Gefällshöhe H in den in Pferdekräften (zu $430^{\text{P.}}^{\text{P.}}$) ausgedrückten Nutzeffect N_n , welchen das Rad liefern soll, d. i. $\frac{N_n}{H} = K$ setzt, sofort für das

unterschlächtige Rad:	$Q = 21.8K$ bis $30.5K$
Poncelet-Rad:	$Q = 11.7K$ — $12.7K$
Kropfrad:	$Q = 15K$ — $19K$
Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf:	$Q = 11.7K$ — $12.7K$
„ „ Coulissen-Einlauf:	$Q = 10.9K$ — $11.7K$
rückenschlächtige Zellenrad mit Coulissen-Einlauf:	$Q = 10.9K$ — $12.7K$

oberschlächtige Rad für kleinere

Gefälle $Q = 12.7K - 15.2K$

oberschlächtige Rad für grössere

Gefälle $Q = 10.2K - 12.7K$

Anmerkung. In jenen, nur selten vorkommenden Fällen, in welchen Wasserkräfte von mehr als 80 Pferdekraft benutzt werden müssen, wendet man lieber zwei oder mehrere 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 ebenfalls mehrere Räder anlegen.

Die Jonval'sche Turbine.

(§. 435.)

271. 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 (§. 430), deren Princip auch dabei zum Grunde liegt, wesentlich dadurch, dass das Leitcurvenrad nicht innerhalb, sondern über, in besonderen 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 Leiteurvenapparat (das Leitcurvenrad) *bf*, und von da in das Turbinenrad *ab* eintritt, von wo es, nachdem es gewirkt, in dem cylindrischen 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