Uebungsaufgaben

aus der

Bergmaschinenlehre

im bergacademischen Lehrjahre $18\frac{48}{49}$

aufgelöst von:

Karl A. Schaarschmidt

Aufgabe. No 1. Man soll die Dimensionen von dem Querprofil eines Grabens angeben, der bei einem Gefälle von 3 Fuß auf eine Länge von 16000 Fuß p.m. 1800 Cf Wasser fortführen und dabei eine Uferböschung von 40° erhalten soll.

Auflösung: Es ist die Tiefe des Grabens:

$$a = \sqrt{\frac{F \sin\Theta}{2-\cos\Theta}},$$

die untere Breite:

$$b = \frac{F}{a} - a \cot\Theta,$$

wenn F den Inhalt des Grabenquerschnitts und Θ den Böschungswinkel bezeichnen. Ist ferner l die Länge des Canals, h das Totalgefälle und beträgt für den Böschungswinkel von 40° m = 2,711, so ist:

$$F = 0{,}0271\left(\frac{2{,}711 \cdot 16000 \cdot 30^2}{3}\right)^{\frac{2}{5}} = 19{,}17,$$

und daher:

$$a = \sqrt{\frac{19{,}17 \cdot \sin 40^\circ}{2-\cos 40^\circ}} = \sqrt{\frac{19{,}17 \sin 40^\circ}{1{,}2396}} = 3{,}16 \text{ fs}$$

$$b = \frac{19{,}17}{3{,}16} - 3{,}16 \cot. 40^\circ = 6{,}066 - 3{,}76 = 2{,}3 \text{ fs}$$

ferner die obere Breite des Grabens:

$$b_1 = \frac{F}{a} + a \cot\Theta = 6{,}066 + 3{,}776 = 9{,}842 \text{ fs}$$

der Umfang des Wasserprofils

$$p = b + \frac{2a}{\sin\Theta} = 2{,}3 + 9{,}83 = 12{,}16 \text{ fs}$$

Die Geschwindigkeit des Wassers:

$$c = \frac{Q}{F} = \frac{30}{19{,}17} = 1{,}5 \text{ fs p.s.}$$

Aufgabe No 2. Man soll für letzteren Graben eine Wasserstandsscala, welche Wassermengen von 1200–1800 Fuß anzeigt construiren.

Auflösung: Bei mittlerer Wassermenge

$$Q_1 = \frac{1200+1800}{2} = 1500 \text{ Cf.},$$

ist die mittlere Tiefe

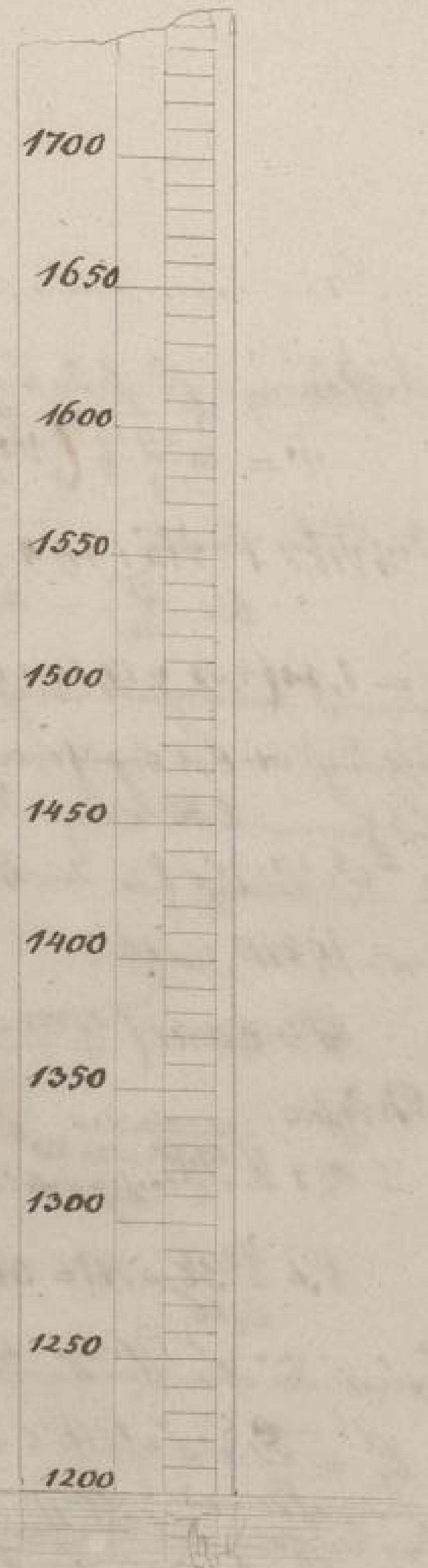
$$a_1 = \sqrt{\frac{F \sin 40^\circ}{2-\cos 40^\circ}};$$ da aber

$$F_1 = 0{,}0271\left(\frac{2{,}711 \cdot 16000 \cdot 25^2}{3}\right)^{\frac{2}{5}} = 16{,}56,$$

wird auch: $a_1 = \sqrt{\frac{16{,}56 \sin 40^\circ}{1{,}2396}} = 2{,}94.$

ferner ist: $\frac{Q-Q_1}{Q_1} = (a-a_1)\left(\frac{3b_1}{2F_1} - \frac{1}{p_1 \sin\Theta}\right)$, worin

$$p_1 = b + \frac{2a_1}{\sin\Theta} = 2{,}3 + 2 \cdot \frac{2{,}94}{\sin 40^\circ} = 11{,}45 \text{ fs},$$



und $b_1 = 9,317$.

Setzt man in diese obige Formel für b,

$$\frac{9,317+9,842}{2} = 9,579 \text{ ein, so ist:}$$

$$\frac{Q-Q_1}{Q_1} = (a_1-a)\left(\frac{3\cdot 9,579}{2\cdot 16,56} - \frac{1}{11,45 \sin 40^\circ}\right)$$

$$= (a_1-a)(0,86766-0,135820)$$

$$= (a_1-a)(0,7318).\cancel{25}$$

$$= 25+(a_1-a)18,30.$$

Setzt man nun $a_1-a = 1$ Zoll $= \frac{1}{12}$ Fuß, so ist p. s.

$Q = 25+\frac{1}{12}\cdot 18,30 = 26,53$ Cbfs oder p. m

$Q = 1591,8$ Cbf. Ferner:

$a_1 - a = 2$ Zoll $= \frac{1}{6}$ Fß, so ist p. s.

$Q = 25+\frac{1}{6}\, 18,30 = 28,05$ Cbfs p., oder p. m.

$Q = 1683$ Cbf.

folglich entsprechen 93 Cbf. 1 Zoll

$\frac{1}{9,3}$ Zoll giebt 10 Cbfs an

1,296 Linien geben 10 Cbfs an.

Aufgabe No 3. Um das Wasserquantum zu finden, welches durch ein Gerinne fortgeführt wird, hat man zuerst das Wasser durch ein eingesetztes Brett ganz abgesperrt und bis zu einer gewissen Höhe aufgestaut, nachher dasselbe um eine gewisse Höhe angezogen, und nun von Zeit zu Zeit den sinkenden Wasserstand beobachtet, endlich aber das Brett wieder nieder gelassen und die Zeit beobachtet, in welcher es auf die erste Höhe gestiegen ist; die Zahlenergebnisse waren folgende. ~~Anfang~~.

Anfangsstand des Wasserspiegels unter Null = 6,4 Zoll

nach 15 Sec. — = 7,9 —

Auflösung: Nach den gegebenen Wasserhöhen sind die Druckhöhen, bei welchen das Wasser ausfloss:

Anfang : $h_0 = 30,1-(6,4+3) = 20,7$ Zoll

nach 15 Sec : $h_1 = 30,1-(7,9+3) = 19,2$ "

" 30 " : $h_2 = 30,1-(9,5+3) = 17,5$ "

" 45 " : $h_3 = 30,1-(11,1+3) = 16,0$ "

" 60 " : $h_4 = 30,1-(13,0+3) = 14,1$ "

" 75 " : $h_5 = 30,1-(14,5+3) = 12,6$ "

" 90 " : $h_6 = 30,1-(15,9+3) = 11,2$ "

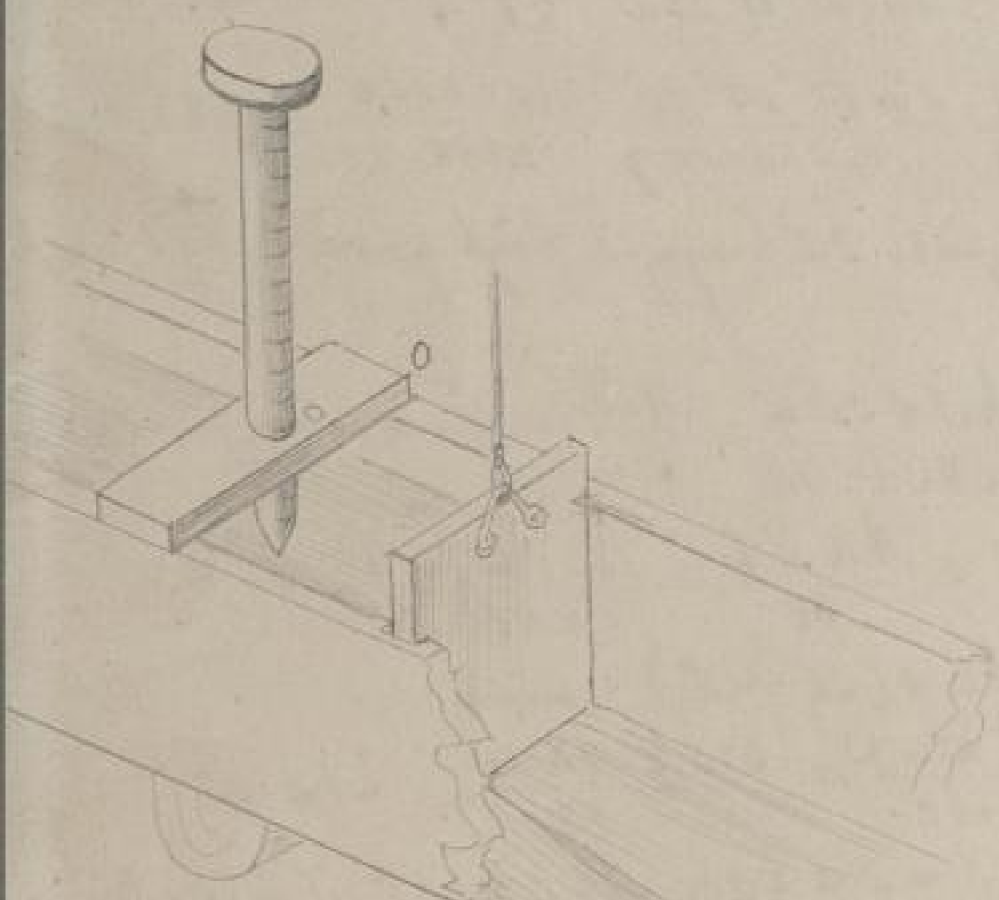
" 105 " : $h_7 = 30,1-(17,3+3) = 9,8$ "

" 120 " : $h_8 = 30,1-(18,8+3) = 8,3$ ".

Nach 30 Sec . . . . = 9,5 Zoll
" 45 . . . . = 11,1 "
" 60 . . . . = 13,0 "
" 75 . . . . = 14,5 "
" 90 . . . . = 15,9 "
" 105 . . . . = 17,2 "
" 120 . . . . = 18,8 "

Die Überfallhöhe stand unter Null ——— = 30,1 "
" Spannweite betrug ——— = 50,5 "
" Mündungshöhe und der Schützenzug = 6,0

Die Zeit des Steigens während des Abfließens war 78"



Aufgabe No 4. Es sind die Stabilitätsverhältnisse einer steinernen Brücke von 150 Fuß Spannweite und 10 Fuß Pfeilhöhe zu finden, wenn dieselbe 2 Fuß hoch übermauert ist.

Man erhält demnach die mittlere Ausflußgeschwindigkeit:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{24}\left(\sqrt{20,7} + 4\sqrt{19,2} + 2\sqrt{17,5} + 4\sqrt{16,0} + 2\sqrt{14,1} + 4\sqrt{12,6} + 2\sqrt{11,2} + 4\sqrt{9,8} + \sqrt{8,3}\right)$$

$$= 1,14(4,55 + 17,52 + 8,36 + 16 + 7,50 + 14,20 + 6,68 + 12,52 + 2,88)$$

$$= 1,14 \cdot 90,21$$

$= 102,84$ Zoll

$= 8,855$ Fuß

Nehmen wir nun den Ausflußcoefficienten $\mu = 0,6$; und ist der Flächeninhalt der Ausflußöffnung

$F = 50,5 \cdot 6 = 303$ □ Zoll $= 2,1$ □ Fuß

so ist das Ausflußquantum in 120 Secunden:

$V = 0,6 \cdot 2,1 \cdot 120 \cdot 8,855 = 1333,36$ Cbf.

und daher das Zuflußquantum pr. sec.

$$Q = \frac{1333,37}{120+78} = \frac{1333,37}{198} = 6,73 \text{ Cbf.}$$

Auflösung: Aus der gegebenen Spannweite und Pfeilhöhe des Bogens ergibt sich dessen Halbmesser:

$$\overline{AC}^2 = r_1^2 = 75^2 + (r_1 - 10)^2 = 75^2 + r_1^2 - 20r_1 + 100$$

$$r_1 = \frac{5725}{20} = 286,25 \text{ Fuß.}$$

Wir nehmen nun versuchsweise die Stärke des Gewölbes 7 Fuß an, so daß

$DC = r = 286,25 + 7 = 293,25$ Fuß,

Um zu untersuchen ob das Gewölbe bei diesem Verhältniss hinreichende Stabilität besitzt, müssen wir zuerst den Abstand des Schwerpunktes vom Gewölbschenkel Unterwanderung vom Drehungspunkte A b.. bestimmen. Wir haben da den Schwerpunkt folgender Theile zu bestimmen

Des Ringstückes ABDE Abstand Schwerpunkt liegt in der Richtung des Radius und zwar

$$CS = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}\beta}{\beta} \cdot \frac{r^3 - r_1^3}{r^2 - r_1^2};$$

wo β den dem Centriwinkel $ACB = \beta^0$ entsprechenden Bogen bezeichnet und da $\sin\beta = \frac{75}{286,25}$ für $\beta = 15^0 11' 21''$ ist, ist folglich

$$CS_1 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin(7^0 35' 40'')}{arc(15^0 11' 21'')} \cdot \frac{293,25^3 - 286,25^3}{293,25^2 - 286,25^2}$$

$$= \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin(7^0 35' 40'')}{0,2651009} \cdot \frac{1763130}{4056,48} = 288,9 \text{ Fuss}$$

Der Schwerpunkt des Trapezes liegt von der CNM Linie von C aus

$$CS_2 = \frac{MD + 2NE}{MD + NE} \cdot \frac{MN}{3}$$ entfernt, und zwar da

$$MN = DL = \frac{AK \cdot DC}{AC} = \frac{75 \cdot 293,25}{286,25} = 76,83$$

$$MD = NE + (EC - LC);$$ worin

danach ist $CK = \sqrt{r_1^2 - AK^2} = 276,2$ Fuss.

$$LC = \frac{CK \cdot LD}{AK} = \frac{276,2 \cdot 76,83}{75} = 282,95$$

folglich $MD = 2 + 293,25 - 282,95 = 12,3$; und

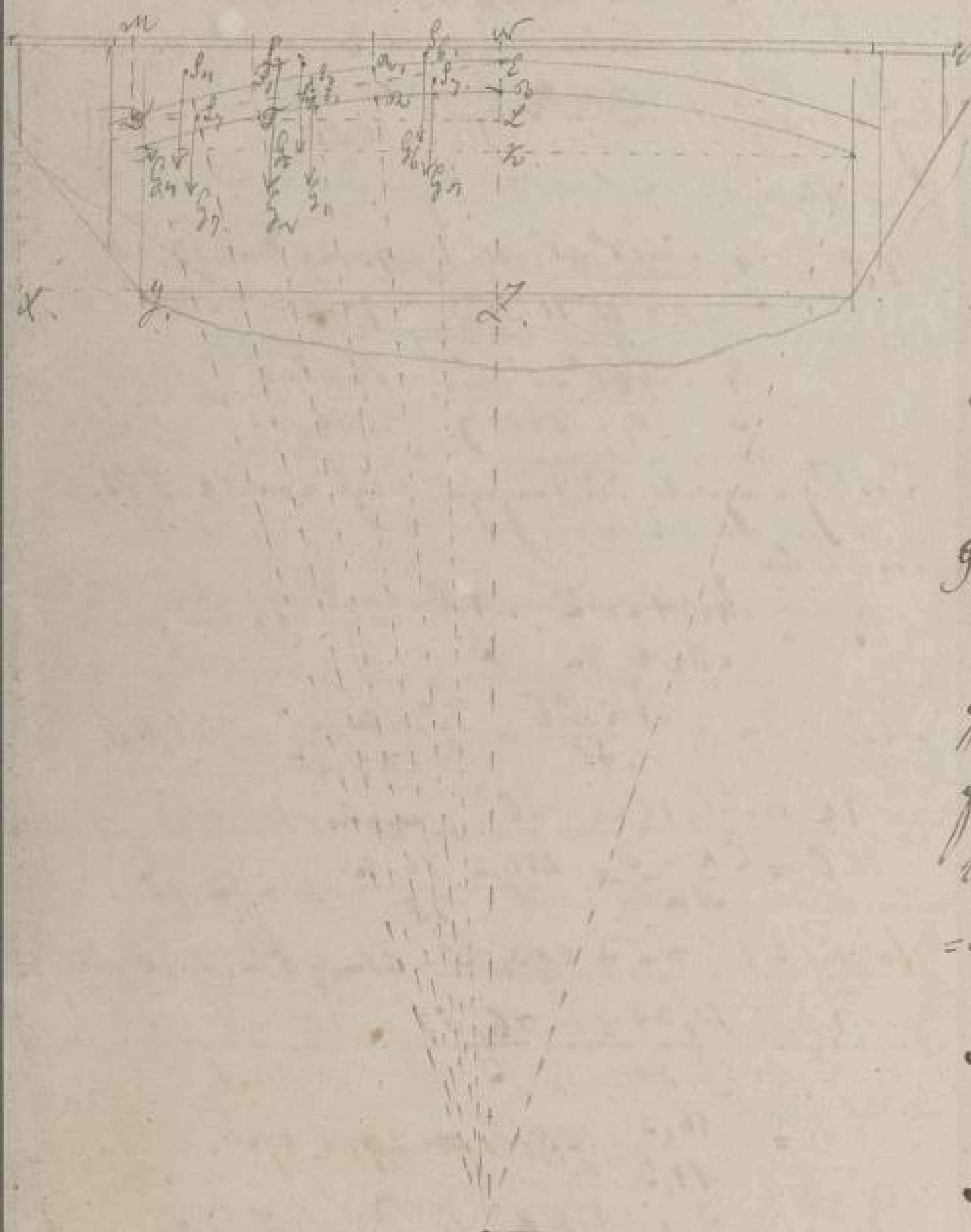
$$CS_2 = \frac{12,3 + 4}{12,3 + 2} \cdot \frac{76,83}{3}$$

$$= \frac{16,3}{14,3} \cdot 25,61 = 29,2 \text{ Fuss}.$$

Des Segments DEK, C, Schwerpunkt S_3 liegt vom Punkte C entfernt um

$$CS_3 = \frac{s^3}{12 \cdot A},$$

wo s die Sehne DE und A den Flächeninhalt des Abschnitts bezeichnet. Es ist nun:



$$s = \sqrt{DT^2 + (EC - LC)^2} = \sqrt{5903,5 + 106,1}$$
$$= \sqrt{6009,6} = 77,512\ ;$$

$$A = 0,00155 \cdot 293,25^2 = 133,29\ ;$$ folglich

$$CS_3 = \frac{77,51^2}{12 \cdot 133,29} = 291,02\ ,$$

Die Gewichte dieser drei Theile wirken als Kräfte, welche im Schwerpunkt ihren Angriffspunkt haben, und ihre Hebelarme in Bezug auf A sind:

für das Keilstück $a_1 = 36,6$
„ „ Trapez $a_2 = 27,6$
„ „ Segment $a_3 = 36,3$;

und daher der Hebelarm, an dem das Totalgewicht des Gewölbes gedacht werden kann:

$$a = \frac{g_1 a_1 + g_2 a_2 - g_3 a_3}{G}\ ,$$ wo

g_1, g_2, g_3 das Gewicht des Keilstücks, Trapezes und Segmentes bezeichnen, und G das Gewicht des ganzen Gewölbes sammt Übermauerung und zufälliger Belastung bei der Dicke von 1 Fuß.

Rechnet man die zufällige Belastung auf 1 □ Fuß = 42 ℔:

$$g_1 = 0,008727 \cdot 15\tfrac{1}{5}(r^2 - r_1^2)\gamma = 538 \cdot 150$$
$$= 80700\ ℔.$$

$$g_2 = \frac{MD + NE}{2} MN\gamma = \frac{12,3 + 2}{2} \cdot 76,83 \cdot 150$$
$$= 82400,17\ ℔$$

$$g_3 = A \cdot \gamma = 133,29 \cdot 150 = 19993,5\ ℔$$ und

$$G = g_1 + g_2 - g_3 + 42 \cdot 76,83 = 186320,53\ ;$$

$$a = \frac{80700 \cdot 36,6 + 82400,17 \cdot 27,6 - 19993,5 \cdot 36,3}{186320,53}$$

$$= \frac{2953620 + 2274245 - 725746}{186320,53}$$

$$= \frac{4502119}{186320,53} = 24,16.$$

Dem Gewichte G am Hebelarm a wirkt eine Horizontalkraft H entgegen, welche das Gewölbe um A aufwärts drehen will. Es wird demnach Gleichgewicht vorhanden sein, wenn $b . H = a G$.

Denkt man sich H in der Mitte C der Gewölbstärke angreifend, so ist $b = 13,5$ Fuß, und demnach:

$$H = \frac{24,16}{13,5} . 186320,53 = 333490,3 \text{ ℔}.$$

Die Fläche aber, auf welche dieser Druck ausgeübt wird, ist $7 . 12 . 12 = 1008$ □Zoll, sonach der Druck auf 1 □Zoll $\delta = \frac{H}{1008} = \frac{333490,3}{1008} = 330$ ℔.

Dieser Druck giebt, wenn die Gewölbe aus Quadersteinen ausgeführt wird, über 20fache Sicherheit. Denn die mittlere Festigkeit der Sandsteine ist 7200, und daher der Druck den dieselben sicher aushalten können $= 360$ ℔ auf den □Zoll.

Zu untersuchen haben wir ferner, ob das Gewölbe sich um einen andern Punkt als A drehen kann. Zu diesem Zwecke theilen wir das Gewölbe in 3 gleiche Ringstücke und suchen deren Schwerpunkte. Dieselben liegen radial von C:

$$C s_1 = \frac{4}{3} \frac{\sin \frac{1}{6} \beta^0}{\frac{1}{3} \beta} . \frac{r^3 - r_1^3}{r^2 - r_1^2}$$

$$C s_1 = \frac{4}{3} \frac{\sin (2^0 32' 13'')}{0,0883671} . \frac{1763130}{4056,48}$$

$$= 290,6$$

Die den Gewölbstücken entsprechenden Übermauerungen als trapezoidale Körper angesehen, haben folgende Gewichte:

$$G_4 = \frac{12{,}3+6{,}7}{2} \cdot 25 \cdot 150 = 35625 ℔$$

$$G_5 = \frac{6{,}7+3{,}2}{2} \, 25{,}6 \cdot 150 = 19008 ℔$$

$$G_6 = \frac{3{,}2+2}{2} \, 26 \cdot 130 = 10140 ℔;$$

Das Gewicht eines Ringstückes ist ferner

$$G_7 = 0{,}008727 \cdot 5{,}06 \, (r^2 - r_1^2) \gamma = 26869,$$

Das Gewicht des 1 Bogenstückes, der dem Scheitel zunächst liegt, sammt Übermauerung und zufälliger Belastung.

$$G_8 = G_6 + G_7 + 26 \cdot 42 = 10140 + 26869{,}5 + 1092$$
$$= 38101{,}5 ℔ .$$

Der Hebelarm für G_8 ist.

$$a_8 = \frac{G_6 a_6 + G_7 a_7}{G_8} = \frac{10140 \cdot 10{,}7 + 26869{,}5 \cdot 12{,}}{38101{,}5}$$
$$= 11{,}45$$

Dieser Kraft $G_8 a_8$ wirkt eine Horizontalkraft H_1 am Hebelarme $b_1 = 8{,}3$ entgegen, wenn wir die Kraft H_1 im Punkt Langreifen denken. Daher:

$$H_1 = \frac{G_8 a_8}{b_1} = \frac{38101{,}5 \cdot 11{,}45}{8{,}3} = 52566{,}9 ℔ .$$

Ferner ist das Gewicht des 1. u. 2ten Gewölbstückes

$$G_9 = G_5 + G_6 + G_7 + 51{,}6 \cdot 42$$
$$= 19008 + 10140 + 53739{,}0 + 2167{,}2$$
$$= 85054{,}2 .$$

Der Hebelarm für G_9 ist sonach in Bezug auf T

$$a_9 = \frac{G_5 a_{10} + G_6 \cdot a_{11} + G_7 (a_{12} + a_{13})}{G_9}$$
$$= \frac{19008 \cdot 19{,}5 + 10140 \cdot 35{,}6 + 26869{,}5 (37+1}{85054{,}2 .}$$
$$= 24{,}7, \text{ und}$$

$$H_2 = \frac{G_9 a_9}{b_2} = \frac{85054{,}2 \cdot 25{,}5}{11{,}7} = 179669{,}2$$

Das vereinigte Gewicht des ersten, 2. u. 3ten Keilstückes sammt Uebermauerung ist

$$G_{10} = g_4 + g_5 + g_6 + 3\,g_7 + 76,83 . 42$$

$$= \cancel{g_4 a_{14}}\,35625 + 19008 + 10140 + 80608,5 + 3226,86$$

$$= 148698,4.$$

Der Hebelarm desselben in Bezug auf A als Drehpunkt

$$a_{10} = \frac{g_4 a_{14} + g_5 a_{15} + g_6 a_{16} + g_7 (a_{17} + a_{18} + a_{19})}{G_{10}}$$

$$= \frac{35625 . 9,5 + 19008 . 34,2 + 10140 . 50,4 + 26869,5 (11, + 26,8 + 61,7)}{148698,4}$$

$$= 30,6\,;$$

und $h_3 = \dfrac{G_{10}\, a_{10}}{b_3} = \dfrac{148698,4 . 30,6}{17} = 267877,9$

Da diese Horizontalkräfte alle kleiner sind als die vorhergehenden, so kann ein Drehen um irgend einen Punkt des Gewölbes überhaupt nicht statt finden. Ebenso findet man auch, daß nach außen ein Drehen nicht statt finden kann.

Um ferner zu untersuchen, ob irgend ein Stück des Gewölbes herabgleiten oder hinaufgeschoben werden kann, müssen wir die Neigungswinkel der Gewölbfugen gegen den Horizont suchen. Es ist.

$\angle KUA = \alpha_1 = 90° - \frac{1}{3}\beta = 84°, 56', 13''$
$\angle JUA = \alpha_2 = 90° - \frac{2}{3}\beta = 79° 52' 26''$
$\angle DAW = \alpha_3 = 90° - \beta = 74° 48' 39''$

Nehmen wir noch den Reibungswinkel $\varrho = 30°$ an, so ist die Horizontalkraft um das dem Scheitel am nächsten liegende Gewölbstück sammt Uebermauerung vor dem Herabgleiten auf der Fuge KR, zu schützen.

$P_1 = G_8 \, tg(\alpha_1 - \varrho) = 38101{,}5 \, tg(54^\circ 56' 13'')$

$= 54287{,}3$ Ct.

Die für das 1. u. 2te Stück in Rücksicht auf die Fuge vv_1:

$P_2 = G_9 \, tg(\alpha_2 - \varrho)$

$= 85054{,}2 \, tg(49^\circ 52' 26) = 100911{,}7$;

Endlich für das ganze Gewölbe in Rücksicht auf die Fuge AD:

$P_3 = G_{10} \, tg(\alpha_3 - \varrho) = 148698{,}4 \, tg(44^\circ 48' 39)$

$= 147719{,}7$.

Diese Horizontalkräfte sind alle kleiner als die schon gefundene H, folglich ist ein Herabgleiten nicht möglich. Ebenso ein Hinaufschieben auf irgend einer Fuge, denn ein Hinaufschieben kann auf Gewölbfugen deren Neigung größer oder gleich $(90^\circ - \varrho$ d. i. $60^\circ)$ nicht stattfinden, und hier ist $\alpha_1 \, \alpha_2 \, \alpha_3 > 60^\circ$.

Berechnung der Widerlager:

Die Dicke der Widerlagsmauer um ein Biegen im Punkte X zu verhindern ist

$$c = -\frac{g}{h_1 \gamma} + \sqrt{\frac{1{,}9 \, H (h + h_1) - g a}{\frac{1}{2} h_1 \gamma} + \left(\frac{g}{h_1 \gamma}\right)^2}$$

wenn $h_1 = AY = 40$ Fuß, $h = EK = 17$ Fuß.

Der passive Erddruck der hinter den Widerlagern ruhenden Erde wirkt der Horizontalkraft entgegen und ist

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{7}{8} h\right)^2 \gamma_1 \left[tg\left(45^\circ + \frac{\varrho_1}{2}\right)\right]^2 \cancel{\cdot}$$

Nehmen wir $\gamma_1 = 107{,}6$ und $\varrho_1 = 39^\circ$ an, so ist:

$$P = \frac{1}{2} \, 59^2 \cdot 107{,}6 \, (tg(64{,}5))^2$$

$= \cancel{1042201{,}5}$ 823178,5 Ct.

823128,5.

$$P = \frac{1}{2} \cdot 59^2 \cdot 101,6 \cdot (\mathrm{tg}(64°5'))^2$$

$$= 8231725,5 \text{ tt}.$$

Das Moment der Kraft P in Bezug auf den Punkt D ist aber:

$$P \cdot \frac{h+h_1}{3} = P \cdot 19$$

Dieses Moment ist in der Gleichung für c von 1,9 H (h+h₁) die von dem Moment der Kraft im Gewölbescheitel abzuziehen, und wird erhalten:

$$c = -\frac{Q}{h \cdot \gamma} + \sqrt{\frac{1,9\,H(h+h_1) - P\frac{(h+h_1)}{3} - Qa}{\frac{1}{2} h \cdot \gamma} + \left(\frac{Q}{h\gamma}\right)^2}$$

$$= -\frac{186320,53}{40 \cdot 150} + \sqrt{\frac{36116999,49 - 15640391,5 - 4502119}{3000} + 31,05^2}$$

$$= -31,053 + \sqrt{\frac{15974488,9}{3000} + 964,315}$$

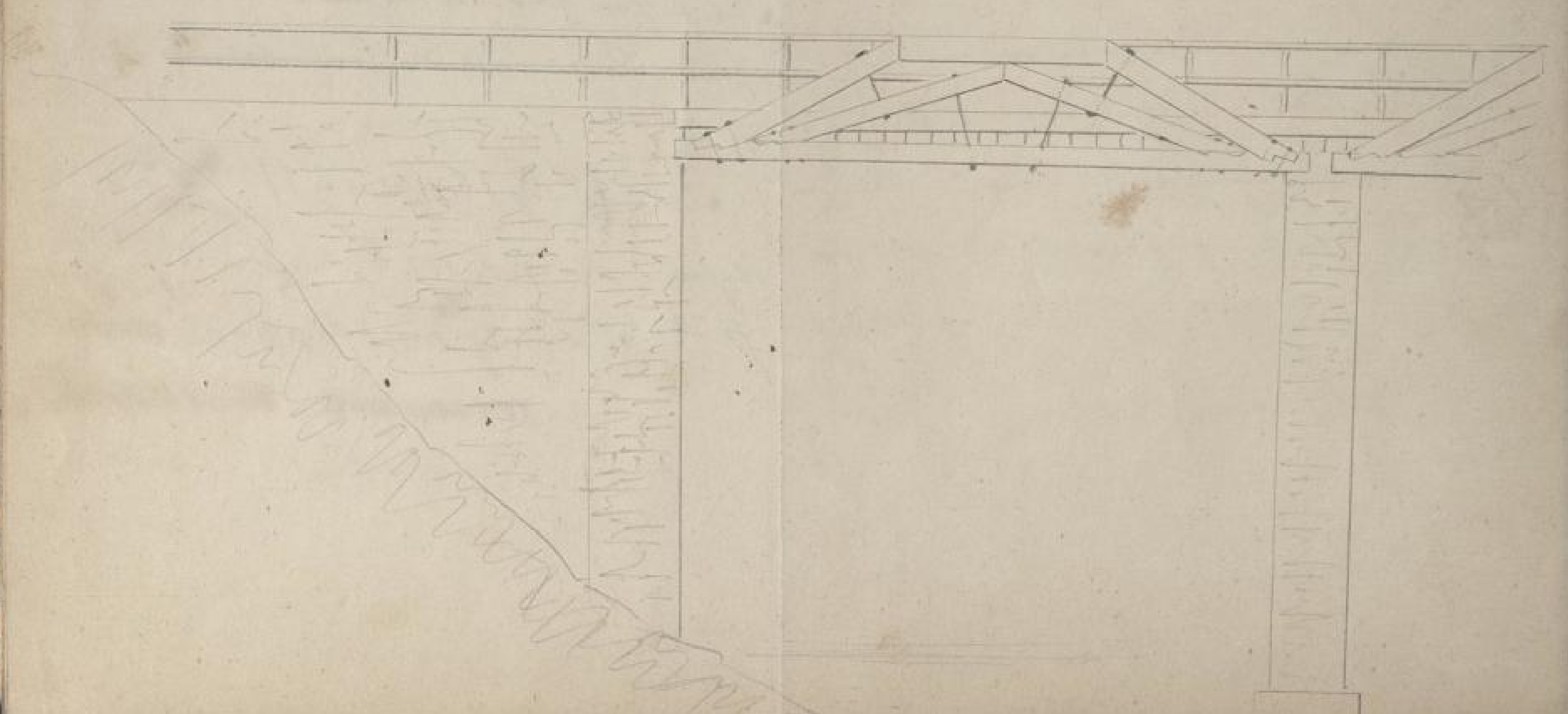
$$= -31,053 + \sqrt{5324,8296 + 964,315}$$

$$= -31,053 + \sqrt{6289,1446}$$

$$= -31,053 + 79,301$$

$$= 48,251 \text{ Fuß}.$$

Das Fortschieben der Widerlagsmauer ist nicht möglich da der Wasserdruck P schon größer als H ist.



Aufgabe № 5. Es ist für dieselbe Spannweite eine hölzerne Brücke von 24 Fuß Breite anzuordnen und zu berechnen.

Auflösung: Wir nehmen hier 2 Mittelpfeiler an, und erhalten so, wenn wir jedem dieser Pfeiler eine Stärke von 8 Fuß geben, für eine Sprengwerk Spannweite von 44,6 Fuß. Bei einem Hängewerk der oben angegebenen Construction stellen sich dann folgende statische Verhältnisse heraus.

Das Totalgewicht, incl. der zufälligen Belastung à 42 ℔ auf den □Fuß gerechnet:

$$G = 85989 \text{ ℔}.$$

wovon die Hälfte je eine = 42994,5 ℔ auf je ein Hängewerk zu tragen kommt. Der Unterzug ist außer von den Stützpunkten, die ihm die Pfeiler geben noch in den Punkten D, D_1, D_2, unterstützt. Man kann nun annehmen, daß jede Mauer $\frac{1}{6}$ des Gewichtes G trägt, daß D u. D_1 die Last $= \frac{1}{4} G$, D_2 aber $= \frac{1}{6}$ zu tragen haben. Dann ist die Horizontalkraft H im Spannriegel und am Ende des Unterzugs

$$H = \frac{1}{8} G \operatorname{cotg} \delta = 10748{,}625 \cdot \operatorname{cotg}(18^\circ 30')$$
$$= 32124{,}24 \text{ ℔};$$

die Kraft S in der Richtung der Strebe, wenn wir den Neigungswinkel δ der Strebe $= 18^\circ 30'$ annehmen:

$$S = \frac{\frac{1}{8} G}{\sin \delta} = \frac{10748{,}625}{\sin(18^\circ 30')} = 33875{,}25 \text{ ℔}.$$

Mit Hülfe dieser beiden Kräfte H u. S sind nun die Stärken der Hölzer und Eisenstäbe zu berechnen.

Ein Spannriegel hat sowohl Druckwirkung, als relative Festigkeit auszuüben, und wird beiden einwirkenden Kräften widerstehen, wenn sein Querschnitt:

$$Q = b h = \frac{H}{k_1} + \frac{9 b}{k_2 h} \text{ ist.}$$

wo ferner $k_1 = 740$ ℔ den Festigkeitsmodul der rückwirkenden Festigkeit, $k_2 = 1050$ ℔ den der relativen Festigkeit, bei 10facher Sicherheit genommen, $h = 2$ Fuß die Höhe und $l = 14,86$ Fuß die Länge des Spannriegels bezeichnet. – Es ist hiernach:

$$bh = \frac{33875,25}{740 . 144} + \frac{42994,5 . 14,86}{1050 . 2 . 144}$$

$$= 0,32 + 2,06$$

$$b = 1,19 \text{ Fuß}.$$

Auf die Streben wirkt blos die Kraft S, d. h. sie haben nur rückwirkende Festigkeit zu besitzen. Nach der Formel:

$$S = 0,205 \frac{bh^3}{l^2} E,$$

erhält man die Höhe der Streben:

$$h = \sqrt[3]{\frac{S l^2}{0,205 . b . E}}$$

wenn man die obigen Werthe und für $l = 28$ Fuß und $E = 1000000$ ℔ einsetzt:

$$h = \sqrt{\frac{33875,25 . 28^2}{0,205 . 1,19 . 144 . \frac{1000000}{10}}} = 1,61 \text{ Fuß}.$$

Diese Höhe ist für die untere Stärke, wo der Balken aufgelagert ist anzunehmen.

Für das Zerdrücken würden müssten:

$$F = bh = \frac{S}{k_1} = \frac{33875,25}{750 . \frac{5}{6} . 144}$$

$= 0,38$ □Fuß sein.

Da der oben gefundene Querschnitt größer ist, so kann auch das letztere nicht eintreten.

Von den Hängesäulen hat jede

$\frac{1}{32} G = 2657,15$ ℔ zu tragen.

Diese werden daher hinreichend fest, wenn

$$F = r^2\pi = \frac{2687,15}{10000} = 0,26 \square''.$$

Daraus erhält man:

$$r = \sqrt{\frac{0,26}{3,14}} = 0,286$$

$$d = 2r = 0,57 \text{ Zoll}.$$

Die mittelste Hängesäule trägt $\frac{1}{12} G$, daher

$$r = \sqrt{\frac{7165,75}{10000 \cdot 3,14}} = 0,478$$

$$d = 0,95.$$

Der Unterzug A ist viermal unterstützt. Lassen wir jedoch die mittelste Unterstützung unberücksichtigt, so trägt jedes der 3 andern Balkenstücke: $\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} G = \frac{1}{6} G$. Außer dem wirkt aber noch die Kraft H horizontal auf den Balken. Demnach erhält man, bei gleichförmiger Vertheilung der Last, $= \frac{1}{6} G$, auf den Balken

$$bh = \frac{H}{1200 \cdot 144} + \frac{\frac{1}{48} G l}{200\, h \cdot 144},$$

wo $l = 14,9$ Fuß, $h = 1,5$ Fuß. Demnach

$$bh = \frac{32124,22}{1200 \cdot 144} + \frac{14,9 \cdot 14331,5}{8 \cdot 200 \cdot 1,5 \cdot 144}$$

$$= 0,184 + 0,776 = 0,960;$$

$$b = 0,64 \text{ Fuß}.$$

Pfeilerstärke. Auf die Strompfeiler wirken nur vertical gerichtete Kräfte, die man $G_1 =$ dem Gewichte des Pfeilers:

$$\frac{2}{6} G + \frac{2}{6} G + G_1;$$

Nimmt man die Höhe des Pfeilers 30 Fuß, die Breite 24 Fuß, die Dicke 150 Zoll, so übt die entsprechende Festigkeit keinen Nachtheil hat, wenn

$$F = bl = \frac{\frac{1}{3}hG + g}{k} \text{ ist,}$$

wo F den Querschnitt des Pf. und k die Festigkeit an die des Erddruckes bezeichnet. Es ist aber:

$$bl = \frac{28663}{70.144} + \frac{h.24.30.150}{70.144}$$

$$b.24\left(\frac{70.144 - 30.150}{28663}\right) = 28663$$

$$b = \frac{28663}{24(10080 - 4500)} = 0,2 \text{ Fuß};$$

Die Mauer wird daher hinreichend stark werden, wenn wir in Rücksicht auf die Einwirkungen des Eises, Wassers, Windes und auch den Schub von Seiten zufälliger bewegter Belastung auf der Brücke, ihre Stärke festsetzen.

Der passive Erddruck auf Landpfeiler ist:

$$P = \frac{1}{2} h^2 \gamma \left[tg\left(45^0 + \frac{\rho}{2}\right)\right]^2 = \frac{1}{2}\, 30^2\, 107,6 \left[tg(45^0 + 19\tfrac{1}{2})\right]^2$$

$$= 212830 \text{ Pfd.}$$

Diese Kraft greift in 3 Theilen der Höhe an. Ihr wirkt das Gewicht des Pfeilers:

$G_1 = 30.24.6$ □ Fuß, so wie der auf den Pfeiler kommende Theil $\frac{1}{3} G$ des Gewichts der Brücke am Hebelarm $\frac{1}{2} b$ entgegen.

Gleichgewicht ist demnach vorhanden, wenn

$$P\frac{h}{3} = \left(G_1 + \frac{1}{3} G\right)\frac{1}{2} b \text{ ist.}$$

Daraus folgt:

$$b^2 = \frac{P}{12.3.150} - \frac{1}{30.12.6.150}\, G.b.$$

$$b = -\frac{8589}{30.12.12.150} + \sqrt{\left(\frac{8589}{30.144.150}\right)^2 + \frac{212830}{36.150}}$$

$$= -1,49 + \sqrt{2,22 + 31,31} = 4,3 \text{ Fuß}.$$

Der Sicherheit wegen können wir hier etwa 10 Fuß annehmen.

Aufgabe: No 6. Man soll für denselben Zweck die Anordnung und Berechnung einer Kettenbrücke vollziehen.

Giebt man der Brücke auf ihre ganze Länge 44 Hängeeisen, so erhält man 44 Theile, und die Entfernung zweier Hängeeisen voneinander beträgt

$$\frac{150}{44} = 3,409 \text{ Fuß.}$$

Wir erhalten nun die Länge der Hängeeisen nach der Formel $x = \frac{y^2}{b^2} \cdot a$ 4, wo y die Entfernung der Hängeeisen von der Mitte, b die halbe Länge der Brücke und a die Bogenhöhe der Kette bezeichnet. Führen wir die Zahl n der Hängeeisen ein, so ist die jedesmalige Länge von der Mitte ausgerechnet: $0, \frac{a}{n^2}, \frac{4a}{n^2}, \frac{9a}{n^2}$ u.s.w. Nehmen wir nun der Aufgabe gemäß $a = 10$ Fuß, so erhalten wir, wenn $n = 22$, und zu jeder Länge 2 Zoll addirt wird, die Länge der Hängeeisen, von der Mitte ausgerechnet:

2 Zoll, 2,24; 2,98; 4,23; 5,97; 8,20 Zoll u.s.f.

Ist nun die Breite der Brücke 24 Fuß, so ist die zufällige Maximalbelastung (42 ℔ à □ Fuß) der halben Brücke = 75.24.42 = 75600, und wiegt die halbe, vollkommen armirte Brücke ebenso viel, so ist das Totalgewicht derselben

$$G_1 = 151200 \text{ ℔}$$

und der Querschnitt sämmtlicher Hängestäbe

$$F_1 = \frac{151200}{2190} = 69,04 \text{ □ Zoll.}$$

Hängen wir jede Brückenhälfte an 45 Hängeeisen, so ist der Querschnitt jedes einzelnen

$$F = \frac{69,04}{45} = 1,53 \text{ □ Zoll.}$$

Wendet man Stäbe von Quadrateisen an, so ergiebt sich die Dicke derselben:

$\delta = 1{,}23$ Zoll,

Das Volumen sämmtlicher Hängeeisen ist, da die mittlere Länge der Stäbe

$$\left(\frac{120}{3} + 2\right) \text{Zoll} = 42 \text{ Zoll ist,}$$

$$v = 90 \,.\, 42 \,.\, 1{,}53 = 5783{,}42 \text{ Cubzoll.}$$

und ihr Gewicht, wenn ein Cubikzoll Schmiedeeisen 0,29 ℔ wiegt: $5783{,}42 \,.\, 0{,}29$

$$= 1677{,}2 \text{ ℔},$$

und es wird das Gewicht der ganzen Brückenbahn sammt zugehörigen Hängeeisen

$$G = 151200 + 1677{,}2 = 152877 \text{ ℔}.$$

Setzt man nun in die Formel:

$$F = \frac{G_1}{K \sin\alpha - b\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{a}{b}\right)^2\right]\gamma},$$

$G_1 = 152877{,}2$; $K = 17500$; $b = 75 \,.\, 12 = 900$; $\frac{a}{b} = \frac{10}{72} = 0{,}13888$; $\gamma = 0{,}29$; u. $\sin\alpha$ $= \frac{2a}{\sqrt{b^2 + 4a^2}} = \frac{1}{\sqrt{15{,}06}} = 0{,}25768$;

so erhalten wir den Querschnitt der Spannketten

$$F = \frac{152877{,}2}{17500 \,.\, 0{,}25768 - 900\left[1 + \frac{2}{3}(0{,}1388)^2\right]0{,}29}$$

$$= \frac{152877{,}2}{4509{,}75 - 264{,}36}$$

$$= \frac{152877{,}2}{4245{,}39} = 36{,}01 \;\square\text{Zoll};$$

Nehmen wir 4 Spannketten, so erhalten wir den Querschnitt jeder Spannkette

9 □Zoll.

Die Größe d, um welche sich die Bogenhöhe a durch die angehängte Last vermehrt, ergibt sich durch die Formel

$$\Delta = \frac{3}{8}\,\frac{G}{J.E}\cdot\frac{b^3}{a^2}\;;$$

Setzt man hierin G gleich dem Gewichte der Brücke vermehrt um das halbe Gewicht der Tragketten, also

$$G = 152877,2 + Fb\left[1+\frac{2}{3}\left(\frac{a}{b}\right)^2\right]\delta$$

$$= 152877,2 + 264,36 \cdot 36,01$$

$$= 152877,2 + 9516,96$$

$$= 162394,2 \text{ Ct.},$$

E den Elasticitätsmodul $= 29000000$, so ist

$$\Delta = \frac{3}{8}\;\frac{162394,2}{36,01 \cdot 29000000}\cdot\frac{900^3}{120^2}$$

$$= 2,7 \text{ Zoll}.$$

Ferner erhalten wir die Größe, um welche sich die Bogenhöhe a bei einer Temperaturveränderung τ von $30°$ vermehrt

$$\Delta_1 = 0,0000915 \cdot 30\;\frac{900^2}{200}$$

$$= \frac{0,0915 \cdot 9 \cdot 81}{12} = 1,85 \text{ Zoll}.$$

Das Gewicht der belasteten Kette ist

$$= 162394,2 \text{ Ct.}$$

das der unbelasteten

$$= 162394,2 - 75600$$

$$= 86794,2 \text{ Ct.}$$

Geht die Kette über Rollen und ist das Verhältniß des Rollenhalbmessers zum Zapfenhalbmesser $= \frac{1}{4}$, ist ferner $f = \frac{1}{4}$, so ist die

Zapfenreibung der Rollen

$$= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} (162394,2 + 86794,2)$$

$$= 15574 \text{ Pfd.}$$

Es ist aber die Differenz der Spannungen =

[illegible] Pfd.;

also viel größer als die Reibung. Es tritt daher eine Bewegung ein, bis diese Differenz gleich der Reibung ist. Nimmt man eine Pfeilerhöhe von 16 Fuß und eine Dicke von 4 Fuß, und die Dichtigkeit der Mauermasse = 130 Pfd, so hat man für die nöthige Pfeilerbreite

$$b^2 + \frac{249188,4}{16.4.130}\, b = \frac{2.15574 \cos}{4.130}.$$

$$b^2 + 30,0 b = \frac{15574 . 0,93333}{260} = 55,9[illegible]$$

daher $b = \frac{55,9[illegible] - b^2}{30,0} = 1,86$ Fuß.

Wofür zur Sicherheit das Dreifache = 5,58 Fuß.

Die Länge der Widerlagsmauer

$$l = \frac{2 S \sin\alpha}{h d \gamma},$$

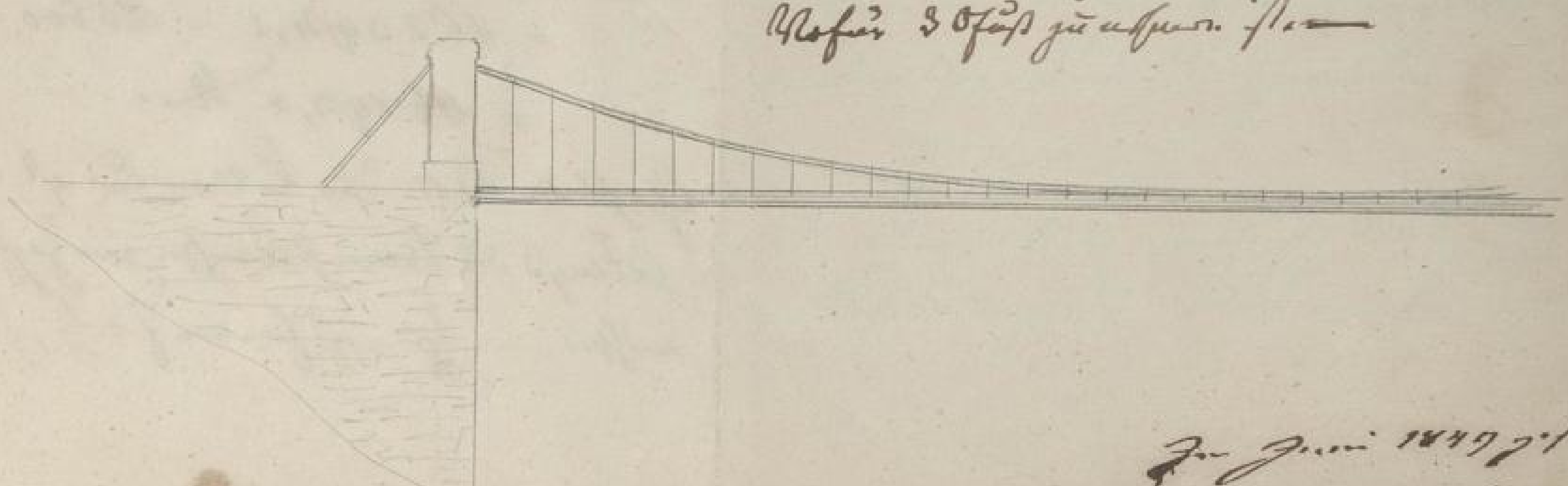
wo S die Drahtspannung, h die Höhe, d die Dicke der Widerlagsmauer, γ die Dichtigkeit: und zwar $h = 16$, $d = 10$, $\gamma = 130$. daher

$$l = \frac{2.162394,2}{16.10.130}$$

$$= \frac{324788,4}{20800}$$

$$= 15,6 \text{ Fuß}.$$

Wofür 30 Fuß zu nehmen sind.



Im Juni 1847 gef.

[illegible]

Aufgabe. No 7. Man soll die Höhe eines Wehres berechnen, durch welches das Wasser in einem 20 Fuß breiten, 4 Fuß tiefen Graben, 5 Fuß aufgestaut wird, wenn einem vorausgeschickten Nivellement zu Folge die Neigung des Flußbettes 0,00075 ist. Auch soll angegeben werden, wie groß dann die Wassertiefe 4000 Fuß oberhalb des Wehres ist und in welcher Entfernung vom Wehre die Aufstauung nur 1 Zoll beträgt.

Auflösung:

Bei der gleichförmigen Bewegung des Wassers ist die Geschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{F}{\xi \cdot 1 \cdot p} \, 2 \cdot g \cdot h}\,,$$

worin $F = 20 \cdot 4 = 80$,

$p = 28$,

$\frac{h}{l} = 0{,}00075$,

$\xi = 0{,}0075$,

$2g = 62{,}5$ ist.

Daher $c = \sqrt{\frac{80 \cdot 62{,}5 \cdot 0{,}00075}{0{,}0075 \cdot 28}} = \sqrt{\frac{3{,}75}{0{,}21}}$

$= \sqrt{17{,}86} = 4{,}226$ Fuß.

Daraus folgt für das Wasserquantum:

$Q = c \cdot F = 80 \cdot 4{,}226 = 338{,}08$ Cf.

Bei der Größe der Aufstauung gemäß folgende Formel:

$$x = a + h_1 - \left(\frac{3Q}{2\mu b \sqrt{2g}}\right)^{\frac{2}{3}}, \text{ wo}$$

$a = 4$, $h_1 = 5$, $Q = 338{,}08$,

$b = 20$, $\mu = 0{,}80$ und $\sqrt{2g} = 7{,}906$,

so wird daher:

$$x = 4 + 5 - \left(\frac{3 \cdot 338{,}08}{2 \cdot 0{,}8 \cdot 20 \cdot 7{,}906}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 9 - \left(\frac{1014{,}24}{252{,}992}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 9 - 2{,}521$$

$$= 6{,}48 \text{ Fuß}.$$

Der Ueberfall ist demgemäß ein vollkommener.

Die Wassertiefe unmittelbar am Wehre ist

$t = 4 + 5 = 9$ Fuß.

Um nun die einer gegebenen Entfernung entsprechende Wassertiefe zu finden dient die Formel:

$$a_0 - a_1 = \frac{\left(\sin\alpha - \zeta \frac{p_0}{a_0 b_0} \cdot \frac{v_0^2}{2g}\right) l}{1 - \frac{2}{a_0} \frac{v_0^2}{2g}};$$

woraus, wenn:

$p_0 = 30$ ft,

$l = 1000$ ",

$a_0 = 9$,

$a_0 b_0 = 180$,

$v_0 = \frac{338,08}{180} = 1,88$ und

$\zeta = 0,0075$,

$$a_0 - a_1 = \left(\frac{0,00075 - 0,0075 \cdot \frac{30}{180} \cdot \frac{1,88^2}{62,5}}{1 - \frac{2}{9} \cdot \frac{1,88^2}{62,5}}\right) 1000$$

$$= \frac{0,00067986 \cdot 1000}{0,98756} = 0,689 \text{ ft}$$

Ebenso nun bei:

$a_0 = 9 - 0,689 = 8,311$,

$l = 1000$,

$p_0 = 29,5$,

$a_0 b_0 = 166,22$,

$v_0 = \frac{338,08}{166,22} = 2,033$,

$\zeta = 0,0075$:

$$a_0 - a_1 = \frac{\left(0,00075 - 0,0075 \frac{29,5}{166,22} \cdot 0,066\right)}{1 - \frac{2}{8,311} \cdot 0,066} 1000$$

$$= \frac{0,00066228 \cdot 1000}{0,98412} = 0,673 \text{ ft}$$

Ferner bei: $l = 1000$,

$p_0 = 29$,

$a_0 = 8,311 - 0,673 = 7,638$,

$a_0 b_0 = 152,76$,

$v_0 = \frac{338,08}{152,76} = 2,213$,

$\zeta = 0,0075$:

$$a_0 - a_1 = \left(\frac{0,00075 - 0,0075 \cdot \frac{29}{152,76} \cdot 0,078}{1 - \frac{2}{7,638} \cdot 0,078}\right) 1000$$

$$= \frac{0{,}00063944 \cdot 1000}{0{,}98} = 0{,}652$$

Ferner wenn nach Blatt oben:

$$p_0 = 28{,}5\,,$$

$$a_0 = 7{,}638 - 0{,}652 = 6{,}986\,,$$

$$a_0 b_0 = 139{,}72\,,$$

$$v_0 = \frac{338{,}08}{139{,}72} = 2{,}420\,:$$

für die Senkung:

$$a_0 - a_1 = \frac{\left(0{,}00075 - 0{,}0075\,\frac{28{,}5}{139{,}72} \cdot 0{,}094\right) 1000}{1 - \frac{2}{6{,}986} \cdot 0{,}094}$$

$$= \frac{0{,}00060613 \cdot 1000}{0{,}9731} = 0{,}623 \text{ Fuß}$$

bei $4 \cdot 1000 = 4000$ Fuß oberhalb des Wehres ist die Wassertiefe noch

$$6{,}986 - 0{,}623 = 6{,}363 \text{ Fuß}.$$

die Stauhöhe

$$= 2{,}363 \text{ Fuß}.$$

Die einer sehr kleinen Aufstauung entsprechende Stauweite,

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

wenn $y = 1$ Zoll $= \frac{1}{2}$ Fuß, ist:

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

$$= \frac{5 + 0{,}828\left(4 - \frac{4{,}23^2}{31{,}25}\right)}{0{,}00075}$$

$$= \frac{5 + 2{,}837887}{0{,}00075} = 10450{,}52$$

Fuß.

Aufgabe No 8.

Man soll für ein Gefälle von 30 Fuß und ein Wasserquantum $Q = 6$ Cubikfuß p. s. die Anordnung und Berechnung eines oberschlächtigen Wasserrades ausführen.

Auflösung:

Giebt man dem Rad eine Geschwindigkeit von 5 Fuß p. s., eine Kranzbreite von 1 Fuß, und läßt man das Wasser doppelt so schnell eintreten als die Geschwindigkeit des Rades beträgt, so ist die Eintrittsgeschwindigkeit:

$c = 2.5 = 10$ Fuß und das zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit nöthige Gefälle

$$h_1 = 1{,}1 \frac{c^2}{2g} = 1{,}1 \frac{100}{62{,}5} = 1{,}76 \text{ Fuß}$$

Ziehen wir dieses vom Totalgefälle $h = 30$ Fuß ab, so bleibt für das eigentliche Radgefälle:

$h_2 = \frac{h - h_1}{2} = 14$ Fuß; für die Umdrehungszahl des Rades p. m.:

$$v = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot a} = 9{,}55 \frac{5}{14} = 3{,}4$$ und

die Radweite

$$e = 38{,}2 \frac{6}{3{,}4 \cdot 14} = 4{,}8 \text{ Fuß}$$

Die Entfernung zwischen je 2 Schaufeln ist

$s = 7\left(1 + \frac{a}{10}\right) = 15{,}4$ Zoll, wenn $a = 12$ ist.

Daraus ferner die Schaufelzahl

$$n = \frac{2 \cdot \pi \cdot 14 \cdot 12}{15{,}4}$$

$$= \frac{1055{,}04}{15{,}4} = 68;$$

der Theilwinkel

$$\beta = \frac{360}{8} = 5^\circ 18',$$

und dann nach der Erfahrung die Nasenschaufel $= \frac{5}{4}$ des Theilwinkels genommen, der Laufwinkel:

$\beta_1 = \frac{5}{4} \cdot \frac{90^\circ}{17} = 6\left(\frac{3}{5}\right)^\circ = 6^\circ 36'$; und

für den Drehungswinkel:

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

$$= \frac{14 \cdot 0{,}1149}{\frac{1}{2} - 14(1 - 0{,}9934)}$$

$$= 3{,}9465162;$$

daher

$$\delta = 75^\circ 46' 52{,}''3.$$

Die Richtung in der das Wasser in das Radeintritt, wenn dieß um 12° unter dem Scheitel geschieht, wird durch den Winkel, welchen die Umfangsgeschwindigkeit mit der Stoßschaufel einschließt, bestimmt:

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

$$= 90^\circ - 69^\circ 52' 3''$$

$$= 20^\circ 49' 7{,}''7$$

Daraus folgt der Winkel, um welchen die Wasserrichtung von der Stoßschaufel abweichen muß, damit das Wasser ungehindert in die Zellen eintrete:

$$\sin \psi = \frac{v \cdot \cos(\delta - \beta_1)}{c}$$

$$= \frac{5 \cos 69^\circ 10' 32{,}''3}{10}$$

$$= 10^\circ 14' 10{,}''4.$$

Der Neigungswinkel des Wassers gegen

$$\nu_1 = \varphi - \psi + \omega = 22^\circ 34' 57{,}''3.$$

und die relative Eintrittsgeschwindigkeit:

$$c_1 = \frac{c \sin(\varphi - \psi)}{\sin \psi} = \frac{10 \cdot \sin 10^\circ 34' 57{,}3''}{\sin 20^\circ 49' 7{,}7''}$$

$$= \frac{10 \cdot 0{,}1836}{0{,}3554} = 5{,}166 \text{ Fuß}$$

Die Leistung des Rades:

Das Wasserquantum in einer Zelle ist

$$v = \frac{60\,Q}{n \cdot u} = \frac{60 \cdot 6}{68 \cdot 3{,}4} = 1{,}557 \text{ Kubikfuß};$$

demnach ihr Querschnitt

$$F = \frac{v}{c} = \frac{1{,}557}{4{,}8} = \frac{144 \cdot 1{,}557}{4{,}8} = 46{,}71 \,\square \text{ Zoll}$$

Findet man durch Messung $AoBD = S = 36 \,\square$ Zoll und für $AoPD$ $72 \,\square$ Zoll, so ist der Umfang des Endausgusses

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{36 + 72 - 46{,}71}{\frac{1}{2} \cdot 144}$$

$$= 0{,}85125; \text{ und daher}$$

$$\lambda = 40^\circ 24' 22''.$$

Der Winkel, unter dem das äußere Schaufelende den Halbmesser des Rades trifft ist:

$$\lambda_1 = 54^\circ.$$

Daher die Höhe KA_1 des wasserhaltenden Bogenteils, in dem das Entleeren erfolgt

$$h = a(\sin \lambda_1 - \sin \lambda)$$

$$= 14(\sin 54^\circ - \sin 40^\circ 24' 22'')$$

$$= (0{,}8090 - 0{,}6482)\, 14$$

$$= 2{,}25 \text{ Fuß}.$$

Verzeichnet man innerhalb dieser Höhe noch 3 Schaufelstellungen, so findet man durch Messung und Rechnung die Querschnitte der Wasserkörper einer Schaufel bei diesen Stellungen:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= 36 \\ F_2 &= 22 \\ F_3 &= 9 \end{aligned}\right\} \square \text{ Zoll.}$$

Da nun nach der Spurschnitt am Umfang $F_0 = 46,71$ und der am Ende $F_4 = 0$ ist, so ist

$$\frac{F}{F_0} = \frac{46,71 + 4(36+9) + 2.22}{12 \cdot 46,71}$$

$$= \frac{270,71}{560,52} = 0,483.$$

Die Leistung des Rades daher, ohne Rücksicht auf die Zapfenreibung, ist

$$L = Q\left(\cos\delta + \sin\alpha + 0,483(\sin\alpha_1 - \sin\alpha)\right)$$ [6. 66.

$$= 14(0,9781 + 0,6482 + 0,483 \cdot 0,1608)395$$

$$= 9446,92 \text{ Fusspfd.} = 18,52 \text{ Pferdekräfte.}$$

Die Arbeit der Zapfenreibung ist, wenn $\varepsilon = \frac{1}{4}$:

$$E = 0,0482\, f \sqrt[3]{\frac{L}{\varepsilon u}}$$

$$= 0,0482 \cdot 0,08 \sqrt{\frac{18,52}{3,4} \cdot 4^3}$$

$$= 0,003856 \cdot 18,67\ L$$

$$= 0,07199\ L$$

d.h. $= 7,2\,\%$ $= 1,3$ Pferdekräfte, die von der bisherigen Nutzleistung abgezogen 1,3 eine Totalleistung von

17,22 Pferdekräften

geben.

Wenn endlich:

$$G = 3000 \frac{L}{\varepsilon u} = 3000 \frac{18,52 \cdot 4}{3,4}$$

$$= 65364,7 \text{ Pfd.},$$

hiernach der Zapfenhalbmesser:

$$r = 0,002 \sqrt{32682,35}$$

$$= 0,002 \cdot 180,8 = 0,36 \text{ Zoll},$$

Aufgabe: No 9.

Für dieselbe Wasserkraft ist die Anordnung und Berechnung einer Jonval'schen Turbine zu machen.

und der aus der Zapfenreibung entstehende Arbeitsverlust:

$$\frac{r}{a} f.G.v = \frac{0,36}{13,5} .0,1.6534,7.5$$

$$= 871,52 \text{ ftpf.} = 1,7 \text{ Pferd}$$

So ist die disponible Leistung:

$$hQ\gamma = 30.6.66 = 11880;$$

der Wirkungsgrad endlich

$$\eta = \frac{8783,9}{11880} = 0,739.$$

Auflösung.

Macht man den Winkel, unter dem der Radschaufelfuss den Horizont schneidet,

$$\delta = 20^\circ,$$

und den Winkel, den der Radschaufelkopf mit der Radbewegung einschließt

$$\beta = 105^\circ,$$

so erhält man für den Leitschaufelwinkel

$$\cot \alpha = \cot \beta + \frac{1}{\sin \delta}$$

$$= \cot. 105^\circ + \frac{1}{\sin 20^\circ}$$

$$= -0,26795 + 2,92380$$

$$= 2,655857,$$

daher $\alpha = 20^\circ 38'$.

Macht man den Widerstandscoefficienten für die Leitschaufelcanäle

$$\zeta = 0,15,$$

und den für die Radcanäle

$$\varkappa = 0,10,$$

so ist die vortheilhafteste Radgeschwindigkeit

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

$$= \frac{7,906\sqrt{30}}{\sqrt{1,8167 + 0,1413 + 0,1000}}$$

$$= \frac{43,301}{\sqrt{2,058}} = 30,184 \text{ Fuß}.$$

Demnach die Eintrittsgeschwindigkeit:

$$c = \frac{v \sin\beta}{\sin\beta-\alpha)} = \frac{30,184 \cdot 0,966}{0,995}$$

$$= 29,30 \text{ Fuß}.$$

Wir erhalten ferner die Querschnitte

$$F = \frac{Q}{c} = \frac{6}{29,30} = 0,2048 \;\square\text{Fuß}$$

$$F_2 = \frac{Q}{v} = \frac{6}{30,184} = 0,1988 \;\square\text{Fuß}.$$

Und wenn man

$v = \frac{d}{r} = \frac{1}{3}$ macht, so bekommt man den mittleren Radhalbmesser

$$r = \sqrt{\frac{F}{2\pi \cdot v \sin\alpha}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,2048}{\frac{2}{3}\pi \cdot \sin 20^\circ 38'}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,2048}{0,7373}}$$

$$= 0,5270 \text{ Fuß},$$

die Radweite:

$$d = v \cdot r = \frac{0,527}{3} = 0,1757 \text{ Fuß},$$

die Zellenweite

$$e = \frac{1}{2} d = 0,08785 \text{ Fuß},$$

und damit endlich die Schaufelzahl

$$n = \frac{F}{de} = \frac{0,2048}{0,1757 \cdot 0,0879}$$

$$= \frac{0,2048}{0,0154} = 13,3.$$

Danach wird die Schaufeltiefe gleichend zu 16 angenommen; die Radhöhe

$$b = d = 0,176$$

und der Halbmesser der Einfallsöffnung

$$r_1 > r + d/2$$

$$= 0,527 + 0,088 = 0,615.$$

Nehmen wir ihn zu

0,7 Fuß an,

so wird ihr Querschnitt 2,2 □Fuß, die Geschwindigkeit $w_1 = \frac{Q}{F} = \frac{6}{2,2} = 2,727$

und die entsprechende Geschwindigkeitshöhe

$$\mathfrak{Z} = 0,016 . 2727^2 = 0,119 \text{ Fuß}.$$

Die Leistung des Rades bei vollkommen aufgezogenen Schützen ist:

$$L = \left(h - \left[\zeta . c^2 + \varkappa c^2 + \left(2 . v . \sin \frac{\delta}{2}\right)^2 + w_1^2\right] \frac{1}{2g}\right) Q\gamma$$

$$= \left(30 - \left[0,15 . 858,5 + 0,10 . 858,5 + 2 . 30,184 \sin 10^\circ\right)^2 + 2,727^2\right] 0,016\right) 6 . 66.$$

$$= (30 - 331,97 . 0,016) 396$$

$$= 24,69 . 396 = 9777,24 \text{ Fußpfd.}$$

$$= 1917 \text{ Pferdekräfte.}$$

Nimmt man das Gewicht des Rades zu 1200 Pf. und den Zapfenhalbmesser = ⅓ Zoll an, den Reibungscoefficienten

$$f = 0,075 \text{ an},$$

so ist die Reibung

$$f . R = 0,075 . 1200 = 90 \text{ Pf.}$$

Es ist nun die mittlere Radgeschwindigkeit

beil $= 30,184$ Fuß,
der mittlere Kolbenweg
$= 0,53$ Fuß,
folglich die Arbeit der Reibung pro Sec.
$= 90 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{12} \cdot \frac{30,184}{0,53}$ Fußpfd.
$= 284,75$ Fußpfd.

Daher wird
$L = 9777,2 - 284,75 = 9492,49$ Fußpfd.
$= 18,61$ Pferdekräfte,
und da die disponible Leistung
$= 11,880$ Fußpfd.,
wird endlich der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{9492,49}{11880} = 0,799.$$

Aufgabe No 10.

Man soll für ein Gefälle von 250 Fuß und ein Wasserquantum von 2 Cbf. pro sec. eine Wassersäulenmaschine anordnen und berechnen.

Auflösung.

Nimmt man eine einfachwirkende einfache Wassersäulenmaschine an, und läßt den Treibkolben mit einer mittleren Geschwindigkeit von $v = 1$ Fuß auf und niedersteigen, so hat man für dessen Querschnitt den Inhalt

$$F = \frac{2Q}{v} = \frac{4}{1} = 4 \,\square\text{Fuß}.$$

Läßt man ferner das Wasser in den Einfall- und Ausfallröhren, sich mit 5 Fuß mittlerer Geschwindigkeit bewegen, so folgt der Querschnitt dieser Röhren

$$F_1 = \frac{2Q}{v_1} = \frac{4}{5} = 0,8 \,\square\text{Fuß}.$$

Daraus folgt der Durchmesser des Treibekolbens

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{16}{\pi}} = \frac{4}{1,77} = 2,258,$$

und der der Einfall- und Austragsröhren:

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{32}{\pi}} = 1,0103 \text{ Fuß}.$$

Nehmen wir dafür $d = 27$ Zoll und $d_1 = 12$ Zoll.

Läßt man das Ausgußrohr 50 Fuß hoch über den mittleren Kolbenstande aufsteigen, also $h_2 = 50$ Fuß, so erhält man

$$h_1 = h + h_2 = 300 \text{ Fuß}.$$

Nimmt man ferner an, daß die Gesammtlänge der Einfallröhre 350 Fuß, l_2 aber die Ausgußröhre $= 60$ Fuß betrage, erhält man bei 27 Zoll Kolbendurchmesser:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{81}{16} = 3,976 \;\square\text{Fuß}$$

$$v = \frac{2Q}{F} = \frac{4}{3,976} = 1,006 \text{ Fuß},$$ so ist bei 4 Spielen p. m. der Hub

$$s = \frac{60 . v}{2n} = \frac{60 . 1006}{8} = 7545 \text{ Fuß}.$$

Nimmt man die Breite b der Liederung am Treibekolben

$$b = \frac{1}{8} d = \frac{3}{4} \text{ Zoll},$$

so bekommt man zunächst die durch die Treibekolbenreibung aufgezehrte Druckhöhe

$$4f . \frac{b}{d}(h_1 + h_2) = 4.025 \frac{1}{8}(300+50)$$
$$= \frac{350}{8} = 43,75 \text{ Fuß}$$

und es bleibt nach Abzug der Kolbenreibung nur noch das nutzbare Gefälle

$$h - 4f\frac{b}{d}(h_1 + h_2) = 250 - 43,75 = 206,25 \text{ Fuß}$$

übrig

Um nun die hydraulischen Widerstände zu finden, erhalten wir den Widerstand coefficienten:

$$x_1 = \zeta \frac{l_1}{d_1} + \frac{d_1{}^2 l_1{}^2}{d^2 r} + \zeta_1 \frac{\beta_1}{\pi} + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_5.$$

und

$$x_2 = \zeta \frac{l_2}{d_2} + \frac{d_2{}^2 l_2}{d^2 r} + \zeta_1 \frac{\beta_2}{\pi} + \zeta_2 + \zeta_4 + \zeta_5, \text{ wo}$$

$\zeta = 0{,}021$, $\frac{l_1}{d_1} = 350$; $\frac{l_2}{d_2} = 66$; $\zeta \frac{l_1}{d_1} = 7{,}35$;

$\zeta \frac{l_2}{d_2} = 1{,}386$; $\frac{d_1^2 l_1}{d^2 r} = 9{,}56$; $\frac{d_2^2 l_2}{d^2 r^2} = 1{,}73$.

Beträgt der Krümmungshalbmesser der Röhren bei den Biegungen $4 . r$; $\frac{r}{D} = \frac{1}{4}$; so ist der Widerstandscoefficient bei diesen Krümmungen

$$\zeta_1 = 0{,}131 + 1{,}847 \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{7}{2}} = 0{,}145,$$

und wenn die gesammten Krümmungswinkel $270°$ betragen, so wird $\zeta_1 \frac{\beta_1}{\pi} = 0{,}22$.

Nimmt man den Widerstandscoefficienten nach diesen Verhältnissen berechnet $= 0{,}30$ für den Aufgang, u. $0{,}44$ für den Niedergang, und bei ganz geöffneter Regulierungs-
giebt $x_1 = 19{,}04$; $x_2 = 5{,}78$, und endlich wenn das dem vortheilhaftesten Gange entsprechende Verhältniß der Aufgangszeit zur Niedergangszeit

$$v = \sqrt[3]{\frac{x_1}{x_2}} = \sqrt[3]{\frac{19{,}04}{5{,}78}} = 1{,}492,$$

so bleibt folgende Kraftsäule übrig:

$$h_0 = h - \left[4f\frac{b}{d}(h_1 + h_2) + \left(\frac{x_1}{v^2} + x_2\right)\left(\frac{v+1}{2}\right)^2 \frac{1}{2g} \left(\frac{4Q}{\pi d_1{}^2}\right)^2\right]$$

$$h_0 = 250 - \left[43{,}75 + \left(\frac{19{,}04}{2{,}25} + 5{,}78\right) . 1{,}553 . 0{,}016 . \frac{64}{9{,}81}\right]$$

$$= 250 - (43{,}75 + 2{,}32) = 250 - 46{,}07 = 203{,}93 \text{ ft}$$

Daher ist die Leistung ohne Rücksicht auf die Arbeit, welche die Steuerung in Anspruch nimmt,

$L_e = 203,93 . 2 . 66 = 26918,76$ Fußpfd.

$= 52,78$ Pfdkr.,

und der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{204}{250} = 0,816.$$

Wendet man nun einen Druckkolben von 12 Zoll Durchmesser, und daher einen Gegenkolben von

$$d_2 = 12\sqrt{2} = 17 \text{ Zoll}$$ an,

hat die Communicationsröhre die Höhe

$$a = \frac{\pi d_1^2}{4d} = \frac{144 \pi}{4 . 27} = 4,188 \text{ Zoll},$$

der Druckkolben die Höhe

$$a_1 = 3a = 12,564 \text{ Zoll},$$

und sein Spiel den Hub

$$s_1 = a_1 + a = 16,752 \text{ Zoll} = 1,4 \text{ Fuß},$$

so ist das Kraftwasserquantum pr. ein Spiel

$$= \frac{\pi}{4} d_2^2 s_1 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{17}{12}\right)^2 1,4$$

$$= 1,539 \text{ Cub.};$$

und daher der entsprechende Arbeitsverlust pr. S.

$$L_1 = \frac{n s_1}{60} \frac{\pi d_2^2}{4} h \gamma$$

$$= \frac{4}{60} . 1,539 . 250 . 66$$

$$= 1692,9 = 3,32 \text{ Pfdkr.}$$

Daher:

$$L = 26918,76 - 1692,9$$

$= 25225,86$ Fußpfd. $= 49,46$ Pfdkr.,

und da $h Q \gamma = 250 . 266 = 33000$ Fußpfd.,

endlich

$$\eta = \frac{25226}{33000} = 0,76.$$

Einen Dampfgöpel zu berechnen, bei welchem die Tonnen $3\frac{1}{2}$ Fuß Geschwindigkeit haben soll, wo der Korbdurchmesser 8 Fuß, ein Zahnradvorgelege von $\frac{3}{1}$ Umsetzung, wo die Fördermasse 2000 Pfd., und die Dampfmaschinen 30 Spiele in der Minute macht.

Ist die Fördermasse = Q, ihre Geschwindigkeit = v, so ist bei einem senkrechten Schachte die nötige Arbeit zur Ueberwindung der reinen Förderlast $L = Q.v$; also
$L = 2000 \cdot 3\frac{1}{2} = 7000$ Fußpfd.

Um aber die Stärke der Maschine zu bestimmen müssen wir noch alle Nebenlasten in Rechnung bringen.

Der Steifigkeitswiderstand der Drahtseile an Seilscheiben und Korb wird, (nimmt man das Gewicht der leeren Tonne = 500 Pfd, das des Seils ebenfalls 500 Pfd, den Durchmesser der Seilscheiben = 6 Fuß, daraus ferner die Belastung des Seiltrums mit der vollen Tonne = 500 + 2000 + $\frac{1}{2}$ 500 = 2750 Pfd, die des Seils mit der leeren Tonne = 500 + $\frac{1}{2}$ 500 = 750 Pfd) für ein gewöhnliches Freiberger Drahtseil
= 10,4 Pfd,
wovon 7,6 auf die aufgehende 2,8 Pfd auf die niedergehende Tonne kommen. Ist $\alpha = 45^0$ so ist der Zapfendruck der Seilscheiben, wenn eine solche 600 Pfd wiegt, wie folgt:

Nehmen wir den mittleren Neigungswinkel α, der von den Seilscheiben zum Korbe gehenden Seiltrume zu 45^0, das Gewicht einer Seilscheibe zu 600 Pfd, den Zapfendurchmesser einer solchen zu 3 Zoll an, so können wir auf folgende Weise die Kräfte P_1 u P_2 bestimmen, mit welchen die Seiltrume vom Korbe angezogen werden müssen.

Ist das herabgehende Seil auf der ersten, das aufgehende Seil auf der zweiten Seilscheibe, die Zapfenreibung bei I = F_1 bei II = F_2, die Seilsteifigkeit bei I = S_1, bei II. S_2, die reine Förderlast = Q, der Seilscheibenhalbmesser = r, der Seilscheibenzapfenhalbmesser = ϱ, das Gewicht einer Seilscheibe = G, das der leeren Tonne = G_1 und das eines Seiltrums für die bestimmte Förderteufe = G_2, so ist die Momentengleichung für die erste Seilscheibe:

$$(Q + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + S_1) r + F_1 \varrho = P_1 r,$$

wenn P_1 die Kraft bezeichnet mit der das Seil vom Korbe aufgezogen werden muß.

Es ist aber:

$$F_1 = f R = f [0{,}89 (Q + G + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + P_1 \sin\alpha) + 0{,}49 P_1 \cos\alpha; \text{ also}$$

$$P_1 r = (Q + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + S_1) r + f\varrho [0{,}89 (Q + G + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + P_1 \sin\alpha) + 0{,}49 P_1 \cos\alpha$$

daraus

$$P_1 = \frac{(Q + G_1 + \frac{G_2}{2} + S_1) r + f\varrho \cdot 0{,}49 (Q + G + G_1 + \frac{1}{2} G_2)}{r - f\varrho\, (0{,}89 \sin\alpha + 0{,}49 \cos\alpha)}.$$

für die zweite Seilscheibe:

$$P_2 r = (G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + S_2) r - F_2 \varrho,$$

wo P_2 die Spannung des Seiles nach dem Korbe bezeichnet.

Es ist aber.

$$F_2 = f R_2 = f [0{,}89 (G + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + P_2 \sin\alpha) + 0{,}49 P_2 \cos\alpha$$

also:

$$P_2 r = (G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + S_2) r - f\varrho [0{,}89 (G + G_1 + \tfrac{1}{2} G_2 + P_2 \sin\alpha) + 0{,}49 P_2 \cos\alpha;$$

hieraus:

$$P_2 = \frac{(g_1 + \frac{1}{2}g_2 + s_2)r - f\varrho(0{,}89(g + g_1 + \frac{1}{2}g_2))}{r + f\varrho(0{,}89 \sin\alpha + 0{,}49 \cos\alpha)}$$

Setzen wir in diesen beiden Gleichungen für P_1 und P_2 folgende Werthe ein:

$Q = 2000$ ℔; $g = 600$ ℔; $g_1 = 500$ ℔, $g_2 = 500$ ℔; $s_1 = 7{,}6$ ℔; $s_2 = 2{,}8$ ℔, $r = 36$ Zoll, $\varrho = 1{,}5$ Zoll, $f = 0{,}1$, $\alpha = 45^0$, so ist:

$$P_1 = \frac{(2000 + 500 + \frac{1}{2}500 + 7{,}6)36 + 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}89(2000 + 600 + 500 + \frac{1}{2}500)}{36 - 0{,}1 \cdot 1{,}5(0{,}89 \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} + 0{,}49\sqrt{\frac{1}{2}})}$$

$$= \frac{2757{,}6 \cdot 36 + 0{,}15 \cdot 0{,}89 \cdot 3250}{36 - 0{,}15(0{,}629 + 0{,}346)}$$

$$= \frac{99707{,}47}{35{,}853} = 2781 \text{ ℔}.$$ und:

$$P_2 = \frac{(500 + \frac{1}{2}500 + 2{,}8)36 - 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}89(600 + 500 + \frac{1}{2}500)}{36 + 0{,}15(0{,}629 + 0{,}346)}$$

$$= \frac{752{,}8 \cdot 36 - 0{,}15 \cdot 0{,}89 \cdot 1350}{36{,}146}$$

$$= \frac{26920{,}6}{36{,}146} = 744{,}8 \text{ ℔}.$$

Das auf den Korb sich aufwickelnde Seil wird mit einer Kraft

$$P_1 = 2781 \text{ ℔}$$

gespannt, daher ist der Steifigkeitswiderstand den das Seil beim Aufwickeln entgegensetzt:

$$S_3 = 1{,}04 + \frac{0{,}0806 \cdot 2781}{48}$$

$$= 1{,}04 + \frac{224{,}148}{48} = 5{,}7 \text{ ℔}.$$

Das vom Korb sich abwickelnde Seil wird mit einer Kraft:

$$P_2 = 744{,}8 \text{ ℔}$$

gespannt, und der Widerstand, den er der Steifigkeit wegen dem Überwinden entgegensetzt, ist

$$S_4 = 1{,}04 + \frac{0{,}086 \cdot 744}{48} = 1{,}04 + 1{,}25$$

$$= 2{,}29 \text{ ℔}.$$

Daher ist die Kraft, welche, ohne Rücksicht auf Zapfen- und Zahnreibung, erforderlich ist den Korb zu drehen.

$$P_3 = P_1 + S_3 - (P_2 - S_4$$

$$= P_1 - P_2 + S_3 + S_4$$

$$= 2781 - 744{,}8 + 5{,}71 + 2{,}29$$

$$= 2044 \text{ ℔}.$$

Berechnung der Zahn- und Zapfenreibung am Korbe, auf den Korbumfang reducirt. Drücken die Zähne des Treibrades auf die Zapfen an der Korbwelle, so wird die Reibung im allgemeinen durch die entgegengesetzten Bewegungen gänzlich ausgeglichen. Die Zapfenreibung berechnet sich daher aus

G_3, dem Gewicht der armirten Korbwelle, e_1, dem Zapfenhalbmesser der Korbwelle, a_1, dem Halbmesser des Korbes, wie folgt:

$$F_3 = f\frac{e_1}{a_1}\left(0{,}89\left(G_3 - (P_3 - \sin\alpha\right)\right) + 0{,}49 P_1 \cos\alpha)$$

$$= 0{,}1\frac{4}{12 \cdot 4}\left(0{,}89\left(7000 - [2781 + 744{,}8]\sqrt{\tfrac{1}{2}}\right) + 0{,}49\left(2781 + 744{,}8\sqrt{\tfrac{1}{2}}\right)\right)$$

$$= \frac{0{,}1}{12}\left(0{,}89 \cdot 4507{,}2 + 0{,}49 \cdot 2492{,}7\right)$$

$$= \frac{523{,}3}{12} = 43{,}6 \text{ ℔}.$$

wenn $G_3 = 7000$ ℔ und $\varrho = 4$ Zoll;

Am Umfange des Korbes muß wirken

$P_4 = 2044,2 + 43,6 = 2087,8$.

Ist nun der Durchmesser des Theilkreises am Zahnrade auf der Korbwelle = 7 Fuß, so ist die auf diesen Theilkreis reducirte Umdrehungskraft des Korbes

$= \frac{8}{7}(2044,2 + 43,6)$

$= 2386,06$ ℔;

Daraus ergiebt sich die Zahnstärke:

$0,03\sqrt{2386,06} = 0,03 \cdot 48,847 = 1,46$ Zoll.

Demnach die Zahl der Zähne

$\frac{12 \cdot 7 \cdot \pi}{2,5 \cdot 1,5} = \frac{263,93}{3,75} = 70,4$ Zähne.

Der Korb muß, da die Geschwindigkeit der Tonne $3\frac{1}{2}$ Fuß betragen soll, 8 Umdrehungen pr. m. machen. Da aber [illegible] macht die Dampfmaschine 30 Spiele; daher das nöthige Umsetzungsverhältniß $= \frac{30}{8} = \frac{15}{4}$ und die Zähnezahl an dem Rad der Schwungradwelle

$n_2 = \frac{4}{15} \cdot 70 = \frac{56}{3} = 19$.

Es ist nun die auf die Korbumdrehung reducirte Zahnreibung

$F_4 = f \cdot \frac{7}{8}\pi\left(\frac{1}{70} + \frac{1}{19}\right) 2386,06$

$= 0,1 \cdot 3,142 \cdot 0,0669 \cdot 2078,8$

$= 44,55$ ℔.

Daraus ergiebt sich die Kraft, am Umfange des Korbes, welche im Stande ist die gesammte Last zu überwinden

$= \cancel{G_7}\ 2087,8 + 44,5 = 2132,3$ ℔.

und die pro sec. zu entwickelnde Arbeit

$= 2132{,}2 \cdot 3{,}5$

$= 7463$ Fußpfd.

$= 14{,}6$ Pferdekräfte.

Zur Ueberwindung der reinen Last $= 2000$ ℔ ist in Fußpfunden eine Arbeit nöthig

$= 2000 \cdot 3\frac{1}{2} = 7000$

$= 13{,}8$ Pferdekräfte,

daher ist der Wirkungsgrad des Göpels, oder die Umtriebsmaschine:

$$\eta = \frac{13{,}8}{14{,}63} = 0{,}94.$$

Hierzu ist eine Dampfmaschine nöthig, welche 15 Pferdekräfte effectiven Leistung giebt. Wendet man hierzu eine Hochdruckdampfmaschine ohne Condensation und Expansion an, so hat man von einer solchen Maschine nur

$0{,}37$

zu erwarten, und es ergiebt sich daher der Wirkungsgrad des Dampfgöpels, incl. der Dampfmaschine

$$= 0{,}94 \cdot 0{,}37 = 0{,}347.$$