Maschinenbau

Studien-Jahr 1861/62

Redtenbacher, Ferdinand

Karlsruhe, 1862

Erstens Wasserraeder

urn:nbn:de:bsz:31-278571

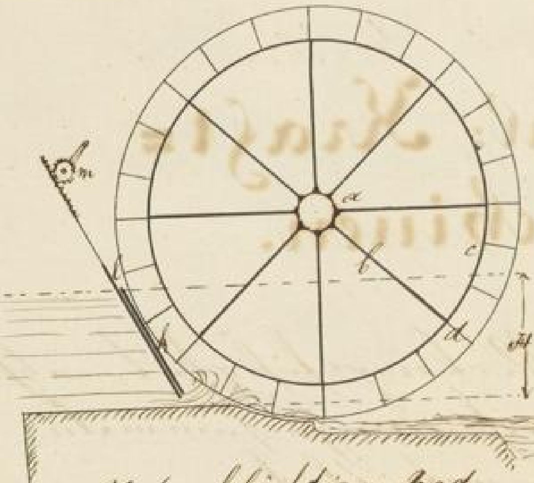
Hydraul: Kraft=maschinen.

Sie haben den Zweck die Wirkungsfähigkeit, welche in einem Wassersturze vorhanden zu sammeln und den Arbeitsmaschinen mitzutheilen.
Es gibt nun deren verschiedene, worunter:
1. Die Wasserräder.
2. Die Turbinen &
3. Die Wassersäulmaschinen.

Die 1sten und 2ten bestehen meistens aus kreisrunden Apparaten, welche sich um eine vertikale oder horizontalliegende Welle drehen.
Die 3ten haben in ihrer Construction viele Ähnlichkeit mit den Dampfmaschinen.
Wir gehen nun zuerst zu den Wasserrädern über:

1stens Wasserraeder.

Die verschiedenen Arten von Wasserrädern richten sich alle nach der Größe des Gefälles, worunter wir 1stens das Unterschlächtige Rad haben mit radial laufenden Schaufeln am Radumfange.
Auf nächstfolgender Seite ist die Anordnung eines solchen Rades aus einer Skizze ersichtlich.



Unterschlächtiges Rad

Es ist hier a eine Welle von welcher Arme b ausgehen und einen sternförmigen Körper bilden.

Je nach der Breite des Rades haben diese nun entweder:

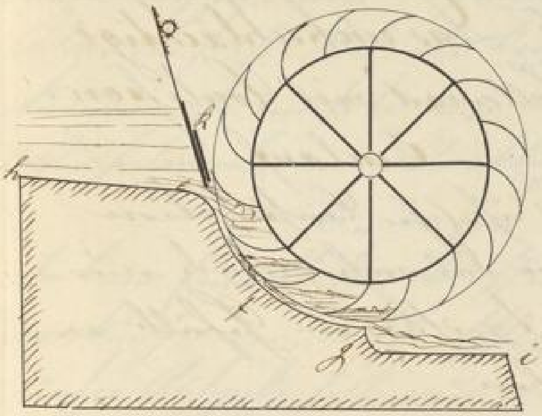
1tens Ein Armsystem, oder
2tens 2 Armsysteme und
3tens 3 Armsysteme.

An die Arme b ist nun ein ringförmiger Körper c Radkranz oder auch Radkrone genannt, befestigt, von welch letzterm aus die Schaufeln d ausgehen

das Gerinne heißt nun derjenige Theil in welchem der Radkörper eingesenkt ist, der Boden desselben hat eine schwache Neigung gegen das Rad hin, ferner sind zur Seite des Rades Wände von Stein oder Holz angebracht, welche die Schaufeln des Rades zur Seite fast berühren.

der Radkörper hängt nun mit seiner ganzen Last frei an 2 Zapfen der Welle und ist vorderhand nur in Berührung mit der Luft.

Vor dem Rad ist nun eine senkrechte oder schräge Wand welche unten mit einer Öffnung versehen und durch einen Schützen beliebig weit geöffnet oder ganz geschlossen werden kann. Es ist hier k. die Wand, l der Schütze und m der Schützenaufzug mit Zahnstange & Getriebe.

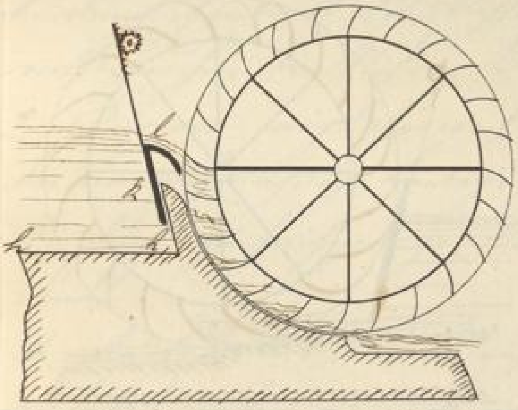


2tens Das Kropfrad.

Wird angewendet für kleinere Gefälle bis zu 1 Meter.

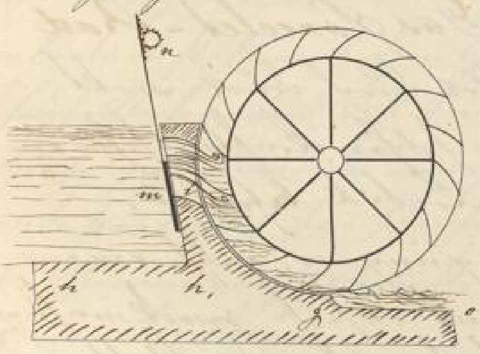
Es ist hier h e der Zuflußkanal, e f g das Gerinne und g i der Abflußkanal, k eine Lattenwand, l die Schütze mit Schützenaufzug.

Das Wasser wirkt hier zuerst als Schlag, sodann als Druck.



3. Das Schaufelrad mit Ueberfalleinlauf.

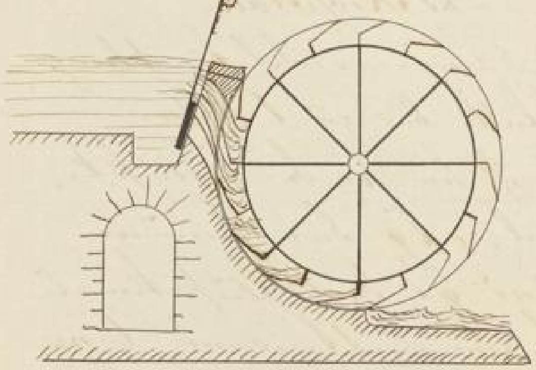
h h, Boden des Zuflußkanales. An der Wand k, k befindet sich eine Schütze l mit einer gekrümmten gegen das Rad hin geneigten Fläche, welche Fläche das Wasser überfluthet und dann in das Rad eintritt.



4. Das Schaufelrad mit Coulisseneinlauf.

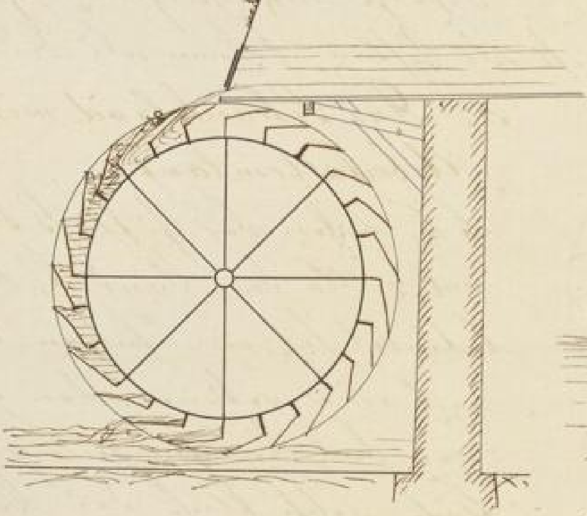
Es sind hier Blechschaufeln am Schützen als Leitfläche angebracht.

m n ist hier wieder die Schützenaufzug, h h, Bodenfläche des Zuflußkanals, i g Gerinne und g o Abflußkanal.

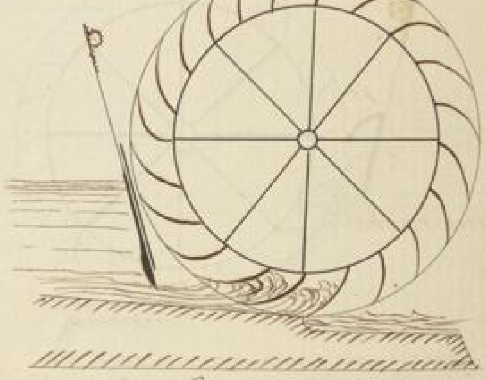


5 Das rückschlächtige Zellenrad mit Coulissen-Einlauf.

Ist ähnlicher Construction wie das vorhergehende nur mit größerem Gefälle versehen.



6tens



7tens

Das oberschlächtige Rad & Das Poncelet-Rad

bei welch letzterem das Wasser blos durch Druck wirkt.
Es entstehen nun bei Einrichtung von solchen Kraftmaschinen 2 Hauptfragen, deren eine die Kritik betrifft, die andre zu bestimmen die Bedingungen, welche einem Rade entsprechen müssen, damit dasselbe zweckmäßig ist. Wir werden zu diesem Zwecke also den Bau der Wasserräder theoretisch nachweisen.
Es kommt nun darauf an den Nutzeffect eines solchen Rads

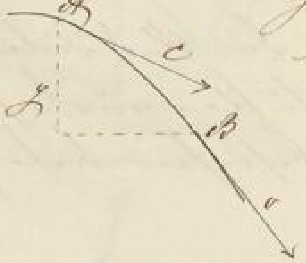
unter verschiedenen Verhältnissen von Q und H zu bestimmen
Wäre ein solches Rad als Kraftaufsammlungsapparat vollkommen, so müßte $E_a = E_n$ sein.
Wir haben aber in Wirklichkeit

$$E_n = E_a - \Sigma V.$$

da beim Eintritt des Wassers in das Rad vielerlei Einwirkungen vor, welche Effectverluste verursachen, und unsere Aufgabe soll nun darin bestehen diese Effectverluste ausfindig zu machen.
Es können diese bestehen.
1. durch Eintritt des Wassers in das Rad, namentlich entstehen hier die Stöße, Wirbel, Schaum etc.
2. Können möglicherweise Effectverluste entstehen durch die unregelmäßige Bewegung des Wassers im Rade selbst
3. durch zu frühzeitigen Austritt des Wassers aus dem Rade.
4. durch die Art und Weise, wie das Wasser das Rad verläßt, indem es nicht rasch abfließen soll.
5. Verschiedene Reibungswiderstände indem das Wasser in Contact steht mit den Kranzboden, den Seitenwänden und Schaufelflächen und das Sinken des Wassers verhindern.
Hierzu gehört ferner die ungeheure Zapfenreibung und der Luftwiderstand durch das Kreisen der Schaufeln entstehend.
6. Können noch Verluste entstehen durch Unvollkommenheiten des Baues.
Wir wollen also alle diese Verluste einer näheren Kritik unterwerfen und sehen was daraus folgt für jeden einzelnen derselben.

1tens Effectverlust durch stoßweisen Eintritt des Wasser's.

In der Regel wirkt er in Richtung der Tangente. Nehmen wir also

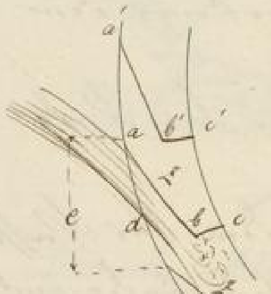


an es habe das Wasser bei A eine Geschwindigkeit c und habe ferner bei B eine Geschwindigkeit v befindet sich hier in einem Abstande y von A, so ist

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{c^2}{2g} + y$$

Ist Qy die Wirkung, die von der Schwere herrührt, so muß dies gleich sein der lebendigen Kraft.

Also $Qy = \left(\frac{v^2}{2g} - \frac{c^2}{2g}\right) Q$.



Wenn nun z eine Zelle des Rades ist, so beginnt die Füllung dieser Zelle, wenn die äußerste Kante a derselben den Wasserstrahl berührt; die Füllung ist zu Ende, wenn die nächstfolgende Zellenwand a'b' nach d gekommen ist.

Die Wassermenge, welche in eine Zelle fällt setzt den Beharrungszustand der Bewegung voraus. Es muß also in jede Zelle gleichviel Wasser fallen, da sich alsdann jeder Zelle nach dem vorausgegangenen Satze gleichviel Zeit zur Füllung darbietet.

Fragen wir nun wieviel in eine solche Zelle hinein geht z.B. in einer Secunde; so ist, wenn

Q die Wassermenge, welche in jeder Secunde zufließt

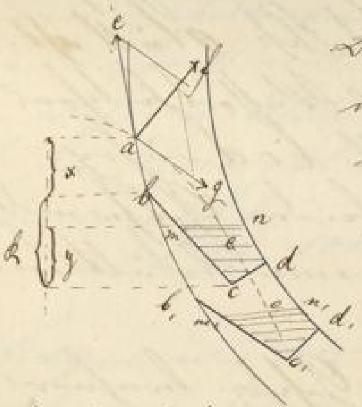
q die Wassermenge, die in eine Zelle geht,
c die Zellentheilung, und
v die Umfangsgeschwindigkeit des Rades.

$$\frac{Q}{q} = \frac{v}{c}$$

$$q = \frac{cQ}{v}$$

die Wassermenge, welche eine Zelle aufnimmt, ist proportional der Wassermenge, die zufließt und verkehrt proportional der Umfangsgeschw. des Rades.

Vom Eintritt des Wassers.



Betrachten wir hier zunächst einen Tropfen, den wir ins Rad fallen lassen, sodann einen Wasserfaden und zuletzt die Wirkung eines mächtigen Wasserstrahles.

Die gestrichelte Linie (Parabel) stelle nun die Bahn dar, welche ein Wassertropfen beschreibt, so wird bei einem gewissen Zeitmoment derselbe ins Rad treten, in diesem Moment wird die Zelle eine gewisse Stellung haben, sie sei z. B. bcd.
Nun kann es sein, daß bereits eine gewisse Quantität Wasser im Rade ist. Von da an setzt das Wassertheilchen seine Bewegung in der Bahn fort, die Zelle geht nieder, die Geschw. des Tropfens wird größer und größer und es wird derselbe auf den Wasserspiegel aufschlagen, wenn die Zelle in die Position $b'c'd'$ gelangt ist.
Es ist hier eine Stoßwirkung vorhanden und dieselbe stets verbunden mit Verlust an lebendiger Kraft.

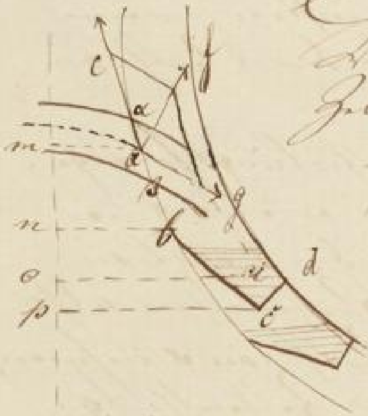
Es geht also diese Wirkg in Bezug auf die Bewegung
des Rades verloren, welchen Verlust wir nun zu bestim-
men versuchen müssen. Es muß also vorerst best. werden
die relative Geschw. mit welcher der Wassertropfen die Zel-
le erreicht. diese Geschwindigkeit wird nicht geändert,
wenn wir der ganzen Masse, Wasser und Rad eine
gemeinsame Bewegung ertheilen, die Bewegungsrichtg
aber entgegengesetzt der Bewegung des Rades aber gleich
der Umfangsgeschw. desselben ist.
Ist nun ag die abs. Geschwindigkt, ae gleich der Geschw.
des Rades, die Geschw. des Rades aber selbst Null ist.
d. h. es ist die relative Bewegung des Wassertheilchens
gegen die Zelle so, wie wenn die Zelle bcd ruhig
bliebe und der Wassertropfen die beiden Geschwindig-
keiten ae & ag hätte, welche wir zu einer Resultiren-
den af zusammensetzen können.
Wir können also die abs. ~~Bewegung~~ Geschw. berechnen
Es muß sein $\frac{af^2}{2g} + x + k - y = 1000\,q \left\{ \frac{af^2}{2g} + x + k - y \right\}$.
Es ist dies der Effect Verlust für den einzelnen Tropfen.
2tens können wir noch den Effect Verluste fragen der durch
einen Wasserfaden entsteht, welch letztern wir uns
durch continuirl. Fallen von einzeln. Tropfen erklären können.
Nun wird für jeden Wassertropfen der Verlust durch
obige Formel ausgedrückt. k bleibt für alle Zellen
gleich; ändert er nie im Kleinsten seine Lage, also
konstant; x ist variabel für die aufeinanderfolgenden
Tropfen, indem für die später eintreffenden Tropfen x

größer wird u. folgt der Verlust größer.
x ist für den ersten Tropfen am kleinsten, wenn also b mit a zusammenfällt, also der Werth von $x = 0$.
Ist er aber nun eine ganze Zellentheilung herabgegangen, so hört die Zelle auf und x erreicht hier sein max.; ist also nichts anders als die Projection von ab auf eine Vertikallinie. Wir müssen also für die Verluste den mittleren Werth von x nehmen, also die Hälfte von der Projection einer Zellentheilg.
y ist ebenfalls variabel u. gibt die Tiefe des Wassers in einer Zelle an. Es ist hier y am allerkleinsten für die zuerst eintretenden Wassertheilchen.
Der wahre mittlere Werth ist demnach nichts anders als der Schwerpunkt der Wassermenge über c u. wir haben die Gleichg.

$$1000\, q \left\{ \frac{af^2}{2g} + x_m + h - y_m \right\}$$

Fragen wir 3tens nach dem Effectverlust, der durch einen Wasserstrahl entsteht, so können wir uns denselben in viele Wasserfäden aufgelöst denken u. es ist af für verschiedene Wasserfäden variabel. Wir müssten nun wieder den wahren mittleren Werth af^2 zu bestimmen suchen, was aber zu weitläufigen Rechnungen führt und wir uns daher für praktische Zwecke mit einer Annäherung begnügen. Wir zerlegen also den Wasserstrahl in lauter Wasserfäden u. setzen für den wahren mittleren Werth des Wasserstrahles den mittelsten Wasserfaden; x_m ist constant; für af setzen wir die mittlere Eintrittsgeschwindigkeit.

Es ergeben sich daraus folgende Regeln



Wir halbiren $\alpha\beta$, verzeichnen eine Zelle, bestimmen den Schwerpunkt c derselben.

Wir erhalten für den Verlust:

$$1000\,Q \left\{ \frac{af^2}{2g} + \frac{1}{2}\,mn + n\beta - o\beta \right\}$$

Es ist dies der in Kilogrammetern ausgedrückte Effectverlust. Der Schaden ist nun nicht darnach zu beurtheilen, sondern nach dem Verhältnisse was wir verlieren und was wir besitzen.

Wir haben also $\dfrac{1000\,Q \left\{ \frac{af^2}{2g} + \frac{1}{2}\,mn + n\beta - o\beta \right\}}{1000\,Q\,H}$ in % ausgedrückt

oder: $\dfrac{\frac{af^2}{2g} + \frac{1}{2}\,mn + n\beta - o\beta}{H}$

af ist die relat. Geschwindigkeit mit welcher das Wasser an das Rad kommt & in der Regel doppelt so groß als die Umfangsgeschwindigkeit des Rades, welche selten mehr als 2 Meter beträgt.

$\frac{af^2}{2g} = \frac{1}{5} =$ 2 Decim ist für alle Räder nahezu constant, H hingegen für verschiedene Räder sehr verschieden.

Wir haben also für unterschlächtige Räder große Verluste, können also Wasserkräfte mit hohem Gefälle hingegen sehr vortheilhaft benützen.

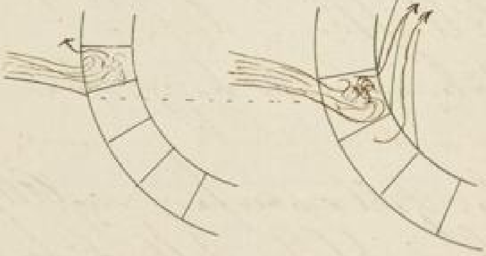
$\frac{1}{2}$ mn richtet sich nach 2 Dingen, nämlich:

1.) Nach der absoluten Größe der Schaufeltheilung

2) Nach der Art & Weise, wie das Wasser eintritt.

Hinsichtlich der Schaufeltheilung ist es bei ober und unter-
schlächtigen Rädern wegen des Wassereintritts ziemlich
gleichgültig, da die Projection einer Schaufeltheilung auf
eine Vertikallinie beinahe Null ist.
Bei allen mittelschlächtigen Rädern wirkt die große
Schaufeltheilung nachtheilig.
Nun ist nz die Projection einer Zellentiefe; im All-
gemeinen hängt dieses ab von der wirklichen Zellenlänge
bc und dem Ort der Füllung.
In der Hinsicht des Wassereintritts sind Schaufelräder
besser als Kübelräder, da bei der Schaufel bc = 0, die
Projection daher ebenfalls Null.
nz ist für verschiedene Arten von Rädern sehr ver-
schieden, d. h. hinsichtlich des Wassereintritts ist es bei
oberschlächtigen Rädern ganz gleichgültig ob man die
Zellen tief macht.
Für mittelschlächtige Räder ist die Projection einer
Zellentiefe sehr groß, insbesondere bei rückschlächtigen
Rädern, es finden also große Verluste statt.
oz hat Bezug auf die Höhe des Schwerpunkts in der Zel-
le und ist im Allgemeinen nicht groß.
Geht das Rad also stark gefüllt, so wird oz groß und
umgekehrt bei schwacher Füllung klein.
In dieser Hinsicht wäre starke Füllung vortheilhafter
als schwache.
Betrachten wir nun die Effectverluste, die durch die
in den Zellen enthaltene Luft vorkommen.

Bei unterschlächtigen Rädern kommt dies nicht vor anders jedoch ist es bei den mittelschlächtigen.

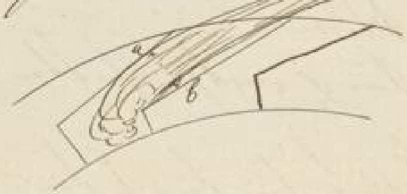


Das Wasser tritt also hier im 1ten Falle ein, preßt die Luft vielleicht auf doppelte zusammen, und die gespannte Luft wirkt als elastischer Körper gegen das Wasser zurück und verursacht auf diese Weise eine entgegengesetzte Bewegung des Rades.

Die Verluste welche hieraus entstehen lassen sich nun nicht berechnen, es ließe etwa durch Ventilation abhelfen, wie aus der 2ten Skizze ersichtlich, allein es geht mit der Luft immerhin noch ein Theil des Wassers verloren, indem die Bewegung des Wassers im Zellenraum zu tumultarisch ist.

Es wäre also in dieser Hinsicht eine sehr schwache Füllung vortheilhaft, die Wassermenge im Verhältniß zum Zellenraum klein wäre, ein Mittel wodurch man sich helfen kann.

Am heftigsten kann der Luftwirbel beim oberschlächtigen Rad werden, weil hier die Schluckweite so sehr



klein ausfällt, der Verlust sich hier ebenfalls nicht gut berechnen läßt.

Wohl aber gibt es ein Mittel wodurch man sich helfen kann indem man:

1tens die Strahldicke im Verhältniss zur Schaufelweite klein macht.

2tens Ist es nicht gleichgültig nach welcher Richtung der Strahl in die Zelle eintritt, sondern dass er der relativen Bewegung des Rades folgt, ferner ist es gut die Radbreite grösser als die Strahldicke zu machen, da dann beiderseits die Luft entweichen kann.

Bei sehr breiten Rädern lässt man das Wasser sogar in zwei Strahlen einfliessen.

Effect Verluste, welche beim Austritt des Wassers entstehen.

Alles Wasser folgt dem Rade bis zu seinem tiefsten Punkte und wir wollen nun sehen, was für Verluste daraus entstehen bei zu frühzeitigem Austritte.

Zuerst tritt das Wasser durch Stoss ein, wogt so lange in den Zellen umher bis es die relative Geschw. des Rades besitzt und verlässt in der Regel das Rad mit einer lebendigen Kraft gleich der Geschw. des Rades.

Heissen wir nun Q die Wassermenge, welche in jeder Secunde in das Rad eintritt und verlässt und ist v die Umfangsgeschwindigkeit

So ist $1000\, Q \frac{v^2}{2g}$ der Verlust an lebendiger Kraft beim Abgang aus dem Rade.

Ferner
$$\frac{1000\, Q \frac{v^2}{2g}}{1000\, Q\, H} = \frac{\frac{v^2}{2g}}{H}$$
der Verlust in Proz. ausgedrückt. der Verlust ist also gross bei kleinem Gefälle

und ungesetzt klein bei großem Gefälle.
Das Wasser strömt aus mit einer Geschwindigkeit gleich $\sqrt{2gH}$ und die Geschwindigkeit eines bestmöglichst angeordneten Wasserrades ist gleich $\frac{1}{2}\sqrt{2gH}$

also $$v = \frac{1}{2}\sqrt{2gH}.$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{4}H$$

$$\frac{\frac{v^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{1}{4}H}{H} = \frac{1}{4}$$

Es gehen also 25 % nur durch Austritt verloren.
Die relative Geschwindigkeit mit welcher das Wasser vom Rade austritt ist $\sqrt{2gH} - \frac{1}{2}\sqrt{2gH} = af$.
beim unterschl. Rad ist:

$$af = \frac{1}{2}\sqrt{2gH}$$

$$\frac{\frac{af^2}{2g}}{H} = \frac{1}{4} \quad \text{also } 25\,\%$$

Nehmen wir z. B. für ein mittelschl. Rad folgendes an:

$$v = 2{\cdot}5 \text{ M.}$$

$$H = 3 \text{ M.}$$

Also $$\frac{\frac{v^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{4}{20}}{3} = \frac{1}{15} = 0{\cdot}07\,\%$$

Wir haben für das oberschlächtige Rad bei folgender Annahme:

$$v = 1{\cdot}3 \text{ M.}$$

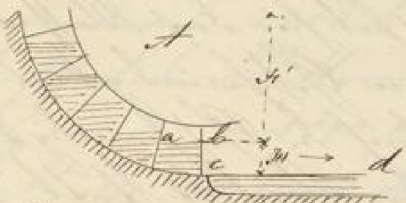
$$H = 10 \text{ M.}$$

$$\frac{\frac{v^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{(1{\cdot}3)^2}{20}}{10} = \frac{1{\cdot}7}{2000} = 0{\cdot}008$$

Verlieren hier also nicht einmal 1 %.

Bei rückschlächtigen Rädern können Verluste entstehen durch den Wasserstand im Abflußkanal und es sind hier 3 logische Möglichkeiten vorhanden.

A. Es sei ab der Wasserstand in der Zelle, cd der Wasserstand im Abflußkanal, so wird das Wasser bis ab herab-

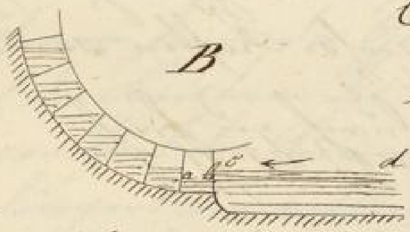


wirken. Rückt nun die Schaufel aus der Position heraus, so ist das Gefälle h für die Wirkg des Rades verloren und es ist dieser Verlust

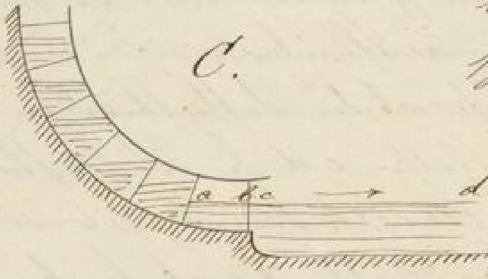
$$\frac{1000\,Q h}{1000\,Q H} = \frac{h}{H}$$

der Verlust wird klein sobald das Gefälle groß ist.

B. Es liegt hier der Wasserspiegel cd im Abflußkanal höher als derjenige ab in der letzten Zelle. Es wird also hier das



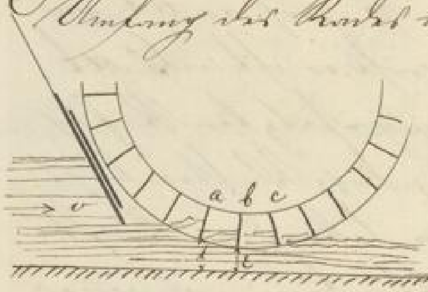
Wasser zunächst herabsinken und zwar tiefer als der Wasserspiegel cd. Der Druck cd des Wasserspiegels ist größer ab und da das Volumen von cd stets größer ist als ab, so strömt das Wasser in entgegengesetzter Richtg gegen das Wasser der letzten Zelle, das Wasser liegt demnach todt in der Zelle, hat keine lebendige Kraft, es muß das Rad das Wasser forttreiben, was immer einen unordentlichen und unregelmäßigen Radgang zur Folge hat und überhaupt sehr störend einwirken kann.



C. Hier ist der Wasserspiegel der Zelle ab und der Wasserspiegel des Abflußkanals cd eine horizontale Linie. Es hat hier das Wasser eine Geschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit des Rades und es findet hier kein Verlust statt, da die Fortschrittsgeschwindigkeit des Wassers im Rade gleich der Geschwindigkeit des Wassers im Kanale ist. Die letztere Anordnung kann gewählt werden, wenn der Wasserstand im untern Kanale ziemlich constant ist. Für die beiden andern Fälle müßten Sie einen sammt Rad mit einer Hebevorrichtung versehen, was immer Schwierigkeiten und große Kosten verursacht.

Effect Verluste welche durch zu frühzeitigen Austritt des Wassers entstehen.

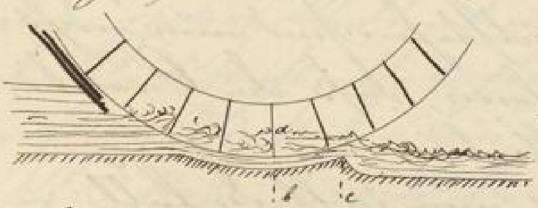
Es kommt nun vor, daß ein Theil des Wassers am Umfang des Rades verloren geht.



Heißen wir ε diesen Spielraum, der bei eisernen Rädern mit Eisen od. Steingerinnen sehr gering sein kann, so wird alles Wasser von der Höhe ε ohne alle Wirkung unter dem Rade wegfließen, was namentlich bei Holzrädern der Fall ist, die in der Regel sehr unrund werden.

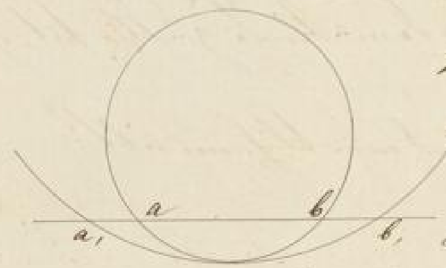
Es ist diese Wassermenge, welche wirkungslos abfließt $q = b\varepsilon v$.
während $Q = bt.v$. die Totalmenge des Wassers ist. der Effect der Wassermenge welche wirkungslos abfließt ist dennoch $1000\, b\varepsilon v\, H$.
der Effect der Wassermenge, die dem Rade zufließt, ist
$$1000\, bt.v\, H.$$
Bleibt also der Effect den das Rad wirklich ausübt:
$$\frac{1000\, b\varepsilon v.\, H}{1000\, bt\, v\, H} = \frac{\varepsilon}{t}$$
Nehmen wir z.B. $t = 0.2$ und $\varepsilon = 0.02$
so ist $\frac{\varepsilon}{t} = \frac{0.02}{0.2} = \frac{1}{10}$

dieser Verlust läßt sich aber fast ganz vernachlässigen durch eine Form des Gerinnes, indem man letzteres nach der Kreisform des Rades aushöhlt und den geradlinigen Theil des Gerinnebodens so legt, daß derselbe verlängert, den tiefsten Punkt des Rades berührt.
Nun kann es sein, daß bei diesen Rädern derjenige Theil der Schaufel der ins Wasser kommt wirkungslos wird,

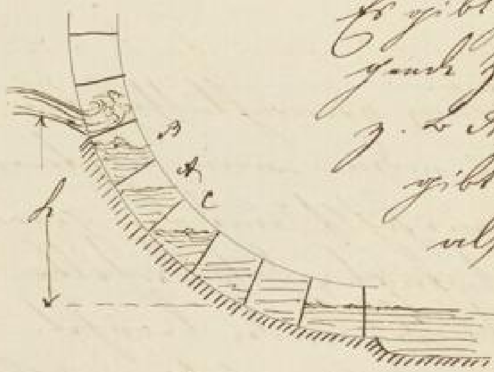


wenn ein Theil des Wassers hindurchströmt ohne die Schaufel zu erreichen Ist die Zeit welche die Schaufel a von b–c braucht kleiner als die Geschwindigkeit des Wassers um von b bis c zu gelangen, so wird die Wirkung des Wassers verloren sein.
der Wasserverlust selbst richtet sich nur nach dem Halbmesser

des Rades und auch der Schaufeltheilung.
Ist also der Halbmesser des Rades klein, so bleibt eine Schaufel nur kurze Zeit im Wasser und es wird hier der Verlust groß sein. Die Verluste fallen klein aus bei großem Radius und feiner Schaufeltheilung, bequemem Gang. Der Verlust kann ferner noch durch ausgehöhlten Boden ziemlich beseitigt werden.



Effect Verlust bei mittelschlächtigen Rädern.

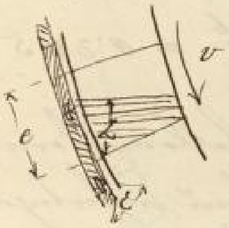


Es gibt hier jede Zelle an die nächstfolgende Zelle Wasser ab. So empfängt z. B. A das Wasser aus B und gibt wieder an C ab, gewinnt also soviel als sie verliert. Die Wasserquantitäten sind nun aber nicht gleich groß; sie würden im Allgemeinen unverändert bleiben, wenn die Zellen so viel gewinnen als sie hergeben. Die Differenzen, die hieraus entstehen sind nun nicht groß und wir können annehmen, daß die Quantitäten in den Zellen gleich bleiben.
Bei der obersten Zelle ist dies nun nicht der Fall, indem sie Wasser verliert, von oben aber keines empfängt.
Es entsteht also ein Verlust, wie wenn alle Zellen nichts verlören, bei der obersten Zelle aber, wie es am

das Wasser in den Abflußkanal fließe.
Heißen wir nun q die Wassermenge, welche jede einzelne Zelle verliert und h die Höhe des Eintrittspunktes über dem untern Wasserspiegel, so ist:

$$\frac{1000\, q\, h}{1000\, Q\, H} = \frac{h}{H} \cdot \frac{q}{Q} = \frac{h}{H}\, \frac{b\, e\sqrt{2gz}}{Q}$$

diese Formel ist nur annähernd richtig.



Heißen wir nun z die Höhe über der Spalte über welche das Wasser ausfließt, b die Breite derselben, so ist alsdann

$$q = b\, e\sqrt{2gz}.$$

$Q\frac{e}{v}$ ist die Wassermenge welche eine Zelle enthält. das h bei mittelschl. Rädern ist nicht viel kleiner als die Gefällshöhe selbst.
$\frac{H}{h}$ ist nicht viel von der Einheit verschieden.
der Verlust fällt groß aus bei großer Radbreite insbesondere, wenn e & z groß wären.
Wir sehen also daraus, daß bei genauer Ausführung e sehr klein gehalten und der Verlust selbst bei einer großen Radbreite gering ausfallen müßte.
der Verlust ist also e proportional und dies ist das richtige Maaß für eine gute Ausführung.
Ist z groß, so wird der Ausdruck groß bei einerlei Wassermengezufluß.
der Verlust wird groß bei grober Schaufeltheilung und kleiner Geschwindigkeit und klein bei feiner Schaufeltheilung wegen raschem Gange.

Schlecht gebaute Räder müssen voll mit Wasser gehen, während gut gebaute mit schwacher Füllung gehen können. Nehmen wir z. B. $\frac{h}{H} = 0.9$

$b = 6^m$

$\varepsilon = 0.02$

$Q = 1.5$

$z = 0.6$

$$\frac{h}{H} = \frac{b\varepsilon\sqrt{2gz}}{Q} = 0.9 \times 0.02 \times 6 \frac{\sqrt{20 \times 0.6}}{1.5} = 0.245.$$

Der Wasserverlust ist bei rückschlächtigen Zellenrädern sehr gering, können dieselben ohne Gerinnebau anfertigen.

Für oberschlächtige Räder beginnt die Entleerung, wenn sich die Zelle einer bestimmten Stelle genähert hat und hört auf ehe die Zelle ihren tiefsten Pkt erreicht hat.

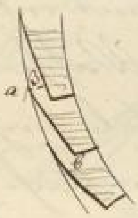
Sobald die Zelle z in die Position abc gekommen, berührt der Wasserspiegel die äußere Kante a und es beginnt die Entleerung. Es wirken nun natürlich nicht alle Wassertheilchen bis zum tiefsten Punkt. Wir halbiren deshalb den Radbogen ac längs welchem die Entleerung stattfindet und wir nähern uns der Wahrheit, wenn wir sagen die Entleerung geschähe plötzlich wenn sich das Wasser in der Mitte m von ac befände, und können m den mittleren Entleerungspunkt heißen. Wir haben also

dann $\frac{1000\,Q\,h}{1000\,Q\,H} = \frac{h}{H}$

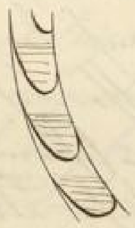
Alles was macht, daß m tief zu liegen kommt, ist für das Ref. günstig

Es richtet sich dies aber
1tens nach der Form der Zellen und
2tens nach dem Füllungsgrad.

Die erste Zellenform wird also nicht günstig sein, indem die Entleerung hier zu früh beginnt.



Vortheilhaft ist die 2te Anordnung also den $\angle \beta$ klein zu machen und ab groß. Nur wird hier die Weite der Canäle (Schluckweite) enge.



Nun können wir den Zellen selbst eine gekrümmte schaufelige Form geben, was aber am allerumständlichsten wird.
Es hat auch ferner die Wassermenge Einfluß auf das Rad, wird also vortheilhaft sein, wenn das Rad schwach gefüllt geht.

Ist also $Q\frac{e}{v}$ die Wassermenge welche in eine Zelle fällt und heißen wir für einen Augenblick ω den Querschnitt einer Zelle, ferner b die Breite des Rades, so ist

$$Q\frac{e}{v} = \omega b \quad \text{und} \quad \omega = \frac{Q e}{v \cdot b}$$

Leiten wir viel Wasser zu, so wird die Entleerung früher beginnen, leiten wir wenig Wasser zu, so wird das für den Effect günstig.
Es wird also gut sein, dem Rade eine große Breite, enge Schaufeltheilung und raschen Gang zu geben.
Es können nun ferner Umstände eintreten, welche das Entleeren noch früher verursachen.
Es verliert nämlich beim Eintritt des Wassers in das Rad

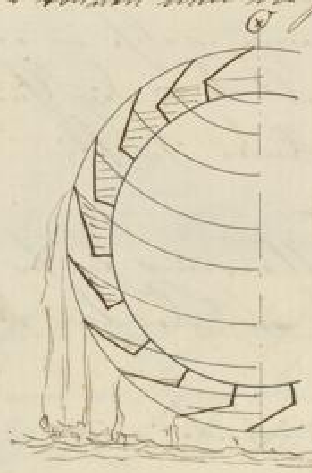
das Wasser seine relative Bewegung nicht vollständig, es entstehen Schwankungen etc welche ein frühes Entleeren verursachen, wir müssen also versuchen die Zellen derart zu construiren, daß sich die Schwankungen beinahe vollständig aufheben.

Es wirken hiezu eckige Zellen günstig, gekrümmte, sackartige wirken unvortheilhaft.

Ferner hat auch die Centrifugalkraft bei Rädern mit raschem Gange Einfluß auf das Entleeren, indem das Wasser

in den Zellen keine Horizontale mehr bildet, sondern eine concave Fläche und da die Resultirende aus jedem Wassertheilchen senkrecht auf der Fläche steht, so hat der ganze Wasserinhalt einer Zelle das Bestreben aus letzterer hin auszuschwingen.

Wir können nun die Flächen welche in den Zellen entstehen als concentrische Kreisbögen,



die ihren Mittelpunkt in O einem Punkte etwas über dem Scheitel des Rades haben. Dies tritt aber nur dann ein, wenn die Winkelgeschwindigkeit des Rades sehr groß wird und es fällt O nahezu mit dem Scheitel des Rades zusammen. Für einen langsamen Gang des Rades fällt O sehr hoch hinauf.

Bewegungszustand des Wassers im Rade.

Es wirbelt und schäumt das Wasser in den Zellen herum

verursacht eine schüttelnde Bewegung.
Schwingt das Wasser hinein, so wird der Druck, den dasselbe gegen die Schaufelflächen ausübt, größer sein, als sein eigenes Gewicht, beim herausschwingen hingegen wirkt der Druck entgegengesetzt und wird kleiner sein, als das Gewicht des Wassers.
Der mittlere Werth des Druckes des schwingenden Wassers wird also nichts anders sein, als das eigene Gewicht desselben.

Effect-Verluste, welche durch Adhäsion etc. entstehen.

Es kommt eine Wasserreibung vor beim unterschlächtigen Rad, indem das Wasser mit ansehnlicher Geschwindigkeit durch den Schützen längs dem Schnurgerinne dem Rade zu und entsteht also eine ansehnliche Reibung im Gerinne.
Um diese zu vermeiden muß man das Gerinne so viel als möglich kurz machen.
Bei mittelschlächtigen Rädern ist der Verlust viel geringer, es sind in dieser Beziehung Schaufelräder schlechter als Zellenräder.

Verluste welche durch Adhäsion entstehen.

Es fällt nun bei allen Wasserrädern nicht alles Wasser beim Entleeren heraus, sondern es bleibt durch Reibung immer noch etwas den Schaufeln oder Zellen hängen, was also immer noch auf eine gewisse Höhe vom Rade mitgenommen wird und sodann wirkungslos herabfällt.
Die Quantität dieser Menge richtet sich nach Form und Stellung der Schaufeln oder Zellen.

taucht z. B. ein oberschlächtiges Rad tief in's Unterwasser ein, so kann sein, daß hiebei große Verluste entstehen, indem dasselbe viel Wasser mit in die Höhe nimmt. Es ist daher gut ober- und unterschlächtige Räder frei zu hängen.

Hinsichtlich der Adhäsion ist weite Schaufeltheilung (wenig Schaufeln) vortheilhaft.

Verlust durch Luftwiderstand.

Es wird bei der Umdrehung des Rades durch die Centrifugalkraft die Luft aus den entleerten Schaufeln hinausgeworfen, es entsteht also ein luftleerer Raum und die nach dem innern des Rades hingerichtete äußere Luft muß zuerst beschleunigt werden, damit sie die Geschwindigkeit des Rades besitzt.

Dieser Luftwiderstand richtet sich abermals nach den Schaufel und Zellendimensionen, ferner nach der Geschwindigkeit des Rades. Bei Zellenrädern kommt der Luftwiderstand weniger vor, übrigens ist er auch bei den übrigen Rädern bei mäßiger Geschwindigkeit von keinem großen Belang.

Verlust durch Zapfenreibung.

Die Räder sind in der Regel groß und haben sammt Füllung ein kolossales Gewicht, was einzig durch zwei Zapfen getragen wird.

Da aber die Umfangsgeschwindigkeit des Rades selbst nicht groß ist, so beträgt der Zapfenreibungswiderstand höchstens 1-2%.

Einflüsse von der Solidität der Räder.

Sie heißt mehr oder weniger die Verbindung aller einzelnen Theile zu einem Ganzen.
Sind also alle Theile zu einem starren Ganzen verbunden, so wird das Rad seine ganze lebendige Kraft empfangen und also kein Verlust entstehen.
Im andern Fall, da also die beweglichen Theile gegen einander gerückt werden durch den tumultarischen Eintritt des Wassers erleidet die Bewegung und der Bewegungszustand des Rades selbst wird zitternd.
Werden die Räder unrund, was bei hölzernen in der Regel mit der Zeit der Fall ist, so sinkt der Schwerpunkt aus seiner geometrischen Drehungsaxe und die Bewegung wird ungleichförmig.
In der Hinsicht sind eiserne Räder besser als hölzerne.
Berechnen wir nun als Beispiel den Nutzeffekt eines

Mittelschlächtigen Rades.

Es sei H ———— $= 1.3$ Meter
b ———— $= 3$ Meter
v ———— $= 2$ " "
a ———— $= 0.56$ Meter
wobei a die Schaufeltiefe.
$abv = 3 \times 2 \times 0.56$ —— $= 3.36$
$Q = \frac{abv}{2}$ —— $= 1.68$ Cub.M.

Wir bezeichnen nun den mittleren Wasserstrahl und bezeichnen den Eintrittspunkt mit α.
Die Tiefe von α unter dem W.spiegel ist 47 cm.

ag — — — — — — — — $= 3^{m.}$

af — — — — — — — — $= 1{\cdot}6^{m}$

Eintritt.

$$\frac{\frac{af^2}{2g}}{H} \text{ — — — — — — } = {}^{+}0{\cdot}100$$

$$\frac{\frac{1}{2}\,mn}{H} = \frac{1}{2} \times 0{\cdot}4 \text{ — — — } = {}^{+}0{\cdot}154$$

$$\frac{\overline{np}}{H} = \frac{0}{1{\cdot}3} \text{ — — — — — } = {}^{+}0{\cdot}000$$

$$\frac{\overline{op}}{H} = \frac{0{\cdot}2}{1{\cdot}3} \text{ — — — — } = {}^{-}0{\cdot}150$$

$$+\,0{\cdot}104$$

Austritt.

$$\frac{\frac{v^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{4}{20}}{1{\cdot}3} \text{ — — — } = 0{\cdot}154$$

Wasserstand in der untersten Zelle $\frac{0{\cdot}16}{1{\cdot}3} = \frac{0{\cdot}123}{0{\cdot}277}$

Wasserverlust $\varepsilon\, b\, \frac{h}{H} \sqrt{\frac{2gx}{Q}} = 0{\cdot}02 \times 3 \times \frac{0{\cdot}75}{1{\cdot}3} \sqrt{\frac{20 \times 0{\cdot}35}{1{\cdot}68}}$

$= +\,0{\cdot}054$

Eintritt — — — — — — —	$= +\,0{\cdot}104$
Austritt — — — — — —	$= +\,0{\cdot}277$
Waßerverlust — — — —	$= +\,0{\cdot}54$
Diverse Kleinigk. — — — —	$= +\,0{\cdot}100$
Summe der Verl. — — —	$= 0{\cdot}535$
Nutzeffekt — — — —	$= 0{\cdot}465\,\%$

Abs. Effekt $= \frac{1000 \times 1{\cdot}68 \times 1{\cdot}3}{75}$ — — $= 29$ Pferde

Nutzeffekt $= 29 \times 0{\cdot}465$ — — $= 13{\cdot}5$ Pferde.

Unterschlachtiges Rad.

Es sei H ---- $= 0 \cdot 5$ Meter

$\sqrt{2gH} = \sqrt{20 \times 0 \cdot 5} = \sqrt{10} = 3 \cdot 16$

$V = 3 \cdot 16$ Geschw. mit der das Wasser austritt.

$v = 2$ Meter.

$a = 0 \cdot 3$ Meter $\quad \frac{1}{2} abv = \frac{1}{2} \times 0 \cdot 3 \times 3 \times 2 = 0 \cdot 9$

$b = 3$ Meter.

Q ---- $= 0 \cdot 9$ Cub Meter.

$af = 1 \cdot 6$

$$\frac{\frac{af^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{(1 \cdot 6)^2}{20}}{0 \cdot 5} \text{ --- } = 0 \cdot 256 \text{ (Eintritt.)}$$

$$\frac{\frac{a^2}{2g}}{H} = \frac{\frac{4}{20}}{0 \cdot 5} = \frac{1}{2 \cdot 5} \text{ --- } = 0 \cdot 400 \text{ (Austritt}$$

Eintritt ----	$= 0 \cdot 256$
Austritt ----	$= 0 \cdot 400$
Diversi ----	$= 0 \cdot 100$ (?)
Summe der Verluste --	$= 0 \cdot 756$
Nutzeffekt N_a --	$= 0 \cdot 244$

Schaufelrad mit Ueberfalleinlauf

Es liegt der Mittelpunkt der Eintrittsfläche unter dem Niveau um 35 cm.

$V = 2 \cdot 63$ Meter

$a = 0 \cdot 68$

$b = 2 \cdot 5$

$v = 1 \cdot 5$

$abv = 0 \cdot 68 \times 2 \cdot 5 \times 1 \cdot 5 = 2 \cdot 55$

Q — — — — — $= 1{\cdot}27$

H_1 — — — — — $= 2{\cdot}2$

af — — — — — $= 1{\cdot}8$

$$\frac{\frac{af^2}{2g}}{H_1} = \frac{\frac{(1{\cdot}8)^2}{20}}{2{\cdot}2} \text{ — — } = +\,0{\cdot}075$$

$$\frac{\frac{1}{2}\,mv}{H_1} = \frac{0{\cdot}3}{2{\cdot}2} \text{ — — } = +\,0{\cdot}137$$

$$-\frac{n\theta}{H_1} = \frac{0{\cdot}3}{2{\cdot}2} \text{ — — } = -\,0{\cdot}137$$

Eintritt $= 0{\cdot}075$

$$\frac{\frac{v^2}{2g}}{H_1} = \frac{1{\cdot}5^2}{20 \times 2{\cdot}2} \text{ — — } = 0{\cdot}05 \quad \text{Austritt}$$

$$\frac{0{\cdot}16}{2{\cdot}2} \text{ — — — } = 0{\cdot}08 \quad \text{Wasserstand}$$

$0{\cdot}13$

Wasserverlust $\varepsilon\, C\, \frac{h}{H_1}\, \frac{\sqrt{2gz}}{Q} = 0{\cdot}02 \times 2{\cdot}5 \times \frac{1{\cdot}9}{2{\cdot}2}\, \frac{\sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 0{\cdot}4}}{1{\cdot}27}$

— — — — — $= 0{\cdot}094$

Eintritt — — — $= 0{\cdot}075$

Austritt — — — $= 0{\cdot}05$

Wasserverl. — — — $= 0{\cdot}094$

Diversi — — — $= 0{\cdot}100$

Summe der Verluste — — $= 0{\cdot}274$.

Nutzeffekt N_a — — $= 0{\cdot}61$.

Schaufelrad mit Coulisseneinlauf.

Es liegt ein Pkt. in der mittl. Kranzdicke unter der Oberfläche um 1 Meter während das Gefälle 4·43 Meter.

N — — — — $= 20$

a — — — — $= 0{\cdot}90$

b — — — — $= 4$ Meter

v — — — — $= 2$ Meter

$abv = 2 \times 4 \times 0{\cdot}9$ ---------- $= 7{\cdot}2$

Q ---------- $= 3{\cdot}6$

F_1 ---------- $= 3{\cdot}6$

af ---------- $= 4{\cdot}3$

Eintritt

$$\frac{\frac{af^2}{2g}}{F_1} = \frac{\frac{(4{\cdot}3)^2}{20}}{3{\cdot}6} = \frac{1}{3{\cdot}6} \text{ ---- } = +0{\cdot}276$$

$$\frac{\frac{1}{2}mn}{F_1} = \frac{0{\cdot}4}{3{\cdot}6} \text{ ---------- } = +0{\cdot}111$$

$$-\frac{no}{F_1} = \frac{0{\cdot}3}{3{\cdot}6} \text{ ---------- } = -0{\cdot}090$$

$$0{\cdot}287$$

Austritt

$$\frac{\frac{o^2}{2g}}{F_1} = \frac{\frac{4}{20}}{3{\cdot}6} \text{ ---- } = \frac{1}{1{\cdot}8} = 0{\cdot}06$$

$$\text{Wasserstand} = \frac{0{\cdot}2}{3{\cdot}6} \text{ ---- } = 0{\cdot}055$$

$$0{\cdot}115$$

Wasserverlust

$$\varepsilon b \frac{h}{F_1} \frac{\sqrt{2gr}}{Q} = 0{\cdot}02 \times 4 \times \frac{2{\cdot}5}{3{\cdot}6} \frac{\sqrt{2 \times 9{\cdot}8 \times 0{\cdot}5}}{3{\cdot}6} = 0{\cdot}05$$

Eintritt ---------- $= 0{\cdot}287$

Austritt ---------- $= 0{\cdot}115$

Wasserverlust ------ $= 0{\cdot}050$

Diversi ---------- $= 0{\cdot}100$

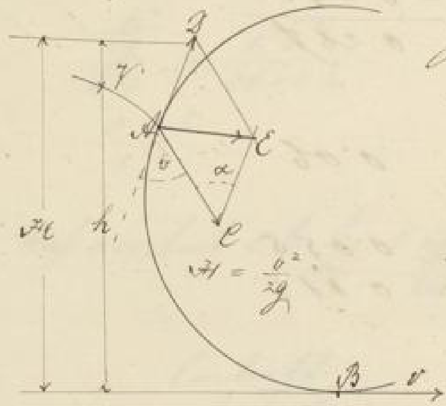
Summe der Verluste ---- $= 0{\cdot}552$

Nutzeffekt ------ $= 0{\cdot}448$

Methode der Effektberechnung.

nach der franz. Schule

Es wird hierbei vorausgesetzt, daß das Wasser an einem gewissen Punkte des Radumfangs eintritt, an diesem Punkte den Stoß ausübt, dem Rade bis zum tiefsten Punkte folgt und unten mit einer Geschwindigkeit gleich der des Rades entsprechend, letzteres verläßt.



Ist also A der Eintritt, B der Austritt, v die Umfangsgeschwindigkeit.

AD die absolute Geschwindigkeit eines Punktes vom Radumfang.

AC die absolute Geschwindigkeit des Wassers,

AE die relative Geschw. des Wassers gegen das Rad; heißen wir ferner α den Winkel welchen AC und die verlängerte AD miteinander bilden

so ist $AE^2 = V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha$

$$\frac{1000\,Q}{2g}\left\{V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha\right\}$$

$$E_n = 1000\,Q\,H - \frac{1000\,Q}{2g}\left\{V^2 + v^2 - 2Vv\cos\alpha\right\}$$

$$- \frac{1000\,Q\,v^2}{2g}$$

$$E_n = 1000\,Q\left(H - \frac{v^2}{2g} + \frac{(V\cos\alpha - v)}{g}\,v\right)$$

Setzen wir $H - \frac{v^2}{2g} = h.$

$$E_n = 1000\,Q\left(h + \frac{V\cos\alpha - v}{g}\,v\right)$$

Es werden hier also blos die Geschwindigkeitsverhältnisse V und v in Rechnung gebracht, alle übrigen Verhältnisse nicht.

Wir können $E_n = E_a$ setzen, wenn wir

$$\alpha = 0, \text{ und } V = v = 0 \text{ setzen}$$

was annähernd richtig ist; vortheilhaft wird es immer sein, wenn wir solche Räder sehr langsam gehen lassen und ebenso das Wasser mit geringer Geschwindigkeit eintreten lassen.

Fragen wir nun nach dem Werthe von v der E_n zu einem Maximum macht, so ist

$$\frac{dE_n}{dv} = 0 = 1000\,Q\left(\frac{V\cos\alpha}{g} - \frac{v}{g}\right)$$

$$v = \frac{1}{2}\,V\cos\alpha$$

Ein bestehendes Rad gibt also den besten Nutzeffekt, wenn die Umfangsgeschw. v des Rades gleich der halben tangentiellen Geschw. des Wassers ist.

Neuerdings hat man versucht diese Formel mit Erfahrungscoefficienten zu versehen

$$E_n = A\cdot 1000\,Q\,h + B\,1000\,Q\,\frac{V\cos\alpha - v}{g}\,v$$

Aus den Versuchen von Smeaton ergibt sich für unterschl. Räder

$$B = 0{.}6,\quad h = 0,\quad \alpha = 0$$

$$E_n = 61\,Q(V - v)\,v,\quad v = 0{.}4\,V.$$

Morin hat für das Kropfrad gefunden

$$A = B = 0{.}750$$

$$E_n = 750\,Q\left(h + \frac{V\cos\alpha - v}{g}\,v\right)$$

Für das mittelschlächtige Rad

$$A = B = 0.799$$

$$E_n = 799\, Q \left(h + \frac{V \cos\alpha - v}{g}\, v\right)$$

für das oberschlächtige Rad

$$A = 0.780,\quad B = 1$$

$$E_n = 780\, Q h + 1000\, Q\, \frac{V \cos\alpha - v}{g}\, v$$

diese Versuche sind mit großer Genauigkeit, Einsicht, gut gewählten Apparaten etc. vorgenommen worden, jedoch nur für das Rad mit überschlächtigen Schützen von Morin sehr gut, alle andern Versuche bei den übrigen Rädern sind schlecht, da es schlecht ausgeführte Constructionen waren.

Analytische Berechnung des Effectverlustes.

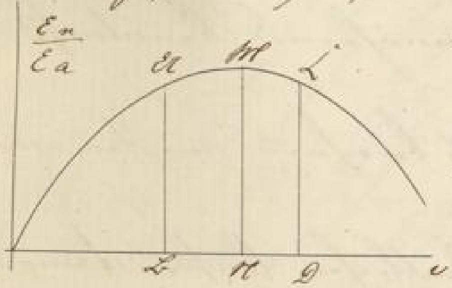
Es ist $E_n = \text{funct}(Q, V, v, b, a, c, \alpha, \beta, \gamma, \ldots)$ also von sehr viel von einander unabhängigen Größen
denken wir uns, daß diese Formel eine absolut genau wäre, so bietet uns diese die Gelegenheit dar den Nutzeffekt zu berechnen.
Es ist dies aber von keinem praktischen Zwecke.
Fragen wir, wie diese Dinge zu nehmen sind, so müssen wir alle diese von einander unabhängigen Größen so berechnen, daß E_n ein Maximum wird.
Dies geschieht dadurch, daß man die partiellen Differentialquotienten der verschiedenen Größen bestimmt.
Wenn man nun die Werthe von $Q, V, v, b, a, c \ldots$ etc in die Gleichungen einsetzt, so erhält man den größtmöglichen Nutzeffekt. Wir hätten also zu setzen

$$\frac{dE_n}{dV} = 0, \quad \frac{dE_n}{da} = 0 \quad \frac{dE_n}{dc} = 0$$

$$\frac{dE_n}{dv} = 0 \quad \frac{dE_n}{db} = 0 \quad \ldots$$

Es hat sich nun das als einen Hauptergebniss herausgestellt, daß 1) die Dimensionen der Räder welche den absolut besten Effect geben, einen sehr großen Kosten der Räder selbst verursachen.

2.) daß der Effect eines Rades nicht sehr viel von dem allervortheilhaftesten Effekt abweicht, wenn man den Rädern Dimensionen gibt, die von denen nicht viel verschieden sind, welche den vortheilhaftesten Effekt geben.
Tragen wir $\frac{E_n}{E_a}$ als Ordinaten und die Geschwindigkeit v als Abzisse auf, so wird sich ergeben, daß N, L, L D, sehr wenig von M und H verschieden sind, die Leistungen also ziemlich dieselbe sind. Es ist daher in praktischer Hinsicht gut nicht das absolut theoretisch Beste anstreben zu wollen hinsichtlich der Kostenaufwands.



Regeln für die Anordnung eines neu zu erbauenden Rades.

Wir werden hier die Effektverluste, die analytischen Untersuchungen und im wesentlichen die Kosten berücksichtigen. Wollen uns also bestreben Regeln aufzustellen, damit die Räder einen guten befriedigenden Effekt geben und nicht zu theuer werden.
Einfluss auf den Kosten der Räder haben also folgende Dimensionen, Breite, Grösse und Geschwindigkeit, sowie Schaufel oder Zellentheilung und gerade diese Dimensionen

haben den allerwenigsten Einfluss auf den Effekt Verlust dagegen alle Constructionen welche auf den Preis keinen Einfluss haben, können so gewählt werden, dass sie auch bei Rad womöglich zur Effektvermehrung beitragen.
In den Res. Seite 145 sind die Regeln für den praktischen Gebrauch zusammengestellt.
Wenn also ein neu zu erbauendes Rad construirt werden soll, so ist entweder

H und Q $\qquad E_n$ (?)

oder H u E_n $\qquad Q$ (?) gegeben

Zu dieser Bestimmung ist eine annähernde Kenntniss der E_n und Q genügend.
Um die dimensionen des Rades zu berechnen müssen wir Q kennen
Hinsichtlich der E_n können bei ordentlichen Constructionen angenommen werden für's

Unterschlächtig Rad – – – 35 %

Bergrad – – – 45 % etc siehe Res. S. 148.

Zur Bestimmung der Wasserquantität haben wir

$$N_a = \frac{1000\, Q H}{75}$$

$$Q = \frac{75\, N_a}{1000\, H} = \frac{75\, N_n}{1000}\left(\frac{N_a}{N_n}\right) = \frac{\frac{75\, N_n}{1000\, H}}{\left(\frac{N_n}{N_a}\right)}$$

Sind die Werthe von Q berechnet, so können wir zur Wahl des Rades übergehen.
Hiezu ist von Redtenbacher eine Regel aufgestellt für die verschiedenen Arten von Rädern Res. S. 148
Sei z. B. gegeben $H = 6$, $Q = 0{\cdot}5$ so hätten wir nach dieser Regel Taf $\overline{\text{XXXIII}}$ ein Oberschl. Rad.

die gegebenen Daten können uns aber auch in die Grenze führen, d.h. es ist in diesem Falle ziemlich gleichgültig, welches von beiden Rädern man wählt.
Die krumme Linie in der Fig. Taf. XXXIII entspricht einer Kraft von 80 Pferden, kommt ein Nutzeffekt heraus, der mehr als 80 beträgt, so ist es räthlich 2 Räder anzuwenden kommt man also auf einen Punkt, der unterhalb dieser Linie liegt, so muss man 2 Räder nehmen.
Diese Regel ist entstanden mit Berücksichtigung auf eine große Anzahl gut ausgeführter Räder und theoretischer Constructionen und die Grundsätze, welche sich aussprechen in der Theorie über die Verluste.
Man soll daher dem Gebiete der Oberschlächt. Räder eine größt mögliche Ausdehnung geben und gehen also bis zum kleinsten Gefälle ungefähr 2 1/2 Meter. Bei zu großer Wasserquantität werden die Räder zu breit. Bei 8 Met. Gefälle beträgt z.B. die Wassermenge höchstens 1 Cubikmeter.
Das Gebiet der unterschl. Räder soll man also umgekehrt sehr einschränken, indem dasselbe den schlechtesten Effekt gibt. Das Kropfrad ist schon etwas besser jedoch auch schlecht; man soll das Gebiet desselben deßhalb ebenfalls einschränken. Gefälle von 1 1/2 Meter bei sehr versch. Wasserquantitäten.
Schaufelrad mit Ueberfalleinlauf passt für nicht zu große Gefälle und Wasserquantitäten.
Das Rückschl. Rad wird wegen des Zellenbaues und dem complizirten Gerinnbau sehr kostspielig, während der Effekt nicht gar glänzend ausfällt; ist also auf's äußerste einzuschränken, passt für größere Gefälle u. größere Wassermassen.

Umfangsgeschwindigkeit der Räder.

Diese müssen wir annehmen, so daß vermöge derselben das Rad einen guten Effekt zu geben vermag und der Bau nicht zu kostspielig wird.

Beim unterschl. Rad gibt uns die unvollkommene Theorie, daß die Geschw. des Rades halb so groß als die des eintretenden Wassers. Es ist also $V = \sqrt{2gH}$

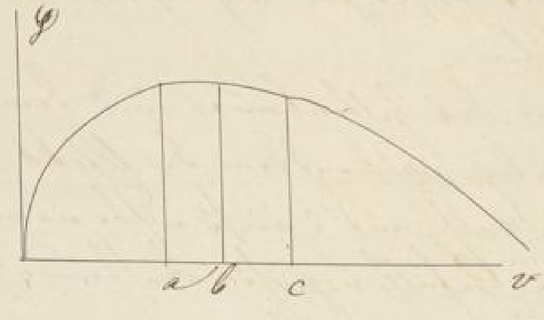
$$\text{und } v = \frac{1}{2} V = \frac{1}{2}\sqrt{2gH}$$

Umfangsgeschwindigkeit für vortheilh. Räder, siehe Seite 150 Resultate N. 180.

Berücksichtigen wir die vollkommene Theorie und nach Versuchen mit gut vorhandenen Rädern, so findet man, daß die vortheilhafteste Geschw. etwas kleiner ist als $1/2$, so daß

$$\text{also } v = 0.4\sqrt{2gH}$$

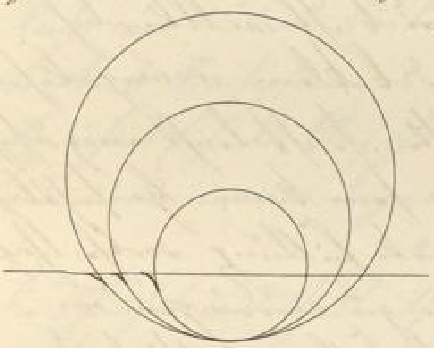
Aus der Theorie ist ersichtlich, daß wenn wir vom Wasserverluste absehen, es am vortheilhaftesten wäre, wenn wir vermöchten, daß af^2 verschwinde, und auch das Wasser mit unendl. kleiner Geschw. austritt. Es würde dies der Fall sein wenn das Rad unendl. langsam ginge und das Wasser mit unendl. langs. Geschw. austritt. In Betreff des Wasserverlustes sehen wir aber, daß ein langsamer Gang höchst unvortheilhaft.



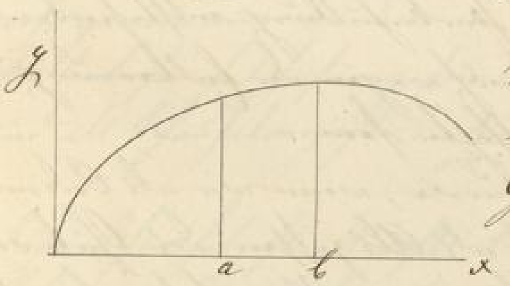
$$\frac{N_u}{N_a} = \varepsilon$$

Kurve für die Geschwindigkeit. der Halbmesser eines Rades ist immer selbgrösser

Grenzen sind unbestimmt bei dem Effekt Verluste, beim Anlaß von dem Halbmesser zu sprechen, beim unterschlächtigen Rade ist ein großer Halbmesser besser, im Allgemeinen hat er keinen erheblichen Einfluß auf den Effekt. Doch kann man sagen, daß ein großer Halbmesser besser ist, weil das Wasser weniger von seiner Lage abgeleitet wird bei großem Halbmesser. Wenn nun das



Wasser in tangentialer Richtung in das Rad tritt, so wird auch $\frac{c^2}{2g}$ sehr klein; dadurch fällt nämlich die relative Geschwindigkeit sehr klein aus. Doch ist dieser Einfluß nicht sehr bedeutend, wie aus folgender Kurve ersichtlich.

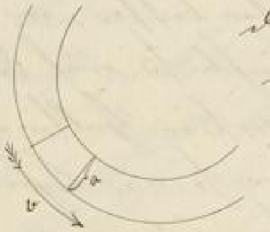


Trägt man nämlich die Halbmesser als Ordinaten auf oder ist y das Güteverhältniß, so zeigt die Zeichnung, daß der Effekt von a nicht sehr verschieden von b ist, obwohl die beiden Halbmesser bedeutend verschieden sind. Da aber die Halbmesser wesentlich auf den Preis einwirken, so muß man diese so klein, wie möglich halten, so daß doch noch ein befriedigender Effekt hervortritt. Redt. Seite 150 No. 181 gibt, ohne daß die Räder zu theuer werden, einen möglichst großen Halbmesser für jedes einzelne Rad.

Die Füllung der Räder.

Ist v die Geschwindigkeit des Rades, so ist der Raum, der in jeder Sekunde gefüllt und entleert wird abv.

Wenn wir a die Tiefe und b die Breite der Zelle nennen, also $Q = abv$, so wird $\frac{Q}{abv}$ das Verhältniss sein zwischen dem Volumen, welches ein Schaufel oder Zellenrad aufzunehmen hat und dem Volumen eines solchen Raumes. Dieses Verhältniss



$\frac{Q}{abv}$ sei $= m$ und wir nennen m den Füllungscoefficienten. Es handelt sich nun darum dieses m zu ermitteln. a und b ist willkürlich; nehmen wir also m gross so wird a und b klein u. umgekehrt. Erinnern wir uns an die Effekt Verluste, so ist leicht einzusehen, dass der Füllungsgrad nicht gleichgültig sein kann. Hinsichtlich des stossweisen Eintritts ist eine starke Füllung vortheilhaft, dagegen aber wegen der aus den Zellen zu verdrängenden Luft, wegen der nothwendig durch starke Füllung entstehenden grossen Wasserverluste, endlich noch wegen der Entleerung wird eine schwache Füllung vortheilhafter sein.

Es stellt ungefähr beistehende Kurve, wenn wir als Ordinaten die Füllungscoefficienten und als Abscissen das Güteverhältniss auftragen. Wir ersehen hieraus wieder, dass innerhalb gewisser Grenzen der Füllungsgrad ziemlich gleichgültig ist. Die Füllung darf bei Schaufelrädern nie grösser als 1/2 und bei den Zellenrädern nie grösser als 1/3 sein. (Redtenb. Res. S. 150 No. 182.)

Verhältniss zwischen Breite & Tiefe

Hinsichtlich der Kosten ist es gut das Verh. klein, hinsichtl. der Wasserzuleitung besser, wenn es gross ist. Aus Erfahrungen ergibt sich, dass $\frac{b}{a}$ als $f(N_a)$ anzusehen ist.

Redtenbacher hat durch Vergleichung von vielen Versuchen und Thatsachen gefunden, dass zu nehmen ist:

a für Schaufelräder: $\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{Na}$

b. für Kübelräder: $\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{Na}$

das Poncelet Rad macht hier bei eine Ausnahme Ref. S. 151 No. 184

Anzahl der Radarme.

Für Räder bis zu 1 Meter Breite genügt ein Armsystem, für Räder von 1–3 M. Breite, 2 Armsysteme und über 3 Meter Breite 3 Armsysteme.

Es richtet sich die Anzahl der Radarme nach dem Radius und wir werden immer diejenige Zahl wählen, welche dem Verhältniss

$$2(1+R)$$ am nächsten liegt.

Die Schaufel und Zellentheilung darf weder zu klein noch zu gross genommen werden.

Redtenbacher hat hiefür gefunden $0.2 + 0.7 \times a$

und als Schaufelanzahl: $\frac{2R\pi}{0.2 + 0.7 \times a}$

diese Schaufelzahl ist wohl etwas klein. Soll also ein Rad starke Leistung geben, und nicht viel auf die Kosten gesehen werden, so sind mehr Schaufeln zu nehmen, es soll immer eine ganze Zahl hinsichtl. der Radarme heraus kommen. Ref. S. 152 No. 188

Spielraum des Rades im Gerinne.

Bei hölzernen Rädern soll derselbe

$$0.02 - 0.025\ m.$$

und bei eisernen Rädern

$$0.01 - 0.015\ m.$$

betragen. Siehe Ref. Seite 152 No. 189.

Berechnung einiger Räder.

1. Es sei z. B. $H = 2{\cdot}5$

$Q = 1{\cdot}5$

$$Na = \frac{1000\,QH}{75} = \frac{1{\cdot}5 \times 2{\cdot}5 \times 1000}{75} = 50 \text{ Pf.}$$

Haben also ein Coulissen Rad

v — — — — — $= 1{\cdot}6$ Meter

R — — — — — $= 3$ "

m — — — — — $= \frac{1}{2}$

$\frac{b}{a}$ — — — — — $= 1{\cdot}75\,\sqrt[3]{Na} = 6{\cdot}45$

$b = \sqrt{\frac{Q}{mv}\,\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{1{\cdot}5 \times 6{\cdot}45}{0{\cdot}5 \times 1{\cdot}6}} = 3{\cdot}48$ Meter

$a = \frac{3{\cdot}48}{6{\cdot}45}$ — — — $= 0{\cdot}54$ "

$2(1+R) = 2(1+3)$ — — — $= 8$ Arme

$\frac{2R\pi}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7a}$ — — — $= \frac{2 \times 3 \times 3{\cdot}14}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}54} = \frac{18{\cdot}84}{0{\cdot}578} = 33$

Anzahl der Schaufeln — — — $= 40$

2. Es sei H — — — $= 4{\cdot}5$ Meter

Q — — — $0{\cdot}8$ Cub.M.

$$Na = \frac{1000 \times 4{\cdot}5 \times 0{\cdot}8}{75} = 48 \text{ Pferde}$$

Wir erhalten also ein Rückschlächt. Rad.

v — — — — — $= 1{\cdot}5$

R — — — — — $= \frac{2}{3} \times 4{\cdot}5 = 3$ Meter

m — — — — — $= \frac{1}{3}$

$\frac{b}{a}$ — $= 2{\cdot}25\,\sqrt[3]{Na}$ — $= 8{\cdot}18$

$b = \sqrt{\frac{Q}{mv}\,\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{0{\cdot}8 \times 8{\cdot}18}{0{\cdot}33 \times 1{\cdot}5}} = 3{\cdot}61$ M.

$a = \frac{3{\cdot}61}{8{\cdot}18}$ — — — — $= 0{\cdot}44$ M

$2(1+R) = 2(1+3)$ — — $= 8$ Arme 2 Kränze

$\frac{2R\pi}{0{\cdot}2 \times 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}44} = \frac{2 \times 3 \times 3{\cdot}14}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}44} = \frac{18{\cdot}84}{{\cdot}508} = 37$

Anzahl der Zellen $= 40$

3. C bei H — — — — — $= 2{\cdot}8$

Q — — — — — $= 0{\cdot}2$

$Na = \frac{1000 \times 0{\cdot}2 \times 2{\cdot}8}{75} = 7{\cdot}4$ Pf.

Erhalten ein Oberschlächtiges Rad.

v — — — — — — — — $= 1{\cdot}3$

$\frac{v^2}{2g} = \frac{1{\cdot}3^2}{20}$ — — — — $= 0{\cdot}084$

$R = \frac{1}{2}(2{\cdot}8 - 4 \times 0{\cdot}084)$ — — $= 1{\cdot}227$

m — — — — — — — — $= 1/5.$

$\frac{b}{a} = 2{\cdot}25\sqrt[3]{7{\cdot}4}$ — — — $= 4{\cdot}38$

$b = \sqrt{\frac{0{\cdot}2 \times 4{\cdot}38}{0{\cdot}2 \times 1{\cdot}3}} = \sqrt{3{\cdot}35}$ — — $= 1{\cdot}83.$

$a = \frac{1{\cdot}8}{4{\cdot}38}$ — — — — — $= 0{\cdot}42$ M

$2(1+R) = 2(1+1{\cdot}227)$ — — $= 4{\cdot}45$ Arme

$\frac{2R\pi}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}42}$ — — — — $= 16$

Anzahl der Schaufeln — — — — $= 20.$

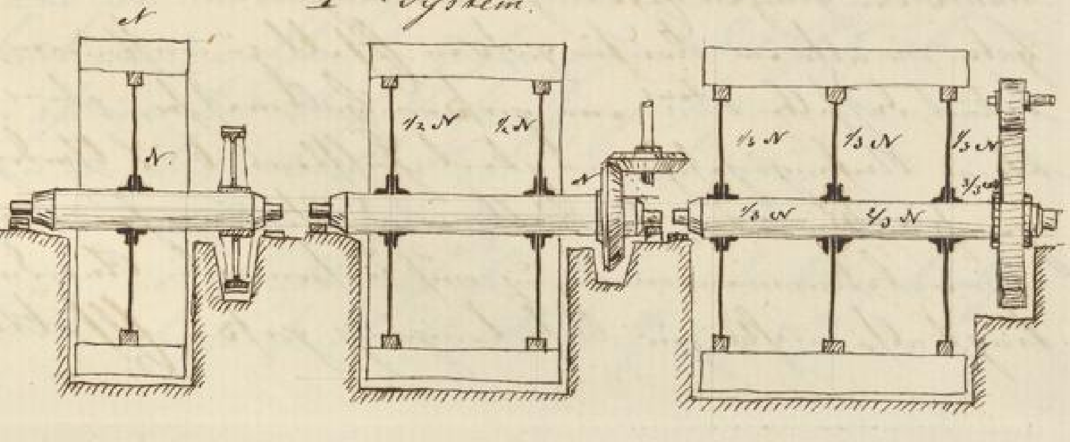
Verzeichnung der Räder

für die verschiedenen Arten derselben, siehe Ref. Seite 153 bis 157 & Taf XXXII und XXXIII.

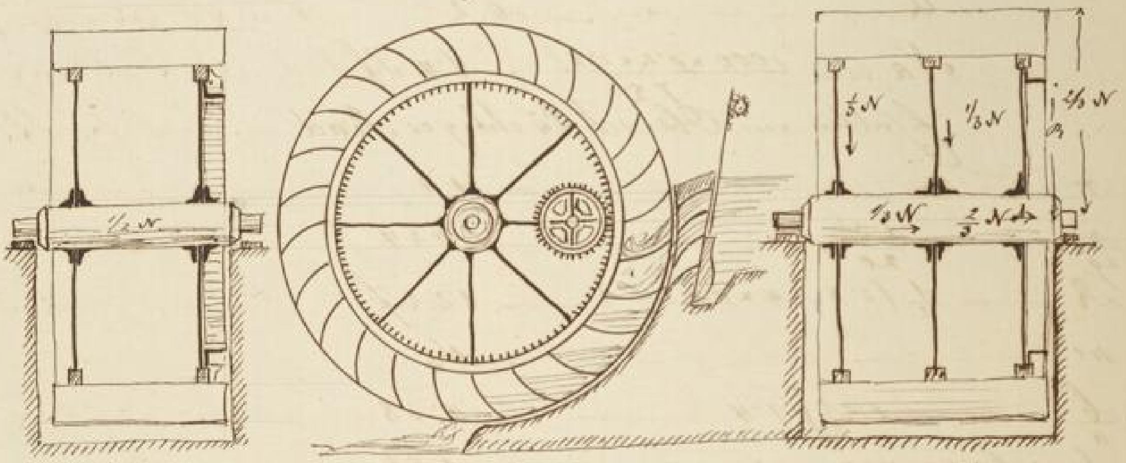
Regeln für den Bau der Wasserräder.

Die Wasserräder können nach ihrer Bauart in folgende Systeme eingetheilt werden. Redt. Ref. Seite 157

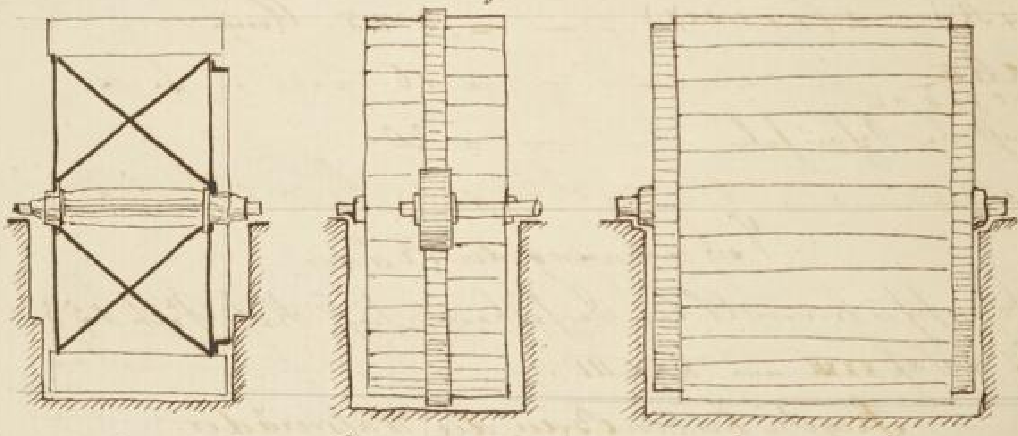
I^tes System.



II.tes System.



III.tes, IV.tes u. V.tes System.



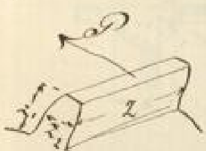
Es bekommen Räder nach der 1ten Bauart keinen Zahnkranz, es hat bei diesen Rädern das letzte Wellenstück immer den ganzen Effekt zu übertragen.
Haben wir also ein Rad für großen Effekt zu construiren, so bedarf dasselbe 1tens einen großen Halbmesser, 2tens eine kleine Umfangsgeschwindigkeit höchstens 6–7 Umdrehungen per Minute, die Welle wird also ungeheure Dimensionen bekommen in Bezug auf Torsion, die Anordnung taugt also nichts zur Übertragung großer Effekte.

Man baut Räder des 1ten Systems bis 12 höchstens 16 Pferde, weil die Dimensionen hier noch nicht zu übermäßig ausfallen. Jedoch soll man sich so weit als möglich an das System halten, indem es das einfachste ist.
Das 2te System wird gebraucht bei größeren Kräften. Die Verhältnisse für die Welle fallen hier günstiger aus, da kein Theil in letzterer vorkommt, der die ganze Kraft zu übertragen hätte (durch Torsion).
Die Wellen selbst werden nicht sehr lang, was für das Tragvermögen von großem Vortheil ist. Ferner ersparen wir die Zahnradarme, indem der Zahnkranz hier blos aus Segmentstücken besteht; können auch den Radius des Zahnkranzes ungeheuer groß machen u. s. w.

Regeln für die wichtigsten Querschnitts-Dimensionen.

Res. Seite 158 No: 199. Betrachten wir vorerst den Zahnkranz, so setzen wir denselben natürlich aus vielen Segmentstücken zusammen und wir werden als dann folgende Dimensionen für denselben erhalten:
Heißen R den Halbmesser des Zahnkranzes, so ist
$\frac{75N}{v}$ die am Umfang des Rades wirkende Kraft.
Der Druck nun, welchen die Zähne gegen das Getriebe ausüben ist nun das Verhältniß $\frac{R}{R'}$ größer.
Heißen wir diese Kraft P, so wird sein:

$$P = \frac{75N}{v} \frac{R}{R'}$$



Die Kraft welche den Zahnen der Wurzel abzubrechen strebt, ist: $Pl = \frac{\mathfrak{P}}{6} b_2 \cdot z^2$

$$Z = \sqrt{\frac{6}{\pi} \cdot \frac{Z_1}{Z_2}} \sqrt{P}.$$

$$= \sqrt{\frac{6}{\pi}\left(\frac{Z_1}{Z}\right)\left(\frac{Z}{Z_2}\right)} \sqrt{\frac{75\, N_n}{v} \times \frac{R}{R_1}}$$

$$= \mathfrak{A} \sqrt{\frac{75\, N_n}{v} \frac{R}{R_1}}$$

$$Z = 0.086 \sqrt{\frac{75\, N_n}{v} \frac{R}{R_1}}$$

$$Z_1 = 1.52\, Z.$$

$$Z_2 = 5.5\, Z.$$

Die 2 und 3te Bauart stimmt hiermit vollkommen überein. Die effektive Festigkeit einer Welle ist nun nach dem ganzen Gewichte zu berechnen; wir können durchschnittlich 4–500 Kilog per Pferdekraft rechnen.

$$P = \frac{500\, N_n}{2}, \quad d = 0.18 \sqrt{\frac{500}{2}} \sqrt{N_n}$$

$$d = 3 \sqrt{N_n}$$

$$\beta = 5.5 \times 0.6 \sqrt{N_n} = 3.3 \sqrt{N_n}$$

Wenn nun z. B. Q = — — — — — 1.2 Kub. Met.

H = — — — — — 3 M.

so werden wir ein Schaufelrad mit Coulisseneinlauf bekommen:

$$N_a = \frac{1000 \times 1.2 \times 3}{75} = 48$$

$$N_n = 0.7 \times N_a \; — — = 33.6 \;(?)$$

$$v = 1.6$$

$$H = 3$$

$$m = \frac{1}{2}$$

$$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{48} \; — — = 6.35$$

$$b = \sqrt{\frac{1.2 \times 6 \times 3.5}{0.5 \times 1.6}} \; — — = 3.$$

$$a = \frac{3}{6.35} \; — — — — = 0.47.$$

$$2(1 + R) \; — — — = 8.$$

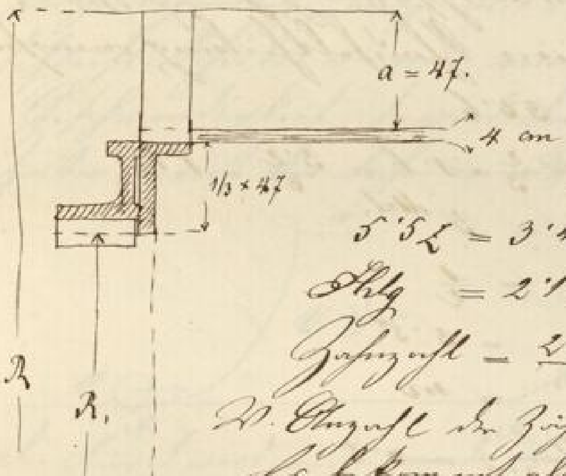
$$\frac{2 \times 3 \times 3{\cdot}14}{0{\cdot}2 + 0{\cdot}7 \times 0{\cdot}41} = 35$$

Anzahl der Schaufeln ———— $= 40.$

$n = 9{\cdot}548 \times \frac{1{\cdot}6}{3}$ ——— $= 5.$

Wählen wir das 2te Laufsystem und machen das Rad aus Eisen, ausgenommen die Schaufeln und der Kranzboden.

$$R_1 = \{300 - 47 - 4 - 15{\cdot}7\}$$



$$R = 233{\cdot}3$$

$$t = 0{\cdot}086 \sqrt{\frac{75 \times 33{\cdot}6}{1{\cdot}6}} \times \frac{300}{233{\cdot}3}$$

$$t = 3{\cdot}4 \text{ cm.}$$

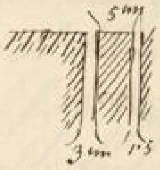
$$5{\cdot}5\,t = 3{\cdot}4 \times 5{\cdot}5 = 18{\cdot}7 \text{ cm.}$$

Theilg $= 2{\cdot}1 \times t$ — — $= 7{\cdot}14$ cm

Zahnzahl $= \frac{2 \times 233 \times 3{\cdot}14}{7{\cdot}14} = 205$

Wirkl. Anzahl der Zähne ——— $= 26 \times 8 = 208.$

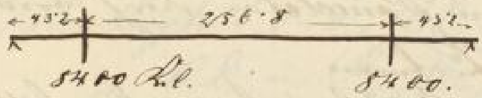
Es bekommt also ein Segmentstück $8 \times 2 = 16$ Zähne.



Durchm. der Welle $= 3 \times \sqrt{Nn} = 3 \times \sqrt{33{\cdot}6} = 18$ cm

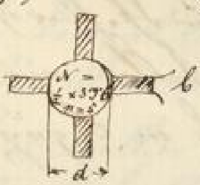
Länge desselben $= \frac{4}{3} \times 18$ ——— $= 24.$

Entfernung des Zapfenmittels vom Radkranzmittel $= 12 + 3 + 5 + 1{\cdot}5 + 18{\cdot}7 + 3 = 43{\cdot}2$ cm.



Der Durchm. der Welle im Rosettenmittel muß nun nach der cubischen Formel bestimmt werden. Es ist dieser Durchmesser $= 18 \sqrt[3]{\frac{43{\cdot}2}{12}} = 18 \sqrt[3]{3{\cdot}6}$ ——— 34 cm.

Durchmesser des Kerns der Welle



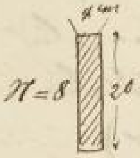
$$16 \sqrt[3]{\frac{168}{5}} \text{ ——— } = 24 \text{ cm}$$

$$b = \frac{6Mh}{L \times (h^3 - d^3)}$$

$M = 8400 \times 43.2 = 362880$

$L = 400, \; h = 36.$

$$b = \frac{6 \times 362880 \times 36}{400(36^3 - 24^3)} = \frac{362880 \times 216}{32832 \times 400} = 6.$$



Querschnitt eines Armes.

Wollen wir nun mehr verlangen als diese Anforderungen, so müssen wir das Rad langsamer gehen lassen, breiter machen und eine feinere Schaufeltheilung vornehmen.

N — — — — — $= 33.6.$

v — — — — — $= \frac{2}{3} \times 1.6 = \frac{3.2}{3} = 1.1$

R — — — — — $= 3^{\text{Met.}}$

m — — — — — $= \frac{1}{2}$

b — — — — — $= 3.5$

$\frac{Q}{abv}$ — — — — — $= m$

$a = \frac{Q}{bvm} = \frac{1.2}{0.5 \times 1.1 \times 3.5} = 0.6$

Anzahl der Schaufeln — — $= 60$

$n = 9.548 \times \frac{1.1}{3}$ — — $= 3.5$

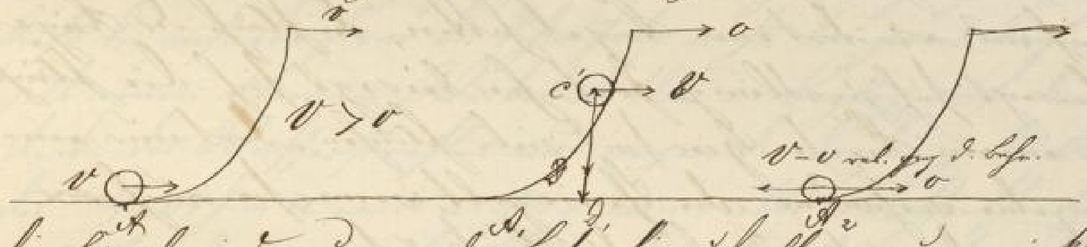
Hier wählen wir das 3te System mit Spannstangen

Das Poncelet Rad.

Ist eine Anordnung ausgedacht von Poncelet u. durch Versuche sei hervorgerufen, sowie auch die Turbinen.

Als man die älteren Räder einer Kritik unterworfen hatte, hat man gesehen, daß das Wasser überall stoßweise wirkt, was ein prinzipieller Grundfehler, ein der Grundfehler ist der, daß bei all diesen Rädern das Wasser dieselben mit einer gewissen lebendigen Kraft verläßt, welche in Bezug auf die Wirkung des Rades verloren ist.

Anders ist es beim Poncelet-Rad, indem das Wasser durch stetigen Druck übt und es verläßt das Wasser das Rad so, daß es keine lebendige Kraft mehr besitzt.
Die 1te Lösung ist nun das Poncelet Rad, die 2te die Turbinen.
Als Grundgedanke können wir uns nun Folgendes vorstellen. Wir denken uns eine horizontale Fläche, worauf eine krumme Fläche befindlich, welche mit der Geschw. v auf der Ebene fortschleift. Schicken wir nun eine Kugel noch mit größerer Geschwindigkeit, so wird dieselbe in einem gewissen Zeitmoment die Fläche in A erreichen.



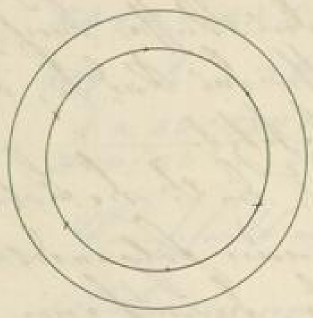
Die Kugel wird nun an der Fläche hinaufrollen, nun wirkt aber das Gewicht der Kugel der Geschwindigkeit V entgegen, wird kleiner und kleiner, bis die Kugel eine relative Geschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit der Fläche erhält, wird also fort und fort gegen die Fläche drücken.
Die Kugel bewegt sich gegen die Fläche vermöge ihrer relativen Geschwindigkeit $V-v$, CD ist die Steigungshöhe.

$$CD = \frac{(V-v)^2}{2g}, \quad W = (V-v) - v = V - 2v.$$

Die Kugel bewegt sich nach links hin, wenn $V-2v$ positiv, nach rechts, wenn $V-2v$ negativ und wenn $V-2v=0$, so bewegt sie sich gar nicht.

Bei $V = 2v$, $W = 0$, $CD = \frac{(V-v)^2}{2g} = \frac{(V-\frac{V}{2})^2}{2g} = \frac{1}{4}\frac{V^2}{2g}$.

Dies wollen wir auf das Poncelet Rad anwenden.
Sei V die Geschwindigkeit des Wassers, v die Umfangsgeschw. d. R.



so haben wir $v = \frac{1}{2} V$.
Nun ist $V = \sqrt{2gH}$
und $v = \frac{1}{2}\sqrt{2gH}$
$$CD = \frac{1}{4}\,\frac{(V-v)^2}{2g} = \frac{\left(\sqrt{2gH}-\frac{1}{2}\sqrt{2gH}\right)^2}{2g}$$
$$= \frac{1}{4}H, \quad a = \frac{1}{4}H.$$

Fragen wir nun ist diese Theorie wahr und was können wir daraus. Die Theorie mit der Kufe und Kugel ist richtig; allein wenn wir dieselbe auf das Rad anwenden wollen, so ist dies gewagt, denn es wirkt hier ein Wasserstrom, während wir dort eine Kugel hatten; die Fläche der Kugel bewegt sich geradlinig fort, hier bewegt sich die Fläche in einem Kreise. Hier sind viele Flächen, dort nur eine einzelne vorhanden. Die Theorie gibt, wenn sie auch wahr, keine Dimensionen für die Construction.
Tritt nun ein Wassertheilchen bei A ein, so muß es in einer Horizontalebene bei B austreten, die Gestalt der Kufe ist also nicht gleichgültig; es muß also die Zeit des Hinauf und Herabschwingens die gleiche sein, wie die Geschwindigkeit eines Punktes am Umfang, um von A nach B zu gelangen. Die Schwingungszeit ist also eine gewisse und diese hängt von der Krümmung ab.
Wenn wir uns dies versinnlichen wollen, so werden die Schaufeln ungefähr folgende Formen bekommen.

wenig Zeit ; mehr Zeit ; viel Zeit.

Eine solche Kurve hat Redtenbacher zu bestimmen gesucht.
Ist nun die Kurve kreisförmig, so ist die Berechnung schwierig,
weil der Schwingungswinkel groß, daher hat Redtenb. eine
Cycloide für angemessener gefunden. Eine cycl. Schaufelform
ist aber für das Rad fatal anzubringen, und daher hat Redt.
für die Cycloide einen Kreisbogen substituirt, der ge-
nau oder sehr nahe mit derselben übereinstimmt.
Es ist der Abrundungshalbmesser gleich dem mittleren
Krümmungshalbmesser der Cycloide.
Was die Stellung der Schaufeln anbelangt, so zeigt sich,
daß die äußere Form der Schaufeln nicht tangiren darf, sondern
sie soll einen kleinen Winkel bilden in bezug auf die
Dicke des Wasserstrahles und wegen der Drehung des Ra-
des. 1/4 Ft für a wäre richtig wenn alle Wassertheilchen
gleich hoch giengen. Der Halbmesser der Kurve ist nun
nicht gleichgültig zu nehmen, die Bogenlänge von a–b
soll klein sein bei kleinen Rädern u. groß bei großen
Rädern. Der Halbmesser ist in der Regel 2 x Ft.
Regeln zur Berechnung der Poncelet Räder siehe Seit. 156 No 196
Bei der Regel macht man das ganze Rad aus Schmiedeisen.