Aufgaben

aus der

Bergmaschinenlehre

gelöst

Bergacad. Lehrjahr $18\frac{46}{47}$. von

Carl Beyer.

Hydraulik.

1. Welche Weite hat man einer 5340 Fuß langen Röhrenleitung zu geben, welche bei 8 Fuß Gefälle täglich 7000 Kub. Fuß Wasser fortschafft.

Man erhält für das preußische Maß der Röhrendurchmesser in Füßen:

$$d = 0,4817 \sqrt[5]{(1,505\, d + \zeta_1 l)\frac{Q^2}{h}}$$

Hier ist $Q = \frac{7000}{24.60.60} = \frac{35}{432}$ also

$$d = 0,4817 \sqrt[5]{(1,505\, d + 5340\, \zeta_1)\frac{1}{8}\cdot\left(\frac{35}{432}\right)^2}$$

$$= 0,4817 \sqrt[5]{(1,505\, d + 5340\, \zeta_1)\, 0,00077877}$$

$$= 0,4817 \sqrt[5]{0,0011724 . d + 4,15986\, \zeta_1}$$

$\zeta_1 = 0,02$ gesetzt giebt annähernd:

$$d = 0,4817 \sqrt[5]{0,0011724 . d + 0,0831972}$$

$$= 0,4817 \sqrt[5]{0,0831972}$$

$= 0,293$ Fuß also genauer

$$d = 0,4817 \sqrt[5]{0,0011724 . 0,293 + 0,0831972}$$

$= 0,2932$ Fuß

Dieser Weite entspricht der Durchschnitt $F = \frac{\pi}{4} d^2 = 0,7854 . 0,2932^2$ und die Geschwindigkeit: $v = \frac{\frac{35}{432}}{0,7854 . 0,2932^2} = 1,2$ Fuß

Für diese Geschwindigkeit ist c_1 nicht 0,02 sondern 0,029 zu setzen, wonach

$$\partial = 0{,}4817\sqrt{0{,}0011724 \cdot 0{,}2932 + 4{,}15986 \cdot 0{,}029}$$

$= 0{,}32$ Fuß $= 3{,}84$ Zoll wird.

2. Um auf einer Strecke von 4985 Fuß Länge eine Wassermenge von 800 Cub. Fuß pr. min. bei 3 Fuß Gefälle fortzuleiten, will man einen Canal mit trapezoidalem Querprofile anwenden; welche Dimensionen sind nun demselben zu geben, wenn man die Böschung $\frac{1}{2}$ anwendet.

Für Fußmaß ist der Querschnitt des Canals mit den geringsten Bewegungshindernissen: $F = 0{,}0271\left(\frac{m\,l\,Q^2}{h}\right)^{\frac{2}{5}}$

Hier ist $Q = \frac{800}{60} = \frac{40}{3} = 13{,}333$ Cub. Fuß und für die Böschung $\frac{1}{2}$, $m = 2{,}65$ zu nehmen, wonach:

$$F = 0{,}0271\left(\frac{2{,}65 \cdot 4985\left(\frac{40}{3}\right)^2}{3}\right)^{\frac{2}{5}}$$

$= 6{,}172146$ □ Fuß folgt.

Hiernach ist die Geschwindigkeit.

$c = \frac{40}{3 \cdot 6,172146} = 2,16$ Fuß und für diese aus den Tabellen $C = 0,00752$ zu nehmen. Dies giebt:

$$F = \left(C \cdot \frac{m l Q^2}{2gh}\right)^{\frac{2}{5}}$$
$$= \left(0,00752 \cdot \frac{2,65 \cdot 4985}{62,5 \cdot 3}\left(\frac{40}{3}\right)^2\right)^{\frac{2}{5}}$$
$$= 6,1603 \text{ □ Fuß.}$$

Ist der Böschungswinkel θ so hat man:

$\sin\theta = \frac{2}{\sqrt{5}}$, $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{5}}$, $\operatorname{cotg}\theta = \frac{1}{2}$.

Man erhält somit die Tiefe des zweckmäßigsten Querprofils:

$$a = \sqrt{\frac{F \cdot \sin\theta}{2 - \cos\theta}} = \sqrt{\frac{6,1603}{\left(2 - \frac{1}{\sqrt{5}}\right)} \frac{2}{\sqrt{5}}}$$
$= 1,8837$ Fuß und die untere Breite desselben

$$b = \frac{F}{a} - a \operatorname{cotg}\theta = \frac{6,1603}{1,8837} - \frac{1}{2} \cdot 1,8837$$
$= 2,3284$ Fuß. Die obere Breite?

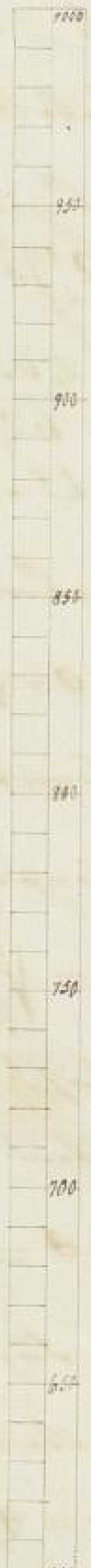
Die obere Breite ist:

$b_1 = b + a = 4,2521$ Fuß.

3. Es ist für denselben Canal eine Wasserstandsscala anzufertigen, welche die Wassermengen innerhalb der Grenzen 600 bis 1000 Kub. Fuß richtig angiebt.

Für die Wasserstandsscala hat man

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



$$\frac{Q_1 - Q}{Q} = (a_1 - a)\left(\frac{3(1,8837 + 2,3284)}{2 \cdot 6,1603} - \frac{1}{\frac{2}{\sqrt{3}}\left(2,3284 + \frac{2,188}{\sqrt{3}}\right)}\right)$$

$$= 0,854693$$

Man erhält somit, da $Q = 800$ K. Fuß ist:

$$Q_1 = 800 + 800 \cdot 0,854693(a_1 - a)$$

$$= 800 + \frac{a_1 - a}{0,0014626}$$

Ist die Differenz der Wasserstände

$(a_1 - a) = 0,0014626$ Fuß $= 0,01755$ Zoll

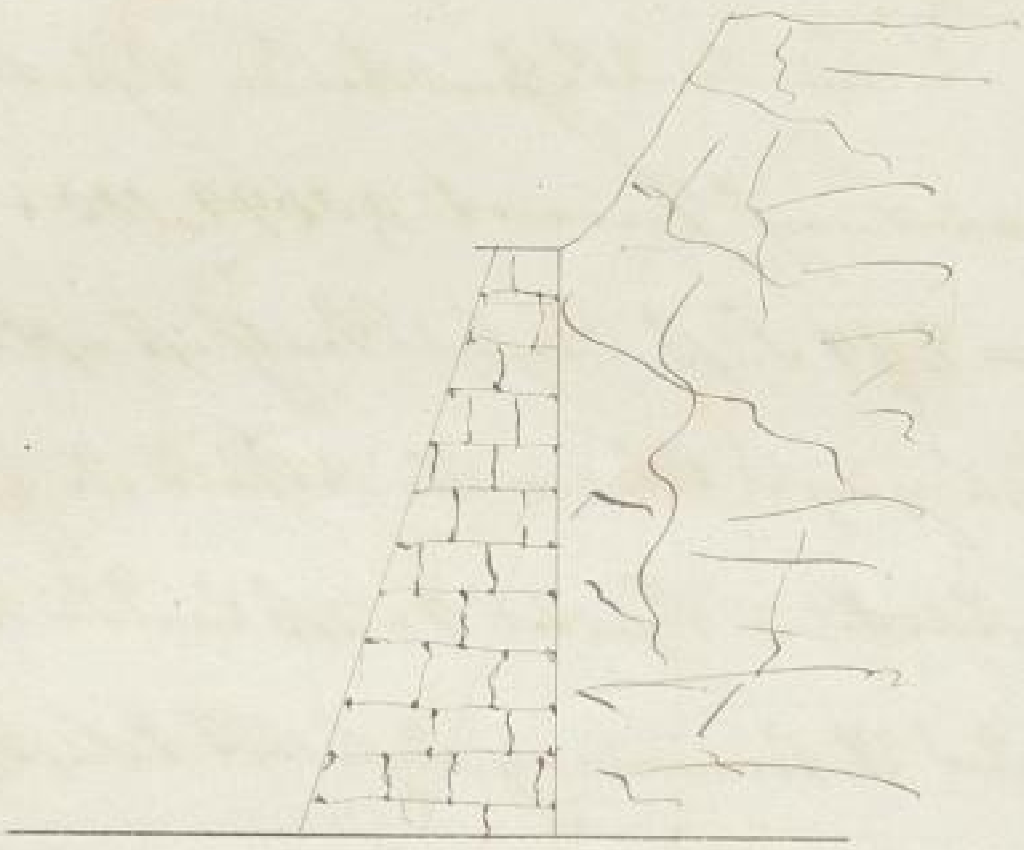
so beträgt die Veränderung des Wasserquantums 1 Kub. Fuß pro min. Einer Veränderung von 10 Kub. Fuß entsprechen also 0,1755 Zoll, einer Veränderung von 200 Kub. Fuß: 3,51024 Zoll und einer Veränderung von 400 Kub. Fuß 7,02 Zoll. Um daher eine Wasserstandsskala zu erhalten, welche eine Veränderung von 10 Kub. Fuß pro min angiebt wird man sie 7,02 Zoll lang machen und in 40 Theile theilen.

Ges. im Decbr. 1846. [illegible]

Anwendung der Mechanik auf Bauwerke

1. Man soll die Stärke einer 25 Fuß hohen Futtermauer angeben, welche den Druck eines 35 Fuß hohen Haldensturzes aufzuhalten hat.

Ist b die obere Mauerdicke, h die Höhe der Mauer, h_1 die Differenz zwischen der Höhe des Haldensturzes und der Mauer, nehmen wir nun die Böschung $n = \frac{1}{3}$, den Stabilitätscoefficienten $\delta = \frac{9}{4}$ die Dichtigkeit der Mauer $\gamma_1 = 2,4 . 66 = 158,4$ ℔ die Dichtigkeit des Haldensturzes $\gamma = 1,3 . 66 = 85,8$ ℔ und den Reibungswinkel $\rho = 50^0$, so ist:



$$b = -nh + \sqrt{\frac{\delta\gamma}{3\gamma_1}\frac{(h+h_1)^3}{h}\left[tg\left(45-\frac{\rho}{2}\right)\right]^2 + \frac{1}{3}n^2h^2}$$

$$= -\frac{1}{3}.25 + \sqrt{\frac{\frac{9}{4}.85,8}{3.158,4}\frac{35^3}{25}\left[tg\left(45^0-\frac{50}{2}\right)\right]^2 + \frac{1}{3}.\frac{1}{3}^2 25^2}$$

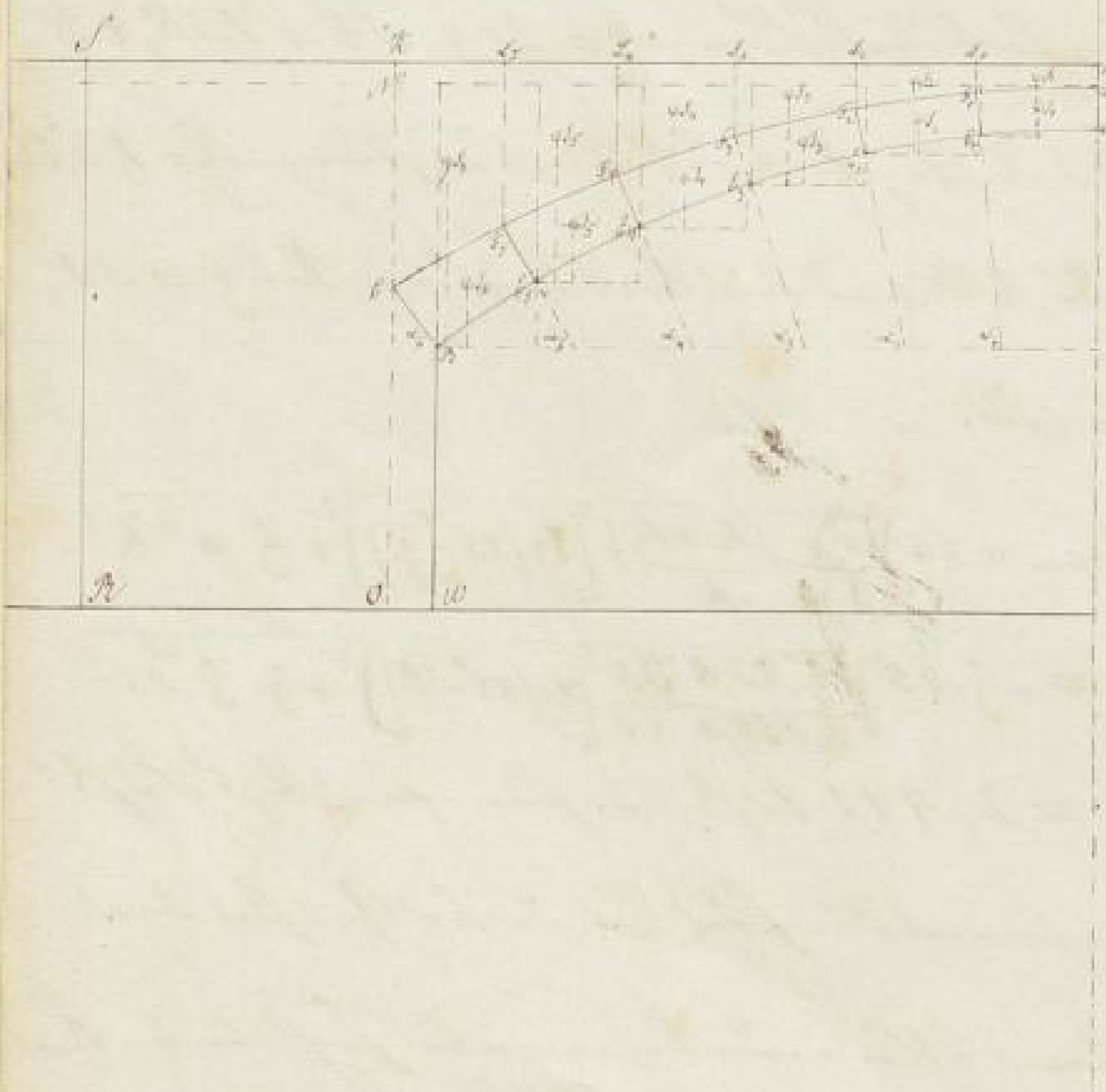
$= 2,411$ Fuß, wofür man 2,5 Fuß nehmen dürfte. Bei dieser Größe der oberen Mauerdicke, ergäbe sich die untere zu $2,5 + \frac{1}{3}.25 = 10,83$ Fuß.

Für eine Böschung $n = \frac{1}{4}$ wird

$$b = -\frac{1}{4}.25 + \sqrt{92,297 + \frac{1}{3}\left(\frac{1}{4}\right)^2 25^2} = 3,77 \text{ Fuß}$$

daher die untere Breite $3,77 + \frac{1}{4}.25 = 10,02$ Fuß.

5. Es sollen für eine Thalüberbrückung von 120 Fuß Länge 20 Fuß Breite und 50 Fuß Höhe drei Projecte nämlich eine steinerne eine hölzerne und eine Kettenbrücke bearbeitet werden.



Steinerne Brücke

Nehmen wir an das Thal werde mit einem einzigen Bogen von 100 Fuß innern und 120 Fuß äußern Durchmesser überspannt.
Die Stärke des Gewölbes im Scheitel wäre nach Perronet: $0,0694 . 100 + 1 = 7,94$ Fuß. Dieser Werth ist offenbar zu groß. Wir wollen deshalb die Gewölbstärke im Scheitel 4 Fuß und die Stärke der Uebermauerung daselbst 2 Fuß setzen und die Stabilitätsverhältnisse eines solchen Gewölbes untersuchen.
Theilen wir das Gewölbe in sechs Theile und bestimmen wir die Inhalte, Schwerpunkte und Hebelarme der Gewölbstücke sowohl als der zugehörigen Uebermauerung, so erhalten wir folgende Data:

Inhalte der Gewölbstücke.	Inhalte der zugehörig. Uebermauerung
$AF_1 = 44,55$ □f	$DL_1 = 23,52$ □f
$E_1F_2 = 46,2$ „	$F_1L_2 = 33,3$ „
$E_2F_3 = 48,95$ „	$F_2L_3 = 56,13$ „
$E_3F_4 = 53,35$ „	$F_3L_4 = 88,81$ „
$E_4F_5 = 59,95$ „	$F_4L_5 = 130$ „
$E_5C = 69,3$ „	$F_5K = 173,46$ „

Hebelarme der Horizontalkräfte in D in Bezug auf	Horizontale Entfernung der Puncte
$E_1 = 5$ Fuß.	A und $E_1 = 10,6$ Fuß
$E_2 = 6,3$ „	E_1 und $E_2 = 10,55$ „
$E_3 = 9,1$ „	E_2 und $E_3 = 10,35$ „
$E_4 = 13,1$ „	E_3 und $E_4 = 10,$ „
$E_5 = 18,$ „	E_4 und $E_5 = 9,65$ „
$B = 24$ „	E_5 und $B = 8,8$ „

Hebelsarme der Gewölbstücke und der Uebermauerung in Bezug auf E_1, E_2 etc.

von $AF_1 = 5,2$ Fuß	von $DL_1 = 5$ Fuß
— $E_1F_2 = 4,8$ „	— $F_1L_2 = 4,2$ „
— $E_2F_3 = 4,4$ „	$F_2L_3 = 3,3$ „
— $E_3F_4 = 3,8$ „	$F_3L_4 = 2,5$ „
— $E_4F_5 = 3,2$ „	$F_4L_5 = 1,5$ „
— $E_5C = 2,2$ „	$F_5K = 0,6$ „

In Bezug auf die Drehung um die Punkte E_1, E_2, E_3 etc erhält man nun die Horizontalkräfte H_1, H_2, H_3 etc im Punkte D:

In Bezug auf E_1:

$$H_1 = \frac{44{,}55 \cdot 5{,}2 + 23{,}52 \cdot 5}{5} = 69{,}852 \ \gamma ℔.$$

In Bezug auf E_2:

$$H_2 = \frac{46{,}2 \cdot 4{,}8 + 33{,}3 \cdot 4{,}2 + 349{,}26 + (44{,}55 + 23{,}52)10{,}3}{6{,}3}$$

$$= 226{,}83 \ \gamma ℔.$$ In Bezug auf E_3

$$H_3 = \frac{48{,}95 \cdot 4{,}4 + 56{,}13 \cdot 3{,}3 + 1429{,}0185 + (44{,}55 + 23{,}52 + 46{,}2 + 33{,}3)10{,}35}{9{,}1} = \frac{3356{,}977}{9{,}1}$$

$$= 368{,}9 \ \gamma ℔.$$ In Bezug auf E_4

$$H_4 = \frac{53{,}35 \cdot 3{,}8 + 88{,}81 \cdot 2{,}5 + 3356{,}977 + (44{,}55 + 23{,}52 + 46{,}2 + 33{,}3 + 48{,}95 + 56{,}13)10{,}05}{13{,}1}$$

$$= \frac{6320{,}8645}{13{,}1} = 482{,}51 \ \gamma ℔.$$

In Bezug auf E_5

$$H_5 = \frac{59{,}95 \cdot 3{,}2 + 130 \cdot 1{,}3 + 6320{,}8645 + (44{,}55 + 23{,}52 + 46{,}2 + 33{,}3 + 48{,}95 + 56{,}13 + 53{,}35 + 88{,}81)9{,}65}{18}$$

$$= \frac{10517{,}621}{18} = 584{,}31 \ \gamma ℔.$$

In Bezug auf B.

$$H_6 = \frac{69{,}3 \cdot 2{,}2 + 173{,}46 \cdot 0{,}6 + 10517{,}621 + \left(\begin{array}{l} 44{,}55 + 23{,}52 + 46{,}2 + 33{,}3 + 48{,}95 \\ + 56{,}13 + 53{,}35 + 88{,}81 + 59{,}95 + 130 \end{array}\right) 8{,}8}{24}$$

$$= \frac{15920{,}045}{24} = 663{,}335 \ \gamma ℔$$

Da dieser Werth unter allen gefundenen

Drucken angewiesen ist, so läßt sich der
Druck im Gewölbscheitel ihm gleichsetz.
$P = 663,335$ oder die Festigkeit der
Mauer = 150 Pfund angenommen
$P = 663,335 \cdot 150 = 99500$ Pfund
setzen. Die Dicke des Gewölbes im Schei-
tel ist = 4 Fuß also der Querschnitt
für jeden Fuß Gewölblänge 12.12.4
= 576 Quadratzoll und so auch der
Druck auf 1 Quadratzoll = $\frac{99500}{576}$
= 172,57. Es wird demnach das Ge-
wölbe hinreichende Stabilität gewähren,
da dasselbe unbeschadet der Festigkeit
250 Pfund belangen kann.
Für die Kraft zur Verhinderung des
Herabgleitens der Gewölbsteine,
da die Fugen $E_1 F_1$, $E_2 F_2$ etc. unter den
Winkeln $\alpha_1 = 83^\circ 51'$ $\alpha_2 = 77^\circ 42'$
$\alpha_3 = 71^\circ 33'$ $\alpha_4 = 65^\circ 24'$, $\alpha_5 = 59^\circ 15'$
und $\alpha_6 = 53^\circ 6'$ gegen den Horizont
geneigt sind, wenn man den Reibungs-
winkel mit Recht zu 30° annimmt.
$P_1 = (44,55 + 23,52)\, tg(83^\circ 51' - 30^\circ) = 93,176$ Ctr.

$P_2 = (68{,}07 + 46{,}2 + 33{,}3)\, tg(77^\circ 42' - 30^\circ) = 162{,}18$ z

$P_3 = (147{,}57 + 48{,}95 + 56{,}13)\, tg(71^\circ 33' - 30^\circ) = 223{,}92$ z

$P_4 = (252{,}65 + 53{,}35 + 88{,}81)\, tg(65^\circ 24' - 30^\circ) = 280{,}58$ z

$P_5 = (394{,}81 + 59{,}95 + 130)\, tg(59^\circ 15' - 30^\circ) = 327{,}26$ z

$P_6 = (584{,}76 + 69{,}3 + 173{,}46)\, tg(53^\circ 6' - 30^\circ) = 352{,}93$ z

Da die letztere Kraft zum Verhindern des Herabgleitens kleiner als die Spannung im Scheitel ist, so wird auch ein Herabgleiten nicht eintreten.

Der Minimalwerth der Kräfte zum Hinausschieben eines Gewölbsteins ist

$P_6 = 827{,}42 .\, tg(53^\circ 6' + 30^\circ) = 683{,}74$ z

also größer als die Spannung im Scheitel, somit findet auch kein Hinausschieben statt.

Leicht ist auch zu ersehen, daß bei einem solchen flachen Gewölbe ein Drehen um die Kanten F_1, F_2, F_3 etc nicht zu befürchten steht.

Was nun die Stärke der Widerlager anbelangt, so erhält man, wenn man das Moment zum Umstürzen der Sicherheit wegen 1,9 mal nimmt, ferner

$SW = 4$ Fuß und $\frac{60 + BW}{2} = 26{,}6$ Fuß folgt und die Horizontalkraft in D wirkend nimmt, für die Dicke der Widerlagen x:

$$1{,}9.663{,}335.48y = \frac{x}{2}(x.50y) + (x+2)(4.26{,}6) + 15920{,}045 + 827{,}42(x+4)$$

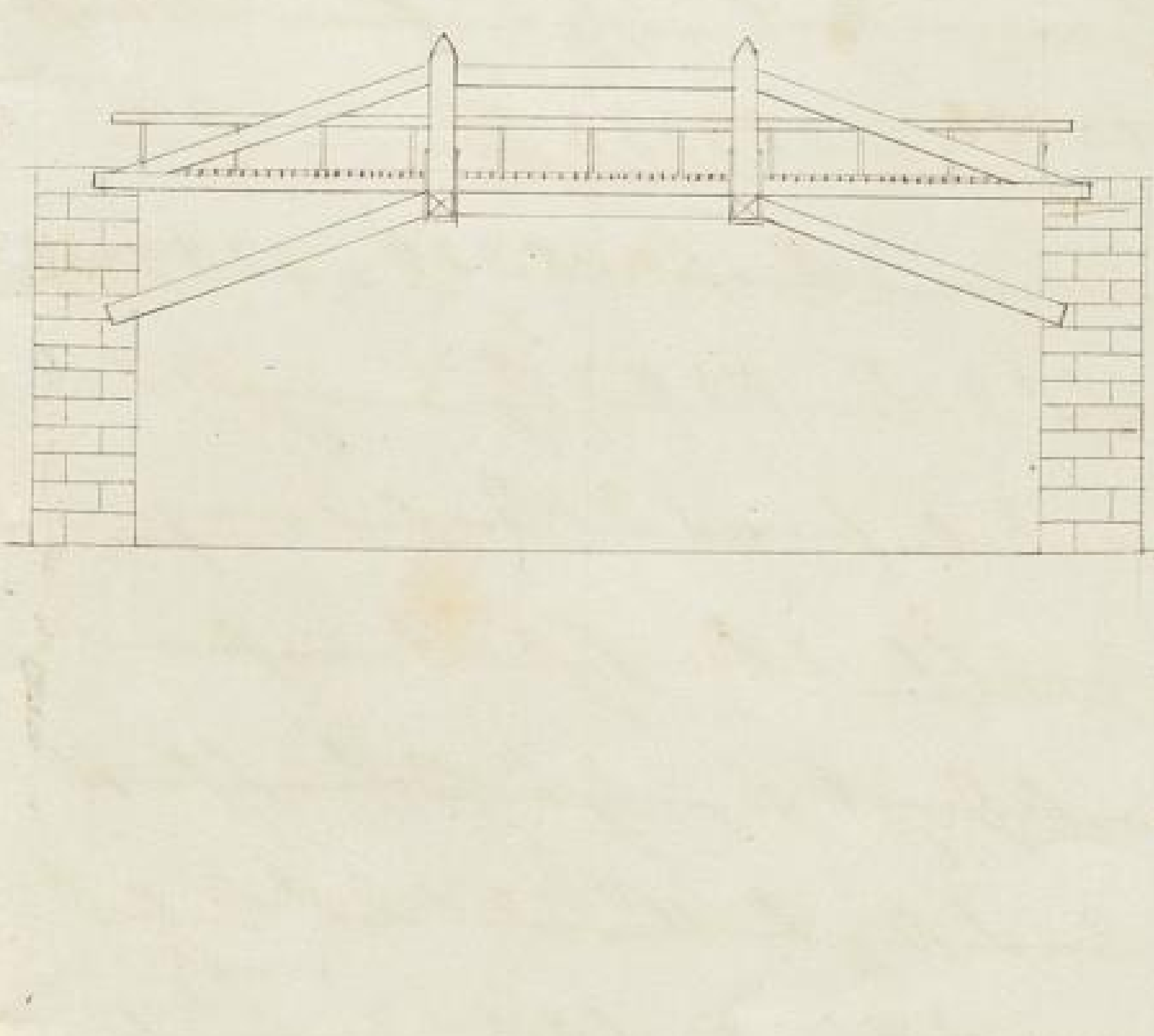
$$41053{,}627 = (5x)^2 + 933{,}82x$$ woraus

$x = 28$ Fuß folgt so daß

$RW = 28 + 4 = 32$ Fuß wird.

Hölzerne Brücke

(Etwas zu lang.)



Wendet man zur Ueberbrückung des Thales eine aus dem Hänge- und dem Sprengwerke bestehende Brücke an. Setzen wir die Belastung eines Quadratfußes der Brücke nebst Gewicht dieser 60 Pfund so beträgt das ganze Gewicht der Brücke $120.20.60 = 144000$ Pfund. Liegen die Hängesäulen und Unterzüge in $\frac{1}{3}$ der Länge der Brücke von den Widerlagen entfernt, so beträgt die in diesen Punkten wirkende Kraft $\frac{144000}{3} = 48000$ Pfund. Nehmen wir nun der Sicherheit wegen an, daß diese Last so wohl vom Hänge-

als auch vom Sprengwerk allein auf-
genommen werden kann. Bei 10 Fuß
Höhe der Hängesäulen, also bei
einer Neigung $\delta = 20^\circ 34'$, welche aus
$tg\, \delta = \frac{10}{\frac{120}{3}}$ folgt, ergiebt sich der
Horizontalschub des Sprengwerks
$H = \frac{1}{2} \cdot 48000 \cot g\, 20^\circ 34' = 64000$ Pfund
und der Schub in den Streben:
$S = \frac{48000}{2 \cdot \sin 24^\circ 34'} = 68320$ Pfund.
Da sich aber diese Kräfte auf
drei Spannriegel und drei Streben
vertheilen, so ist die von einem
Spannriegel aufzunehmende Kraft
$\frac{64000}{3} = 21333,3$ Pfund, und die
von einer Strebe $\frac{68320}{3} = 22773,3$ Pf.
Was die Stärke der Spannriegel, die
wir ebenso wie die Streben von qua-
Warum stets quadratisch. dratischem Querschnitt annehmen,
anbelangt, so folgt ihr Querschnitt
der Festigkeit wegen, wobei das Holz
1400 Pfund gesetzt und ~~zehnfache~~ zwanzigfache
Sicherheit gegeben: $F = \frac{21333,3 \cdot 20}{1400}$
$= 57,73$ Quadratzoll. Dies gibt

für das Zerdrücken. Für das Zerknicken erhält man die Breite des Spannriegels

$$b = \sqrt[4]{\frac{48 . P\, l^2}{\pi^2 . \frac{E}{20}}} = \sqrt[4]{\frac{48 . 21333{,}3 . 3 . (12.40)^2}{\pi^2 . \frac{1800000}{20}}}$$

$= 22{,}7$ Zoll.

Für die Streben erhält man gegen das Zerdrücken $F = \frac{22773{,}3 . 3 . 20}{7400} = 61{,}6$ Quadratzoll. Gegen das Zerknicken findet man die Stärke der Strebe:

$$b = \sqrt[4]{\frac{48 . 22773{,}3 (40^2 + 10^2) 12^2}{\pi^2 . \frac{1800000}{12}}}$$

$= 23{,}74$ Zoll.

Um die Säulenbalken nicht in der Mitte durch ein Hängewerk zu unterbrechen würde man nur zwei Hängewerke zur Seite anbringen. In diesem Falle erhält man die Kraft im Spannriegel $\frac{64000}{2} = 32000$ und die in der Strebe $\frac{68320}{2} = 34160$ Pfund. Hiernach folgt die Stärke des Spannriegels:

$$b = \sqrt[4]{\frac{48 . 32000 (12.40)^2}{\pi^2 \frac{1800000}{20}}} = 25{,}1 \text{ Zoll}$$

und die Stärke der Streben:

$$b = \sqrt[4]{\frac{48 . 34160 (40^2 + 10^2) 12^2}{\pi^2 . \frac{1800000}{20}}} = 25{,}94 \text{ Zoll}$$

Die von den Hängesäulen aufzunehmende Kraft ist $2 \cdot 48000 = 96000$ Pfd. Hat man drei Hängewerke so muß jede Hängesäule durch ihre absolute Festigkeit einer Kraft von $\frac{96000}{6}$ $= 16000$ Pfund widerstehen. Bei nur zwei Hängewerken hat sie jedoch $\frac{96000}{4} = 24000$ Pfund zu tragen. Im ersten Falle erhält man den nöthigen Querschnitt der Hängesäulen, den Festigkeitsmodul des Holzes 12000 und zwanzigfache Sicherheit genommen:

$$F = \frac{16000 \cdot 20}{12000} = 26,66 \text{ Quadratzoll}$$

im letzteren Falle hingegen:

$$F = \frac{24000 \cdot 20}{12000} = 40 \text{ Quadratzoll}.$$

Diese Werthe gelten natürlich für die schwächste Stelle der Hängesäulen, also für die Verzapfung mit den Balken.

Was die Kräfte der Unterzüge anbelangt so hat ein solcher $\frac{144000}{3}$

= 48000 Pfund zu tragen. Man hat daher, wenn man zwanzigfache Sicherheit nimmt, da die Last gleichförmig vertheilt ist und der Unterzug in der Mitte durch das Sprengwerk eine Unterstützung findet, zu setzen: $20 . 48000 . (12 . \frac{20}{2}) = 8 . 2000\, b\, h^2$.

Hieraus erhält man, wenn man einen quadratischen Querschnitt des Unterzugs annimmt, die Stärke desselben

$$b = \sqrt[3]{7200} = 19,31 \text{ Zoll}$$

Nehmen wir 10 Brückenlagen von unbehauenen Stämmen an, so ergibt sich ihr Durchmesser d aus:

$$Pl = 10 . 475\, d^3$$

$$48000 . 12 . 40 = 10 . 475 . d^3$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4800 . 480}{475}}$$

$$= 13,3 \text{ Zoll}$$

Die Stärke der Bohlen würde der Rechnung nach zu gering ausfallen. Man wird sie deshalb der Abnützung wegen 6 Zoll stark machen.

Wäre nun endlich die Stärke der Wider-
lagsmauer bestimmt, so würden dieselben hin-
reichende Festigkeit gewähren, wenn
sie so stark sind, daß sie den Horizon-
talschub des Brückengewölbes noch aus-
halten, wenn auch auf dieses die ganze
Last aufgelagert wäre und das
Sprengwerk gar nicht in Wirkung
träte. Es wäre dann das Moment
zum Drehen um die äußerste Kante
der Widerlagsmauer: $64000 . 50$
und das Moment, welches das Umstür-
zen verhindert, wenn man die Stärke
der Mauer und die Dichtigkeit
130 W. x setzt:

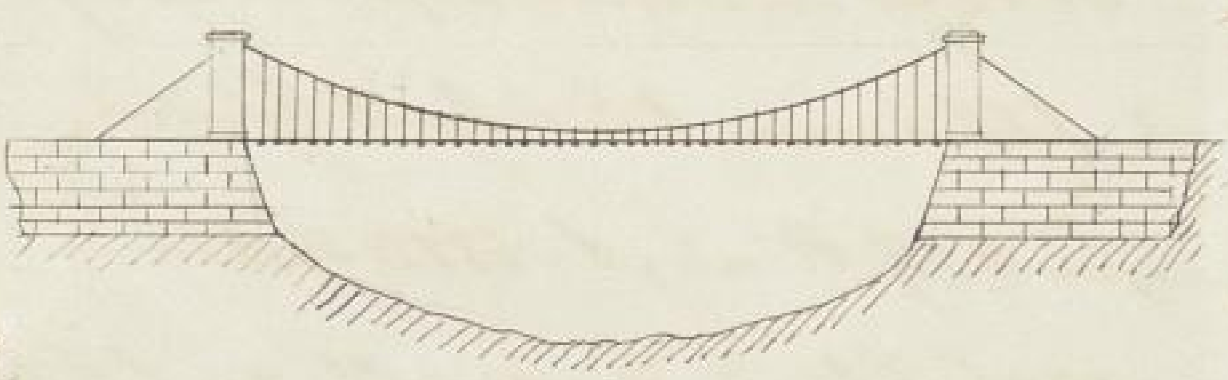
$$x . \frac{144000}{2} + 50 . 20 . x . 130 . \frac{x}{2}$$

Nimmt man nun die Sicherheit gegen
das Moment zum Umstürzen doppelt,
so groß, als es bisher erhalten würde, so
folgt:

$$2 . 64000 . 50 = x \frac{144000}{2} + 50 . 20 . x . 130 \frac{x}{2}$$

$$6400 = 72x + 65x^2$$ woraus die
Stärke der Mauer $x = 9{,}3$ Fuß folgt.

Kettenbrücke.



Nehmen wir die Bogenhöhe = 15 Fuß und über die ganze Breite 41 Hängeeisen, so erhalten wir 41 − 1 = 40 Theile und die Entfernung zwischen zwei Hängeeisen: $\frac{120}{40} = 3$ Fuß. Es folgen nun die Längen dieser Eisen von der Mitte ausgegangen: 0, $\frac{15}{20} = 0{,}0375$, $4 \cdot \frac{15}{20^2} = 0{,}15$, $9 \cdot \frac{15}{20^2} = 0{,}3375$, $16 \cdot \frac{15}{20^2} = 0{,}6$ Fuß etc. Hierzu 2 Zoll addirt giebt: 2 Zoll, 2,45, 3,8, 4,05, 9,2 Zoll etc.

Die Maximalbelastung der halben Brückenbahn ist $\frac{120}{2} \cdot 20 \cdot 50 = 60000$ ℔. und wenn überhaupt die vollkommen armirte Brückenbahn ebenso viel wiegt, so erhalten wir die Last $G_1 = 120000$ ℔, und der Querschnitt sämmtlicher Hängestangen der einen Brückenhälfte:

$$F_1 = \frac{120000}{2190} = 55 \text{ Quadratzoll.}$$

Da die ganze Brückenbahn mit $2 \cdot 41 = 82$ Hängeeisen hängt so folgt der Querschnitt eines solchen Hängeisind. $\frac{55.2}{41.2} = 1,34$ Quadratzoll, also der Durchmesser derselben $\sqrt{\frac{4}{\pi}.1,34}$ $= 1,306$ Zoll.

Die mittlere Länge eines Ringeisens ist $= \frac{1}{3}$ der Länge des längsten also $\frac{1}{3}.15 = 5$ Fuß oder wie oben 2 Zoll addirt $= 62$ Zoll, somit das Volumen sämtlicher Ringeisen $82.62.1,34$ $= 6812,56$ Kubikzoll, also das Gewicht derselben wenn 1 Kubikzoll Schmiedeeisen $0,29$ ℔ wiegt $= 6812,56.0,29$ $= 1976$ Pfund. Die Hälfte dieses Gewichts mit der oben gefundenen Last der halben Brückenbahn vereinigt die Gesamtbelastung $G = 120988$ ℔, und daher folgt endlich nach der Formel

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

wenn man hierin $G = 120988$, $K = 17500$, $b = 60.12 = 720$, $\frac{a}{b} = \frac{15}{60} = 0,25$, $\gamma = 0,29$ und $\sin\alpha = \frac{2a}{\sqrt{b^2+4a^2}} = \frac{30}{\sqrt{60^2+4.15^2}} = 0,4472$ setzt, der Querschnitt der Zugstäbe

$$F = \frac{120988}{17500.0,4472 - 720.0,29\left(1+\frac{2}{3}(0,25)^2\right)}$$

$= 15,902$ Quadratzoll.

also bei 4 Spannketten den Durchschnitt jeder Kette $\frac{15,902}{4} = 3,975$ Quadratzoll oder ihr Durchmesser $= \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 3,975}$ $= 2,25$ Zoll.

Um den Einfluß der Belastung auf die Vergrößerung der Bogenhöhe zu bestimmen addiren wir zur Belastung 120988 ℔ noch das halbe Gewicht der Spannketten d.i. $F.b\left(1+\frac{2}{3}\left(\frac{a}{b}\right)^2\right)\gamma = 3459$ Pfund, so daß $G = 120988 + 3459 = 124447$ und den Elasticitätsmodul des Schmiedeeisens 29000000 ℔ genommen giebt die Vergrößerung der Bogenhöhe:

$$\Delta = \frac{3}{8}\frac{G}{F.E} \cdot \frac{b^3}{a^2} = \frac{3}{8} \cdot \frac{124447}{15,902 . 29000000} \cdot \frac{720^3}{180^2}$$

$= 1,17$ Zoll

Bei einer Temperaturveränderung von 20^0 stellt sich diese Veränderung zu $0,00000915 . t \frac{b^2}{a} = 0,00000915 . 20 . \frac{720^2}{180}$ $= 0,52$ Zoll heraus.

Die Verticalkraft der belasteten Kette ist $V = 124447$ Pfund, die der unbelasteten $V_1 = V - 60000 = 64447$ Pfund.

Sucht man nun das Verhältniß des

Halbmesser der Rollen zu den der Zapfen $\frac{a}{r} = \frac{1}{4}$ und den Reibungscoefficienten $f = \frac{1}{4}$ an, so ist die Zapfenreibung zwischen den Rollen:

$$R = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} (124447 + 64447) = 11806 \text{ Pfd}$$

viel kleiner als die Differenz der Spannungen und es tritt daher eine Bewegung der Kette und ein Umdrehen an der Rollen ein, welches so lange fortgesetzt bis die eine Spannung so viel zu und die andere so viel abgenommen hat, daß die Differenz nur 11806 Pfund beträgt.

Ist die Pfeilerhöhe 16 Fuß die Dicke 4 Fuß und die Dichtigkeit der Mauermasse = 130 Pfund, so erhält man für die nöthige Pfeiler~~dicke~~ breite b:

$$b^2 + \frac{188894}{16.4.130} \cdot b = \frac{2.11806 \cos\alpha}{4.130}$$

$$b^2 + 22,704\, b = 40,614$$ woraus

$b = 1,8$ Fuß folgt, wofür ziemlich das Dreifache 5,5 Fuß zu nehmen wäre.

Die nöthige Länge der Widerlager.

werden ist, wenn wir $h = 16$ und

$\partial = 10$ Fuß setzen:

$$l = \frac{2.\,S \sin\alpha}{h\,\partial\,\gamma} = \frac{2.\,12\,4447}{16.\,19,139}$$

$= 12$ Fuß, wofür man vielleicht

24 Fuß nimmt.

6. Um die Leistung eines Wasserrades zu ermitteln hat man Bremsversuche an demselben angestellt und dadurch Folgendes gefunden: Umdrehungszahl der Welle pro. min. $5\frac{1}{2}$. Gewicht G in der Wagschale $= 410$ Pfund. Hebelarm $bA = 8{,}5$ Fuß.

Die Leistung des Wasserrades beträgt nach $L = \frac{\pi\,u\,a}{30} \cdot G$.

$$L = \frac{\pi.\,5{,}5.\,8{,}5}{30}\,410$$

$= 2007{,}2$ ft#

$= \frac{2007{,}2}{550} = 3{,}65$ Pferdekraft.

gesehen im April 1847.

M.

7.) Man hat bei einem Bache von 32 Fuß Breite und 2,25 Fuß mittlerer Tiefe ein Wasserquantum von 354 C. Fuß gefunden und gedenkt dessen Spiegel durch ein Ueberfallwehr um $3\frac{1}{4}$ Fuß zu erhöhen. Welche Wehrhöhe ist dazu nöthig und welchen Aufstau wird dieser Einbau 2500 Fuß oberhalb des Wehres hervorbringen?

Da die Aufstauung sehr bedeutend ist, so können wir die Wehrhöhe x nach der Formel $x = a + h_1 - \left[\frac{\frac{3}{2} Q}{\mu b \sqrt{2g}}\right]^{\frac{2}{3}}$ berechnen. Man erhält so, da $a = 2,25$ $h_1 = 3,25$ $Q = 354$, $b = 32$, $\mu = 0,80$ und $\sqrt{2g} = 7,906$ ist:

$$x = 2,25 + 3,25 - \left[\frac{\frac{3}{2} . 354}{0,8 . 32 . 7,906}\right]^{\frac{2}{3}}$$

$$= 3,596 \text{ Fuß.}$$

Damit reicht die Wehrkappe über den Spiegel des Unterwassers und das Wehr ist somit ein vollkommenes Ueberfallwehr.

Zur Aufstauung ist die Geschwindig-

keit des Wassers $c = \frac{Q}{b.a} = \frac{59}{6}$
$= 4,9166$ Fuß, somit nach den Tabellen
der entsprechende Widerstandscoeffi-
cient 0,00745, daher die Neigung des
Grundbettes $\sin\alpha = 0,00745 \frac{p}{F} \cdot \frac{c^2}{2g}$,
worin $p = 32 + 2.2,25 = 36,5$, $F = 32.2,25$
$= 72$, $c = 4,9166$ und $\frac{1}{2g} = 0,016$ zu
setzen ist, so daß

$$\sin\alpha = 0,00745 \cdot \frac{36,5}{72} \cdot 0,016 \cdot 4,9166^2$$
$$= 0,0014607$$ wird.

Die Wassertiefe am Wehre ist
$a_0 = 3,25 + 2,25 = 5,5$ Fuß.
Bestimmen wir nun die den Wasser-
tiefen 5, $4\frac{1}{2}$, 4, $3\frac{1}{2}$, 3, $2,5$ Fuß
entsprechenden Längen nach

$$l = \frac{a_0 - a_1 - \left(\frac{1}{F_1^2} - \frac{1}{F_0^2}\right)\frac{Q^2}{2g}}{\sin\alpha - \zeta\frac{p}{F_0+F_1}\left(\frac{1}{F_0^2}+\frac{1}{F_1^2}\right)\frac{Q^2}{2g}}$$

Für die Senkung des Wasserspiegels
von 5,5 auf 5 Fuß haben wir:
$a_0 - a_1 = 0,5$, $F_0 = 32.5,5 = 176$, $F_1 = 32.5 = 160$.
$Q = 354$, $p = 42,5$ und ζ der mittleren
Geschwindigkeit $\frac{2Q}{F_0+F_1} = \frac{708}{176+160} = 2,107$
Fuß entsprechend $= 0,00752$, somit

$$l = \frac{0{,}5 - \left(\frac{1}{160^2} - \frac{1}{176^2}\right) 354^2 \cdot 0{,}016}{0{,}0014607 - 0{,}00752 \left(\frac{42{,}5}{336}\right)\left(\frac{1}{176^2} + \frac{1}{160^2}\right) 354^2 \cdot 0{,}016}$$

$= 367{,}2$ Fuß.

Für die Wassertiefen 5' und $4\frac{1}{2}$ Fuß ergibt sich:

$a_0 - a_1 = 0{,}5'$, $F_0 = 32 . 5 = 160$ $F_1 = 32 . 4{,}5 = 144$

$p = 41{,}5'$ und ζ der Geschwindigkeit

$\frac{2 . 354}{160 + 144} = 2{,}33$ Fuß entsprechend

$= 0{,}00751$ somit:

$$l = \frac{0{,}5' - \left(\frac{1}{144^2} - \frac{1}{160^2}\right) 354^2 \cdot 0{,}016}{0{,}0014607 - 0{,}00751 \left(\frac{41{,}5}{304}\right)\left(\frac{1}{160^2} + \frac{1}{144^2}\right) 354^2 \cdot 0{,}016}$$

$= 375{,}56$ Fuß.

Die Wassertiefen 4,5' und 4 Fuß geben:

$a_0 - a_1 = 0{,}5'$ $F_0 = 32 . 4{,}5' = 144$ $F_1 = 32 . 4 = 128$

$p = 40{,}5$, $c = \frac{2 . 354}{144 + 128} = 2{,}63$ somit

$\zeta = 0{,}00750$ folglich

$$l = \frac{0{,}5' - \left(\frac{1}{128^2} - \frac{1}{144^2}\right) 2005{,}056}{0{,}0014607 - 0{,}0075 \left(\frac{40{,}5}{272}\right)\left(\frac{1}{144^2} + \frac{1}{128^2}\right) 2005{,}056}$$

$= 390{,}85$ Fuß.

Die Wassertiefen 4 und $3\frac{1}{2}$ Fuß geben:

$a_0 - a_1 = 0{,}5'$ $F_0 = 32 . 4 = 128$ $F_1 = 32 . 3{,}5 = 112$

$p = 39{,}5$ $c = \frac{708}{128 + 112} = 2{,}908$, $\zeta = 0{,}00749$

$$l = \frac{0{,}5' - \left(\frac{1}{112^2} - \frac{1}{128^2}\right) 2005{,}056}{0{,}0014607 - 0{,}00749 \left(\frac{39{,}5}{240}\right)\left(\frac{1}{112^2} + \frac{1}{128^2}\right) 2005{,}056}$$

$= 415{,}64$ Fuß.

Für die Wassertiefen 3,5 und 3 Fuß

erhält man: $a_0 - a_1 = 0,5$ $F_0 = 32.3,5 = 112$

$F_1 = 32.3 = 96$ $p = 38,5$, $c = \frac{708}{208} = 3,4$

$\varsigma = 0,00748$ ferner:

$$l = \frac{0,5 - \left(\frac{1}{96^2} - \frac{1}{112^2}\right) \cdot 2005,056}{0,0014607 - 0,00748\left(\frac{38,5}{208}\right)\left(\frac{1}{112^2} + \frac{1}{96^2}\right) 2005,056}$$

$= 471,42$ Fuß.

Endlich erhält man für die Wassertiefen 3 und 2,5 Fuß: $a_0 - a_1 = 0,5$ $F_0 = 32.3 = 96$

$F_1 = 32.2,5 = 80$, $p = 37,5$, $c = \frac{708}{176}$

$\varsigma = 0,00747$ folglich:

$$l = \frac{0,5 - \left(\frac{1}{80^2} - \frac{1}{96^2}\right) 2005,056}{0,0014607 - 0,00747\left(\frac{37,5}{176}\right)\left(\frac{1}{80^2} + \frac{1}{96^2}\right) 2005,056}$$

$= 656,53$ Fuß.

Es beträgt ferner die Stauhöhe auf

$367,2 + 375,56 + 390,85 + 415,64 + 471,42$

$+ 656,53 = 2677,2$ Fuß noch $0,25$ Fuß.

In der letzten Station beträgt die Abnahme der Stauhöhe auf $656,53$ Fuß $0,5$ also auf $177,2$ Fuß $\frac{177,2}{656,53} \cdot 0,5$

$= 0,1349$ Fuß. Demnach ist die Stauhöhe bei einer Entfernung von 2500 Fuß vom Wehre $0,25 + 0,1349$

$= 0,385$ Fuß $= 4,6$ Zoll.

8. Für ein Gefälle von 25 Fuß und für ein Wasserquantum von 9,5 C. Fuß pr. Sec ist die Anordnung und Berechnung eines oberschlägigen Wasserrades zu vollziehen.

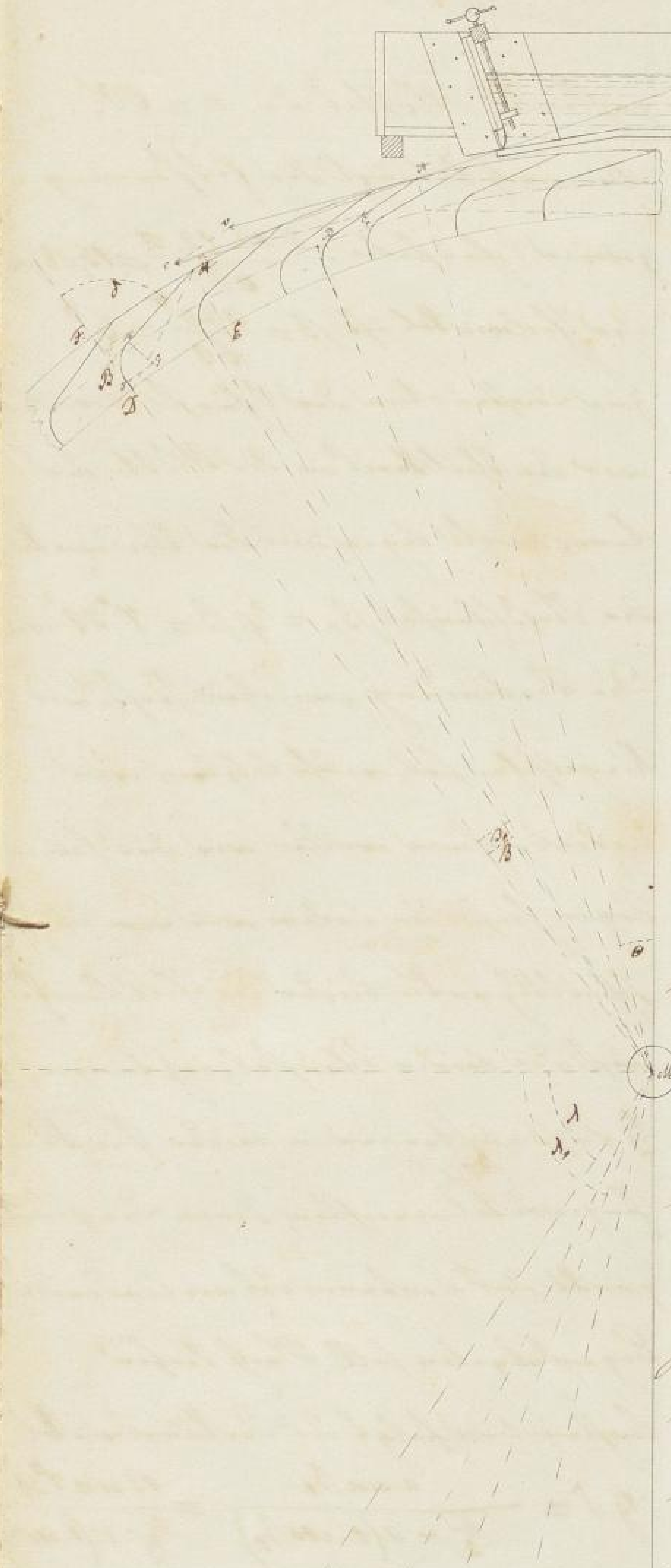
Nehmen wir an daß dieses Rad 6 Umdrehungen pro min. mache, daß der Winkel um welchen die Eintrittsstelle vom Radscheitel absteht $\theta = 15^\circ$ betrage, daß ferner der Winkel welchen die Richtung der Eintrittsgeschwindigkeit mit der Richtung der Umfangsgeschwindigkeit $\mu = 11^\circ 50'$ sei, so erhält man die Umfangsgeschwindigkeit des Rades vom Halbmesser a: $v = \frac{\pi u a}{30}$ und die Geschwindigkeit c des eintretenden Wassers $c = \frac{\pi u . a}{30 . \cos 11^\circ 50}$ somit das Verhältniß von c und v

$$\frac{c}{v} = k = \frac{1}{\cos 11^\circ 50'} = 1,02$$ somit den Halbmesser des Rades:

$$a = \frac{\sqrt{0,000772 (k u)^2 h + (1 + \cos\theta)^2} - (1 + \cos\theta)}{0,000386 (k u)^2}$$

$$= \frac{\sqrt{0,000772 (1,02 . 6)^2 . 25 + (1 + \cos 15^\circ)^2} - (1 + \cos 15^\circ)}{0,000386 (1,02 . 6)^2}$$

$$= 12,172$$



Die Höhe des Rades beträgt hiernach 24,34 Fuß, wofür wir 24 Fuß nehmen wollen. Der Raum zwischen dem Fußpunkt des Rades möge 0,071 Fuß betragen, der zwischen dem Radscheitel und der Sohle des Aufschlaggerinnes 0,27 Fuß.

Nehmen wir die Kranzbreite $d = \frac{5}{6} = 0{,}83$ Fuß und den Füllungscoefficienten $\varepsilon = 4$ so folgt die Radweite

$$e = 38{,}2 \frac{Q}{u \cdot a d} = 38{,}2 \cdot \frac{9{,}5}{6 \cdot 12 \cdot \frac{5}{6}}$$

$= 6{,}0481$ Fuß, wofür wir 6 Fuß setzen wollen.

Aus dem Radhalbmesser $a = 12$ Fuß folgt die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades $v = \frac{\pi u \cdot a}{30} = \frac{\pi \cdot 6 \cdot 12}{30}$ $= 7{,}54$ Fuß. Die Geschwindigkeit im Theilkreis ist $v_1 = \frac{11{,}583}{12} \cdot 7{,}54 = 7{,}278$ Fuß.

Die Anzahl der Schaufeln ist nach Langsdorf $n = 18 + 3a = 18 + 3 \cdot 12 = 54$ oder nach einer andern Regel die Entfernung zwischen zwei Schaufeln $7\left(1 + \frac{d}{10}\right) = 7\left(1 + \frac{10}{10}\right) = 14$ Zoll somit die Anzahl der Schaufeln $n = \frac{2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot 12}{14}$ $= 64$. Nehmen wir daher ein passendes Mittel d.i. $n = 60$.

Hiernach beträgt die Entfernung zweier Schaufeln: $\frac{2.12.12.\pi}{60} = 15,08$ Zoll.

Der Theilwinkel ist $\beta = \frac{360^\circ}{60} = 6^\circ$

Zur Construction der Schaufeln wollen wir den Theilkreis in die Mitte der Kranzbreite legen und den Theilwinkel der Stoßschaufel $\beta_1 = \frac{5}{4}\beta = 7^\circ 30'$ nehmen.

Die Verbindung zwischen Stoß- und Riegelschaufel, welche letztere wir radial nehmen, wollen wir durch einen Bogen herstellen, indem wir vom Durchschnittspunkte beider im Theilkreise aus die beiden Schaufelrichtungen $\frac{1}{3}$ Fuß auftragen, in beiden Punkten Perpendikel errichten, deren Durchschnittspunkt das Centrum des verbindenden Bogens abgeben soll. Nach dieser Construction folgt der Neigungswinkel.

$$tg\,\delta = \frac{a \sin\beta_1}{\frac{d}{2} - a(1-\cos\beta_1)} = \frac{12 \sin 7^\circ 30'}{\frac{5/6}{2} - 12(1-\cos 7\tfrac{1}{2})}$$

und $\delta = 18^\circ 40'$

Die Weite zwischen zwei Schaufeln muß betragen: $d_1 = \frac{Q}{e\sqrt{2gh_1}} + 1,5''$

$$= \frac{12 . 9{,}5}{6 . \sqrt{2g . 2}} + 1{,}5 = 3{,}2 \text{ Zoll}$$

Mißt man den kürzesten Abstand zwischen zwei Schaufeln so findet man ihn $= 0{,}3 . 12 = 4$ Zoll. Es wird demnach das Wasser ohne von der Luft gehindert zu werden eintreten können.

Bringen wir die Schütze 1 Fuß unter den Oberwasserspiegel an so folgt die freie Fallhöhe von Schützmündung bis Zellenmittel $h_2 = 25 - 0{,}07 - 12 - a_1 \cos 15^\circ - 1 = 0{,}74$ Fuß somit die Eintrittsgeschwindigkeit $c_1 = \sqrt{2g(0{,}9 h_1 + h_2)} = \sqrt{2g(0{,}9 . 1 + 0{,}74)}$ $= 10$ Fuß.

Der Winkel φ welchen die Umfangsgeschwindigkeit v mit der Außschaufel AB einschließt ist:

$$\varphi = 90^\circ - (\delta - \beta_1) = 90^\circ - (78^\circ 40' - 7^\circ 30')$$
$$= 18^\circ 50'$$

Hiernach folgt der Winkel ψ zwischen Strahlrichtung und Radschaufel nach $\sin\psi = \frac{v \sin\varphi}{c} = \frac{7{,}454 . \sin 18^\circ 50'}{10}$

$$\psi = 14^\circ 5' 15''$$

Die Neigung des Strahles gegen den

Horizont ist $\nu_1 = \varphi - \psi + \theta$
$= 18^\circ 50' - 14^\circ 5' 15'' + 15^\circ = 19^\circ 44' 45''$

Die relative Geschwindigkeit mit welcher das Wasser in die Zelle tritt ist $c_1 = \frac{c \sin(\varphi - \psi)}{\sin \varphi} = \frac{10 \sin(18^\circ 50' - 14^\circ 5' 15'')}{\sin 18^\circ 50'}$
$= 2,5623$ Fuß.

Wir wollen eine Freiberger Schaufelschütze anwenden und das Bodenblech unter 14° gegen die Verticale neigen.

Wenden wir uns jetzt zur Berechnung der Leistung dieses so konstruirten Rades.

Es sei $\mu = \varphi - \psi = 18^\circ 50' - 14^\circ 5' 15''$
$= 4^\circ 44' 45''$ der Winkel welchen die Eintrittsgeschwindigkeit mit der Tangente einschließt so ist die Nutzleistung: $L_1 = 2,112 (c_1 \cos\mu - v) v_1 Q$
$= 2,112 (10 \cdot \cos 4^\circ 44' 45'' - 7,278) \, 7,278 \cdot 25$
$= 389,939$ Fußpf.

Um die Höhe des wasserhaltenden Bogens zu bestimmen, wollen wir zuerst einige auf die Schaufelung bezügliche Inhaltsbestimmungen vornehmen.

So ist der Inhalt von

$AEDF = \frac{7\frac{1}{2}^\circ}{360^\circ}\pi(12^2-11,166^2) = 1,263550$ □f.

Der Inhalt des gleichschenklichen Tangentenvierecks

$BHGF = BF.FG$ und da

$\frac{FG}{BF} = \frac{\sin\left(\frac{180^\circ-\delta}{2}\right)}{\sin\frac{\delta}{2}}$ so wird $FG = BF\,\mathrm{cotg}\frac{\delta}{2}$

$BHGF = BF^2\,\mathrm{cotg}\frac{\delta}{2} = 0,333.\mathrm{cotg}\frac{78^\circ 40'}{2}$

$= 0,13559$ □f

Der Inhalt des Segmentes HGF ist

$HGF = \frac{\delta}{360^\circ}\pi.FG^2 = \frac{78^\circ 40'}{360^\circ}.\pi.0,333\,\mathrm{cotg}\frac{78^\circ 40'}{2}$

$= 0,113589$

Hiernach folgt der Inhalt des Segmentes

$BHF = BHGF - HGF = 0,13559 - 0,113589$

$= 0,022$ □f.

Weiter ist der Inhalt

$AMF = \frac{\beta_1}{360}.\pi.a^2 = \frac{7^\circ 30'}{360}.\pi.12^2 = 9,424778$

Inhalt $AMB = \frac{AM.MB\sin\beta_1}{2} = \frac{a.a_1\sin\beta_1}{2}$

$= 9,0715709$ folglich

Inhalt $AFB = AMF - AMB = 9,424778 - 9,0715709$

$= 0,3532$ □f.

Ferner erhält man:

Inhalt $AMD = \frac{a.a_1\sin\beta_1}{2} = \frac{12.11,1666\sin 7\frac{1}{2}}{2}$

$= 8,7452554$

Inhalt $DME = \frac{EM^2.\pi.\beta_1}{360^\circ} = \frac{11,166^2.\pi.7\frac{1}{2}}{360}$

$D'ME = 8,1606232$ folglich

Inhalt $AED' = D' = AMD - D'ME$

$= 8,7452554 - 8,16606 = 0,5846$ □'.

Inhalt des Segments $ABD' = S$

$= AEDF - AED' - ABF - BHF$

$= 1,263547 - 0,5846322 - 0,3532 - 0,022$

$= 0,3037$ □'.

Der Querschnitt des Aufschlagwassers in einer Zelle ist:

$$F_0 = \frac{60Q}{n.w} = \frac{60.9,5}{60.6.6} = 0,2639 \text{ □'}.$$

Die Entfernung der Axe der Centrifugalkraft vom Radmittel ist:

$$k = \frac{2850}{n^2} = \frac{2850}{6^2} = 79,1666 \text{ Zoll}.$$

Ist nun der den Anfang des Ausgießens bestimmende Winkel λ, die Neigung der Centrifugalkraft χ, so hat man: $tg(\lambda + \chi) = \frac{S + D' - F_0}{\frac{1}{2} d^2}$

$= \frac{0,3037 + 0,5846 - 0,2639}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^2}$ woraus

$$\lambda + \chi = 60^\circ\, 55'\, 19''$$

Da nun $\sin \chi = \frac{a \cos(\lambda + \chi)}{k} = \frac{12 \cos 60^\circ 55' 19''}{79,1666}$

so folgt $\chi = 4^\circ\, 13'\, 28''$ somit

$$\lambda = \lambda + \chi - \chi = 60^\circ 55' 19'' - 4^\circ 13' 28''$$
$$= 56^\circ\, 41'\, 51''$$

Für das Ende des Ausgusses hat die Depression der Centrifugalkraft,

$$\sin X_1 = \frac{a \cos \delta}{k} = \frac{12 . \cos 78^\circ 40'}{79,1666}$$

$$X_1 = 1^\circ 42' 25''$$ daher

$$\Lambda = \delta - X_1 - \beta_1 = 78^\circ 40' - 1^\circ 42' 25'' - 7^\circ 30'$$

$$= 69^\circ 27' 35''$$

Theilt man die Curve in welcher das Wasser ausgießt in 4 Theile und verzeichnet für diese Stücke die Schaufelstellung nebst dem Wasserinhalt der und zugleich die Depression der Centrifugalkraft berücksichtigend so erhält man die Inhalte der Wasserprofile.

$F_0 = 0,263$, $F_1 = 0,1738$ $F_2 = 0,1132$

$F_3 = 0,05264$, $F_4 = 0$ somit

den mittleren Durchschnitt:

$$F = \frac{F_0 + 4 F_1 + 2 F_2 + 4 F_3 + F_4}{12}$$ und das

Verhältniß der mittleren Wassermenge einer Zelle im Ausgießbogen zur Wassermenge einer Zelle am Anfang des Ausgusses

$$K = \frac{F_0 + 4 F_1 + 2 F_2 + 4 F_3 + F_4}{12 . F_0}$$

$$= \frac{0,2639 + 4 . 0,1738 + 2 . 0,01732 + 4 . 0,05264}{12 . 0,2639}$$

$$= 0,44086.$$

Es ist somit die Druckwirkung des Rades:

$$L_2 = Q\gamma . a_1 \left[\cos(\theta+\beta_1) + \sin(\lambda+\beta_1) + k\left(\sin(\lambda_1+\beta_1) - \sin(\lambda+\beta_1)\right)\right]$$

$$= 9,5 . 66 . 11,5833 \left[\begin{array}{l}\cos(15^0+7^0 20') + \sin(56^0 41' 51'' + 7^0 30') \\ +0,44086\left[\begin{array}{l}\sin(69^0 27' 35'' + 7^0 30') \\ - \sin(56^0 41' 51'' + 7^0 30')\end{array}\right]\end{array}\right]$$

$= 13485,2$ ft℔ $= 26,44$ Pferdekraft

Die Totalleistung des Rades ist somit:

$13485,2 + 389,4 =$ ~~13485,2~~ $13874,6$ ft℔

$= 27,2$ Pferdekraft.

Das Gewicht des Rades ist:

$$G = 3000 . \frac{L}{\varepsilon u} = 3000 . \frac{27,2}{\frac{1}{4} . 6} = 54400 \text{ ℔}$$

Nimmt man den Reibungscoefficient $f = 0,08$ so folgt die Arbeit der Reibung

$$0,0002116 . u \sqrt{G^3} = 0,0002116 . 6 . 0,08 \sqrt{54400^3}$$

$= 1288,71$ ft℔ $= 2,527$

Die übrigbleibende Totalleistung ist $L = 13874,6 - 1288,71 = 12585,9$ ft℔

$= 24,7$ Pferdekräfte

Die Zapfenstärke ist:

$$2r = 0,048 \sqrt{\frac{G}{2}} = 0,048 \sqrt{\frac{54400}{2}}$$

$= 7,9$ Zoll

Die Stärke der Welle beträgt das Vierfache hiervon also 31,6 Zoll.

Wenden wir 4 Kanäle und 8 Nebenarme an, so folgt ihre Tiefe

$$h = 13{,}6\sqrt[3]{\frac{L}{n.w}} = 13{,}6\sqrt[3]{\frac{24{,}7}{(2.4+8)\,6}}$$

$= 8{,}6$ Zoll, daher ihre Breite

$$b = \frac{5}{7}h = \frac{5}{7}.8{,}6 = 6{,}14 \text{ Zoll.}$$

Der Wirkungsgrad des Rades ist

$$\eta = \frac{12585{,}9}{9{,}5.25.66} = 0{,}8$$

9. Für ein Gefälle von 7 Fuß und einen Aufschlag von 20 Kubikfuß ist die Anordnung und Berechnung einer Reactionsturbine auszuführen.

Nehmen wir den Winkel, den die Richtung des aus dem Reservoir tretenden Wassers mit dem innern Radumfange einschließt $c\,A\,T = \alpha = 30^\circ$ und den Winkel, welchen der in die Radzellen eintretende Wasserstrahl mit dem innern Radumfange einschließt $c_1\,A\,T = \beta = 105^\circ$. Setzen wir ferner das Verhältniß vom äußeren zum innern Radhalbmesser $v = \frac{r}{r_1} = 1{,}4$.

Nach diesen Annahmen folgt der innere Radhalbmesser $r_1 = 0{,}326\sqrt{Q} = 0{,}326\sqrt{20}$ $= 1{,}458$ Fuß, wofür wir 1,5 Fuß nehmen wollen. Hiernach ist der äußere Radhalbmesser $r = \nu . r_1$ $= 1{,}4 . 1{,}5 = 2{,}1$ Fuß, folglich ist die Kranzbreite bis Mitte der Mündungen gemessen $2{,}1 - 1{,}5 = 0{,}6$ Fuß.

Ohne Rücksicht auf Nebenhindernisse wäre die vortheilhafteste Radgeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{g . h \left(1 - tg\,\alpha\, cotg\,\beta\right)}$$
$$= \sqrt{31{,}25 . 7 \left(1 - tg\,30^0\, cotg\,105^0\right)}$$
$$= 15{,}88 \text{ Fuß.}$$

Mit Rücksicht auf Hindernisse folgt wenn $\zeta = 0{,}18$ und $K = 0{,}06$ gesetzt wird:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 g h}{\frac{2 \sin\beta \cos\alpha}{\sin(\beta - \alpha)} + 0{,}18\left(\frac{\sin\beta}{\sin(\beta - \alpha)}\right)^2 + 0{,}06\,\nu^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{62{,}5 . 7}{\frac{2 \sin 105^0 \cos 30^0}{\sin 75^0} + 0{,}18\left(\frac{\sin 105}{\sin 75}\right)^2 + 0{,}06 . 1{,}4^2}}$$

$$= 14{,}69$$

somit die äußere Radgeschwindigkeit
$v = c_2 = \nu . v_1 = 1{,}4 . 14{,}69 = 20{,}566$ Fuß.

Die Austrittsgeschwindigkeit ist

$$c = \frac{v_1 \sin\beta}{\sin(\beta-\alpha)} = \frac{14,69 \sin 105^\circ}{\sin 75^\circ}$$

$$= 14,69 \text{ Fuß.}$$

Die Umdrehungszahl pro. min ist

$$u = 9,55 \cdot \frac{14,69}{1,5} = 93,5$$

Die Inhalte der Ausmündungen sind

$$F = \frac{Q}{c} = \frac{20}{14,69} = 1,362223 \text{ und}$$

$$F_2 = \frac{Q}{c_2} = \frac{Q}{v} = \frac{20}{20,566} = 0,97248$$

Nehme ich nun 2,5 Linien = 0,017 Fuß Schaufelstärke und beabsichtige ich den Ausmündungen das Weitenverhältniß nach $\psi_1 = \frac{e}{d_1} = \frac{3}{1}$ zu geben, so ist die nöthige Anzahl der Leitschaufeln:

$$n_1 = \frac{\psi_1 \left(2\pi r_1 \sin\alpha - n_1 s_1\right)^2}{F}$$

$$= \frac{3\left(2 \cdot \pi \cdot 1,5 \sin 30^\circ - 0,017 n_1\right)^2}{1,36223}$$

$= 36$ und nun folgt die nöthige Radweite oder Mündungshöhe:

$$e = \frac{F}{2\pi r_1 \sin\alpha - n_1 s_1} = \frac{1,3622353}{4,71239 - 0,612}$$

$$= 0,33220 \text{ Fuß.}$$

Die Anzahl der Radschaufeln ist wenn wir hier das Weitenverhältniß

$\psi = \frac{5}{1}$ setzen:

$$n = \frac{\psi F_2}{c^2} = \frac{5 . 0,97248}{0,332223^2} = 44,05$$

wofür wir 42 nehmen wollen.

Demnach ergiebt sich der erforderliche Ausgußwinkel nach

$$\sin \delta = \frac{F_2 (c + \psi s)}{2 \pi . r c^2} = \frac{0,97248 (0,3322 + 5 . 0,017)}{2 \pi . 2,1 . 0,332223^2}$$

$$\delta = 16^\circ 10' 36''$$

Die Mündungsweite des Rades ist

$$d = \frac{F_2}{n . c} = \frac{0,97248}{42 . 0,332223} = 0,0696951$$

Wenn diese Turbine in freier Luft gehen soll so ist noch ein gewisses Freistellen nöthig, welches, da die halbe Radhöhe $\frac{e}{2} = 0,1661$ Fuß beträgt auf 0,4 geschätzt werden kann.

Wäre dieses Gefälle nicht übrig so müßten wir die Anordnung nicht für 7 Fuß sondern nur für 6,6 Fuß treffen.

Um den Wasserverlust beurtheilen zu können ist noch die Höhe x des Ueberdrucks unter der Schütze zu finden. Es ist nämlich:

$$x = h - (1 + \varsigma) \frac{c^2}{2g} = 7 - 1,18 . 0,016 . 14,69^2$$

$$= 2,92577$$ und die entsprechende

Geschwindigkeit $= \sqrt{62,5 \cdot x}$

$= 7,906 \sqrt{2,92577} = 13,5262$ Fuß.

Wenn nun der Spalt zwischen Rad und Schütze $\frac{1}{2}$ Linie ist, so beträgt sein Inhalt $2 \cdot 1,5 \cdot \pi \cdot \frac{1}{288} = 0,032725$ Quadratfuß und daher die durch den Spalt entweichende Wassermenge $13,5262 \cdot 0,032725 = 0,442544$ Cub. Fuß.

Der Theilwinkel des Rades ist:

$\frac{360}{42} = 8^0 34' 17''$ Nun nimmt aber die Radschaufelstärke den Bogen

$\frac{s}{r \sin \delta} = \frac{0,017}{2,1 \sin 16^0 10' 36''} = 0,029057$

oder den Winkel $1^0 39' 53,4''$ ein,

folglich ist $\varepsilon = 8^0 34' 17'' - 1^0 39' 53,4''$

$= 6^0 54' 23,6'' =$ dem Räumungswinkel des äußern Schaufelstücks.

Der entsprechende Räumungshalbmesser ist $a = \frac{r \left(\cos\left(\delta - \frac{1}{2}\varepsilon\right)\right)}{\cos \frac{1}{2} \varepsilon} - \frac{1}{2} d$

$= \frac{2,1 \left(\cos\left(16^0 10' 36'' - 3^0 27' 11,8''\right)\right)}{\cos 3^0 27' 11,8''}$

$= 2,052165$ Fuß.

Der Halbmesser des innern Stücks der Radschaufel beträgt:

$$a_1 = \frac{r^2 - r_1^2 - r d \cos \delta + \frac{1}{4} d^2}{2(r \cos \delta + r_1 \cos \beta) - d}$$

$$a_1 = \frac{2,1^2 - 1,5^2 - 2,1 \cdot 0,069695 \cos 16^\circ 10' 36'' + \frac{1}{4} \cdot 0,069695^2}{2(2,1 \cos 16^\circ 10' 36'' + 1,5 \cos 105^\circ) - 0,069695}$$

$= 0,633918$ Fuß.

Ist $tg\, \sigma = \frac{a_1 \sin \beta}{r_1 + a_1 \cos \beta} = \frac{0,633918 \sin 105^\circ}{1,5 + 0,633918 \cos 105^\circ}$

also $\sigma = 20^\circ 12' 6'$, ferner

$tg\, \tau = \frac{a_1 \sin \delta}{r - a_1 \cos \delta} = \frac{0,6339 \sin 16^\circ 10' 36''}{2,1 - 0,6339 \cos 16^\circ 10' 36''}$

und $\tau = 6^\circ 45' 15'$

So erfolgt der diesem Rück entsprechende Räumungswinkel:

$$\varphi_1 = 180^\circ - \beta - \delta + \sigma - \tau$$

$$= 180^\circ - 105^\circ - 16^\circ 10' 36'' + 20^\circ 12' 6'' - 6^\circ 45' 15''$$

$$= 72^\circ 16' 15''$$

Die vorstehenden Untersuchungen haben uns die nöthigen Elemente zur Construction der Turbine geliefert und es bleibt daher nur noch die Ausmittelung der effectiven Leistung der Maschine übrig. Die absolute Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers ist:

$$w_2 = 2 c_2 \sin \tfrac{1}{2} \delta = 2 \cdot 20,566 \sin \frac{16^\circ 10' 36''}{2}$$

$= 5,7873$ Fuß

und der entsprechende Gefällverlust:

$\frac{w^2}{2g} = 0,53803$ Fuß.

Ferner der Gefällverlust herbeigeführt durch die Widerstände im Leitschaufelapparate $= 0,18 \frac{c^2}{2g}$
$= 0,18 . 0,016 . 14,69^2 = 0,621493$.

Der Gefällverlust, welcher den hydraulischen Widerständen entspricht, ergibt sich durch folgende umständliche Untersuchung. Aus einer genauen Zeichnung und mit Hilfe der obigen Rechnung ergibt sich daß der Radkanal aus zwei Theilen besteht, wovon der eine $0,075'$ weit und $0,25$ Fuß lang, einen Halbmesser von $2,052$ Fuß und einen Centriwinkel von $6^\circ 54' 23,6''$ hat, der andere aber $0,15'$ weit und $0,8$ Fuß lang, einen Krümmungshalbmesser von $0,633918$ und einen Centriwinkel von $72^\circ 16' 15''$ hat.

Hieraus bestimmt sich der Widerstandscoefficient für das kleinere Stück:

$$\zeta_1 = 0,124 + 3,104 \left(\frac{d}{2a}\right)^{\frac{7}{2}} = 0,124 + 3,104 \left(\frac{0,075}{2 . 2,0113}\right)^{\frac{7}{2}}$$
$$= 0,124$$

und für das größere Stück:

$$\zeta_2 = 0,124 + 3,104 \left(\frac{0,15}{2 . 0,6339}\right)^{\frac{7}{2}} = 0,126$$

Ferner ist d. Winkelverhältniß für das erste Stück. $\frac{c}{\pi} = \frac{6^\circ 54' 23{,}6''}{180^\circ} = 0{,}0383$

und für das zweite $\frac{c_1}{\pi} = \frac{72^\circ 16' 15''}{180^\circ} = 0{,}4016$

Endlich ist das Durchschnittsverhältniß für das erste Stück.

$$\frac{F_2}{nde} = \frac{0{,}97248}{42 . 0{,}075 . 0{,}332223} = 0{,}9293$$

und für das zweite Stück.

$$\frac{F_2}{nde} = \frac{0{,}97248}{42 . 0{,}15 . 0{,}332223} = 0{,}46464.$$

Somit ist der Coefficient des ganzen Krümmungswiderstandes:

$$K_1 = 0{,}124 . 0{,}0383 . 0{,}9293^2 + 0{,}126 . 0{,}4016 . 0{,}46464^2$$
$$= 0{,}015$$

Ferner ist der Reibungscoefficient für das erste Röhrenstück:

$$\varrho_r = 0{,}0144 + 0{,}0169 \sqrt{\frac{nde}{Q}}$$
$$= 0{,}0144 + 0{,}0169 \sqrt{\frac{42 . 0{,}332233 . 0{,}075}{20}}$$
$$= 0{,}0182$$

und für das zweite:

$$\varrho_r = 0{,}0144 + 0{,}016 \sqrt{\frac{42 . 0{,}15 . 0{,}332223}{20}}$$
$$= 0{,}0199$$

Ferner ist das Verhältniß $\left(\frac{d+e}{2de}\right) l$

für das erste Stück $= \frac{0{,}407223}{2 . 0{,}075 . 0{,}332223}$

$= 2{,}043$ und für das zweite $=$

$\frac{0,4822233}{0,3 \cdot 0,332223} \cdot 0,8 = 3,8707$

Hiernach folgt nun der Reibungscoefficient für den ganzen Kanal

$k_2 = 0,0182 \cdot 2,043 \cdot 0,9293^2 + 0,0199 \cdot 3,8707 \cdot 0,46464^2$
$= 0,0486.$

Endlich ergiebt sich der Coefficient für die sämmtlichen Widerstände in einem Radcanale: $k = k_1 + k_2 = 0,0636$ und der entsprechende Verlust an Gefälle $= k\frac{v^2}{2g} = 0,0636 \cdot 0,016 \cdot 20,566^2$ $= 0,430$ Fuß. Die angefundenen drei Gefällverluste betragen:

$0,538 + 0,6215 + 0,430 = 1,5895$ Fuß;

daher bleibt auch von der ganzen disponiblen Leistung $Qh\gamma = 20 \cdot 7 \cdot 66 = 9240$ Fußpfund nur die Nutzleistung

$P_v = 20(7 - 1,5895)66 = 7142$ Fußpfund
$= 14$ Pferdekraft übrig.

Die nöthige Wellenstärke für diese Turbine ist $d = 6,12\sqrt[3]{\frac{L}{u}} = 6,12\sqrt[3]{\frac{14}{93,5}}$
$= 3,25$ Zoll.

Ist ferner das Gewicht der vertikal stehenden Welle 1500 Pfund, so hat man für die Zapfenstärke $d_1 = 0,0045\sqrt{Gu}$

$\delta_1 = 0,0045\sqrt{1500 . 93,5} = 1,67$ wofür 1,75 Zoll zu nehmen sein dürfte. Ist der äussere Halbmesser der Radhülse 3 Zoll, so erhält man für die Stärke derselben:

$$\delta_1 = \frac{3 + L}{u . r_1 v} + 0,33 = \frac{31 . 14}{93,5 . 9} + 0,33$$

$= 0,86$ wofür 0,9 Zoll zu nehmen ist. Die Stärke des Bodentellers ergiebt sich zu:

$$\delta_2 = 0,148 . r_1\sqrt{h} + 0,33 = 0,148 . 1,5\sqrt{7} + 0,33$$

$= 0,945$ oder besser 1 Zoll.

Beträgt das Gewicht des armirten Rades 2000 Pfund und der Reibungscoefficient am Zapfen 0,075 so ist die durch die Zapfenreibung consumirte Arbeit $\frac{2 r_2}{3 r_1} f G . v = \frac{2 . 1,75}{3 . 12 . 1,5} . 0,075 . 2000 . 14,69$ $= 214$ ftt somit die effective Leistung $7142 - 214 = 6928$ ftt $= 13,6$ Pferdekraft. Rechnet man nun noch 0,4 Fuss Gefällsverlust für das Freistellen so erhält man den Wirkungsgrad der Turbine $\eta = \frac{L}{Q h \gamma} = \frac{6928}{20 . 7,4 . 66}$

$= 0,709$

Berechnung des Wassergöpels von David Richtschacht auf Himmelfahrt Fdgr.

Das Gezeug auf dem (fiscalen) David Richtschacht wird durch ein Wasserrad von 40 Fuß Höhe bewegt. Das ganze von demselben benutzte Gefälle beträgt 42,124 Fuß, da der Wasserspiegel im Aufschlaggerinne 2,124 Fuß über dem Scheitel des Rades liegt. Der Wasserstand im Aufschlaggerinne bis Mitte der Schutzmündung ist 1,04 F. Das Wasser fällt in den ~~zwischen 5ten und~~ (?) ten Schaufel also, da das Rad 96 Schaufeln hat bei einem Winkel $\theta = 26^0$ ein.

Die Kranzbreite beträgt 1 Fuß und die Radweite (im Lichten) 1,25 Fuß.

Was die Schaufelconstruction anbelangt, so liegt der Theilkreis in der Mitte des Kranzes und die Stoßschaufel geht von einem Theilpunkte der äußern Radperipherie nach dem

nächsten Theilpunkte des Theilkreises. In diesem ist ein Perpendikel gegen die Fußschaufel errichtet, welches in seinem Durchschnitte mit der innern Radperipherie das Centrum des Kreises giebt, nach welchem die Riegelschaufel construirt ist. Das Rad bewegt durch ein Vorgelege den über Tage hängenden Korb. Die Zapfen des Rades sind 10 Zoll stark, die Warzen des Krummzapfens haben eine Stärke von 9 Zoll. Der Warzenhalbmesser ist 1,5 Fuß. Das Gewicht des Wasserrades dürfte zu 400 Ctnr anzunehmen sein.
Das Gewicht der Fördermasse ist 1500 ℔, das Gewicht der Tonne 500 ℔. Das Seil ist 16 drähtig, hat eine Länge von 1100 Fuß, eine Stärke von $\frac{3}{4}$ Zoll und ein Gewicht von 500 ℔.
Die eisernen Seilscheiben haben einen mechanischen Halbmesser von 6 Fuß

5 Zoll starke Zapfen und ein Gewicht von 39 Ctnr. Ihr Zapfenmittel liegt $24\frac{2}{3}$ Fuß über dem des Korbes und sind 25 Fuß horizontal von einander entfernt. Hiernach ergiebt sich der mittlere Neigungswinkel des Seiles von Seilscheiben nach dem Korbe:

$$tg\,\beta = \frac{\frac{24,666}{25} + \frac{6}{\sqrt{24,66^2+25^2}}}{1 - \frac{24,666}{25}\cdot\frac{6}{\sqrt{24,66^2+25^2}}}$$

$$\beta = 55^0$$

Der Korb hat einen mechanischen Durchmesser von $10\frac{2}{3}$ Fuß und eine lichte Weite von 11 Zoll. Sein Gewicht beträgt 70 Ctnr. Der Krummzapfen desselben ist von denselben Dimensionen als beim Kunstrade. Das Gewicht des Gestänges ist zu 20 Ctnr angenommen.

Ehe ich zur Berechnung des Zügels übergehe, will ich zuvor in Kürze die dazu nöthigen Data zusammenstellen:

Neigungswinkel des Schachtes $\alpha = 90°$

Gewicht der Fördermasse $M = 1500$ ℔

Gewicht der Tonne $G = 500$ ℔.

Gewicht der Seilscheiben $G_2 = 3900$ ℔

Gewicht des Seiles $G_1 = 500$ ℔.

Halbmesser der Seilscheiben $a_2 = 6$ Fuß

Zapfenhalbmesser " " $r_2 = 0,2083$ Fuß

Durchm. ~~Halb~~messer des Korbes $D = 10,666$ Fuß

Lichte Weite — — $l = 9,9016$ Fuß

Zapfenhalbmesser " " $r_3 = 0,4166$ Fuß

Länge des Seiles $L = 1100$ Fuß

Stärke — — $\delta = 0,0625$ Fuß

Halbmesser des Wagenkreises $a_4 = 1,5$ Fuß.

Wagenhalbmesser $r_4 = 0,375$ Fuß.

Zapfenhalbmesser des Wasserrades $r_5 = 0,4166$ Fuß

Gewicht des Korbes $G_3 = 7000$ ℔

" " der Zugstangen $G_4 = 2000$ ℔.

" " des Wasserrades $G_5 = 40000$ ℔

Die zu überwindende reine Last ist

$M \sin \alpha = 1500$ ℔.

Die Steifigkeit des Seiles an den

Seilscheiben läßt sich nach den Versuchen des Herrn Professor Weisbach setzen:

$$W_1 = 2.0,976 + 0,2379 \cdot \frac{Q}{r}$$

wenn Q die Spannung des Seiles in Centnern und den Krümmungshalbmesser r in Metern gegeben ist.

Hier ist $Q = (M + 2G + G_1) = 15 + 10 + 5$

$= 30$ Ctr und $r = a_2 = 1,714^m$

folglich:

$$W_1 = 2.0,976 + \frac{0,2379}{1,714} \cdot 30$$

$$= 5,75 \text{ Pfund.}$$

Die Zapfenreibung an den Seilscheiben ist:

$$W_2 = f \cdot \frac{r_2}{a_2}\left[(M + 2G + G_1)(0,96(1+\sin\beta) + 0,4\cos\beta) + 1,92\, G_2\right]$$

$$= \frac{0,075 \cdot 0,2083}{6}\left[3000(0,96(1+0,8191521) + 0,4 \cdot 0,5735764) + 1,92 \cdot 3900\right]$$

$$= 34,935 \text{ Pfund.}$$

Um die Steifigkeit des Seiles am Korbe zu finden, müssen wir zuerst den mittleren mechanischen Halbmesser b desselben suchen und dieser ist:

$$b = \frac{\mathfrak{D}^{3}}{4}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{\mathfrak{L} d^{2}}{\pi . l \mathfrak{D}^{2}}}\right)$$

$$= \frac{10,666}{4}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{1100 . 0,0625^{2}}{\pi . 0,9016 . 10,666^{2}}}\right)$$

$= 5,35'$, somit

die Steifigkeit des Seiles am Korbe:

$$W_3 = 0,976 + 0,2379 \frac{\left(\frac{M}{2} + G + \frac{2}{2} G_1\right)}{b}$$

$$= 0,976 + 0,2379 \frac{(15)}{1,53}$$

$= 3,1$ Pfund.

Man erhält nun:

$$M + W_1 + W_2 + W_3 = 1543,8 \text{ Pfund.}$$

und die Zugkraft:

$$Z = \frac{\pi . b}{2 . a_3}\left(M + W_1 + W_2 + W_3\right)$$

$$= \frac{\pi . 5,35}{2 . 1,5} . 1543,8$$

$= 8649,1$ Pfund.

somit die Zapfenreibung am Korbe

$$W_4 = f . \frac{r_3}{b}\left[\begin{array}{l} 0,96\left[G_3 + 4 G_4 + Z - (M + 2G + G_1) \sin\beta\right] \\ + 0,4 (M + 2G + G_1) \cos\beta \end{array}\right]$$

$$= 0,075 . \frac{0,4166}{5,35}\left[\begin{array}{l} 0,96\left[\begin{array}{l} 7000 + 4 . 2000 + 8649,1 \\ -(1500 + 2 . 500 + 500)\, 0,8191521 \end{array}\right] \\ + 0,4 (3000)\, 0,6735764 \end{array}\right]$$

$= 122,85$ Pfund.

Die gesammte Wagenreibung ist:

$$W_5^0 = 2f \cdot \frac{r_4}{b}\left[Z + 2\,G_4\right]$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}075 \cdot 0{,}375}{5{,}35}\left[8649{,}1 + 2 \cdot 2000\right]$$

$= 133$ Pfund.

Endlich hat man für die Zapfenreibung am Wasserrade

$$W_6^0 = f \cdot \frac{r_5}{b}\left[G_5 - Z\right]$$

$$= 0{,}075 \cdot \frac{0{,}4166}{5{,}35}\left[40000 - 8649{,}1\right]$$

$= 183{,}1$ Pfund.

Die ganze am Wasserrade zu überwindende Last beträgt nun:

$M + \Sigma(W^0) = 1982{,}75$ Pfund.

Die Zeit der Förderung einer Tonne am 4ten Gezeugstrecke d. i. auf 911,771 Fuß Saigerteufe beträgt 7 Minuten = 420 Secunden, somit ist die Geschwindigkeit der Tonne

$v_1 = \frac{911{,}771}{420} = 2{,}171$ Fuß und daher die des Rades $v = \frac{a_5}{b} \cdot v_1 = \frac{20}{5{,}35} \cdot 2{,}171$ $= 8{,}1155$ Fuß, wenn a_5 den Halbmesser des Rades $= 20$ Fuß bezeichnet

Die Umdrehungszahl des Rades

ist $u = \frac{30 . v}{\pi . a_5} = \frac{30 . 8,1155}{\pi . 20} = 3,874$

Die zur Förderung des Wassers nöthige mechanische Arbeit ist:

$$P_1 v_1 = 1982,75 . 2,171$$

$$= 4304,32 \text{ ft}$$

Nehmen wir den Wirkungsgrad des Rades = 0,9 an, was wir, da wir die Zapfenreibung schon oben in Betracht gezogen haben, können, so folgt das nöthige zuwendende Aufschlagquantum, da das Gefälle 42,124 Fuß beträgt:

$$Q = \frac{4304,32}{0,9 . 42,124 . 66} = 1,72 \text{ Kub. F.}$$

Hiernach folgt, wenn e die Radweite und d die Kranzbreite bezeichnet, der Füllungscoefficient des Rades:

$$\varepsilon = \frac{e\,d\,v}{Q} = \frac{1,25 . 1 . 8,1155}{1,72}$$

$$= 6$$

Der Theilwinkel des Rades ist

$\beta_1 = \frac{360}{96} = 3^\circ 45'$ somit der

Leitungswinkel δ nach:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{a_3 \sin \beta_1}{\frac{d}{2} - a_3(1-\cos\beta_1)}$$

$$= \frac{20 . \sin 3^\circ 45'}{\frac{t}{2} - 20(1-\cos 3^\circ 45')}$$

$$\delta = 70^\circ 45'$$

Der Wasserstand im Gerinne ist: 1,04 Fuß, der Abstand des Gerinnes vom Scheitel des Theilkreises 1,59 Fuß und die Höhe zwischen diesem und dem Eintritts-punkte $19,5(1-\cos 26^\circ) = 1,9735$.

Die Eintrittsgeschwindigkeit ist daher

$$c_1 = \sqrt{2g.(0,9 . 1,04 + 1,59 + 1,9735)}$$

$$= 16,77 \text{ Fuß.}$$

Der Winkel, den die Umfangsgeschwindigkeit mit der Radschaufel einschließt ist:

$$\varphi = 90^\circ - (\delta - \beta_1) = 23^\circ$$

Ferner der Winkel ψ zwischen Strahl-richtung und Radschaufel:

$$\sin \psi = \frac{v \sin \varphi}{c_1} = \frac{8,1155 \sin 23^\circ}{16,77}$$

$$\psi = 10^\circ 54' 18''$$

Der Winkel, den die Eintrittsgeschwindig-keit mit der Tangente einschließt ist:

$$\mu = \varphi - \psi = 12^\circ 5' 42''$$

folglich die Nutzleistung:

$$L_1 = 2,112(c_1 \cos\mu - v_1)\, v_1\, Q$$

$$= 2,112(16,77 \cos 12^0 5' 42'' - 8,1155)\, 8,1155\, Q$$

$$= 141,95 .\, Q \text{ ft}$$

Der Durchschnitt des Wasserprismas einer Zelle ist:

$$F_0 = \frac{\text{Inhalt des Radkranzes}}{\text{Füllungscoefficient mal Schaufelzahl}}$$

$$= \frac{\pi(20^2 - 19^2)}{6 \cdot 96} = 0,212712 \text{ Quadratfuß}$$

Durch eine umständlichere Rechnung (mit der Schaufelconstruction) ergiebt sich der einer Zelle zukommende Durchschnitt $F = 1,16243$ und hieraus der Ausgußwinkel λ des Rades nach:

$$tg\, \lambda = \frac{F - F_0}{\frac{1}{2} d^2}$$

$$= \frac{1,16243 - 0,212712}{\frac{1}{2} \cdot 1^2}$$

$$\lambda = 62^0 14'$$

Der Winkel λ_1 für das Ende des Ausgusses ist: $\lambda_1 = \delta - \beta_1$

$$\lambda_1 = 70^0 45' - 3^0 45'$$

$$= 67^0.$$

Hiernach folgt die gesuchte Druckwirkung des Rades, wenn wie das Verhältniß der mittleren Wassermenge einer Zelle im Ausgußbogen zur Wassermenge einer Zelle am Anfang des Ausgusses $k = 0,5$ setzen,

$$a\left[\cos\theta + \sin\lambda + k(\sin\lambda_1 - \sin\lambda)\right]Q\gamma$$

$$= 20.66\left[\cos 26^0 + \sin 62^0 14' + 0,5\left[\sin 67^0 11' - \sin 62^0 14'\right]\right]$$

$= 2378\ Q$ ft.

Es ist somit die Totalleistung des Rades $P_v = (2378,5 + 141,95)Q$

$= 2520\ Q$ ft.

$P_v = P_1 v_1$ gesetzt giebt die nöthige Wassermenge

$$Q = \frac{4304,32}{2520} = 1,704 \text{ Kub. Fuß.}$$

Der Wirkungsgrad des Göpels ist endlich:

$$\eta = \frac{1500 . 2,171}{1,704 . 42,124 . 66} = 0,6857$$

Herr Professor Weisbach fand durch Versuche an diesem Göpel einen Wirkungsgrad von 0,6886, was somit sehr gut mit der Rechnung übereinstimmt.

Durchgesehen d. 22… Fol. 47.

W.