Bergmaschinenlehre

von

G. Fiedler

1849.

II. Man soll die Dimensionen von dem Querprofile eines Kunstgrabens angeben, der bei einem Gefälle von 3 Fuß auf seine Länge von 16000 Fuß pro Minute 1800 Kubikfuß Wasser fortführen, und dabei eine Uferböschung von 40° erhalten soll.

der Querschnitt des Grabens für Fußmaß ist $F = 0{,}0271.\left(\frac{m l Q^2}{h}\right)^{\frac{2}{5}}$ wo man für $m = 2{,}771.$ $l = 16000.$ $Q = 30$ setzt. Demnach wird:

$$F = 0{,}0271.\left(\frac{2{,}771.\,16000.\,30^2}{2}\right)^{\frac{2}{5}}$$

$$\text{"} = 0{,}0271.\left(\frac{39902400}{72.}\right)^{\frac{2}{5}}$$

$$\text{"} = 0{,}0271.\ \frac{1097{,}49.}{2.}$$

$F = 14{,}8709$ demnach wäre die Geschwindigkeit des Wassers

$$c = \frac{30}{14{,}9.} = 2{,}0 \text{ und } \zeta = 0{,}00744.$$

hieraus erhält man auch für

$$F = \left(\frac{0{,}00744\,.\,2{,}771.\,16000.\,30^2}{2gh.}\right)^{\frac{2}{5}}$$

$$= \left(\frac{0{,}00744.\ 39902400.}{62{,}52.}\right)^{\frac{2}{5}}$$

$$= (2375)^{\frac{2}{5}} = 22{,}401.$$

hieraus ergibt sich für $c = \frac{30}{22{,}5.} = 1{,}33.$
und die übrigen Dimensionen

$p = 2{,}771\sqrt{22{,}5} = 2{,}771.\ 4{,}743 = 13{,}142.$
$a = 0{,}722\sqrt{22{,}5} = 0{,}722.\ 4{,}743 = 3{,}424.$
$b = 0{,}525\sqrt{22{,}5} = 0{,}525.\ 4{,}743 = 2{,}490$
$na = 0{,}860\sqrt{22{,}5} = 0{,}860.\ 4{,}743 = 4{,}078$
$b + 2na = 2{,}240\sqrt{22{,}5} = 2{,}240.\ 4{,}743. = 10{,}624.$
a = Tiefe, b = untere Breite, na = absolute Böschung
$b + 2na$ = obere Breite.

II. Man soll für den letzten Graben eine Wasserstandsskala, welche Wassermengen von 1200–1800 Kubikfuß angibt, konstruieren

Mit Hülfe der Formel

$$\frac{Q_1 - Q}{Q} = (a_1 - a)\left(\frac{3b}{2F} - \frac{1}{p \sin\theta}\right)$$ läßt sich eine Wasserstandsskala konstruieren

$a_1 - a = \frac{1}{2}$ Fuß gesetzt giebt.

$$\frac{Q_1 - 30}{30} = \frac{1}{2}\left(\frac{3.\,10{,}62.}{2.\,22{,}4}\right) - \left(\frac{1}{13{,}14.\,0{,}6427}\right)$$

$$\frac{Q_1 - 30}{30} = \frac{1}{2}\left(\frac{31{,}86}{44{,}8} - \frac{1}{8{,}445}\right)$$

$$= 0{,}87.\ \frac{1}{2} = 43{,}05.$$

die Zunahme beträgt demnach für jeden halben Fuß 13,0 Kbfß und für jeden Zoll $\frac{13}{6}$ = 2,16. Kbfß oder jedem Kbfß entspricht eine Steigung von 0,46 Kbfß. da die Skala pro Sec. 20–30 Kbfß angeben soll, so braucht sie eine Höhe von $(30-20) \cdot 0,46 = 4,60$. Zoll.

Um das Wasserquantum zu finden, welches durch ein Gerinne fortgeführt wird, hat man erst das Wasser durch ein eingesetztes Bret ganz abgesperrt, und bis zu einer gewissen Höhe aufgestaut, nachher dasselbe um eine gewisse Höhe ~~aufgestaut~~ gezogen und von Zeit zu Zeit den sinkenden Wasserstand beobachtet, endlich aber das Bret wieder niedergelassen und die Zeit beobachtet in welcher es bis auf die erste Höhe gestiegen ist. die Zahlenergebnisse waren folgende.

Anfangsstand der Wasserspiegel

	unter Null	6,4"
	nach 15 Sec	7,9"
"	" 30 "	9,5"
"	" 45 "	11,1"
"	" 60 "	13,0"
"	" 75 "	14,5"
"	" 90 "	15,9"
"	" 105 "	17,3"
"	" 120 "	18,8"

die Gerinnsohle stand unter Null 30,1"

die Gerinnweite betrug — 30,5"

die Mündungshöhe oder der Schützenzug 6".

die Zeit des Steigens während des Absperrens — — — 78 Sec.

die Berechnung für den Ausfluß pro Sec. erfolgt durch die Formel

$$Q = \frac{\mu . F t \sqrt{2g \cdot 12}}{3(n-1)(T+t_1)} \left(\sqrt{h_0} + 4 h_1 + 2 h_2 + \dots + \sqrt{h_n}\right)$$

die Zahlenwerthe dafür eingesetzt giebt

$$\text{für } Q = \frac{0{,}61 . 6 . 30{,}5 . 78 . \sqrt{29 . 12'''}}{24 . (120+78)} \left(\sqrt{23{,}7} + 4\sqrt{22{,}9} + 2\sqrt{20{,}6} + 4\sqrt{19} + 2\sqrt{17{,}1} + 4\sqrt{15{,}6} + 2\sqrt{14{,}2} + 4\sqrt{12{,}8} + \sqrt{11}\right)$$

$$= \frac{0{,}61 . 303 . 78 . 25{,}6}{24 . 198} . (4{,}86 + 18{,}84 + 9{,}08 + 17{,}44 + 8{,}26 + 15{,}8 + 7{,}54 + 14{,}4 + 3{,}3)$$

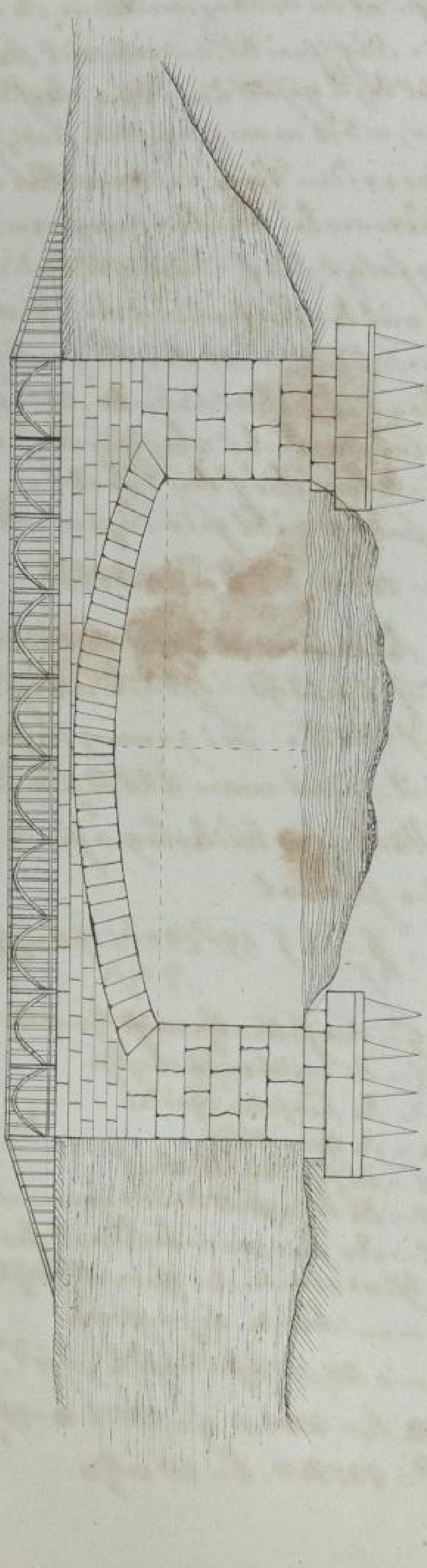
$$= \frac{0{,}61 . 303 . 78 . 25{,}6}{24 . 198} . 99{,}58.$$

= 4698,6 Kbzoll.

= 2,7 Kbfß. pro Secunde

= 162 Kbfß pro Minute.

IV. Man soll die Hauptdimensionen und statischen Verhältnisse einer steinernen Brücke von 150 Fuß Spannweite und 10 Fuß Bogenhöhe angeben.



Gesetzt die Gewölbstärke sei 7 Fuß. Wir wollen nun vorerst den Druck im Scheitel berechnen, der das Herabgleiten der Steine in den Fugen verhindert und dabei sowohl die Reibung der Steine, als die Last der auch ferner nicht berücksichtigen.

Wir theilen demzufolge die Gewölbhälfte in 6 Theile.

Angenommen das Gewölbe sei ein Kreisgewölbe, so ist der Halbmesser des Kreises

$r = \frac{75^2+100}{20} = 286,25$

der Centriwinkel der beiden Widerlagsfugen $\cos\alpha = \frac{2r^2-(150)^2}{2r^2} = 30^\circ 9'$ und

$\frac{\cos\alpha}{2} = 15^\circ 4' 30''$.

die äußere Bogenlänge beträgt 153,3 Fuß, die halbe demnach 76,65.

Wird jedes dieser einzelnen Bogenstücke als Trapez angenommen, so erhält man das Gewicht eines jeden Stückes von 1 Fuß Breite als Product 128.7.1 = 896 Kbfß.

Dies muß noch mit der Dichtigkeit multiplicirt werden.

Für die Mauerstücke die darüber liegen und als Trapeze angenommen werden können ist der Inhalt für das

1. Stück $1 . 12,77 \left(\frac{1,55+1}{2}\right) = 12,77 \cdot 1,27 = 15,2$ Pfd.
2. " $1 . 12,74 \left(\frac{2,66+1,55}{2}\right) = 12,74 \cdot 21 = 26,7$ Pfd.
3. " $1 . 12,68 \left(\frac{3,23+2,66}{2}\right) = 12,68 \cdot 2,94 = 34,9$ Pfd.
4. " $1 . 12,6 \left(\frac{5,45+3,23}{2}\right) = 12,6 \cdot 4,34 = 44,7$ Pfd.
5. " $1 . 12,5 \left(\frac{8,22+5,45}{2}\right) = 12,5 \cdot 6,83 = 85,4$ Pfd.
6. " $1 . 11,4 \left(\frac{11,52+8,22}{2}\right) = 11,4 \cdot 8,9 = 101,46$ Pfd.

Um 1 auf 2 zu erhalten ist die Kraft $P_1 =$

$(15,2+89,6)\,\mathrm{tg}\,(87^\circ 30' - 30^\circ) = 104,8\,\mathrm{tg}\,57^\circ 30' = 165,64$ Pfd.

um 2 auf 3 zu erhalten

$P_2 = (104,8+26,7+89,6)\,\mathrm{tg}\,(85^\circ - 30^\circ) = 221,1\,\mathrm{tg}\,55^\circ = 315,76$ Pfd.

um 3 auf 4 zu erhalten

$P_3 = (221,1+34,9+89,6)\,\mathrm{tg}\,(82^\circ 30' - 30^\circ) = 345,6\,\mathrm{tg}\,52^\circ 30' = 450,4$ Pfd.

um 4 auf 5 zu erhalten

$P_4 = (345{,}6 + 44{,}7 + 89{,}6)\, tg(80^\circ - 30^\circ) = 490 .\, tg\, 50^\circ = 584$ pfd.

um den auf 6 zu erhalten

$P_5 = (490 + 85{,}4 + 89{,}6)\, tg(77^\circ 30' - 30^\circ) = 665 .\, tg\, 47^\circ 30' = 725{,}7$ pfd.

um 1, 2 bis mit 6 auf den Widerlager nöthig

$P_6 = (665 + 101{,}46 + 89{,}6)\, tg(75^\circ - 30^\circ) = 856\, tg\, 45^\circ = 856$ pfd.

Als wirkliche Kraft muß man daher P_6 annehmen um zu sehen ob die Widerstandslinie die innere Wölblinie durchschneidet, und wie viel Kraft im Scheitel dazu gehört um dieser Drehung zu begegnen, muß man sowohl die statischen Momente der ersten Theile des Gewölbes als auch des Mauerwerkes darüber berechnen.

Dieß erfolgt durch Multiplikation des Inhaltes mit der Entfernung des Schwerpunkts vom Drehungspunkte der Fuge, die Summe dieser Producte dividirt man durch den Verticalabstand des Drehpunktes von der Horizontalen durch den Scheitel.

Die Rechnung gibt für diesen Druck:

$$P_0 = 1600 .\, 150 \text{ pfd} = 240000 \text{ pfd}.$$

Dieser Druck ~~von 240000 pfd~~ vertheilt sich aber auf 1.7. □ Fß = 1008 □″ oder für jeden Zoll auf 240 pfd. Bei zwanzigfacher Sicherheit nimmt man 225 pfd für den Zoll an.

Die Stärke der Widerlager findet man aus der Formel

$$e = -\frac{G}{h_1 \gamma} + \sqrt{\frac{1{,}9\, P(a+h) - Gb}{\frac{1}{2} h_1 \gamma} + \left(\frac{G}{h_1 \gamma}\right)^2}$$

hier ist G = dem halben ~~Gewicht~~ Gewölbe
h_1 = die mittlere Pfeilerhöhe
P = die Kraft im Scheitel
a = die Gewölbhöhe
h = die Höhe des Pfeilers
γ = die Dichtigkeit des Mauerwerkes
b = der Horizontalabstand der vertikalen Schwerlinie der Gewölbhälfte von der inneren Kante bezeichnet.

Geben wir 40 Fuß Pfeilerhöhe so ist

$$h = 40.\; h_1 = 40 + 6{,}5 \quad G = 85000 \quad a = 17 \quad \gamma = 150$$

$$P = 240000,\; b = 30 \text{ also.}$$

V Man soll für die Spannweite von 100 Fuß eine fahrende Brücke von 24 Fuß breit anordnen und berechnen.

$$c = -\frac{85000}{46,75 \cdot 150} + \sqrt{\frac{49 \cdot 240000 \cdot 57 - 85000 \cdot 30}{46,75 \cdot 75} + \left(\frac{85000}{46,75 \cdot 150}\right)^2}$$

$$c = -12,1 + \sqrt{8177}$$

$$c = -12,1 + 90 = 78 \text{ Fuß}$$

berücksichtigt man den passiven Erddruck und nimmt man der Einfachheit wegen an, daß er mit der Kraft des Schubs, welchem er entgegen wirkt, in einem Punkt angreift, so erhält man da dieser Druck gleich ist

$\frac{1}{2} h\gamma^2 (tg(45+\frac{\varphi}{2}))^2$ und der Winkel φ für feuchte Dammerde 43° ist.

$$P = 240000 - 100000 = 140000 \text{ also}$$

$$c = -12,1 + \sqrt{7263} = -12,1 + 85 = 73 \text{ Fuß}$$

die Differenz ist unbedeutend.

Theilt man die ganze Länge in 3 Theile, so ist jeder 50 Fuß also noch geeignet, für sich von einem doppelten Hängewerk getragen zu werden. Nehmen wir als Belastung der Brücke für jeden □ Fuß 50 ℔ an, so ist das Gewicht einer Hängesäule 10000 ℔ da jedes Paar ⅓ zu tragen hat. Erhalten die Streben 22½° Neigung so erhält man den Horizontalschub in den Spannriegel gleich

$$\frac{1}{2} \cdot \cot 22\tfrac{1}{2}^\circ \, 10000 = 12071 \text{ ℔}$$

und die Spannung in einer Strebe

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{10000}{\sin 22\frac{1}{2}} = 13066.$$

Ist der Festigkeitsmodul = 7400 und die nöthige Sicherheit 20fach, so erhält man den Querschnitt der Spannriegel zu $\frac{12071 \cdot 20}{7400} = 33 \,\square''$

und den der Streben $\frac{13066 \cdot 20}{7400} = 35 \,\square''$

die Hängesäulen würden demnach eine Stärke von $\frac{20 \cdot 10000}{7400} = 27 \,\square''$ erhalten müssen.

[illegible] Juni 49.

[illegible]

7) Man soll für dieselben Verhältnisse eine Kettenbrücke anordnen und berechnen.

Geben wir der Brücke auch diese Länge 15 Fuß Bogenhöhe und 45 Hängeeisen so bekommen wir $45-1 = 44$ Theile zu 3,409 Fuß. Die Länge dieser Hängeeisen ist von der Mitte ausgegangen 0, $\frac{15}{22^2}=0{,}031$. $\frac{4\cdot 15}{22^2}=0{,}124$. $\frac{9\cdot 15}{22^2}=0{,}279$. und so fort oder wenn man zu jedem 2" addirt 2", 2,37", 2,46", 5,35", 7,95", 11,3", Die Maximalbelastung der halben Brückenbahn ist, für jeden Quadratfuß 42 Pfd gerechnet, $75.42.24=75600$ Pfd und wiegt die übrige vollkommen armirte Bahn ebensoviel, so erhalten wir als Last 151200 Pfd folglich die Querschnitte sämmtlicher Hängeeisen

$$\frac{151200}{2190}=68{,}1\,\square''$$

Hängen wir die ganze Bahn an $2.45=90$ Hängeeisen an, so folgt für den Querschnitt eines jeden $\frac{2.681}{2.45}=1{,}5\,\square''$ also der Durchmesser (bei runden) $=1{,}4''$. Nach der Quadratur der Parabel hat man die mittlere Länge eines Hängeeisens $=\frac{1}{3}$ der Länge des längsten, hier also $=\frac{15}{3}=5$ Fuß oder die 2" zugerechnet werden 5,17 Fuß daher das Volumen aller $90.62''.1{,}6=8928$ Kubikzoll und das Gewicht, den Kubikzoll $=0{,}29$ Pfd gerechnet, 2589 Pfd. Demnach haben die Ketten zu tragen eine Last G gleich $151200+1294{,}5=152494{,}5$ Pfd die Stärke der gesammten Kette ist nun

$$F=\frac{152494{,}5}{175000\cdot 0{,}3714-900\left(1+\frac{2}{3}\cdot 0{,}2^2\right)\gamma}$$

nach der Formel

$$F=\frac{G}{K\sin\alpha-b\left(1+\frac{2}{3}\left(\frac{a}{b}\right)^2\right)\gamma}$$

wo K der Festigkeitsmodul $=17500$.
b die Länge $=75.12=900''$
$\frac{a}{b}=\frac{15}{75}=0{,}2$.
$\gamma=0{,}29$ und
$\sin\alpha=\frac{2a}{\sqrt{b^2+4a^2}}=\frac{30}{\sqrt{75^2+30^2}}=0{,}3714$ ist)

oder $F = \frac{152494{,}5}{6231} = 24{,}4\,\square''$ also bei 4 Ketten, jede $6{,}1\,\square''$

Die Horizontalspannung H ist $G_1 \cot g\,\alpha$. G_1 ist $= 152494{,}5 +$ Gew. d. Kette. Dieses ist aber $= F.l\left(1 + \frac{2}{3}\left(\frac{a}{l}\right)^2\right)\gamma = 6551{,}4$ W $= 159046$ ℔. $\cot g\,\alpha$ ist $= \cot g\, 21^\circ 48'$ also $H = 397750$.

Die Spannung S am Ende ist $= \frac{G_1}{\sin\alpha} = \frac{159046}{\sin\alpha} = 428250$ ℔.

Der Verticaldruck auf den Pfeiler ist aber $V_2 = V + V_1 = S\sin\alpha + S_1\sin\alpha = 159046 + (159046 - 75600) = 242492$. Lassen wir die Ketten über Rollen gehen, deren Durchmesser sich zu dem der Zapfen wie 4:1 verhält, so erhalten wir bei einem Reibungscoefficient 0,25 die Zapfenreibung von $0{,}25 \cdot 0{,}25 \cdot 242492 = 15156$. Die Differenz der Spannungen ist aber 7649. 83446, es wird demnach ein Rollen eintreten.

Geben wir den Pfeiler 20 Fuß hoch und 6 Fuß breit, so finden wir für die Dicke, welche nöthig um das Umbiegen zu verhindern.

$$b^2 + \frac{242493}{20.6.130}\,b = \frac{2.157200.\cot\alpha}{6.130}$$
$$= \frac{141389{,}2}{390}$$
$$b^2 + 15{,}54\,b = 362{,}54$$
$$b = -7{,}77 + \sqrt{1509{,}42} = -7{,}77 + 9{,}71$$
$= 2$ Fuß.

Die Stärke der Widerlager bestimmt sich bei 26 Fuß breit und 20 Fuß dick zu $\frac{2.159046}{26.20.130} = 4{,}7$ Fuß.

Man soll die Höhe eines Wehres berechnen, durch welches das Wasser in einem 20' breiten und 4 Fuß tiefen Bache 5 Fuß aufgestaut wird, wenn einem voraus geschickten Nivellement zu Folge die Neigung des Flußbettes 0,00075 ist. Auch soll angegeben werden, wie groß denn die Wassertiefe 4000 Fuß oberhalb des Wehres ist und in welcher Entfernung vom Wehre die Aufstauung ein Zoll beträgt?

Man soll für ein Gefälle von 30 Fuß und ein Wasserquantum Q = 6 Kbkfuß p. S. die Anordnung und Berechnung eines oberschlägigen Wasserrades vollziehen.

Da die Geschwindigkeit nicht bedeutend sein wird, so nehmen wir ihren Coëfficienten ξ zu 0,0075 an. Fiß = 80, p = 24. Daher haben wir

$$0{,}00075\, s = \frac{0{,}0075 \cdot c^2 \cdot 24}{80 \cdot 2g}$$

$$0{,}00075 = \frac{0{,}0075 \cdot 3{,}0016}{10} c^2$$

$$1 = 0{,}048\, c^2 \text{ oder}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{0{,}048}} = 1{,}4.$$

Das Wasserquantum ist daher 80 · 1,4 = 112 Kfß. Die Stauhöhe y = 1'' entsprechende Stauweite ist

$$s = \frac{h + 0{,}828\left(a - \frac{v^2}{g}\right)}{\alpha}$$

wo h = 5 Fuß, a = 4 Fuß, v = 1,4 und α = 0,00075, folglich wird

$$s = \frac{5 + 0{,}828(4 - 0{,}06)}{0{,}00075} \cdot 10800 \text{ Fuß}.$$

Umgekehrt ist die der Stauweite s = 4000 Fuß entsprechende Stauhöhe y = ... nach

$$y = \frac{s \cdot \alpha}{h - \frac{1}{3}\left(a - \frac{v^2}{g}\right)}$$

$$= \frac{4000 \cdot 0{,}00075}{5 - \frac{1}{3} \cdot 3{,}06}$$

$$= 0{,}75000000, \text{ folglich}$$

$$y = 2{,}11 \text{ Zoll}.$$

Geben wir dem Rade 5 Fuß Geschwindigkeit und nehmen wir die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers $c = 1{,}5 \cdot c = 7{,}5$ Fuß, so brauchen wir zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit ein Gefälle $h_1 = \frac{v^2}{2g} = 0{,}016 \cdot 55{,}25 = 0{,}9$ Fuß. Lassen wir das Wasser durch eine Spannschütze einlaufen, so verlieren wir etwas. Nehmen wir diesen Verlust zu 5 % an, so erhalten wir nunmehr als nötige Höhe h_1

$h_1 = \frac{c^2}{\varphi^2 \cdot 2g} = \frac{7,5^2}{0,95^2 \cdot 2g} = 1$ Fuß, es bleibt sonach vom ganzen Gefälle nur noch das $h_2 = 30 - 1 = 29$ Fuß, das Radgefälle sonach 29 Fuß hoch. Ist die Kranztiefe 10'': so ist der Fassungsraum p. sec: bei der mittleren Geschwindigkeit von $\frac{5 \cdot 14}{14,5} = 4,8$ Fuß $= 480 \times e$ (e ist die Kranzbreite) da das Wasserquantum p. sec: = 6 Kubikfuß ist, so hat man $6 = 0,83 \cdot 4,8 \cdot e$ demnach $e = \frac{6}{0,83 \cdot 4,8}$.

Da aber nicht alle Schaufeln gefüllt werden, so nehmen wir den Füllungscoefficienten zu 4 an, und es wird dann die Kranzbreite $e = \frac{4 \cdot 6}{0,83 \cdot 4,8} = 6$ Fuß

Nach der Langsdorfschen Regel ergiebt sich als die passendste Schaufelanzahl $18 + 3 \cdot 14,5 = 61,5$ wofür wir 60 nehmen, es beträgt demnach der Centriwinkel zwischen je zwei Schaufeln $\frac{360}{60} = 6°$

Legen wir den Theilkreis in die Mitte der Kranztiefe und die Stoßschaufel so, daß sie 5/4 des Theilwinkels umfaßt, so ergiebt sich der Neigungswinkel nach der Formel $\tan \delta = \frac{v \cdot \sin(6^\circ \cdot 5/4)}{\frac{10}{2 \cdot R} \cos(6^\circ \cdot 5/4)}$ zu $87° 18'$

Da wir eisenblecherne Schaufeln anwenden, so können wir diese und zwar auf beigefügte Weise. Lassen wir das Wasser bei $13\frac{1}{2}°$ Abstand vom Scheitel, also in die zweite Schaufel eintreten. Damit der Strahl nicht an die Schaufel antreffe, muß man ihm eine bestimmte Richtung geben und zwar wird der nöthige Einfallwinkel durch die Formel

$\sin \varphi = \frac{v \cdot \sin \delta}{c}$ gegeben

Setzt $\varphi = 90° - 81°\,18' + \beta = 14°\,42'$ daher

$\varphi = 10°\,26'$ um soviel müsste der Strahl von der Richtung der Radschaufel abweichen. Die Neigung gegen den Horizont ist daher $14°\,42' + 13°\,30' - 10°\,26' = 17°\,46'$ und die relative Geschwindigkeit des eintretenden Wassers

$$c_1 = \frac{7 \sin(14°\,42' - 10°\,26')}{\sin 14°\,42'} = 2{,}05 \text{ Fß}$$

Zur Erzeugung dieser nöthigen Strahlrichtung wird man dem Schutzbrett und bodenfläche der Gerinnspitze die erforderliche Richtung geben müssen.

Berechnung der Leistung.

Die Füllung der Schaufeln beginnt bei $13\frac{1}{2}°$ Drehung. Der Ausguß wird beendigt sein, wenn die Radschaufel horizontal liegt, das geschieht bei einer Drehung von $\gamma = 90° + 90° - 8°\,42' = 171°\,18'$

Die Füllung einer jeden Schaufel beträgt $V = \frac{60 \cdot Q}{n \cdot u}$ da Radumdrehungen $\frac{60 \cdot v}{2r\pi}$

$= \frac{360}{\text{[illegible]}} = 3{,}3$ Umdrehungen

folglich ist der Querschnitt des Wasserprisma's $= \frac{360}{60 \cdot 3{,}3} = 0{,}311$ □Fß

Vernachlässigen wir die Fläche cdf der Schaufel und nehmen bloß das Trapez abcda, so ist dessen Inhalt, da

$bc = \frac{2r\pi \cdot 7\frac{1}{2}°}{360} = 1{,}9$ Fß $ab = 0{,}833$ Fß, $1{,}28$ □Fß

die Schaufel wird also und größer, wenn von diesem Trapeze ein Dreieck durch das allmälige Sinken abc abgeschnitten wird, welches $1{,}28 - 0{,}3 = 0{,}98$ □Fß hat. Dieses Dreieck ist dann ca der 3/4 Theil des ganzen Trapezes. Durch einfache Rechnungen zeigt sich, daß dieses Dreieck entsteht, wenn man von a nach dem besten Mittel von bc eine Gerade zieht. Liegt diese bei dem Sinken horizontal, so fängt die Schaufeln, auszugießen. Dies wird aber bei dem Winkel von 90° − ∠ bla statt, hindem die da bla = 26°46' bei 63°14' Drehung statthaben. Die Schaufeln sind daher vollkommen gefüllt von 90 + 63°14 − 13°30' = 139°44' unvollkommen gefüllt aber während 81°18' − 63°14' = 18°4'.

Da aber die Schaufeln während des Ausgießens im Bogen immer weniger gefüllt sind, so müssen wir einen Füllungscoefficienten einführen. Sehen wir das Dreieck acd der Einfachheit wegen für ein rechtwinkliges an, so ist dessen Inhalt $= \frac{ad^2}{2} tg\,\gamma$, wo $\gamma = 26°46' - 8°42' = 18°4'$.

Der Inhalt dieses sich mit der Drehung gleichmäßig vermindernden Dreiecks bei den verschiedenen Stellungen wird demnach durch den Winkel γ in seinen verschiedenen Werthen bestimmt. Die Summe aller dieser Dreiecke ist aber nun $= \frac{ad^2}{2}\int^{18°4'} tg\,\gamma\, d\gamma$, da $\int tg\,\gamma . d\gamma = -lg\cos\gamma$ ist $= \frac{ad^2}{2} lgn \cos\gamma$, wenn man für γ 18°4' und 0° einzusetzen hat. Es ergiebt sich danach als Summenverhältniß 2,04 und da sich dies auf drei Schaufeln vertheilt so ist das Füllungsverhältniß $= \frac{2,04}{3} = 0,68$.

Es ist daher die Leistung

$L = 6h\gamma + 6q . h . \gamma$

$= 6 . 66 . \frac{29}{2}(\sin(90° - 13\tfrac{1}{2}°) + \sin 63°14')$

$+ 0,68 . 66 . 6 (\frac{29}{2} \sin 81°18' - 12,94$

$= 10103,88 + 400 = 10503,88$ Fpf.

Dazu kommt noch die Nebenleistung diese ist aber $= (c_1 \cos\mu - 8/4 . Q . \gamma$

$= (7,5 \cos(13\tfrac{1}{2}° - 8°42') - 4,8) 4,8 . 6 . 2,112$

$= 162,41$ Fpf. folglich

$L = 10503,88 + 162,41 = 10666,29$ Fpf.

Hiervon geht noch die Zapfenreibung ab.

das Gewicht des Rades zu 35000 ℔ angenommen so ist die Zapfenstärke $d = 0{,}048\sqrt{35000}$ Zoll $= 0{,}048 \cdot 187 = 8{,}97 = 10''$ daher die Arbeit $= 0{,}0002116\, u \cdot f \sqrt{35000^3}$ und da $u = 3{,}3$

$f = 0{,}6$

$$L_1 = 0{,}0002116 \cdot 3{,}3 \cdot 0{,}6\sqrt{548500}$$
$$= 2750$$

Es bleibt demnach als wahre Leistung $10666{,}2 - 2750 = 7916$ Fußpfund.

Es ist für die letzte Wasserkraft die Anordnung und Berechnung einer Jonval'schen Turbine zu machen.

Die Radschaufelwinkel β wird demselben willkürlich an, [illegible] 105° letzteren möglichst klein, 15° und ihm folgt der Leitschaufelwinkel α.

$\cot\alpha = \cot\beta + \frac{1}{\sin\delta}$ woraus $\alpha = 13^\circ 44'$

Es folgt daher für die Radgeschwindigkeit v nach der Formel

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{2\frac{\sin\beta \cdot \cos\alpha}{\sin(\beta-\alpha)} + \varsigma\left(\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\right)^2 + k}}$$

$\varsigma = 0{,}15$ und $k = 0{,}10$ ist.

$v = 24{,}7$ Fuß woraus ergibt sich die Eintrittsgeschwindigkeit c nach der Formel

$$c = \frac{v \cdot \sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)} = 29 \text{ Fuß.}$$

der Querschnitt F_1 ist $= \frac{Q}{c} = \frac{6}{29} = 0{,}207$ □ Fuß

und der $F_2 = \frac{Q}{v} = \frac{6}{29{,}7} = 0{,}202$ □ Fuß

Nimmt man das Verhältnis $\frac{b}{r} = \nu = \frac{1}{3}$ so ist der mittlere Radhalbmesser

$$r = \sqrt{\frac{F}{2\pi \cdot \nu \sin\alpha}} = 0{,}205 \text{ Fuß oder besser}$$

0,25 (wegen der Schaufeldicke)

die Zellenweite ist $\frac{1}{2}d_1 = \frac{0{,}25}{2} = 0{,}105$

folglich die Schaufelanzahl $= \frac{0{,}207}{0{,}215 \cdot 0{,}105} = 9{,}1$

wofür ich 12 nehmen will.

Der Halbmesser des Wasserrads ist $r + \frac{b}{2}$

$= 0{,}645 + 0{,}105 = 0{,}75.$

also sein Querschnitt $= 1{,}76$ □ Fuß und die Geschwindigkeit des Wassers in ihm

$$\frac{Q}{F_2} = \frac{6}{1{,}76} = 3{,}41 \text{ Fuß welcher}$$

die Geschwindigkeitshöhe $0{,}016 \cdot 3{,}41^2 = 0{,}186$ Fuß entspricht.

Aus diesen Werthen ergibt sich die Leistung

$$L = (h + (\zeta c^2 + k c_1^2 + (v_1 \cdot \sin\delta)^2) : 2g)\, Q\gamma$$

in welcher Formel

$h = 30$ Fuß $\zeta = 0{,}15$ $c = 29.$ $k = 0{,}1.$ $c_1 = 29{,}7.$
$v = 29{,}7$ $\delta = 15^\circ$ $v_1 = 3{,}41.$ $Q = 6$, $\gamma = 66$ ist

diese Werthe eingesetzt, erhalten wir für L 10066 Fußpfund $= 19{,}72$ Pferdekräfte welche einem Wirkungsgrad von 0,856 entsprechen.

Da die Turbine 450 Umdrehungen pr. Min. macht, so ist die nöthige Wellenstärke $d = 6{,}12 \sqrt[3]{\frac{147}{450}} = 6{,}12 \cdot 0{,}35 = 2{,}1''$ wofür wir $2{,}5''$ setzen wollen. Dem Zapfen geben wir $2''$ Stärke und der Reibungsverlust ergibt sich daraus wenn wir ihr Gewicht zu 1200 Pfund rechnen pro Umdrehung zu $0{,}1 \cdot 1200 \cdot \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{1}{12} = 42$ Fußpfund oder so lange $\frac{450}{60} = 7\tfrac{1}{2}$ Umdrehungen geschehen

$$42 \cdot 7{,}5 = 315 \text{ Fußpfund.}$$