Maschinenbau

Studien-Jahr 1861/62

Redtenbacher, Ferdinand

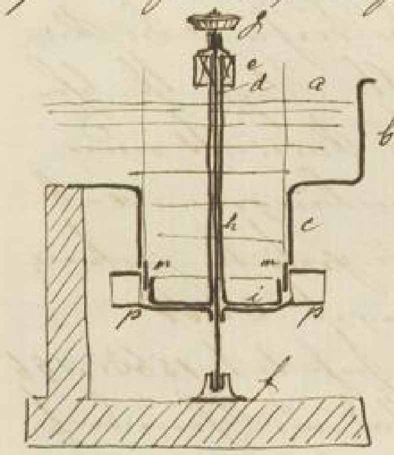
Karlsruhe, 1862

Zweitens Turbinen

urn:nbn:de:bsz:31-278571

2tens Turbinen.

Dieselben sind schon uralt und kommen namentlich in den südlichen Ländern vor, in den nördlichen fast gar nicht. Die Effektleistungen dieser alten Turbinen sind aber höchst unvollkommen und es handelt sich nur um die Frage, diese schlechten Eigenschaften wegzubringen, d.h. dass das Wasser ohne Stoß eintritt und das Rad ohne Geschwindigkeit verläßt, also kein Verlust an lebendiger Kraft stattfindet. Im Wesentlichen besteht eine Turbine aus folgendem:

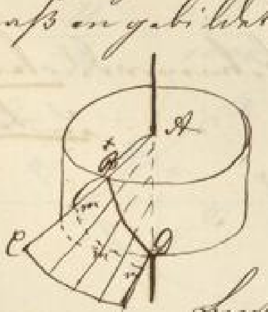


a Zuflusskanal geschlossen durch eine Schützwand b.
c Mantel
d Axe.
e Brücke.
f Lagerung der Welle d
g Transmissionsrad.

Die Axe befindet sich in einer Röhre h die an der Brücke e befestigt ist, an diese Röhre ist eine tellerförmige Scheibe i befestigt, welche gekrümmte Blechschaufeln enthält. Dieses Rad heißt Leitrad und die Schaufeln Leitschaufeln, p ist das Turbinenrad und ist mit ähnlichen Schaufeln versehen. n ist ein Schützen, hier ein Blechcylinder, der dicht am inneren Mantel anliegt und durch irgend einen Bewegungsmechanismus gehoben oder gesenkt werden kann.

Theorie der Jonval'schen Turbine.

Wir müssen uns hier mit Annäherung der Rechnung begnügen, indem alle Probleme in der Hydraulik zu schwierig zu behandeln sind. Wir setzen voraus, daß alle Wasseratome und deren Bewegungen gleich wären.
Diese Voraussetzungen schreiben gewisse Bedingungen vor, welche erfüllt werden müssen, wenn eine Turbine einen gewissen Effekt geben soll.
Diese Voraussetzungen sind nun folgende:
1. Nehmen wir an die Turbine befinde sich im Beharrungszustand der Bewegung, wenn die Wasserzuleitung gleichmäßig und ebenso der zu überwältigende Widerstand.
2. Gelange das Wasser ohne irgend eine Störung vom Zuleitungskanal durch den Mantel in den Bereich des Leitschaufelrads.
3. Habe das Leitschaufelrad, wie das Turbinenrad mäßig gekrümmte Flächen, so daß keine merkliche Störungen in der Bewegung des Wassers eintreten können; denn die Korrektheit der Leitung hängt nicht allein von der Anzahl der Schaufeln ab, sondern auch von der Krümmung.
4. Die Flächen des Leitschaufel- und Turbinenrades, sollen folgendermaßen gebildet sein. ABC radial, wir verzeichnen eine



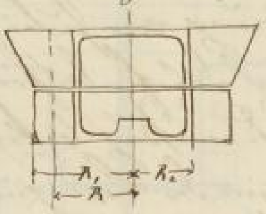
krumme Linie BD am Radkörper und lassen AD an BD herabgleiten, so daß AC immer senkrecht zur Axe bleibt.
5. Bleibe jedes Wasseratom während seiner Bewegung durch das Rad in einem concentrischen

Kreise wie z. B. das Atom m in einer gewissen Distanz mit = x bleiben soll. In Wirklichkeit können die Wassertheilchen dieser Voraussetzung entsprechen, sondern sie können allenfalls für diejenigen Wassertheilchen gelten, welche außen eintreten, am wenigsten aber für die am Innern in der Nähe der Axe sich befindlichen.

Es ließen sich diese Unvollkommenheiten allerdings durch concentrische Kanäle wegbringen; allein letztere würden wieder eine sehr große Reibungsfläche darbieten und es ist dies überhaupt nicht realisirbar.

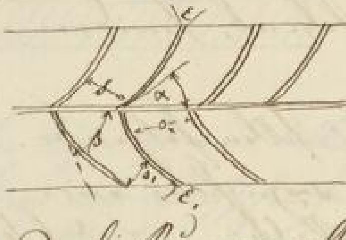
6. Das Wasser fülle die Kanäle beider Räder vollkommen aus, so daß kein Spritzen, Zerreißen oder Zerschlagen des Wassers stattfinden kann.

Regeln zur Berechnung einer Jonval'schen Turbine



Es ist $R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$

Denken wir uns die Turbine durch einen Cylinder geschnitten mit dem Halbmesser R. und denken uns diese Schnitte abgewickelt so wird derselbe beiläufig folgende Form haben.



Es sei i die Anzahl der Leitkurven

s die normale Weite der Kanäle

Ω effektive Schaufelausströmung aus dem Turbinenrad.

Ω_2 die Summe aller Querschnittskanäle des Turbinenrads oben

Ω_1 " " " " " " unten

v_1 die äußere Geschwindigkeit des Rades

v_2 " innere " "

v " mittlere " "

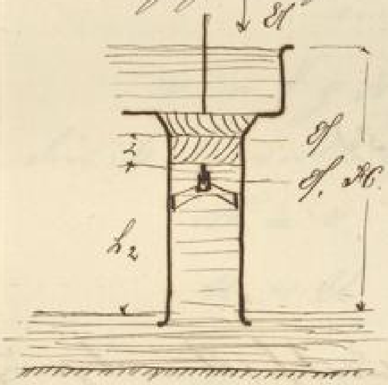
U die absolute Geschwindigkeit mit welcher das Wasser aus dem Leitrad austritt

U_2 & U_1 die relative Geschw. des Wassers an der obern und untern Fläche des Rades.

w die abs. Geschw. des Wassers nachdem es das Rad verlassen

E_t Druck der Atmosphäre auf 1 □ Met.

E_f Druck des Wassers zwischen der Ebene des Leit & Turbinenrads bezogen auf 1 □ Meter.



ε Metalldicke der Leitschaufeln

ε_1 " " " Radschaufeln

E_n Nutzeffekt des Rades.

H das Totalgefälle.

h_2 Ebenabstand zwischen der unt. Fläche des Turbinenrads und dem Wasserspiegel des Abflußkanals.

L Höhe des Turbinenrads.

Nehmen wir nun an diese Voraussetzungen seien absolut genau, damit

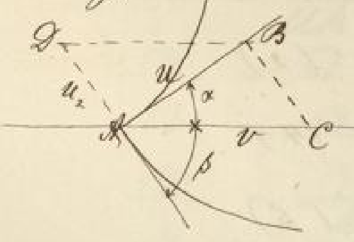
$E_n = E_a$ und $\frac{E_n}{E_a} = 1$ wird.

Q die Wassermenge. $Q = \Omega U k$.

k Kontraktionscoefficient.

$$Q = \Omega U k = \Omega_2 U_2 = \Omega_1 u_1 k_1 \quad (1.)$$

$$\frac{U^2}{2g} = \frac{E_t}{1000} + H - h_2 - L - \frac{E_f}{1000} \quad (2.)$$



Machen wir nun $AB = U$, verlängern die Richtung der Schaufeln und ziehen eine 2t. Parallele.

AB ist nun der Richtung und Größe

noch die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser austritt. Das Wasser wird ohne Stoß eintreten, wenn A C gleich der mittleren Geschwindigkeit des Rades.

$$\frac{v}{U} = \frac{\sin(\pi - (\alpha + \beta))}{\sin\beta}$$

$$\frac{u_2}{U} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{v}{U} = \dfrac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta} \\[2ex] \dfrac{u_2}{U} = \dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} \end{array}\right\} \quad (3)$$

$$u_2^2 = U^2 + v^2 - 2Uv\cos\alpha \quad (4.)$$

$$\frac{u_1^2}{2g} = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{\mathfrak{H}}{1000} + L - \frac{\mathfrak{H}_1}{1000} \quad (5.)$$

$$w^2 = v^2 + u_1^2 - 2uv_1\cos\delta \quad (6)$$

$$\frac{\mathfrak{H}_1}{1000} = \frac{\mathfrak{H}}{1000} - h_2 \quad --- (7.)$$

Dies ist noch, wenn die untere Austrittsgeschwindigkeit nicht gering ist. $U = 0$ oder es soll das Wasser das Rad ohne Geschwindigkeit verlassen, wenn $\delta = 0$ und $v = u_1$.

Statt (6) $v = u_1$ und $\delta = 0$. (8.) Die Gleichungen 1–8 drücken aus, daß das Wasser ohne Stoß eintritt und das Rad ohne Geschwindigkeit verläßt, wir können aber noch keine Folgerungen daraus ziehen, sondern wir müssen durch Transformation ein 2tes System von Gleichungen aufstellen das auch nichts anderes ausdrückt als das Syst. I, der geistige Gehalt sich aber klar ausspricht.

$$\frac{\cancel{u_2^2}}{2g} = \frac{\mathfrak{H}}{1000} + H - h_2 - \cancel{L} - \frac{\cancel{\mathfrak{H}_1}}{1000} \quad (2)$$

$$\frac{\cancel{u_2^2}}{\cancel{2g}} = \frac{\cancel{U^2}}{2g} + \frac{\cancel{v^2}}{2g} - \frac{2Uv\cos\alpha}{2g} \quad (4)$$

$$\frac{\cancel{u_1^2}}{2g} = \frac{\cancel{u_2^2}}{2g} + \frac{\cancel{\mathfrak{H}}}{1000} + \cancel{L} - \frac{\cancel{\mathfrak{H}_1}}{1000} \quad (5)$$

$$0 = \frac{\cancel{E_1}}{\cancel{1000}} - \frac{\cancel{E}}{1000} + \cancel{h}_2 \quad (7)$$

$$0 = H - \frac{2 U v \cos\alpha}{2g}$$

$$v = U\,\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta} \quad \text{aus } (3)$$

$$0 = H - \frac{U^2}{2g}\,\frac{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}{\sin\beta}.$$

$$U = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\cos\alpha\,\sin(\alpha+\beta)}} \quad \text{Buch Ref. pag 168} \ (\mathrm{I.})$$

$$v = \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta}\sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}}$$

$$v = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}\,\frac{\sin^2(\alpha+\beta)}{\sin^2\beta}} = \sqrt{g H \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha\,\sin\beta}} \ (\mathrm{II.})$$

dies ist die vortheilhafteste Geschw. gemessen in der hdt. R.

$$U_1 = v \ \text{-----} \ (\mathrm{III.})$$

$$u_2 = U\,\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}}$$

$$u_2 = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}\,\frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}}$$

$$u_2 = \sqrt{g H \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha\,\sin\beta\,\sin(\alpha+\beta)}} \quad (\mathrm{IV.})$$

Nun suchen wir aus Gl (2) E_1.

$$\frac{E_1}{1000} = \frac{E}{1000} - h_2 - \ell + H\left(1 + \frac{1}{2}\,\frac{\sin\beta}{\cos\alpha\,\sin(\alpha+\beta)}\right) (\mathrm{V.})$$

$$\frac{G_1}{1000} = \frac{G}{1000} - h_2 \quad (\mathrm{VI.})$$

(1) bestimmt aus gewissen Durchschnitt.

$$\Omega = \frac{Q}{Uk} \ \text{---} \ (\mathrm{VII.})$$

$$\Omega_2 = \Omega k \frac{U}{u_2}$$

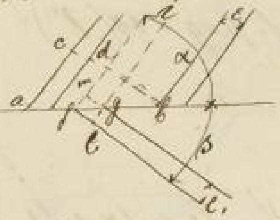
$$\Omega_2 = \Omega k \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} \quad (\mathrm{VIII.})$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega k}{k_1}\,\frac{U}{U_1}, \quad u_1 = v$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega k}{k_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \ (\mathrm{IX.})$$

diese Gleichungen sagen nahe dasselbe aus, wie das erste System und werden uns Gelegenheit geben die Constructionsverhältnisse ausfindig zu machen.

Ω hängt theilweise von der Metallstärke der Schaufel ab. Ist $2R\pi$ ein Radumfang am mittleren Schnitt, so wird dann $\frac{2R\pi}{i}$ die Thlg. sein.



$$\frac{2R\pi}{i} = ab$$

$$\frac{2R\pi}{i}\sin\alpha = bc$$

$$bd = \frac{2R\pi}{i}\sin\alpha - \varepsilon.$$

ist die mittlere Weite eines Kanales, der Querschnitt eines Kanales ist demnach:

$$\left(\frac{2R\pi}{i}\sin\alpha - \varepsilon\right)(R_1 - R_2)$$

und die Querschnitts Summe aller Kanäle

$$\left(\frac{2R\pi}{i}\sin\alpha - \varepsilon\right)(R_1 - R_2)\, i.$$

$$gl = \varepsilon_1 = fg \sin\beta.$$

$$gm = fg \sin\alpha$$

$$\frac{gm}{\varepsilon_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.$$

$$gm = \varepsilon_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.$$

$$gm(R_1 - R_2) = \varepsilon_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}(R_1 - R_2)$$ entspricht 1 Querschnitt

$$gm(R_1 - R_2)\, i = \varepsilon_1\, i\, \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}(R_1 - R_2)$$

$$\Omega = \left(\frac{2R\pi}{i}\sin\alpha - \varepsilon\right)(R_1 - R_2)\, i = \varepsilon_1\, i\, \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}(R_1 - R_2)$$

Wenn wir berücksichtigen, dass $R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$, so ist.

$$\Omega = (R_1 - R_2)\left[\left(\frac{2R\pi}{i}\sin\alpha - \varepsilon\right) i - \varepsilon_1\, i\, \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right]$$

$$\Omega = (R_1 - R_2)\left[2R\pi\sin\alpha - \varepsilon i - \varepsilon_1 i\, \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right]$$

$$\Omega = (R_1 - R_2)\, R\left[2\pi\sin\alpha - \frac{\varepsilon i}{R} - \frac{\varepsilon_1 i}{R}\,\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\right]$$

$$\Omega = (R_1 - R_2)\, R\, 2\pi \sin\alpha \left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha} + \frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\cdot\frac{\varepsilon_1}{R} - \frac{\varepsilon}{R}\right]$$

$$\Omega = (R_1 - R_2)(R_1 + R_2)\,\frac{1}{2}\, 2\pi\sin\alpha \left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha} + \frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right]$$

$$\Omega = (R_1^2 - R_2^2)\,\pi\sin\alpha \left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha} + \frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right].$$

$$\Omega = R_1^2\left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\right]\pi\sin\alpha \left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha}\,\frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right] \quad \boxed{X}$$

$$\Omega_1 = s_1 (R_1 - R_2)\, i_1 = \Omega\,\frac{k}{k_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$s_1 (R_1 - R_2)\, i_1 = (R_1 + R_2)(R_1 - R_2)\,\pi\sin\alpha \left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha}\,\frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right]\frac{k}{k_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$s_1 = \frac{2R\pi\sin\alpha}{i_1}\left[1 - \frac{i}{2\pi\sin\alpha}\,\frac{\varepsilon}{R} - \frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right]\frac{k}{k_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$s_1 = R\left[\frac{2\pi\sin\alpha}{i_1} - \left(\frac{i}{i_1}\,\frac{\varepsilon}{R} + \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}\right)\right]\frac{k}{k_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \quad \boxed{XI}$$

Hinsichtlich der Praxis sind mittlere Werthe von Gefällen und Wassermengen vortheilhaft, Redtenbacher hat hiefür eine Formel aufgestellt $H = 1 + \frac{N_n}{10}$ d. h. wenn man die Wahl zwischen mehreren Gefällen hat, so ist dasjenige das beste, dessen Werth dieser Formel am nächsten kommt. Das Güteverhältniss $\frac{N_n}{N_a}$ betreffend ist es niemals möglich eine Turbine so zu bauen, daß sie den Formeln 1–11 entspricht, da der Nutzeffekt jederzeit kleiner ausfällt als der absolute Effekt. Es ist also zweckmässiger, wenn man sich an Erfahrungsres. hält.

Bei genauen Messungen beträgt der Nutzeffekt bei den besten Turbinen 75 %; wollen aber in der Regel nur 70 % annehmen. Wir halten als dann

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

$$Q = \frac{75\left(\frac{N_a}{N_n}\right) N_n}{1000\, H} = \frac{75\, N_n}{1000\, H\left(\frac{N_n}{N_a}\right)} = \frac{75}{1000 \times 0{\cdot}7}\,\frac{N_n}{H}$$

$$= 0{\cdot}107\,\frac{N_n}{H}$$

Das erste was wir nun zu bestimmen haben sind die Winkel α & β. Sie sind nicht absolut willkürlich, wenn sie nicht negativ, unendlich oder imaginär werden.
Es soll γ sehr klein, beinahe Null sein. $\gamma = \alpha$
Wenn γ klein, hat der Kanal eine gewisse Weite, die Kanäle von beiden Rädern sind also gleichweit.
Es soll β 16, 20 höchstens 24° betragen.
Nehmen wir α groß, so werden die Kanäle weit.
Setzen wir $\alpha + \beta = 90°$, dann werden die Formeln sehr einfach z. B. wird $Q = \sqrt{gH \frac{\sin(90° + \alpha)}{\cos\alpha \sin 90°}}$

$$U = \sqrt{gH} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2gH} = 0{,}707 \sqrt{2gH}.$$

k ist der Koeff. für den Austritt des Wassers aus dem Leitrad.
k_1 " " " " Turbinenrad.
Machen wir den untern Theil geradlinig, so können wir $k = 1$ nehmen. Nun ist bei dem Turbinenrad immer etwas Contraction vorhanden deßhalb nehmen wir $k_1 = 0{,}9$.
Weitere Bestimmungsbegriffe sind R_2 & R_1. Nehmen wir z. B. extrem an, daß R_1 also ungefähr R_2, dies hat zur Folge, daß die Schaufeln radiale Dimensionen erhalten u. sehr klein werden. Wir erhalten ein großes Rad, was unter Umständen wünschenswerth ist, für ein großes Gefälle & eine kleine Wassermenge wird $\frac{R_1}{R_2} = 1$. dürfen aber nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen. Umgekehrt wenn $\frac{R_2}{R_1}$ klein, so bekommen wir große Dimensionen für das Radiale der Schaufeln. Es ist das gut für ein kleines Gefälle und eine große Wassermenge. Für Normal Verhältnisse können wir nehmen $\frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3}$.

Für die Anzahl der Leitschaufeln ist es besser eine größere Zahl zu nehmen als eine kleinere, in der Regel 16; unter Umständen auch mehr, namentlich bei kleinen Turbinen mit rasch gekrümmten Schaufeln, damit das Wasser besser geleitet wird. Anzahl der Radschaufeln. Die Praxis variirt von 4–96. In der Regel sind 24 zu nehmen. Die Metalldicke bestimmt sich nach dem Drucke und dem Arbeitsprozeß, am besten ist, dieselben so dünn als möglich zu machen als es überhaupt die Festigkeit des Metals zuläßt. Es handelt sich also um das Verh. $\frac{\varepsilon}{R}$ & $\frac{\varepsilon_1}{R_1}$ in der Regel

$\frac{1}{40}$ $R.$

$$Q = \Omega U k = R_1^2\left[1-\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\right]\pi \sin\alpha \left\{1-\frac{i}{2\pi\sin\alpha}\,\frac{\varepsilon}{R}-\frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right\} U k.$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{Q}{U k\left[1-\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2\right]\pi\sin\alpha\left[1-\frac{i}{2\pi\sin\alpha}\,\frac{\varepsilon}{R}-\frac{i_1}{2\pi\sin\beta}\,\frac{\varepsilon_1}{R}\right]}}$$

$$R_1 = Et\sqrt{\frac{Q}{U}}$$

$$R_2 = R_1\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$$

Mittlere Weite der Leitkanäle

$$s = R\left[\frac{2\pi\sin\alpha}{i}-\frac{\varepsilon}{R}\right]$$

$$\frac{s}{R} = \left[\frac{2\pi\sin\alpha}{i}-\frac{\varepsilon}{R}\right]$$

Die vortheilhafteste Geschw. des Rades vom Halbmesser R fällt nach Versuchen kleiner aus als die Rechnung gibt. Für Formel (II) schreiben wir noch den Contraktionscoeff. 0.774 hinzu.

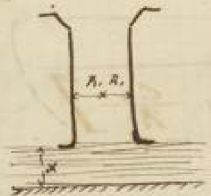
Vortheilhafteste Anzahl der Umdrehungen

$$n = 9.548\,\frac{v}{R}.$$

die Höhe der Turbinenräder darf nicht zu hoch und nicht zu niedrig genommen werden, wegen der Schaufelkrümmung. Der Reibungswiderstand beträgt je nach dem ~~Reibungswiderstand~~ Krümmungsgrad innerhalb weiter Grenzen nicht viel. In der Regel beträgt

die Höhe der Turbinenräder 0·5 R.
" " Leiträder 0·6 R. } Ref. Seite 169.

b. die Höhe der Ausflußöffnung aus dem Cylinder.
Ist diese Öffnung enge, so muß die Pressung unten im Rad groß ausfallen, schwächt also in hohem Grade die Wirkung des Wassers auf das Rad, und es ist daher fehlerhaft diese Öffnung enge zu halten. Ref. 169.



$$R_1^2\pi = 2R_1\pi x$$

$$x = \frac{R_1}{2}$$

Nehmen wir nun an der Wasserzufluß nehme ab und werde halb so groß. Wenden wir nichts und leiten blos die halbe Menge zu, so wird dies zur Folge haben, daß das Wasser nur durch das Rad hindurchspritzt, was wir durch einen Schützen vermeiden können, indem wir die Ausflußöffnung verengen. Es wird aber mit der halben Wassermenge der Effekt 8 mal so klein, also hat der Schützen keinen Einfluß hierauf. Bei der $\frac{1}{2}$ Schütze hat das Wasser $\frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^2$. Der Schützen ist blos gut zum Abstellen der Maschine. Nun bringt man die Ausflußöffnung auch als seitliche an, und wir haben

$$R_1^2\pi = 2R_1 y$$

$$y = \frac{\pi}{2} R_1.$$

Anwendung auf Beispiele.

1.) Es sei $H = 4$ Meter, $Q = 2{\cdot}5$ Cub. Meter.

$$N_a = \frac{1000\,Q H}{75} = \frac{4 \times 2{\cdot}5 \times 1000}{75} = 133 \text{ Pferde.}$$

$$N_n = 0{\cdot}7 \times 133 = 93{\cdot}1\ (?)$$

$$\alpha = 24^0,\ \beta = 66^0,\ k = 1,\ k_1 = 0{\cdot}9.$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3},\ \frac{e}{R} = \frac{e_1}{R_1} = \frac{R}{40}$$

$$\sqrt{2gH} = \sqrt{9{\cdot}808 \times 8} = 8{\cdot}86$$

$$U = 0{\cdot}707\sqrt{2gH} = 8{\cdot}86 \times 0{\cdot}707 = 6{\cdot}26.$$

$$R_1 = 1{\cdot}380\sqrt{\frac{Q}{U}} = 1{\cdot}38\sqrt{\frac{2{\cdot}5}{6{\cdot}26}} = 1{\cdot}38 \times 0{\cdot}632 = 0{\cdot}873$$

$$R_2 = \frac{2}{3}R_1 = \frac{2}{3} \times 0{\cdot}873 = 0{\cdot}582.$$

$$R = 0{\cdot}682$$

$$s = 0{\cdot}1372 \times R = 0{\cdot}0855$$

$$s_1 = 0{\cdot}0811 \times R = 0{\cdot}0553$$

$$v = 0{\cdot}600\sqrt{2gH} = 5{\cdot}316$$

$$n = 9{\cdot}548 \times \frac{5{\cdot}316}{0{\cdot}682} = 74{\cdot}4.$$

2tes Beispiel.

Es sei $H = 50$ Met. $Q = 0{\cdot}15$ Cm.

$$N_a = \frac{1000 \times 0{\cdot}15 \times 50}{75} = \frac{12000}{75} = 160 \text{ Pferde.}$$

Wir wollen zuerst versuchen mit den Normal Verhältnissen.

$$\sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 50} = 39{\cdot}6$$

$$U = 0{\cdot}707\sqrt{2gH} = 0{\cdot}707 \times 39{\cdot}6 = 28 \text{ Meter.}$$

$$R_1 = 1{\cdot}380\sqrt{\frac{0{\cdot}15}{28}} = 0{\cdot}101$$

$$R_2 = 0{\cdot}067;\ R = 0{\cdot}084$$

$$v = 0{\cdot}600 \times 39{\cdot}6 = 23{\cdot}76$$

$$n = 2700.$$

Wir nehmen also jetzt abnorme Verhältnisse sieh Resultat Seite 171 No. 218.

$$H = 80, \quad Q = 0{\cdot}15$$

$$N_a = \frac{1000 \times 0{\cdot}15 \times 80}{75} = 160 \text{ Pferde.}$$

$$\sqrt{2gH} = 39{\cdot}6$$

$$U = 0{\cdot}692\sqrt{2gH} = 0{\cdot}692 \times 39{\cdot}6 = 27{\cdot}4$$

$$R_1 = 1{\cdot}966\sqrt{\frac{0{\cdot}15}{27{\cdot}4}} = 0{\cdot}145.$$

$$R_2 = \text{———} = 0{\cdot}124$$

$$R = \text{———} \; 0{\cdot}124$$

$$v = 0{\cdot}579\sqrt{2gH} = 23.$$

$$n = \frac{9{\cdot}548 \times 23}{0{\cdot}124} = 1771.$$

Für [illegible] ist es angemessen den $\measuredangle \alpha$ sehr klein zu halten und $\frac{R_2}{R_1}$ nahe gleich 1 zu machen.

3tes Beispiel.

Es sei $H = 3$ M; $Q = 20$ K.b.M.

$$N_a = \frac{1000 \times 20 \times 3}{75} = \frac{60000}{75} = 800 \text{ Pferde}$$

$$N_n = 0{\cdot}75\, N_a = 600 \text{ Pferd.}$$

In diesem Falle müssten wir mehrere Turbinen anlegen, z. B. 4, wie dies in Bamberg der Fall ist, da eine einzige Turbine für diese Wassermenge riesige Dimensionen erhielte. Es wird diese Anlage immer vortheilhaft sein, da man je nach der Wasserquantität mit 1, 2, 3 oder allen arbeiten kann. Es wäre demnach je Turbine für $\frac{20}{4} = 5$ Cub.M. zu rechnen.

$$\sqrt{2gH} = 7{\cdot}68$$

$$R_1 = 1{\cdot}38\sqrt{\frac{5}{7{\cdot}68}} = 1{\cdot}13$$

$$R_2 = 1{\cdot}13 \times \tfrac{2}{3} = 0{\cdot}753$$

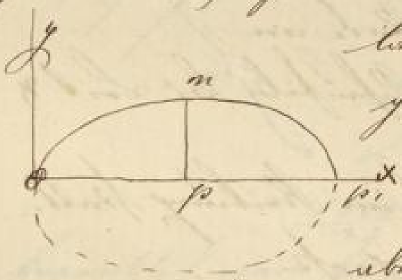
$$R = 0{\cdot}942\,; \quad n = 46.$$

$$v = 0{\cdot}6 \times 7{\cdot}68 = 4{\cdot}608$$

Formeln zur Berechnung des Nutzeffektes, siehe Red. Seite 173.

$$y = \frac{E n}{1600 Q H} = -2Ax + 2B\sqrt{Cx^2+x}\,, \quad x = \frac{v^2}{2gH}$$

v die Geschw. gemessen in der Entfernung R.
die Größen A, B, C, sind complizirte Ausdrücke, welche von der Totalität des Baues abhängen.
Tragen wir y das Güteverhältniss als Ordinate auf, ferner die Geschwindigkeit x als Abszisse, so geht aus der Natur der Sache hervor, daß die Kurve eine Ellypse darstellt.
Für $x = 0$, ist $y = 0$. Lassen wir nun die Turbine langsam laufen, so würde das Güteverhältniss noch gering sein und nach und nach für $x = op$ sein Max. erreichen. Gehen wir aber diese Grenze hinaus, so wird der Effekt abnehmen, bis er Null geworden, und es ist dies der Fall, wenn wir die Turbine leer laufen lassen.



$y = 0$ für $x = op_1 = \dfrac{1}{\left(\frac{A}{B}\right)^2 - C}$.
Will man dies numerisch ausführen, so hat Redtenbacher gefunden, daß diese Geschwindigkeit gerade oder beinahe die doppelte der vortheilhaftesten Geschwindigkeit ist.

$$x = op = \frac{1}{2C}\left[-1 + \frac{1}{\sqrt{1 - C\left(\frac{B}{A}\right)^2}}\right]$$

$$\left(\frac{En}{1600\, Q H}\right)_{max} = \frac{A}{C}\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 C}\right]$$

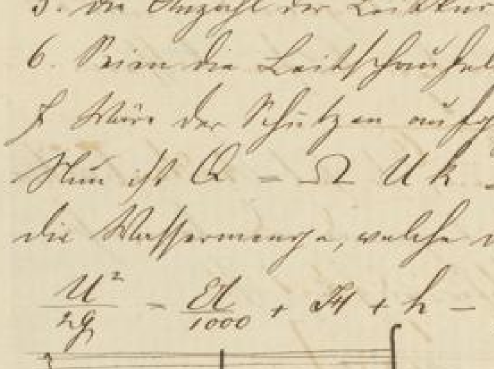
Theorie der Fourneyron'schen Turbine.

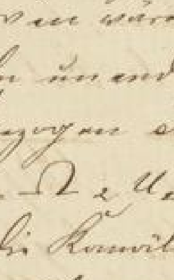
Wir müssen uns hier abermals mit einer Annäherung begnügen; wenn nun die Turbine einen guten Effekt geben soll, so müssen wir wieder folgende Voraussetzungen machen.

1. Nehmen wir an, sie befinde sich in einem Beharrungszustand der Bewegung
2. Komme das Wasser ohne Stoß im Rade an
3. fülle das Wasser vollkommen die Schaufeln des Leit & Turbinenrades aus.
4. Es finde während der Bewegung keine Reibung statt.
5. Die Anzahl der Leitkurven wären groß.
6. Seien die Leitschaufeln unendlich dünn
7. Wäre der Schützen aufgezogen etc. ..

Nun ist $Q = \Omega U k = \Omega_2 u_2 = \Omega U_1 k_1$ (1)
die Wassermenge, welche die Kanäle ausfüllt.

$$\frac{U^2}{2g} = \frac{E}{1000} + H + h - \frac{D}{1000} \quad (2)$$





Nun zerlegen wir U in die beiden Geschwindigkeiten AC & AD, nehmen an, daß AD die tangential Geschwindigkeit des Wassers mit u_2 übereinstimme, AC ist die relative Geschwindigkeit des Wassers gegen die Schaufeln u_2

$$\frac{v_2}{U} = \frac{\sin(\pi - (\alpha + \beta))}{\sin\beta} = \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta} \quad (3)$$

$$\frac{u_2}{U} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \quad (3)$$

$$\frac{u_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{U^2}{2g} - \frac{2 v_2 U}{2g}\cos\alpha \quad (4)$$

$$\frac{u_1^2}{2g} = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{Q}{1000} - \left(\frac{A}{1000} + h\right) + \frac{1}{2g}\left(v_1^2 - v_2^2\right) \quad (5)$$

Ist nun q das Gewicht eines Wassertheilchens, C die Centrifugalkraft,
so ist $C = \frac{q}{g}\frac{\omega^2 x^2}{x} = \frac{q}{g}\omega^2 x$

$$\int_{R_2}^{R_1} C\,dx = \int_{R_2}^{R_1}\frac{q}{g}\omega^2 x\,dx = \frac{q}{g}\omega^2\frac{1}{2}\left(R_1^2 - R_2^2\right)$$

$$= \frac{q}{2g}\omega^2\left(R_1^2 - R_2^2\right)$$

und es entwickelt diese Ablenkungskraft
C eine Wirkungsgröße =

$$\frac{1000\,Q}{2g}\omega^2\left(R_1^2 - R_2^2\right) = \frac{1000\,Q}{2g}\left[v_1^2 - v_2^2\right]$$

Eigentlich wäre zu schreiben:

$$\frac{1000\,Q}{2g}u_1^2 = \frac{1000\,Q}{2g}u_2^2 + 1000\,Q\frac{Q}{1000} - 1000\,Q\frac{A}{1000} - 1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{2g}\left(v_1^2 - v_2^2\right)$$

Es unterscheidet sich die Fourneyron'sche Turbine von der Jonval'schen einzig durch das letzte Glied $\frac{1}{2g}\left(v_1^2 - v_2^2\right)$.

$v_1 = u$, ; $\delta = 0$.

Addiren wir nun zu (2) die letzteren (4) & (5)

$$\cancel{\frac{U^2}{2g}} - \cancel{\frac{A}{1000}} + H - \cancel{h} - \cancel{\frac{Q}{1000}}$$

$$\cancel{\frac{u_2^2}{2g}} = \cancel{\frac{v_2^2}{2g}} + \cancel{\frac{U^2}{2g}} - \frac{2 U v_2}{2g}\cos\alpha$$

$$\cancel{\frac{u_1^2}{2g}} = \cancel{\frac{u_2^2}{2g}} + \cancel{\frac{Q}{1000}} - \cancel{\frac{A}{1000}} - \cancel{h} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}} - \cancel{\frac{v_2^2}{2g}}$$

$0 = H - \frac{U v_2}{2g}\cos\alpha$ für v_2 setzen wir den Werth aus Glchg (3)

$$H = \frac{U v_2}{g}\cos\alpha = \frac{U U}{g}\sin(\alpha + \beta)$$

$$= \frac{U U}{g}\,\frac{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha}{\sin\beta}$$

$$U = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\cos\alpha \sin(\alpha+\beta)}} \qquad \text{I.}$$

$$v_2 = U \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta} = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\cos\alpha \sin(\alpha+\beta)} \frac{\sin^2(\alpha+\beta)}{\sin^2\beta}}$$

$$v_1 = \sqrt{g H \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha \sin\beta}} \qquad \text{II}$$

$$u_2 = \sqrt{g H \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)\cos\alpha} \frac{\sin^2\alpha}{\sin^2\beta}}$$

$$u_2 = \sqrt{g H \frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha \sin\beta \sin(\alpha+\beta)}} \qquad \text{III.}$$

$$\frac{G}{1000} = \frac{A}{1000} + H + h - \frac{1}{2} H \frac{\sin\beta}{\cos\alpha \sin(\alpha+\beta)} \qquad \text{IV.}$$

diese Gleichungen sind desselben Inhalts wie die ersteren, nur in bequemere Formen gebracht.

$$v_1 = u_1 = v_2 \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_1}{R_2} \sqrt{g H \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha \sin\beta}} \qquad (\text{V})$$

$$\Omega = \frac{Q}{Uk} \qquad (\text{VI})$$

$$\Omega_2 = \frac{\Omega U k}{u_2} = \Omega k \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} \qquad (\text{VII})$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega U k}{u_1 k_1} = \frac{\Omega U k}{v_1 k_1} \qquad \cancel{(\text{VIII})}$$

$$\Omega_1 = \frac{\Omega U k}{v_2 \frac{R_1}{R_2} k_1} = \Omega \frac{U}{v_2} \frac{k}{k_1} \frac{R_2}{R_1}$$

$$\Omega_1 = \Omega \frac{k}{k_1} \frac{R_2}{R_1} \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} \qquad (\text{VIII.})$$

Regeln zur Berechnung einer Fourneyron'schen Turbine.

α & β sind ähnlich hier zu nehmen, wie bei der Jonval-Turbine, siehe Heft Seite 177.

$\frac{Q}{R_2^2 \pi} = 1{\cdot}1$ dieser Ausdruck sagt uns die Geschwindigkeit mit der das Wasser u. ist constant 1·1 von Redtenbacher angenommen nach Versuchen mit ausgeführten Constructionen.

$$R_2 = \sqrt{\frac{Q}{1.1\pi}} = 0.538\sqrt{Q}.$$

α & β sind innerhalb gewisser Grenzen willkürlich. Wird α sehr klein angenommen, so wird der schädl. Raum sehr groß. Ist α groß, so gibt es leicht Mißverhältnisse. Gute Verhältnisse geben $\alpha = 25^0$.

β ist unter Umständen $= 60-90^0$ zu nehmen. Ist nun $\frac{R_1}{R_2}$ groß, so bekommen wir eine schwache Schaufelkrümmung, was gut ist, es wird also das Wasser langsam abgelenkt, nur ist die Rbg etwas größer. Machen wir hingegen $\frac{R_1}{R_2}$ klein, so bekommen wir rapid gekrümmte Schaufeln, es wird also die Rbg eine geringere sein.

Wir müssen also ein solches Verhältniß aufsuchen, damit die Mißverhältnisse ein Minimum werden.

Nach empirischen Regeln hat Redtenbacher gefunden:

$$\frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{0.0045\,\beta^0}{\sqrt[3]{R_2}}$$

Für die Schaufelkrümmung, nehmen wir nun entweder einen Kreisbogen, oder eine stetig gekrümmte Curve.

aus VIII folgt: $\Omega = s\,i\,\delta, \quad s_1 i_1 \delta_1 = s\,i\,\delta\,\frac{R_2}{R_1};$

$$\Omega_1 = s_1 i_1 \delta_1, \quad \frac{R}{R_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}$$

$$s_1 = s\,\frac{R_2}{R_1}\,\frac{i}{i_1}\,\frac{R}{R_1}\,\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}.$$

Die Geschwindigkeit des Wassers am innern Umfang ist aber durch die vielen Krümmungen immer kleiner, als die theoretische Formel gibt; wir müssen dieselbe deshalb mit einem Coefficienten multipliziren um das richtige Resultat zu erlangen.

Es ist also $v_1 = 0.707 \sqrt{g H \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\sin\beta \cos\alpha}}$

Das Güteverhältniß einer Turbine wird ausgedrückt durch: $y = \frac{E n}{1000\, Q H} = -2Ax + 2B\sqrt{x} + Cx^2$

$$x = \frac{\frac{v^2}{2g}}{H}$$

Für v_0, das heißt, wenn die Turbine leer läuft, ist die Geschwindigkeit derselben doppelt so groß als die vortheilhafteste Geschwindigkeit.

Diese allgemeine Theorie, siehe Red. Seite 179 ist auch anwendbar für die verschiedenen Modifikationen von Turbinen. In Bezug auf Anordnungen von Doppelturbinen ist zu sagen, daß sie derart construirt werden müssen, wie wenn auf jede die ganze Wassermenge und das Gefälle $\frac{H}{2}$ wirkte.

Partial Turbinen.

Es unterscheiden sich dieselben einzig und allein von den Vollturbinen, daß das Wasser hier nicht durch alle Kanäle einfließt. Es können dieselben kein so guten Effekt geben als die Vollturbinen und daher auch nicht den Anforderungen des besten Effektes nicht entsprechen.

Wir gehen nun über zur:

Theorie der Tangentialräder.

Es sind dieselben eigentlich dem Wesen nach nichts anderes als Fourneyron'schen Partialturbinen, indem sich der Einlauf nur auf einen kleinen Theil des Rades erstreckt. Es gibt nun verschiedene theoretische logische Möglichkeiten derselben.

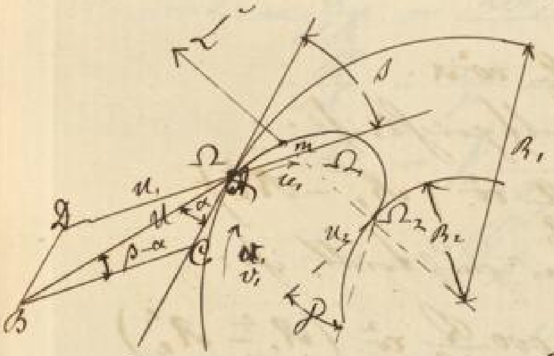
1tens Können wir Räder construiren, bei welchen das Wasser von innen nach außen eintritt und zwar nur durch einen Theil.

2. Wäre es möglich, daß das Wasser am innern Umfang des Rades eintritt und innen austritt, ähnlich wie beim Poncelet Rad; ist aber nicht realisirbar.

3. Können wir das Wasser außen eintreten lassen, und am innern Umfange austreten.

4tens Lassen wir das Wasser außen eintreten; außen austreten.

Bei 1) haben wir die Theorie der Fourneyron'schen Turbine. 2) ist nicht realisirbar. Es bleiben also noch 2 Fälle übrig. Betrachten wir also zunächst den 3ten Fall.



Es ist hier immer nur ein Theil des Rades mit Wasser gefüllt. Am innern Umfang herrscht atmosphärische Pressung daher die Geschwindigkeit AB mit welcher das Wasser eintritt

$$AB = \sqrt{2gH} \quad (1.)$$

Heißen wir nun $\Omega, \Omega_1, \Omega_2$ die Querschnitte durch welche Wasser einströmt, so haben wir wiederum:

$$Q = \Omega U k = \Omega_1 U k = \Omega_2 U_2 k_2 \quad (2.)$$

Nehmen wir an, es trete das Wasser ohne Stoß ein, zerlegen AB in 2 Geschwindigkeiten AD & AC. So ist CA gleich der äußern Umfangsgeschw. des Rades $= v_1$, DA ist die relative Geschwindigkeit u, mit welcher das Wasser ins Rad eintritt.

$$\left.\begin{aligned} \frac{u_1}{U} &= \frac{\sin\alpha}{\sin(\pi-\beta)} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \\ \frac{v_1}{U} &= \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin(\pi-\beta)} = \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin\beta} \\ u_1^2 &= U^2 + v_1^2 - 2Uv\cos\alpha \end{aligned}\right\} (3).$$

Wir müssen nun zu bestimmen suchen die relative Geschw. mit der das Wasser am innern Umfang ankommt. Stünde das Rad ruhig, so würde $U = u_1$ sein; nun ist aber das Rad in Bewegung und sucht das Wasser hinauszuschleudern. Wir finden die richtige Bewegung die ein Wassertheilchen gegen die Bahn macht, indem wir sie uns vollkommen übereinstimmend denken, mit derjenigen, wie wenn das Rad ruhig stünde, auf das Wassertheilchen aber eine Kraft gleich der Centrifugalkraft nach außen entgegenwirkte.

Es ist $L = \frac{q}{g} \times \frac{w^2 x^2}{x} = \frac{q}{g} w^2 x$.

die Wirkungsgröße welche L entspricht, ist:

$$\int L\,dx = \frac{q}{g} w^2 \int x\,dx = \frac{q}{2g} w^2 (R_1^2 - R_2^2)$$

die lebendige Kraft, mit der es austritt, ist:

$$1000\,Q\frac{U^2}{2g} - 1000\,Q\frac{u_1^2}{2g} - 1000\frac{Q}{2g} w^2 (R_1^2 - R_2^2)$$

$$u_2^2 = u_1^2 - (v_1^2 - v_2^2) \quad (4.)$$

Nun soll das Wassertheilchen in [illegible] Geschwindigkeit austreten, wenn

$$\left.\begin{aligned} u_2 &= v_2 \\ \delta &= 0 \end{aligned}\right\} (5.)$$

$p = \frac{2R\pi}{ab}$, nun ist:

$\Omega = 2R_1\pi\sin\delta$, wenn das Wasser ringsum einströmt.

$$\left.\begin{aligned}\Omega &= \frac{2R_1\pi \sin\beta\,\delta}{p}\\ \Omega_1 &= \frac{2R\pi \sin\beta\,\delta}{p}\\ \Omega_2 &= \frac{2R_2\pi \sin\beta\,\delta}{p}\end{aligned}\right\}\ (6.)$$

Wegen (5) folgt aus (4): $U_1 = v_1$

$$0 = U^2 - 2U v_1 \cos\alpha.$$

$$0 = U - 2v_1 \cos\alpha$$

$$\frac{U}{2\cos\alpha} = v_1 = \frac{\sqrt{2gH}}{2\cos\alpha}$$; wegen $U_1 = v$ folgt

aus (1) $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin(\beta-\alpha)}{\sin\beta}$

$$\alpha = \beta - \alpha$$

$$\beta = 2\alpha$$

Nehmen wir nun (2) & (6) zusammen, so folgt aus

(2). $\Omega = \frac{Q}{Uk} = \frac{2R_1\pi \sin\alpha\,\delta}{p}$

$$\frac{Q}{Uk} = \frac{2\pi}{p}\sin\alpha\, R_1^2\left(\frac{\delta}{R_1}\right)$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{Qp}{2\pi \sin\alpha\, Uk}\left(\frac{R_1}{\delta}\right)}$$

$$\Omega_2 = \frac{Q}{u_2 k_2} = \frac{Uk\ 2R_1\pi \sin\alpha\,\delta}{p\, u_2 k}$$

$$= \frac{2R_2\pi \sin\beta\,\delta}{p}$$

$$Uk\,\frac{R_1 \sin\alpha}{u_2 k_2} = R_2 \sin\beta$$

$$\frac{k}{k_2}\frac{U}{u_2} R_1 \sin\alpha = R_2 \sin\beta$$

$$\frac{k}{R_2}\frac{U}{v_2} R_1 \sin\alpha = R_2 \sin\beta$$

$$\frac{U}{v_1 \frac{R_2}{R_1}} R_1 \sin\alpha = R_2 \sin\beta$$

$$\frac{U}{v_1} R_1^2 \sin\alpha = R_2^2 \sin\beta$$

$$\frac{\sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)}\, R_1^2 \sin\alpha = R_2^2 \sin\delta$$

$$\frac{\sin 2\alpha}{\sin\alpha}\, R_1^2 \sin\alpha = R_2^2 \sin\delta$$

$$\sin\beta = \sin 2\alpha = \sin\delta \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left(\frac{h_2}{h}\right)$$

$\frac{R_2}{R_1}$ ist innerhalb gewisser Grenzen willkürlich $\frac{3}{4} - \frac{4}{5}$
δ klein 15–20°.

$\beta = 4 - 5$, wenn nur 1 Einlauf, dagegen 2–4, bei 2 Einläufen

$\frac{R_1}{r}$ willkürlich $= \frac{1}{4}$, $U = \sqrt{2gH}$.

Der 4te Fall wäre nun, daß das Wasser außen einströmend außen ausströme. Es bleiben in diesem Falle alle Gleichungen, bis auf (4) und es ist

$$u_2^2 = u_1^2 - (v_1^2 - v_2^2) = 0$$

Es muß die ganze relative Geschw. mit welcher das Wasser in das Rad eingetreten ist durch die Centrifugalkraft aufgehoben werden, und es bestimmt sich eine Wirkungsgröße, die gleich ist:

$$\frac{1000\, Q}{2g}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1000}{2g}\, Q\, c^2$$

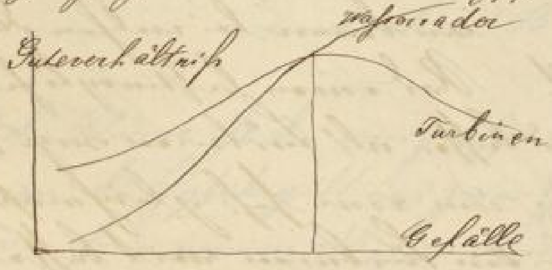
wobei c die Geschw. mit der das Wasser außen entkommt. Damit das Wasser ohne Geschwindigkeit austritt, müßte sein $c = 0$, $\beta = 0$.

$$v_1^2 - v_2^2 = v_1^2\,;\; v_2 = 0.$$

Dies kann nicht sein und ginge nur dann an, wenn die Schaufeln bis zur Axe reichen würden.

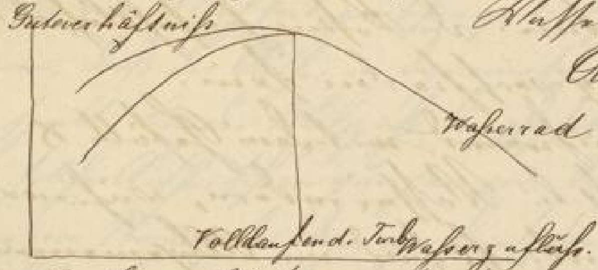
Stellen wir nun einen Vergleich zwischen der Effektleistung von Wasserrädern und Turbinen gegenseitig dar, betrachten ersteren aber hier rein objectiv.

Das Güteverhältniß $\frac{E_n}{E_a}$ einer Wasserkraft, müßte bei den Wasserrädern mit dem Gefälle, wie bei den versch. Arten derselben ersichtlich ist, und wir können mit oberschlächtigen Rädern einen Effekt von 80–85 % hervorbringen.



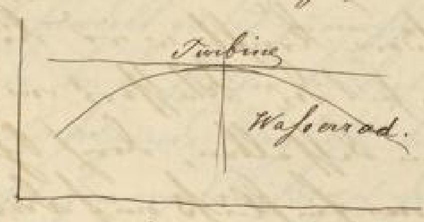
Bei den Turbinen hingegen nimmt der Effekt mit dem Gefälle ab; denn es geben dieselben bei kleinem Gefälle einen guten, für mittlere Gefälle, einen recht guten Effekt.

Nun wird man bei gewissen Effekten & Gefällen, beide brauchen können. Veränderungen im Wasserzufluss haben bei den Wasserrädern keinen erheblichen Einfluss, bringen hingegen bei den Turbinen erhebl. Verluste hervor; es wäre also in dieser Hinsicht die Wahl eines Wasserrades vortheilhafter. Es sind also im Allgemeinen die Wasserräder besser.



Mit der Änderung des Gefälles, wächst oder nimmt die vortheilhafteste Geschwindigkeit der Turbine ab, bei wachsendem Wasserzufluss wird der Effekt bei Wasserr. schlecht.

Veränderung des Gefälles.



Das Gefälle wird in der Regel kleiner, wenn die Wassermenge zunimmt; sind nun Gefälle und Wasserzufluss gleichzeitig veränderlich, die Wassermenge also zunimmt, während das Gefälle abnimmt, so taugen Wasserräder besser als Turbinen.

Sind beide gleich groß, so können die Constructionselemente sehr abweichen, von denen bei welchen das Rad einen bestmöglichen Effekt gibt. Wasserräder sind besser als Turbinen anzuordnen. Handelt es sich nur um eine sehr gleichmäßige Leistung, so sind für Fabriken Turbinen weit besser als Wasserräder. Was die Reibungswiderstände bei beiderseitigen Kraftmaschinen anbelangt, so werden sie ziemlich dieselben sein, jedoch verursachen die Stöße und Vibrationen, die bei schnellaufenden Maschinen vorkommen eine größere Abz. der Effektverluste bei größeren. Für langsamgehende Arbeitsmaschinen, wie Pumpwerke sind Wasserräder besser; für schnellaufende Arbeitsmasch. nimmt man besser eine Turbine. Die Kosten hinsichtlich des Wasserbaues werden wenig verschieden sein.
Es wächst jedoch der Kosten aufwand mit dem Gefälle & Wassermenge pro Pferdekraft bei Wasserrädern, während er bei den Turbinen abnimmt. Es sind im Allgemeinen die Turbinen billiger. Für kleine Kräfte wird das Wasserrad billig, die Turbine nie, für größere Kräfte wird die Turbine billiger. Was die Beschaffenheit des Wassers anbelangt, so haben Verunreinigungen desselben, durch Äste, Blätter, Baumzweige, etc keinen Einfluß auf das Wasserrad, für Turbinen aber mit kleinen Öffnungen, können Verstopfungen derselben eintreten und so eine Störung im Betriebe verursacht werden.