

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Theorie und Bau der Wasserräder

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1846

Siebenter Abschnitt. Berechnung der Dimensionen, Nutzeffekte und der Constructionskosten der auf den grossen Tafeln dargestellten Räder, nebst Beschreibung derselben

[urn:nbn:de:bsz:31-282850](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282850)

Siebenter Abschnitt.

Berechnung der Dimensionen, Nutzeffekte und der Constructionskosten der auf den grossen Tafeln dargestellten Räder, nebst Beschreibung derselben.

Bemerkungen.

Der Hauptzweck dieses Abschnittes ist, die Anwendung der in den vorhergehenden Abschnitten enthaltenen Lehren auf die Berechnung und Construction der verschiedenen Arten von Wasserrädern zu zeigen und den practischen Bau derselben durch die auf den grossen Tafeln dargestellten, nach jenen Regeln entworfenen Räder so vollständig, als diess auf dem Papiere möglich ist, zu lehren.

Diese Berechnungen zeigen aber nicht nur die Anwendung der verschiedenen Regeln auf specielle Fälle, sondern sie sind zugleich Formulare für die Berechnung der Räder im Allgemeinen; denn die im Text zerstreut vorkommenden, zur Berechnung jedes einzelnen Rades dienenden Regeln und Formeln sind hier, mit Hinweisung auf ihren Ursprung, vollständig zusammengestellt.

Die auf den grossen Tafeln dargestellten Räder sind zwar zunächst nur spezielle Fälle, die jedoch zusammen ein vollständiges Material für den Bau der Räder überhaupt darbieten; denn jedes dieser Räder ist auf andere Weise gebaut, und die bei denselben vorkommenden Verbindungen sind sehr mannigfaltig; man wird daher, wenn es sich um den Neubau eines Rades handelt, entweder eines oder das andere von den hier dargestellten Rädern zum Muster nehmen können, oder durch eine zweckmässige Combination aus denselben, einen den jedesmaligen Verhältnissen angemessenen Bau zu Stande bringen.

Will man z. B. ein ober-schlächtiges Rad mit steifen gusseisernen Armen und gusseisernem Seitengetäfer bauen, so findet man alle hiezu geeigneten Verbindungen durch Combination der Räder E und F oder der Räder E und H.

Die Detailverbindungen sind bei den auf den grossen Tafeln dargestellten Rädern möglichst sorgfältig ausgewählt, und zweckloses Schnörkelwerk ist dabei überall vermieden. Mancher dieser Verbindungen wird man vielleicht den Vorwurf machen, dass sie für die Praxis zu kleinlich raffiniert sind, allein bei Musterzeichnungen kann die Vollkommenheit der Verbindungen nicht leicht zu weit getrieben werden, und überdiess unterliegt es keiner Schwierigkeit, die Verbindungen unvollkommener zu machen, als sie in jenen Zeichnungen sind.

Von jedem der dargestellten Räder sind die Gewichte und die Kosten des Baues berechnet worden, weil diess für die Praxis von Wichtigkeit ist. Zur Kostenberechnung sind folgende Preise angenommen worden.

100 Killg. verarbeitetes Eisen durchschnittlich	à fl. 40 bis 50
1 Kub. M. Eichenholz	„ 20
Bearbeitung von 1 \square Met. Oberfläche von Holz	„ 1.5
1 Kub. M. Bruchsteinmauerwerk	„ 3.7
1 Kub. M. Quadermauerwerk	„ 37

Noch muss bemerkt werden, dass bei den zwei kleinen Kropfrädchen die Breite und Tiefe derselben nicht nach den allgemeinen Formeln berechnet wurden, weil es mir darum zu thun war, ein paar Beispiele zu zeigen über den Bau von kleineren Rädern mit einem Armsysteme; die allgemeine Formel hätte aber eine für diese Bauart zu grosse Radbreite geliefert.

A. Tafel I.

Hölzernes Kropfrad.

Dieses Rädchen ist von möglichst einfacher aber doch solider Bauart, wie es die Bedürfnisse der Gewerbsindustrie erfordern. Es ist für den Fall construiert worden, dass durch ein vorhandenes Wehr der obere Wasserspiegel im Zuflusskanale immer auf gleicher Höhe erhalten werden kann, dass dagegen der Wasserspiegel im unteren Abflusskanal um 0.5^m veränderlich ist. Bei dem kleinsten Wasserstand berührt der Spiegel des Unterwassers den Umfangskreis des Rades. Bei dem mittleren Wasserstand tauchen die Schaufeln zur Hälfte, beim höchsten Stand tauchen sie ganz ein. Das nutzbare Gefälle (welches durch den Verticalabstand der Spiegel in den beiden Kanälen bestimmt wird), ist also beim tiefsten Wasserstand am grössten und beim höchsten Stand am kleinsten. Die Wassermenge, welche auf das Rad wirken muss, damit es einen gewissen

Nutzeffekt hervorbringt, ist daher beim tiefsten Wasserstand am kleinsten, beim höchsten Stand am grössten. Die Breite des Rades ist so bestimmt worden, dass die Schaufelräume nur $\frac{1}{3}$ gefüllt sind, wenn die kleinste Wassermenge auf das Rad wirkt.

Die Hauptdaten zur Berechnung des Rades sind:

- 1) grösstes Gefälle beim tiefsten Wasserstand . . . $H = 1.5^m$
 - 2) Wassermenge, welche bei diesem Wasserstande
pr. 1" auf das Rad wirkt $Q = 0.253^{Kbm}$
- Angenommen wurde:
- 1) wegen der Veränderlichkeit des unteren Wasserstandes die Tiefe des Rades $a = 0.5^m$
 - 2) die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 2^m$
 - 3) Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser den Umfang des Rades erreicht. $V = 4^m$
 - 4) Füllung der Schaufelräume, wenn die Wassermenge Q dem Rade zufliesst $\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}$
 - 5) der Winkel, den der von dem Vereinigungspunkt des convexen und concaven Theils des Gerinnes nach dem Mittelpunkte des Rades gezogene Radius mit der verticalen Richtung bildet $\gamma = 45^\circ$

Die Annahmen für die Geschwindigkeiten sind zwar für den Nutzeffekt nicht sehr günstig, kleinere Geschwindigkeiten wären in dieser Hinsicht vortheilhafter, allein in der Regel kommt es bei derlei kleinen Rädern auf einige Procente mehr oder weniger Nutzeffekt nicht an, indem meistens hinreichend Wasser vorhanden ist, dagegen aber wünscht man gewöhnlich einen schnellen Gang des Rades um, wo möglich, kostspielige Transmissionsräder zu vermeiden. Mit Berücksichtigung dieser practischen Verhältnisse wird man obige Annahmen wohl gelten lassen.

Nun findet man:

- die Breite des Rades $b = 3 \cdot \frac{Q}{av} = 0.76^m$
- Gefälle, welches der Geschwindigkeit V entspricht $\frac{V^2}{2g} = 0.82^m$
- Halbmesser des Rades $R = \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{1 - \cos. \gamma} = 2.27^m$
- Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.55^m$
- Anzahl der Schaufeln $i = \frac{2R\pi}{e} = 26$
- Anzahl der Radarme $\mathfrak{R} = 2(1 + R) = 6$

Wegen der 6 Arme sind 30 statt 26 Schaufeln genommen worden; die Theilung ist in der Zeichnung 0.5^m.

$$\text{Anzahl der Umdrehungen des Rades p 1' } n = 9.548 \cdot \frac{v}{R} = 8.41$$

Mit diesen theils angenommenen, theils berechneten Grössen ist das Rad verzeichnet.

Die Radschaufeln sind schief gegen den Radius und zwar so gestellt, dass sie in senkrechter Lage zur Hälfte in das Unterwasser eintauchen, wenn dieses seinen mittleren Stand erreicht hat.

Die Schaufelarme sind so bestimmt, dass sie durch den Stoss des Wassers beim Eintritt desselben auf den zehnten Theil ihrer respectiven Festigkeit in Anspruch genommen sind. Dieser Stoss beträgt 42 Kilg. Auch die Radarme sind so berechnet worden, dass sie auf $\frac{1}{10}$ ihrer respectiven Festigkeit in Anspruch genommen sind, wenn man sich vorstellt, dass jeder einzelne Arm der ganzen am Umfange des Rades wirkenden Kraft Widerstand leisten soll.

Das Gewicht des Rades beträgt, wenn eine Welle von 5^m angenommen wird, 1735 Klg.

Der Druck, den der in der Nähe des Rades befindliche Zapfen auszuhalten hat, kann hier gleich dem Gewichte des Rades gesetzt werden, weil der Schwerpunkt des Baues diesem Zapfen sehr nahe liegt und von dem anderen Zapfen der Welle sehr entfernt ist.

Der Durchmesser des Zapfens ist daher $.0.18 \sqrt{1735} = 7.5^{\text{cm}}$

Der Durchmesser der Welle ist hier nach dem Gefühle so gewählt worden, dass sie da, wo die Arme durchgesteckt sind, noch hinreichende Festigkeit verspricht.

Das Rad befindet sich, wie Fig. 2 zeigt, zwischen zwei Mauern, von denen die eine dem Gebäude angehört, in welchem die zu treibenden Maschinen aufgestellt sind, die andere dagegen bestimmt ist, das Zapfenlager für das Rad und die Querswellen zu tragen, auf welchen der Bau des Gerinnes ruht.

Das Gerinne ist auf folgende Art gebaut: Es ruht auf den drei Querbalken a a a, die mit ihren Enden an die Seitenmauern eingemauert sind. In diese Querbalken sind auf jeder Seite des Rades drei Hölzer a₁ a₂ a₃ eingezapft und ebenfalls in die Seitenmauern ganz eingemauert. Der Boden des Radgerinnes liegt auf den zu beiden Seiten des Rades angebrachten Hölzern b b, die mit ihren Enden in die Querhölzer a a a eingelegt und oben nach der Form des Gerinnes krummlinig zugeschnitten sind. Die mit b₁ bezeichneten Theile, welche den Anfang der Mauerverkleidung bilden, sind mit b aus einem Stück geschnitten. Diese

Mauerverkleidung besteht aus mehreren an den Seitenmauern anliegenden und an die Hölzer *a. a. a.* angenagelten Brettern *c. c. c.* Auf ähnliche Weise, wie das Radgerinne, sind auch die Zu- und Abflussgerinne hergestellt. Der Schützen *d*, welcher eine schiefe Stellung und auf der dem Zuflusskanale zugekehrten Seite eine für die Zuleitung des Wassers zweckmässige Abrundung hat, besteht aus zwei durch eine Feder verbundenen Brettern. Er ist mit einer hölzernen Leitstange *d₁*, die oben durch einen Querbalken geht und mit zwei Leithebeln *e* versehen, die sich um die an der Gerinneswand befestigten Zapfen *e₁* drehen. Zum Aufziehen und Niederlassen des Schützens dient ein Kettchen, welches bei *e₂* in den Schützen eingehängt und oben über das Röllchen *e₃* in das Gebäude geleitet wird.

Das Rad hat wegen seiner geringen Breite nur einen Kegelkranz und einen Armstern. Der Kegelkranz besteht aus zwei Schichten von Segmentstücken, von denen eines in Fig. 3 und 4 dargestellt ist. Die Kegel *f₁* Fig. 6 sind mit ihren schwalbenschwanzförmigen Enden zwischen die Kranzschichten eingelegt und werden durch Holzkeile *f₂* festgehalten. Die Schaufelbretter sind mit Schrauben und Bändern an die Kegel befestigt und drücken zugleich die Bodenbretter *h h* gegen den Kegelkranz. Zur Verbindung der Arme mit dem Kegelkranze sind die ersteren an ihren äusseren Enden gabelförmig ausgeschnitten i Fig. 2. Die Breite dieser Ausschnitte ist aber etwas kleiner als die Dicke des Kegelkranzes und dieser letztere ist, um in die Gabel hineinzupassen, auf drei Seiten seiner Oberfläche etwas eingeschnitten. Eine Schraube *i₁* klemmt die zu verbindenden Theile zusammen, ohne von der Kraft in Anspruch genommen zu werden, welche aus der Wirkung des Wassers auf das Rad entsteht.

Fig. 5 zeigt die Verbindung der Arme unter einander und mit der Welle. Diese Verarmung ist natürlich nur bei kleinen Rädern anwendbar, weil die Welle, damit die Arme durchgesteckt werden können, nach drei Richtungen durchlocht werden muss, wodurch sie an Festigkeit bedeutend verliert. Die Art, wie die Arme verschnitten werden müssen, wird man bei aufmerksamer Vergleichung der Figuren 5 erkennen. Um die Arme in die Welle einlegen zu können, müssen die drei Durchlochungen nach der Richtung der Axe der Welle ungleiche Dimensionen haben. Diese Dimension ist für einen der drei Arme gleich der mit der Axe des Rades parallelen Dimension des Armes; die zweite ist $(1 + \frac{1}{3})$, die letzte $(1 + \frac{2}{3})$ von dieser Dimension des Armes.

Die Welle des Rades ist mit einem Spitzzapfen versehen, der in das Ende der Welle in ein vorgebohrtes konisches Loch eingetrieben wird. Der in die Welle eindringende Theil ist an seiner Oberfläche mit Widerhaken versehen, die das Zurückweichen verhindern. Um die Welle

sind 5 Reife 11 angelegt und überdiess ist noch eine gusseiserne Kappe l_1 angebracht, welche das Wellenende gegen des Aussprengen schützt.

Zur Berechnung des Nutzeffektes, welchen das Rad beim tiefsten Stand des Unterwassers zu entwickeln vermag, hat man folgende Daten.

$$\begin{array}{llll} H = 1.5^m, & Q = 0.253 & v = 2, & V = 4 \\ a = 0.5^m & b = 0.76^m & c = 0.45^m & e = 0.48^m \\ \delta = 0^\circ & \gamma = 45^\circ & \beta = 62^\circ & \varepsilon = 0.015 \\ i = 30 & h = 0.27 & s = 0.18 & f = 0.08 \\ R = 2.27 & S = 2^m. & & \end{array}$$

und man findet:

Effektverlust, welcher beim Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ \begin{array}{l} V^2 + v^2 - 2Vv \cos. \delta + \\ 2g \left[\frac{1}{2} \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right] \end{array} \right\} = 0.161 E_s$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} \dots \dots \dots = 0.226 E_s$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 \varepsilon \cdot b \sqrt{2ge} \cdot \left[H - \frac{V^2}{2g} \right] \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{abv} \right] \dots = 0.031 E_s$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots \dots \dots = 0.030 E_s$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots \dots \dots = 0.012 E_s$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$1735 \times f \times v \cdot \frac{d}{2R} \dots \dots \dots = 0.013 E_s$$

$$\text{Summe der Effektverluste} \dots \dots \dots \underline{0.473 E_s}$$

Nutzeffekt des Rades } $0.527 E_a = 200 \text{ Klgm.}$
 } Pferdekraft 264

Das Rad verspricht also nur 52.7 Procent Nutzeffekt, ein Resultat, welches wegen der grossen Geschwindigkeit des Rades, und weil es nicht in Unterwasser eintaucht, so ungünstig ausfallen musste; dessen ungeachtet empfiehlt es sich wegen seines einfachen Baues und schnellen Ganges, wenn hinreichend Wasser vorhanden ist.

B. Tafel II.

Kleines eisernes Kropfrad.

Dieses Rädchen ist wie das vorhergehende für ein Gefälle von 1.5^m und für eine Wassermenge von 0.253^{Kbm} construirt. Auch ist hinsichtlich der Wasserstände angenommen worden, dass der obere derselben durch einen vorhandenen Wehrbau immer nahe auf gleicher Höhe erhalten werden kann, dass dagegen der Wasserstand im Abflusskanal um 0.5^m veränderlich sei. Wegen der Veränderlichkeit des Wasserstandes ist auch hier die Tiefe a des Rades nicht nach der allgemeinen Seite (168) aufgestellten Regel bestimmt, sondern gleich 0.5^m angenommen worden, so dass die Schaufeln beim tiefsten Wasserstande das Unterwasser nur berühren, beim höchsten Stand dagegen ganz eintauchen. Endlich ist auch hier wiederum eine grosse Umfangsgeschwindigkeit von 2^m angenommen worden.

Die Hauptdaten zur Berechnung des Rades sind:

- 1) Grösstes Gefälle beim tiefsten Wasserstand . . . $H = 1.5^m$
- 2) Wassermenge, welche bei diesem Wasserstand auf das Rad wirken soll $Q = 0.253^{Kbm}$

Angenommen wurde:

- 1) wegen der Veränderlichkeit des unteren Wasserstandes $a = 0.5^m$
- 2) die Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 2^m$
- 3) Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser den Umfang des Rades erreichen soll $V = 4^m$

- 4) Füllung des Rades, wenn demselben die Wassermenge Q zufließt $\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}$
- 5) der Winkel, welchen der nach dem Vereinigungspunkte des concaven und convexen Theils des Gerinnes gehende Radius mit der vertikalen Richtung bildet $\gamma = 50^\circ$

Nun findet man:

Die Breite des Rades $b = \frac{3Q}{av} = 0.76^m$

Halbmesser des Rades $R = \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{1 - \cos \gamma} = 1.91^m$

Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7a = 0.55^m$

Anzahl der Schaufeln $i = \frac{2R\pi}{e} = 22$

Anzahl der Radarme $\mathfrak{R} = 2(1+R) = 6$

In der Zeichnung sind wegen der 6 Radarme 24 Schaufeln genommen worden, die wirkliche Theilung ist deshalb 0.5.

Anzahl der Umdrehungen des Rades p 1' $n = 9.548 \frac{V}{R} = 10$

Mit diesen Abmessungen ist das Rädchen verzeichnet.

Die Querschnittsdimensionen der Radarme und der Welle sind nach den gewöhnlichen Regeln bestimmt. Der eine Theil der Axe ist zum Tragen des halben Gewichtes des Rades, der andere Theil dagegen zur Fortpflanzung der Kraft durch Torsion berechnet.

Das ganze Gewicht des Rades ist 1655 Klg.

Der zum Tragen bestimmte Zapfen hat daher einen Druck auszuhalten 828 Klg.

Der Durchmesser desselben ist demnach . $0.18 \sqrt{828} = 5.4^{\text{cm}}$

Der Durchmesser des auf Torsion in An-

spruch genommenen Theiles der Welle ist . $16 \sqrt[3]{\frac{3}{10}} = 10.7^{\text{cm}}$

Der Bau des Gerinnes bedarf keiner Erklärung, denn er ist genau so, wie bei dem Rade A, welches in vorhergehendem behandelt wurde. Der Körper des Rades besteht aus zwei halbkreisförmigen Gussstücken,

die längs ihrem Durchmesser zusammenschraubt und ferner noch durch zwei schmiedeiserne um die Radhülsen gelegte Ringe zusammengehalten werden. Die Verbindungsflächen sind mit hervorragenden brillenförmigen und gehobelten Ansätzen versehen. Der Ring, an welchem die Schaufelarme angegossen sind, so wie auch diese Arme selbst, haben T förmige Querschnitte. Da wo die Schrauben zur Befestigung der Schaufeln und Bodenbretter durchgehen, sind die Nerven lappenförmig ausgedehnt. Jede Schaufel ist mit 6 und jedes Bodenbrett mit 2 Schrauben befestigt.

Gewicht und Kostenberechnung.

a. Hölzernes Rad.

Kubikinhalt der Holzconstruction des Rades	= 1.49 ^{Kbm}
Kubikinhalt der Holzconstruction des Gerinnes	= 0.60 ^{Kbm}
Zu bearbeitende Oberfläche am Rade	= 44.7 ^{qm}
Zu bearbeitende Oberfläche am Gerinne	= 18 ^{qm}

Gewicht an Eisen:

Schrauben zur Verbindung der Schaufeln mit den Kegeln	= 90 Kilg.
Schienen zu demselben Zweck	= 30 "
Schrauben zur Verbindung der Arme mit den Kränzen	= 30 "
Schienen an den Stossfugen	= 24 "
Wellringe	= 71 "
	245 Kilg.
2 Zapfenlager	20 "
Gewicht des Rades	1735 "
Gewicht p 1 Pferdekraft Nutzeffekt	$\frac{1735}{2.64} = 667$ "

Kosten des Rades	}	ohne Gerinne	fl. 218
		mit Gerinne	" 258
Kosten p 1 Pferdekraft Nutzeffekt	}	ohne Gerinne	" 82
		mit Gerinne	" 90

b. Des eisernen Rades.

Zapfenlager und Aufzug	40 Kilg.
Gusseisen	996 "
Schmiedeeisen	163 "

Schaufeln und Radboten	}	Volumen	0.49 ^{Kbm}
		Gewicht	490 Kilg.
		Oberfläche.	14 ^{qm}
Gerinnebau.	}	Volumen	0.6 ^{Kbm}
		Oberfläche.	18 ^{qm}
Gewicht des Rades ohne Gerinne.			= 1655 Kilg.
Gewicht p 1 Pferdekraft Nutzeffekt			= 626 „
Kosten des Rades	}	ohne Gerinne	= fl. 614
		mit Gerinne	= „ 654
Kosten p 1 Pferdekraft Nutzeffekt	}	ohne Gerinne	= „ 232
		mit Gerinne	= „ 248

C Tafel III.

Zwei kleine überschlächtige Räder.

Beschreibung des eisernen Rades Fig. 1 und 2.

Die Bauart dieses Rädchens ist sehr einfach. Es besteht aus zwei mit Armen *a a* versehenen und mit einer Welle *b* verbundenen Radkronen *c c*, an welche die aus Eisenblech gefertigten Zellenwände mit Schrauben befestigt sind. An dem äusseren Umfang der Krone *c* ist ein Zahnkranz *d* angegossen, welcher die dem Rade mitgetheilte Wirkung dem Getriebe *e* übergibt. Zur Befestigung der Zellenbleche mit den Radkronen sind an diese, nach der Form der Zellen gekrümmte Nerven *f* angegossen, gegen welche die Zellenbleche mit mehreren Schrauben befestigt werden. Das Gerinne wird in der Nähe von dem Scheitel des Rades durch eine Stütze *g* von Eisen getragen. Der Schützen *h* gleitet zwischen zwei an die Seitenwände des Zuleitungskanals angeschraubte Leisten, und ist mit zwei Zahnstangen *i* versehen, in welche die mit der Axe *k* verbundenen Getriebe *ll* eingreifen. Das Ende von dem Boden des Zuleitungskanals wird durch eine Fläche aus Eisenblech gebildet, die das Wasser bis in die Nähe des Scheitels des Rades leitet.

Berechnung der wesentlichen Dimensionen des Rades.

Das Rad ist für folgende Annahmen berechnet.

Gefälle	$H = 3^m$
Wasserzfluss p 1'	$Q = 0.225^{Kbm}$
Umfangsgeschwindigkeit	$v = 1.3^m$
Füllung	$\frac{Q}{abv} = \frac{1}{3}$
Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser am Scheitel eintritt	$V = 2.6^m$

und man findet nun:

Halbmesser des Rades	$R = \frac{1}{2} \left\{ H - \frac{V^2}{2g} \right\} = 1.33^m$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 9$
Nutzeffekt des Rades ungefähr	$N_n = 7$
Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	

$$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a} = 4.68^m$$

Breite des Rades	$b = \sqrt{\frac{3Q}{v} \cdot \frac{b}{a}} = 1.56^m$
----------------------------	--

Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{4.68} = 0.33^m$
---------------------------	-------------------------------

Schaufeltheilung	$e = 0.2 + 0.7 a = 0.43^m$
----------------------------	----------------------------

Anzahl der Schaufeln	$i = \frac{2R\pi}{e} = 20$
--------------------------------	----------------------------

Anzahl der Radarme eines Armsystems .	$N = 2(1 + R) = 4.66$
---------------------------------------	-----------------------

Zur Verzeichnung wurden 6 Arme und 24 Schaufeln genommen.

Anzahl der Umdrehungen des Rades p 1' .	$n = 9.548 \frac{v}{R} = 9.33$
---	--------------------------------

Druck am Umfang des Rades	$= \frac{75 N_a}{v} = 520$
-------------------------------------	----------------------------

(Es ist hier N_a statt N_n in Rechnung gebracht worden, damit die Zähne nicht gar zu fein ausfallen).

Dimension der Zähne des Zahnkranzes.	{	Dicke = $0.086 \sqrt{520}$	= 1.97 ^{cm}
		Breite	= 11.82 ^{cm}
		Länge	= 2.95 ^{cm}
		Anzahl	= 204

Durchmesser der Welle	$d = 16 \sqrt[3]{\frac{1}{2} N_n} = 11.5^m$
---------------------------------	---

Höhe eines Radarmes 0.941 d = 10.8^{cm}
 Dicke desselben ($\frac{1}{5}$ von der Höhe) = 2.16^{cm}
 Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung des
 Rades ist der Druck, welchen ein Zapfen der Welle aus-
 zuhalten hat = 1877

Demnach ist der

Durchmesser eines Zapfens der Welle . . = 0.18 $\sqrt{1877}$ = 7.9^{cm}
 Die empirische Regel gibt = 3 $\sqrt{N_n}$. = 8^{cm}
 Mit diesen Dimensionen ist das Rad verzeichnet.

Berechnung des Nutzeffektes.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Daten:

$$\begin{array}{llll} H = 2.5^m, & Q = 1.5, & v = 1.3, & V = 2.6 \\ a = 0.33^m, & b = 1.56^m, & e = 0.35^m, & \delta = 7^\circ \\ \gamma = 180 & t = 24, & h = 0 & R = 1.33^m \end{array}$$

In den Formeln, welche zur Berechnung der bei überschlächtigen Rädern vorkommenden Effektverluste aufgestellt wurden, gelten die Ausdrücke:

$$c \cos. (\gamma - \beta) - s$$

und

$$1000 Q 2 R \left[0.25 - 0.035 \frac{a b v}{Q} \right]$$

nur für Zellen mit ebenen Wänden, und können bei krummflächigen Zellen gar nicht gebraucht werden.

Der erste dieser Ausdrücke bedeutet die Tiefe, in welcher sich unmittelbar nach der Füllung der Schwerpunkt der Wassermasse unter der äusseren Kante der Zelle befindet, und diese Tiefe ist nach der Zeichnung 0.38^m. Der zweite jener Ausdrücke ist der in Klgm. ausgedrückte Effektverlust, welcher durch die allmähliche Entleerung entsteht, und man findet nach dem Seite (73) angegebenen Verfahren, dass dieser Effektverlust in dem vorliegenden Falle 52 Klgm. beträgt. Dies berücksichtigend, so erhalten wir nun:

absoluter Effekt der Wasserkraft $E_n = 675^{km}$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ V^2 + v^2 - 2Vv \cos. \delta + 2g \times 0.38 \right\} . = 0.183 E_n$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entleeren

$$\text{entsteht} = 52 \times \frac{E_n}{675} = 0.077 E_n$$

Effektverlust bei dem Austritt wegen v und h

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} = 0.028 E_n$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung

$$7.63 \frac{V}{R} f N_n \sqrt{N_n} = 0.008 E_n$$

Summe der Effektverluste 0.296 E_n

Nutzeffekt des Rades $\left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.704 E_n \\ E_n = 475^{km} \\ N_n = 6.3 \end{array} \right.$

Der Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht, ist ziemlich gross. Wenn die Radbreite grösser, und die Tiefe so wie die Umfangsgeschwindigkeit kleiner angenommen worden wäre, würde allerdings dieser Effektverlust kleiner geworden sein, allein das Rad wäre dann bedeutend kostspieliger geworden, und mehr als ungefähr 5 Prozent hätte man dadurch doch nicht gewinnen können.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

Gusseisen.

	Gewicht in Kilogramm.
Die zwei radförmigen Seitentheile des Rades	1863
Die Welle	177
Drei Zapfenlager sammt Lagerplatten	60
Die Stütze, welche den Einlauf trägt	176
Die Leitungen des Schützens, die Fassungen desselben, und die Zahnstangen	39
Zwei Getriebe zum Schützenszug	11
	<u>2326</u>

Schmiedeeisen.

	Gewicht in Kilogramm.
24 Schaufeln aus Blech	1105
Die Axe des Schützenzuges	18
12 \times 24 = 288 Schrauben zur Befestigung der Schaufeln mit den Radkronen	30
	1153
Gesammtgewicht des Rades ohne Lager und ohne die Theile, welche zum Einlauf gehören	
	3175
Gewicht des Rades per Pferdekraft Nutzeffekt	504
Gewicht der Eisenconstruktion des ganzen Baues	3479
100 Killogram verarbeitetes Eisen zu 50 fl. gerechnet, sind	
die Kosten der Eisenconstruktion des ganzen Baues	1739 fl.
und	
die Kosten der Eisenconstruktion des ganzen Baues per 1 Pferdekraft Nutzeffekt	276 fl.

*C Tafel III.***Beschreibung des hölzernen Rades.***Fig. 4 bis 7.*

Die Wasserkraft, für welche dieses Rädchen construiert ist, stimmt mit jener des vorhergehenden Rädchens überein, es ist aber für eine grosse Umfangsgeschwindigkeit berechnet, und bis auf kleinere Verbindungstheile ganz aus Holz gebaut.

Fig. 4 ist ein Vertikaldurchschnitt, Fig. 5 ein Horizontaldurchschnitt des Rades, Fig. 6, 7 sind zwei Ansichten eines Radarmes.

Der Zuleitungskanal *a* wird von der Mauer *b* der Radstube und von dem Querbalken *c* getragen, welcher durch zwei Säulen unterstützt ist. Auf dem Querbalken *c* sind zwei Hölzer *d* aufgestellt, welche durch zwei Balken *f* und *f*₁ verbunden sind. Die Seitenwände des Zuflusskanals und die Querwand *e* desselben sind in die Balken *dff*₁ eingelegt und angenagelt. Die unteren Bretter der Seitenwände und der Boden des Zuflusskanals sind bis an den Scheitel des Rades hin verlängert, Das

mit einer Zahnstange g versehene Schützenbrett i hat eine vertikale Stellung, ist aber nach der Seite des Zuflusskanales hin abgerundet, so dass dadurch eine trichterförmige Ausflussöffnung gebildet wird.

Die Seitentheile des Rades bestehen aus zwei Felgenschichten; in die inneren derselben sind die Zellenbretter und ist der Radboden eingesetzt, und das Ganze wird durch acht schmiedeeiserne Stängelchen k zusammengehalten. Die äusseren Zellenwände sind gekrümmt, was allerdings etwas kostspielig ist, aber den Vortheil gewährt, dass der Schluck überall eine gleiche Weite erhält. Auf jeder Seite des Rades sind vier durchlaufende, unter einander verbundene Arme l vorhanden. Sie liegen mit ihren äusseren Enden an den Felgenkränzen an und sind mit denselben durch die Stangen k und durch die Schrauben m verbunden. Da wo die Armsysteme mit der Welle verbunden sind, ist dieselbe viereckig, im übrigen aber rund. Die Befestigung der Arme mit der Welle geschieht durch Holzkeile n , die in den Spielraum zwischen den Vierecken der Welle und der Arme eingetrieben werden. Wegen dieser Aufkeilung sind die vier Arme einer jeden Seite des Rades in der Art unter einander verbunden, dass sich jeder derselben gegen zwei andere der Richtung nach auf ihn senkrechte Arme der ganzen Dicke nach anstemmt.

Die Fig. 5, 6 sind zwei Ansichten eines Armes, Fig. 4 zeigt ihre Verbindung. Die Welle ist mit Spitzzapfen p versehen, und um die Enden derselben sind schmiedeeiserne Reife angelegt. Das Rad hat keinen Zahnkranz; die Kraft wird durch die Welle fortgeschafft.

Berechnung der Hauptdimensionen des Rades.

Dieses Rädchen ist für die Annahmen:

Gefälle		= 3 ^m
Wasserzufluss per 1''	Q	= 0.225 ^{Kbm}
Absoluter Effekt der Wasserkraft	N_s	= 9
Umfangsgeschwindigkeit des Rades	v	= 2 ^m
Geschwindigkeit des ankommenden Wassers	V	= 4 ^m
Füllung	$\frac{abv}{Q}$	= 3

berechnet. Mit diesen Angaben findet man:

$$\text{Halbmesser des Rades } R = \frac{1}{2} \left(H - \frac{V^2}{2g} \right) = 1.09^m$$

Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades

$$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_s} = 4.68$$

$$\begin{aligned} \text{Breite des Rades} & \dots \dots \dots b = \sqrt{\frac{3Q}{v} \cdot \frac{b}{a}} = 1.25^m \\ \text{Tiefe desselben} & \dots \dots \dots a = \frac{b}{4.68} = 0.27^m \\ \text{Zellenteilung} & \dots \dots \dots e = 0.2 + 0.7 a = 0.39^m \\ \text{Anzahl der Zellen} & \dots \dots \dots i = \frac{2R\pi}{e} = 18(\text{nahe}) \\ \text{Anzahl der Umdrehungen des Rades per 1' n} & = 9.548 \frac{v}{R} = 17.5 \end{aligned}$$

Wegen der schnellen Bewegung des Rades bilden die Oberflächen der Wassermassen in den Zellen concentrische Cylinderflächen, und die Entfernung der gemeinschaftlichen Axe derselben von der Axe des Rades beträgt nach der Seite (71) entwickelten Regel $\dots \dots \dots \frac{895}{n^2} = 2.91^m$
 Durchmesser des Zapfens nach der praktischen Formel $\dots \dots \dots 3 \sqrt{N_n} = 8^m$

Berechnung des Nutzeffektes.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Elemente:

$$\begin{array}{llll} H = 3, & Q = 0.225, & v = 2 & V = 4, \\ R = 1.09, & a = 0.27, & b = 1.25, & e = 0.4, \\ e = 0.39, & s = 0.03^m, & S = 0 & h = 0 \\ \gamma = 180^\circ & \beta = 30^\circ & \delta = 10^\circ & i = 18 \\ & & f = 0.08 & \end{array}$$

und man findet:

Absoluter Effekt der Wasserkraft $\dots \dots \dots E_a = 675 \text{ Killg.}$
 Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$\frac{1000 Q}{2g} \left\{ V^2 + v^2 + 2Vg \cos. \delta + 2g \left[\frac{e}{2} \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.128 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt wegen h und v entsteht:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} \dots \dots = 0.068 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entleeren der Zellen entsteht, nach der Seite (73) entwickelten Regel = 0.167 E_n
 Effektverlust wegen der Zapfenreibung:

$$7.63 \frac{v}{R} f N_n \sqrt{N_n} \dots = 0.030 E_n$$

Summe der Effektverluste = 0.393 E_n

Nutzeffekt des Rades } $E_n = 0.607 E_n$
 $E_n = 410 \text{ Klgm.}$
 $N_n = 5.5$

Kostenberechnung des Baues.

Das Rad.

Volumen der Holzkonstruktion = 2.06 km^3
 Oberfläche der Holzkonstruktion = 90.6 m^2
 Gewicht an Eisen = 180 Klgm.

Das Gerinne.

Volumen der Holzkonstruktion = 0.7 km^3
 Oberfläche dieser Konstruktion = 22 m^2
 Gewicht an Eisen = 11 Klgm.

Rechnet man:

1 Kubikmetre Eichenholz zu 20 fl.
 Die Bearbeitung von 1 m^2 Oberfläche zu 1.5 fl.
 100 Killogramm verarbeitetes Eisen zu 50 fl.

so kostet

das Rad ohne Gerinne 231 fl.
 das Gerinne 53 fl.
 der ganze Bau ohne Seitenmauern 284 fl.

ferner kostet

jede Pferdekraft Nutzeffekt { des Rades ohne Gerinne . . . 42 fl.
 { des Rades mit Gerinne . . . 54 fl.
 was bei gutem Material und sorgfältiger Ausführung nicht viel ist.

*D. Tafel IV., V., VI.***Hölzernes Schaufelrad mit Ueberfalleinlauf.***Beschreibung des Baues im Allgemeinen.*

Das Rad ist grösstentheils von Holz construirt, nur der Zahnkranz, die Rosetten, die Wellzapfen und einzelne kleinere Verbindungsstücke sind von Eisen. Innerhalb der Radstube sind die Seitenwände der Zu- und Abflusskanäle und des Gerinnes aus Mauerwerk, das jedoch überall, wo es mit Wasser in Berührung kommen könnte, mit Holz verkleidet ist. Das Gerinne des Rades liegt auf einem Mauerwerk von Bruchsteinen, ist aber aus Holz construirt. Das Rad hat drei Kegelkränze, die durch drei Armwerke und vermittelt dreier Rosetten mit der hölzernen Welle verbunden sind. Die Schaufelräume sind ventilirt. Die Welle ist mit zwei Ringzapfen versehen und die beiden äusseren Rosetten sind auf die Ringe der Zapfen aufgekeilt. Der Zahnkranz ist gegen einen der Kegelkränze geschraubt und wird durch 16 schmiedeiserne Stangen, die ihn aussen fassen und innen in die Armrosette eingelegt sind, in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades erhalten. Der Schützen ist oben mit einer gusseisernen Leitfläche versehen; er wird durch einen Aufzug mit Zahnstangen und Getriebe bewegt.

Berechnung der wesentlichsten Dimensionen des Rades.

Das Rad ist für folgende Annahmen berechnet:

Gefälle	$H = 2.5^m$
Wasserzufluss pr 1''	$Q = 1.5^{kbn}$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 50$
Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$v = 1.5^m$
Füllung des Rades	$\frac{Q}{a b v} = \frac{1}{2}$
Halbmesser des Rades	$R = 3^m$
Verhältniss zwischen dem Nutzeffect und dem absoluten Effekt des Rades	$\frac{N_n}{N_a} = 0.65$
Nutzeffect des Rades	$N_n = 32.5$

Nun hat man

Verhältniss zwischen der Breite und

Tiefe des Rades $\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_a} = 6.45$

Breite des Rades $b = \sqrt{\frac{2Q}{v} \cdot \frac{b}{a}} = 3.6^m$

Tiefe des Rades $a = \frac{b}{6.45} = 0.56^m$

Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7 a = 0.59^m$

Anzahl der Schaufeln $i = \frac{2R\pi}{e} = 32$

Anzahl der Arme eines Armsystems . $\mathfrak{R} = 2 (1 + R) = 8$

Anzahl der Umdrehungen des Rades pr 1' $n = 9.548 \cdot \frac{v}{R} = 4.77$

Dicke der Wasserschichte über dem

Scheitel des Einlaufs nach S. (180) . $t = \left(\frac{Q}{0.42b \sqrt{2g}} \right)^2 = 0.385^m$

Horizontaldistanz zwischen dem Scheitel des Einlaufs und dem Punkte, in welchem die Leitfläche dem Umfang des Rades begegnet nach Seite (181) = 0.36^m

Vertikaldistanz dieser Punkte = 0.08^m

Verzeichnung der Leitfläche nach der Regel Seite (181)

Halbmesser des Zahnkranzes (nach der Zeichnung). . $R_1 = 2.25^m$

Druck in der Peripherie des Zahnkranzes $\frac{650 Q H}{v} \cdot \frac{R}{R_1} = 2167^{kg}$

Dimensionen eines Zahnes

 Dicke $z = 0.086 \sqrt{2167} = 4^{cm}$

 Breite $z_1 = 6 z = 24^{cm}$

 Länge $z_2 = \dots = 6^m$

 Theilung $z_3 = 2.1 z = 8.4^{cm}$

 Anzahl $= 8 \times 21 = 168$

Halbmesser des Getriebes (Kolbens) $= \frac{1}{4} R_1 = 54^{cm}$

Anzahl der Umdrehungen p 1' . . . $= 4 \times 4.774 = 19$

Durchmesser der Kolbenwelle . . . $16 \sqrt[3]{\frac{32.5}{19}} = 19^{cm}$

Höhe eines Armes auf der Seite des

Zahnkranzes $= 0.855 \times 16 \sqrt[3]{\frac{2N_n}{n}} = 22.2^{cm}$

Dicke eines dieser Arme = $\frac{5}{7} 22.2$ = 15.9^{cm}

Höhe eines Armes von den beiden
anderen Armsystemen = $0.855 \times 16 \sqrt[3]{\frac{1}{3} N_n}$ = 18^{cm}

Dicke eines dieser Arme = $\frac{5}{7} 18$ = 12.9^{cm}

Der Durchmesser eines Zapfens der
Welle ist hier bestimmt worden
nach der Annäherungsformel . . $3 \sqrt{N_n}$ = 17

Durchmesser der hölzernen Welle . = 3.5×17 = 60^{cm}

Diess sind die wesentlichsten Dimensionen, mit welchen das Rad
verzeichnet worden ist.

Effektberechnung des Rades.

Zur Berechnung des Effectes hat man nach den so eben ermittelten
Dimensionen und nach der Zeichnung folgende Daten:

$$\begin{array}{llll} H = 2.5, & Q = 1.5, & v = 1.5, & V = 3 \\ a = 0.56, & b = 3.6, & c = 0.2 & e = 0.6 \\ \delta = 43^\circ + 40', & \gamma = 71.5, & \beta = 75^\circ, & \varepsilon = 0.02 \\ i = 32, & h = 0, & s = 0.18 & f = 0.08 \\ R = 3^m & S = 3.5^m, & & \end{array}$$

und nun findet man:

Absoluten Effect der Wasserkraft $E_a = 3750^{kgm}$

Effectverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ \begin{array}{l} V^2 + v^2 - 2Vv \cos. \delta + \\ 2g \left[\frac{1}{2} e \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right] \end{array} \right\} = 0.133 E_a$$

Effectverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} = 0.046 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 \varepsilon b \sqrt{2ge} \left[H - \frac{V^2}{2g} \right] \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{abv} \right] = 0.075 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots = 0.007 E_a$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots = 0.004 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung

$$7.63 \frac{v}{R} f N_a \sqrt{N_a} \dots = 0.015 E_a$$

Summe der Effektverluste 0.280 E_a

$$\text{Nutzeffekt des Rades} \dots \left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.72 E_a \\ E_n = 2700^{km} \\ N_n = 36 \text{ Pfdkrft} \end{array} \right.$$

Wenn man die Dimensionen des Rades nach den Seite 104 entwickelten Regeln bestimmte, die für das Maximum des Nutzeffectes aufgefunden wurden, so würde man ein etwas günstigeres Resultat für den Effect erhalten.

Nimmt man an:

$$\begin{aligned} \gamma &= 71^\circ + 30', & R &= 3, & e &= 0.5, & \varepsilon &= 0.02 \\ \frac{Q}{abv} &= \frac{1}{2}, & Q &= 1.5, & \beta &= 75^\circ. \end{aligned}$$

so erhält man nach jenen Regeln für den vortheilhaftesten Effect folgende Constructionselemente:

Zuerst wird

$$k = \varepsilon \sqrt{2ge} \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{abv} \right] \frac{2g}{0.42} \dots = 1.643$$

dann findet man den Werth von δ aus der Gleichung:

$$\text{tang. } \delta = \frac{1}{2} \text{ tang. } \gamma \dots \delta = 56^\circ + 11'$$

ferner findet man aus der Gleichung

$$\frac{\sin. 2\delta \cos.^4(\gamma - \delta)}{\sin. (\gamma - \delta)} = 12 \text{ k g } \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{V^3}, \dots V = 2.67$$

sodann

$$v = \frac{1}{2} V \cos. \delta \dots = 0.74$$

$$\frac{b}{Q} = \frac{2g}{0.42} \cdot \frac{1}{V^3 \cos.^3(\gamma - \delta)} \dots = 2.735$$

$$b = 2.735 Q \dots = 4.1^m$$

$$a = \frac{2Q}{bv} \dots = 1^m$$

Zur Berechnung des Nutzeffektes dieses Rades hat man nun folgende Daten:

$$H = 2.5, \quad Q = 1.5, \quad v = 0.74, \quad V = 2.67$$

$$a = 1, \quad b = 4.1, \quad c = 0.2, \quad e = 0.5$$

$$\delta = 56^\circ + 11', \quad \gamma = 71^\circ + 30', \quad \beta = 75, \quad \varepsilon = 0.02$$

$$t = 32, \quad h = 0, \quad s = 0.13, \quad f = 0.08$$

$$R = 3, \quad S = 3.5 \text{ und man findet:}$$

den Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers

entsteht.	= 0.111 E _n
Effektverlust bei dem Austritt.	= 0.011 E _n
Effektverlust durch das Entweichen des Wassers	= 0.082 E _n
Effektverlust wegen des Luftwiderstandes	= 0.002 E _n
Effektverlust wegen der Wasserreibung	= 0.001 E _n
Effektverlust wegen der Zapfenreibung.	= 0.007 E _n
Summe der Effektverluste	= 0.214 E _n

Nutzeffekt des Rades	}	E _n = 0.786 E _n
		E _n = 2948 ^{kgm}
		N _n = 39.3

Dieses breitere, tiefere, enger geschaufelte und langsamer gehende Rad würde also um 6.6 Procent mehr Nutzeffekt geben können, als das nach den empirischen Regeln berechnete vorhergehende Rad; diese wenigen Procente müsste man aber ziemlich theuer erkaufen, indem

das Rad wegen seiner kleinen Umfangsgeschwindigkeit in allen seinen Theilen sehr starke Querschnittsdimensionen erhalten müsste.

Die vortheilhafteste Breite des Rades ist gleich 4.1^m gefunden worden; nach den empirischen Regeln ergab sich für die Breite des Rades 3.6^m, der Unterschied ist nicht bedeutend. Einige Schriftsteller haben als Regel angegeben, dass die Dicke der Wasserschichte über dem Scheitel des Ueberfalles nicht mehr als höchstens 0.24^m betragen solle; nach dieser Regel würde die Radbreite 7.1^m, also nahe doppelt so gross, als nach der empirischen Regel. Dieses enorm breite Rad würde sehr kostspielig werden und könnte doch keinen günstigen Effekt geben, weil der Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entstünde, 15 Procent betragea würde.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

Holz.

Das Volumen aller aus Holz gefertigten Bestandtheile des Rades ist	13.74 ^{kbm}
Die Oberfläche dieser Bestandtheile beträgt	442.5 ^{qm}
Das Volumen der Holzconstruction des Gerinnes und der Theile der Zu- und Abflusskanäle, welche in der Zeichnung sichtbar sind, beträgt	5.17 ^{kbm}
Die Oberfläche aller Theile dieser Construction ist	140 ^{qm}

Gusseisen.

Der Zahnkranz	1400 Klg.
Eine grössere Rosette	667 "
Zwei kleinere Rosetten	763 "
Zwei Ringzapfen	1180 "
Drei Zapfenlager mit Lagerplatte	378 "
Zwei Fassungen zu dem Schützen und zwei Zahnstangen	92 "
Eine gusseiserne Leitfläche	155 "
Zwei kleine Lager zum Aufzug	43 "
Summe	4678 Klg.

Schmiedeeisen.

Bänder zu den Schaufeln und zum Radboden	415 Klg.
Schrauben zu den Schaufeln	97 "
16 Stangen zum Zahnkranz	384 "
Schrauben zum Zahnkranz	84 "
Schrauben zur Befestigung der Arme mit den Rosetten	43 "
8 Keile zum Aufkeilen der Rosetten	55 "
Axe zum Aufzug	26 "
Summe	1104 Klg.

Mauerwerk.

Seitenmauern des Gerinnes	56 ^{kbm}
Untermuerung des Gerinnes	16 ^{kbm}
Volumen der Quadratlücke unter den Zapfenlagern	4·8 ^{kbm}
Das totale Gewicht des Rades ohne Gerinne ist, wenn man	
1 ^{kbm} nasses Eichenholz zu 1000 Kllg. anschlägt	18880 Klg.
Das Gewicht des Rades p Pferdekraft	525 Klg.
Zur Kostenberechnung darf man folgende Preise annehmen:	
1 ^{kbm} Eichenholz	fl. 20
Die Bearbeitung von 1 ^{qm} Holzfläche	„ 1·5
100 Kllg. verarbeitetes Eisen	„ 50
1 ^{kbm} Bruchsteinmauerwerk	„ 3·7
1 ^{kbm} Quaderstein mit Behauen und Einmauern	„ 37
Die Kosten des Rades sammt Schützenzug und Zapfenlager,	
aber ohne Gerinne und Mauerwerk sind nun	„ 3830
Kosten p 1 Pferdekraft	„ 106
Die Kosten des Gerinnes und des Mauerwerkes sind	„ 756
Der ganze Bau kostet also	„ 4586
und p 1 Pferdekraft	„ 127

Beschreibung der Details des Baues.

Tafel IV.

Fig. 1. Ansicht des Rades von der Seite des Zahnkranzes und Durchschnitt des Gerinnes.

Fig. 2. Vertikalquerschnitt des Rades und des Gerinnes.

Fig. 3. Horizontalschnitt des Gerinnes nach der Linie y z Fig. 1.

Fig. 4. Vertikalquerschnitt durch die Kammer vor dem Einlauf nach u v w x.

Fig. 5. Ventilation des Rades.

Die Gerinne bestehen aus einem mit Brettern verkleideten Balkenwerk, das theils auf dem Mauerwerk a Fig. 1 aufliegt, theils in die Seitenmauern b Fig. 3 eingemauert ist. c c c sind Balken, die auf dem Mauerwerk a aufliegen und mit ihren Enden in die Seitenmauern b hineinreichen. c₁ sind 4 in die Enden von c eingezapfte und in die Seitenmauern b eingemauerte Hölzer, die nach dem Mittelpunkte des Rades hin gerichtet sind und gegen welche die aus Brettern bestehenden Seitenwände des Radgerinnes mit Nägeln oder mit Holzschrauben befestiget werden.

c_2, c_3 in b eingemauerte und in c eingezapfte, schiefgestellte Hölzer, in welchen die Querbalken c_3, c_4 Fig. 1 eingezapft sind, die, wie Fig. 3 zeigt, die Führung für den Schützen c_5 bilden. Dieser Schützen besteht aus zwei dicken Brettern, die an den Seitenkanten mit gusseisernen Fassungen und an der oberen Kante mit der gegossenen Einlauffläche d versehen ist. Er wird durch das Wasser gegen den Querbalken c_4 gedrückt, so dass kein Wasser zwischen c_4 und c_5 entweichen kann, und durch eine aus zwei Zahnstangen und zwei Getrieben bestehenden Mechanismus bewegt. e der Boden des Gerinnes liegt auf vier dem Umfange des Rades folgenden Hölzern e_1, e_2 , welche in die Querschwellen c_3, c_4 eingelegt sind. Diese Andeutungen dürften genügen, den Bau des Gerinnes zu verstehen, wenn man sich die Mühe gibt, die Zeichnungen aufmerksam zu verfolgen.

Die Seitenmauern bestehen im Allgemeinen aus Bruchsteinen, nur die Theile unter den Zapfenlagern sind aus Quaderstücken.

An dem Rade kommen folgende Hauptbestandtheile vor: 1) die drei Kränze f, f_1, f_2 , von denen jeder aus zwei Schichten von Segmentstücken gebildet wird; 2) die Schaufelarme g , welche in die Kränze eingesetzt sind, und gegen welche die Radschaufeln mit Schrauben befestigt sind; 3) h, h_1, h_2 drei Armsysteme, von denen das erstere für $\frac{2}{3}$, jedes der beiden anderen für $\frac{1}{3}$ der ganzen Kraft des Rades berechnet ist; 4) i, i_1, i_2 drei Rosetten zur Verbindung der Arme unter sich und mit der Welle. Die Rosette i hat, wie Fig. 1 zeigt, zwei Hülsensysteme, eins für die hölzernen Arme h , und ein anderes für die 16 schmiedeisernen Stangen k , welche den Zahnkranz in concentrischer Lage gegen die Radwelle erhalten; 5) der Zahnkranz k_1 , bestehend aus 8 untereinander und mit dem Kranze f mittelst Schrauben verbundenen Segmenten; 6) die Welle l , deren Enden mit den Zapfenhülsen l_1, l_2 versehen, und auf welche die Rosetten i und i_2 aufgekeilt sind. Die Construction dieser Hauptbestandtheile des Rades enthalten die Tafeln V. und VI.

Fig. 5 zeigt den Eintritt des Wassers in das Rad und die Ventilation der Schaufelräume. Es sind nämlich in dem Boden des Rades bei m, m Spalten angebracht, deren Länge gleich ist der Distanz der Kränze f, f_1 und f_1, f_2 . Damit aber durch diese Spalten nur Luft und kein Wasser in den innern Raum des Rades entweichen kann, sind ferner noch die schiefgestellten Bretter m_1 vorhanden, welche das etwa mit der Luft entweichende Wasser auffangen und in die Schaufelräume wiederum zurückleiten. Die Bretter m_1 sind, wie man in Fig. 2 sieht, in die Kränze f, f_1, f_2 eingelegt, und werden daselbst durch hölzerne Keilstücke festgehalten. Eine Ventilation der Schaufelräume ist bei grösseren Schaufelrädern und insbesondere bei etwas starker Füllung jederzeit

nothwendig, denn so wie einmal die nachfolgende von zwei Schaufeln, welche einen Schaufelraum bilden, die Oberfläche des Wasserstrahles berührt, ist dieser Raum von der äusseren Luft abgeschlossen; die eingeschlossene Luft wird also durch das später eintretende Wasser comprimirt, bis sie der Wassersäule von ungefähr 0.4^m , welche der Tiefe der unteren Fläche des Strahles unter dem Spiegel des Wassers im Zuflusskanale entspricht, das Gleichgewicht hält. Ist dieser Moment eingetreten, so muss das Einströmen ganz aufhören, woraus man sieht, dass ein nicht ventilirtes Rad, es mag nun noch so geräumig gebaut sein, doch nur eine verhältnissmässig kleine Wassermenge aufzunehmen im Stande sein wird.

Tafel V.

enthält die wesentlicheren konstruktiven Details des Rades.

Fig. 1 zeigt die Form und die Verbindung aller Theile, welche am äusseren Umfang des Rades vorkommen.

Fig. 2 ist eine Ansicht, Fig. 3 zeigt die Verbindung der Segmentstücke, aus welchen der Kranz f zusammengesetzt ist.

Die Fig. 4, 5, 6 zeigen die Verbindung der Arme mit der Rosette, der mittleren Rosette mit der Welle und der äusseren Rosetten mit den Zapfenhülsen.

Fig. 7 zeigt einen von den 4 Ankern, mit welchen jede von den beiden Zapfenhülsen l_1 zu ihrer Befestigung mit der Welle versehen ist.

Fig. 8 zeigt den Schnitt des Zahnkranzes mit einer auf die Axe und die Arme k senkrechten Ebene.

Um die Form und Verbindung dieser Theile genau kennen zu lernen, muss man nebst der Tafel V. auch der Tafel VI., welche den Einlauf und einen Quadranten des Rades enthält, einige Aufmerksamkeit schenken.

Jeder von den drei Radkränzen f, f_1, f_2 besteht aus zwei Schichten von krummen Segmentstücken, die zur Aufnahme der Schaufelarme und der Radarme mit schwalbenschwanzförmigen Einschnitten n und n_1 , Fig. 2 versehen sind.

Die inneren Enden der Schaufelarme so wie die äusseren Enden der Radarme haben eine ähnliche Form, und die Befestigung dieser Arme geschieht durch das Eintreiben hölzerner Keile, die auf Taf. VI. durch punktirte Linien angegeben sind. Die Verbindung der Segmentschichten unter einander geschieht durch Schraubenbolzen und eingelegte Blechstreifen, welche zu verhindern haben, dass die Muttern, wenn sie fest angezogen werden, sich nicht in das Holz eindrücken können. Jedes Segmentstück ist mit vier Schrauben versehen und bei f , Fig. 1 dienen

dieselben gleichzeitig zur Befestigung der Zahnkranzsegmente gegen den Radkranz f.

Die Verbindung der Zahnsegmente unter einander geschieht durch die Schrauben o o, Fig. 1, Tafel V. und Tafel VI., welche, wenn sie angezogen werden, die mit gehobelten Säumen versehenen Endflächen der Segmente gegen einander drücken.

Damit die Schrauben, welche die Zahnsegmente gegen den Kranz f anzuhalten haben, durch die aus der Wirkung des Wassers auf das Rad entspringende Kraft, welche den Zahnkranz gegen den Radkranz f zu verschieben sucht, nicht zu stark in Anspruch genommen werden, ist jedes Zahnsegment an der dem Radkranz zugekehrten Fläche mit zwei Nasen o₁, Fig. 8 versehen, welche in das Holz des Kranzes f eingreifen, und die nach Art eines Mitnehmers wirken. Ich muss bei dieser Gelegenheit bemerken, dass man überhaupt den Grundsatz befolgen soll, die Verbindungen immer so einzurichten, dass Schraubenbolzen nie durch Kräfte forcirt werden können, deren Richtung mit jener von der Axe der Bolzen nicht übereinstimmen. Bei m₂, Fig. 3 sieht man die Einschnitte für die erwähnten Nasen o₁.

Um sowohl den Zahnkranz als auch das Rad in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades zu erhalten, fasst jedes Zahnsegment mit 2 Lappen o₂, Fig. 1 und 8, Tafel V, die äussere Umfangsfläche des Kranzes f; durch diese Lappen gehen die, innen in die Rosette i eingekerkerten, Armstangen k und werden aussen durch die Schraubenmuttern o₃ so gespannt, dass der Theilriss des Zahnkranzes einen mit der Axe des Rades concentrischen Kreis bildet.

Jede Radschaukel besteht aus zwei Brettern, von denen das innere radial, das äussere aber so gestellt ist, dass es beim Austritt aus dem Unterwasser eine radiale Stellung hat. Das innere grössere Brett ist mit zwei, das äussere kleinere Brett aber nur mit einer Schraube an den Arm geschraubt, (Tafel VI.), damit es in dem Falle, dass mit dem Wasser etwa ein Baumast in das Rad eintreten sollte, leichter als irgend ein anderer Theil des Rades von demselben weggebrochen werden kann; denn Etwas muss in diesem Falle brechen, daher ist es gut, wenn dafür gesorgt wird, dass der daraus entstehende Nachtheil leicht beseitigt werden kann. Den Schraubenmuttern sind schmiedeeiserne Bänder p unterlegt. Um die Bodenbretter gut zusammen zu halten, sind um die äusseren Umfänge des fassartigen Radbodens Reifeisen p₁, Fig. 1, herumgezogen.

Die Rosetten, welche die Bestimmung haben, sämtliche Arme zu fassen und sie mit der Welle zu verbinden, bestehen aus einem Ring, aus welchem zur Aufnahme der Radarme geeignete, durch Nerven verbundene Hülsen heraustreten. Die Rosette i ist, wie schon früher er-

wähnt wurde, mit 8 grossen Hülsen für die hölzernen Arme und mit 16 Hülsen für die Armstangen k versehen. Die beiden andern Rosetten i_1 und i_2 haben dagegen jede nur 8 grosse Hülsen. Die hölzernen Arme werden von den Hülsen vorzugsweise durch die an ihre Wände angegossenen Nasen $p_1 p_1$, Tafel VI. gefasst; so dass, dem oben erwähnten Grundsatz gemäss, die Schrauben $p_2 p_2$, Fig. 4, 5, 6, Tafel V, nie stark in Anspruch genommen werden können. Die Wände p_2 , Taf. VI., zwischen den Hülsen befinden sich an der offenen Seite dieser letzteren; weil dadurch die Hülsenwände, an welchen die Nasen $p_1 p_1$ angebracht sind, gut verstrebt werden. Die kleinen Hülsen p_3 , Tafel VI., für die Armstangen k befinden sich an der geschlossenen Seite der grossen Hülsen, und die Grundfläche der ersteren wird durch die äussere Fläche der letzteren gebildet. Die Armstangen haben T-förmige Anker, deren Querschnitt nach der Richtung des Armes rautenförmig ist, wodurch sie beim Anspannen der Arme ein Bestreben haben, in die Hülsen hineinzugleiten. Die mittlere Rosette i wird mit hölzernen, abwechselnd von entgegengesetzter Seite eingetriebenen Keilen mit der Welle verbunden. Jede der äusseren Rosetten i_1 und i_2 wird mit vier eisernen Keilen auf eine der Zapfenhülsen l_1 aufgekeilt, diese letzteren sind deshalb auf ihrer Oberfläche mit vier gehobelten Bahnen $q q$ versehen.

Jede Zapfenhülse besteht aus einer äusseren cylindrischen Wand q_1 und aus einem mittleren konischen, in den Zapfen übergehenden Kern q_2 , der durch zwei sich rechtwinklig durchkreuzende, radial gestellte Wände mit dem äusseren Ring q_1 verbunden ist. Die Enden der Welle sind natürlich nach der Form der inneren Theile der Zapfenhülsen ausgeschnitten, damit diese über der Welle fest aufgetrieben werden können. Zur Vorsicht wird aber noch jede Zapfenhülse durch vier schmiedeeiserne, in das Holz der Welle eingreifende Ankerhaken r , Fig. 7, gegen das Abschieben von der Welle geschützt; auch dienen diese Anker, um die Hülsen fest auf die Wellen anzuziehen.

E. Tafel VII. bis XII.

Eisernes Schaufelrad mit Coulisseneinlauf.

Beschreibung in Allgemeinen.

Dieses Rad ist für ein Gefälle von 3^m und für eine Wassermenge von 2 Kub. M. pr 1^u berechnet und gezeichnet; der absolute Effekt der Wasserkraft ist demnach 80 Pferde und der Nutzeffekt beträgt, wenn man vorläufig 70 Procent in Rechnung bringt, 56 Pferdekraft.

An dem Rade sind nur allein die Schaufeln und der Boden von Holz, alles Uebrige ist von Eisen. Auch der Einlauf ist von Eisen. Das Gerinne ist gemauert.

Das Rad ist mit drei Kränzen versehen, die durch drei Armsysteme und durch drei Rosetten mit der Welle verbunden sind. An einem der beiden äusseren Kränze ist ein Zahnkranz angeschraubt, welcher die Kraft an die erste Transmissionswelle abgibt. Die Kränze, welche aus einzelnen mit den Armen durch Schrauben verbundenen Segmenten bestehen, sind mit Armen (Kegeln) versehen, gegen welche die hölzernen Schaufeln angeschraubt sind. Diese Segmente werden gewöhnlich „Kegelsegmente“ genannt. Der Zahnkranz besteht ebenfalls aus einzelnen Segmentstücken (Zahnsegmente), die unter sich und mit den Kegelkränzen mittelst Schrauben verbunden sind. Die Arme fassen aussen die Kegelkränze und sind immer mit den Rosetten verbunden, aber nicht angegossen.

Zu beiden Seiten des Rades befindet sich ein solides Mauerwerk, auf welchem die Zapfenlager von der Wasserradwelle, so wie auch das Lager von der Kolbenwelle aufliegen. Da, wo die Lager aufliegen, bestehen die Seitenmauern aus grösseren Quaderstücken, mit welchen die Lagerplatten der Zapfenlager durch eiserne Stangen zu einem Ganzen verbunden sind. Das Gerinne wird durch ein Tonnengewölbe gebildet. Es stützt sich unten gegen eine horizontalliegende Gewölbegurt, die von einer Seitenmauer zur anderen geht. Diese Construction ist allerdings sehr kostspielig, aber auch sehr solid. Einen billigeren und doch auch dauerhaften Bau erhält man, wenn man das Gerinne von Bruchsteinen mauert und mit einer Schicht hydraulischen Cementes überzieht.

Der Einlauf ist ganz von Eisen; er besteht aus vier Schilden, die oben durch eine Traverse und unten durch drei eiserne Wände verbunden sind und aus drei Leitflächen von Eisenblech (Coulissen), welche in die durch die Schilde, Traversen und Wände gebildeten Fensteröffnungen eingeschoben sind.

Zwei von den Schilden (die Seitenschilde), sind in den Seitenmauern des Zuflusskanals eingelassen, die beiden andern (die Zwischenschilde) sind um $\frac{1}{3}$ der Einlaufbreite von den ersteren entfernt aufgestellt. Die Traverse liegt auf den Zwischenschilden und ist gegen dieselben niedergeschraubt; an den Enden ist sie ferner mit den Seitenschilden durch Schrauben verbunden. Die drei eisernen Wände sind mit den vier Schilden zusammengeschraubt. Der Schützen, welcher aus zwei starken mit Feder und Nuth verbundenen Brettern besteht, die an den Enden durch gusseiserne Fassungen (Kappen) zusammengehalten werden, liegt an den Schilden, und die Kappen, an welchen die Zahn-

stangen zum Aufziehen angebracht sind, bewegen sie in Leitritten, mit welchen die Seitenschilder versehen sind.

Berechnung der Dimensionen des Rades.

Die zur Construction des Rades gegebenen Grössen sind:

Gefälle	$H = 3^m$
Wassermenge in Kub. M. p 1''	$Q = 2^m$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$\frac{1600QH}{75} = N_s = 80$

Angenommen wurde:

Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$v = 1.8^m$
Halbmesser des Rades	$R = 3^m$
Füllung des Rades	$\frac{Q}{abv} = \frac{1}{2}$

Nun findet man zunächst nach Fig. 37 der kleinen Tafel 4, dass den gegebenen Elementen der Wasserkraft ein Schaufelrad mit Coulissen-einlauf entspricht, und für die Dimensionen desselben findet man:

Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades

$$\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_s} = 7.54$$

Breite des Rades $b = \sqrt{\frac{2Q}{v}} \cdot \frac{b}{a} = 4.15^m$

Tiefe des Rades $a = \frac{b}{\left(\frac{b}{a}\right)} = 0.55$

Entfernung zweier Schaufeln $e = 0.2 + 0.7a = 0.58$

Anzahl der Schaufeln $i = \frac{2R\pi}{e} = 32$

Anzahl der Arme eines Armsystems $\mathfrak{N} = 2(1 + R) = 8$

Anzahl der Umdrehungen des Rades p 1' $n = 9.548 \frac{v}{R} = 5.73$

Zur Berechnung der Querschnittsdimensionen der Arme der Welle und des Zahnkranzes ist angenommen worden, dass das Rad 70 Procent, mithin $0.70 \times 80 = 56$ Pferdekraft Nutzeffekt geben werde.

Unter dieser Voraussetzung hat jedes von den Armsystemen J J_1 Fig. 2 Tafel VII. $5\frac{2}{3} = 18 + \frac{2}{3}$ Pferdekraft nach der Welle herein, und das Armsystem J_2 $18 + \frac{2}{3} + 18 + \frac{2}{3} = 37\frac{1}{3}$ Pferdekraft nach dem Zahnkranz hinaus zu übertragen. Die Wellenstücke w_1 w_2 haben, das erstere $18 + \frac{2}{3}$ das letztere $37 + \frac{1}{3}$ Pferdekraft durch Torsion zu übertragen.

Hinsichtlich dieser durch Torsion zu übertragenden Kraft wird also:

$$\text{Durchmesser des Wellenstückes } w_1 \dots = 16 \sqrt[3]{\frac{18.66}{5.73}} = 24^{\text{cm}}$$

$$\text{Durchmesser des Wellenstückes } w_2 \dots = 16 \sqrt[3]{\frac{37.33}{5.73}} = 30^{\text{cm}}$$

Da jedes dieser drei Armsysteme mit 8 Armen versehen ist, so ist nach der Seite (198) angegebenen Regel und Tabelle:

Höhe der Hauptnerve eines Armes der Systeme

$$J \text{ und } J_1 \dots \dots \dots = 0.86 \times 24 = 20.52^{\text{cm}}$$

$$\text{Dicke derselben} \dots \dots \dots = \frac{1}{5} \cdot 20.52 = 4.1^{\text{cm}}$$

Höhe der Hauptnerve eines Armes des Systemes J_2 :

$$= 0.86 \times 30 = 25.65^{\text{cm}}$$

$$\text{Dicke derselben} \dots \dots \dots = \frac{1}{5} \times 25.65 = 5.13^{\text{cm}}$$

$$\text{Die Dicke der Bodenbretter ist} \dots \dots \dots = 5^{\text{cm}}$$

$$\text{Höhe des Kegelkranzes} \dots \dots \dots = 20.52$$

Zieht man diese zwei letzteren Dimensionen und den Werth von a von dem Halbmesser des Rades ab, so erhält man, wie aus Fig. 2 erhellet, vorläufig einen

$$\text{Annäherungswerth für den Halbmesser des Zahnkranzes } R_1 = 2.17^{\text{m}}$$

und vermittelt desselben findet man als

Annäherungswerth für die Geschwindigkeit eines Punktes

$$\text{im Theilriss des Zahnkranzes} \dots \dots \dots v \cdot \frac{R_1}{R} = 1.3^{\text{m}}$$

$$\text{Druck am Umfange des Zahnkranzes} \dots \dots P = \frac{75 \times 56}{1.3} = 3230^{\text{km}}$$

$$\text{Dimensionen eines Zahnes} \left\{ \begin{array}{l} \text{Dicke} = 0.086 \sqrt{3230} \dots = 4.9^{\text{cm}} \\ \text{Breite } 6 \times 4.9 \dots \dots = 29.4 \\ \text{Länge } \frac{1}{4} \times 29.3 \dots \dots = 7.33^{\text{m}} \\ \text{Theilung } 2.1 \times 4.9 \dots \dots = 10.3^{\text{cm}} \end{array} \right.$$

Nachdem nun die Dimensionen der Zähne bestimmt sind, ergibt sich der genaue Werth des

$$\begin{aligned} \text{Halbmessers von dem Theilriss des Zahnkranzes} & \dots R_1 = 2.15^m \\ \text{Halbmesser des Getriebes L (Kolbens)} & \dots r = \frac{R_1}{3.5} = 0.615^m \\ \text{Anzahl der Umdrehungen desselben p 1'} & \dots = 3.5 \times n = 20 \\ \text{Durchmesser der Kolbenwelle M} & \dots = 16 \sqrt[3]{\frac{60}{20}} = 23^{\text{cm}} \end{aligned}$$

Um die Zapfen zu bestimmen, muss man vermittelst der nun berechneten Hauptdimensionen das Rad verzeichnen und dann das Gewicht desselben berechnen, um die Pressungen zu erhalten, welchen die Zapfen zu widerstehen haben. Nach der später folgenden Gewichtsbe-
rechnung ist das

$$\begin{aligned} \text{Totale Gewicht des Rades} & \dots = 22551^{\text{kg}} \\ \text{Gewicht des Zahnkranzes} & \dots = 3773^{\text{„}} \\ \text{Druck, welchem der Zapfen d zu widerstehen hat} & \dots = 9389 \\ \text{Durchmesser dieses Zapfens d} & \dots = 0.18 \sqrt{9389} = 17.5 \\ \text{Druck, welchem der Zapfen d}_1 \text{ zu widerstehen hat} & \dots = 13162 \\ \text{Durchmesser dieses Zapfens d}_1 & \dots = 0.18 \sqrt{13162} = 20.7^{\text{cm}} \\ \text{Winkel, unter welchem die Coulissen dem Umfange des Rades} \\ \text{begegnen} & \dots \delta = 25^\circ \\ \text{Die äussere normale Weite der Coulissen-Kanäle ist} & \dots = 0.08^m \\ \text{Breite des Einlaufes} & \dots = b - 0.1 = 4.05^m \\ \text{Tiefe der Mittelpunkte der Ausfluss-} & \left\{ \begin{array}{l} \text{für den 1ten Kanal} = 0.315^m \\ \text{öffnungen unter dem Spiegel des} \\ \text{Oberwassers.} \dots \dots \dots \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{„ „ 2ten „} = 0.480^m \\ \text{„ „ 3ten „} = 0.645^m \\ \text{„ „ 4ten „} = 0.800^m \end{array} \right. \\ \text{Den Contractionscoefficienten} & \dots = 0.75 \\ \text{angenommen, findet man:} & \\ \text{die Wassermenge, welche durch} & \left\{ \begin{array}{l} \text{für den 1ten Kanal} = 0.603^{\text{kbm}} \\ \text{jeden dieser Kanäle austritt.} \dots \dots \dots \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{„ „ 2ten „} = 0.746^{\text{„}} \\ \text{„ „ 3ten „} = 0.865^{\text{„}} \\ \text{„ „ 4ten „} = 0.962^{\text{„}} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Die Wassermenge der drei ersteren Kanäle ist $\dots = 2.214^{\text{„}}$, also etwas grösser als die p 1' zufließende Quantität; der untere Kanal dient also für den Fall, wenn der Wasserstand etwas veränderlich sein sollte.

Die Tiefe des Punktes, in welchem die vierte Coulisse dem Umfange des Rades begegnet unter dem Spiegel des Oberwassers ist = 0.75^m

Die Geschwindigkeit, mit welcher daselbst das Wasser eintritt $V = 3.83^m$

Hiermit sind nun alle wesentlicheren Grössen bestimmt, welche zur Berechnung des Nutzeffektes und zur Verzeichnung des Rades dienen. Alle Nebenabmessungen, namentlich die Dicke der Bretter und die Metalldicken des Einlaufs, der Kegelkränze, der Rosetten etc., so wie auch die Durchmesser der Schraubenbolzen sind nach practischen Erfahrungen angenommen worden und bedürfen keiner näheren Erklärung.

Berechnung des Nutzeffektes des Rades.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man folgende Daten:

$$\begin{array}{llll} H = 3^m, & Q = 2, & v = 1.8^m & V = 3.83^m, \\ R = 3^m, & a = 0.55^m, & b = 4.15^m, & c = 0.23^m, \\ e = 0.59^m, & s = 0.15^m, & S = 4^m & h = 0.3^m \\ \gamma = 75^\circ & \delta = 25^\circ & \beta = 65^\circ & i = 32 \\ e = 0.01^m, & f = 0.08, & d = 0.175^m, & d_r = 0.207^m, \end{array}$$

Der Spielraum der Schaufeln im Gerinne ist hier sehr klein angenommen worden, weil das Rad von Eisen und das Gerinne von behauenen Steinen gemacht ist.

Nun findet man:

den absoluten Effekt, welcher der Wasserkraft entspricht:

$$1000 Q H = 6000 \text{ Kilgm.} = E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$\frac{1000 Q}{2g} \left\{ \frac{V^2 - 2 V v \cos. \delta + v^2 +}{2g \left[\frac{1}{2} e \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right]} \right\} = 0.150 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} . . . = 0.105 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das Entweichen des Wassers entsteht:

$$1000 \epsilon b R \sqrt{2 g e} \left[1 - \cos. \gamma \right] \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right] = 0.029 E_a$$

Effektverlust wegen der Reibung des Wassers am Gerinne:

$$0.366 b S v^3 \dots \dots \dots = 0.006 E_a$$

Effektverlust wegen des Luftwiderstandes:

$$0.118 i a b v^3 \dots \dots \dots = 0.008 E_a$$

Effektverlust wegen der Zapfenreibung

$$\frac{v f}{2 R} \cdot (9389. d + 13162 d.) \dots \dots = 0.017 E_a$$

$$\text{Summe der Effektverluste} \dots \dots \dots = 0.315 E_a$$

$$\text{Nutzeffekt des Rades} \dots \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} E_n = 0.685 E_a \\ E_n = 4110^{km} \\ N_n = 548 \text{ Pfdkft} \end{array} \right.$$

Dieses Resultat ist nicht sehr günstig. Hätte man die Umfangsgeschwindigkeit des Rades und der Schaufeltheilung kleiner, dagegen die Radbreite grösser angenommen, und hätte man überdies die Schaufeln auf $\frac{1}{4} a$ im Unterwasser tauchen lassen, so würde der Nutzeffekt um 10 Prozent günstiger geworden sein, allein der ganze Bau würde dadurch bedeutend, vielleicht um die Hälfte, kostspieliger geworden sein. Die Richtigkeit dieser Behauptung kann man leicht nachweisen, wenn man nach den Formeln, welche (Seite 117) bei der genaueren Theorie dieses Rades aufgestellt wurden, die Dimensionen berechnet, die dem Maximum des Nutzeffektes entsprechen.

Nimmt man an:

$$\frac{Q}{a b v} = 0.5, \quad e = 0.4, \quad \epsilon = 0.01, \quad \gamma = 80^\circ, \quad Q = 2, \quad H = 3,$$

so gibt zunächst die Formel (139)

$$k = \epsilon \sqrt{2 g e} \left[0.43 + 0.26 \frac{Q}{a b v} \right] \frac{2 g}{0.42} = 0.733$$

dann findet man aus (144)

$$\left(H - \frac{V^2}{2g}\right)^{\frac{1}{2}} V^3 = 2^{\frac{5}{2}} g k \sin. \gamma H^{\frac{3}{2}}, \quad V = 2.638$$

ferner aus (145)

$$\sin. \delta = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{H - \frac{V^2}{2g}}{H}} \dots \delta = 41^\circ + 33'$$

$$v = \frac{1}{2} V \cos. \delta \dots v = 0.987$$

endlich aus (146)

$$\frac{b}{Q} = \frac{2 \times g}{0.42} \frac{\sin. \gamma}{\sin. \delta} \cdot \frac{1}{V^3} \cdot \frac{b}{Q} = 3.78$$

$$\text{folglich für } Q = 2 \dots b = 7.56$$

$$\text{endlich ist } a = \frac{2Q}{bv} \dots a = 0.53$$

Nimmt man nun ferner noch an:

$$\begin{array}{llll} \beta = 60^\circ, & c = 0.2, & s = 0.12, & h = 0 \\ \iota = 48, & S = 4, & R = 3, & f = 0.08 \end{array}$$

so findet man für die Effektverluste folgende Werthe:

Effektverlust bei dem Eintritt	= 0.1134 E _a
Effektverlust bei dem Austritt	= 0.0050 E _a
Effektverlust wegen des Entweichens	= 0.0524 E _a
Effektverlust wegen des Luftwiderstandes	= 0.0037 E _a
Effektverlust wegen der Wasserreibung	= 0.0018 E _a
Effektverlust wegen der Zapfenreibung	= 0.0143 E _a
Summe der Effektverluste	= 0.1906 E _a
Nutzeffekt des Rades	{ E _a = 0.8094 E _a N _a = 64.7

Der Nutzeffekt würde also bei diesem Rade um 12 Prozent, also um 9.6 Pferdekraft grösser sein, als bei dem vorhergehenden Rade, allein diese 9.6 Pferdekraft würde man sehr theuer erkaufen müssen, denn bei der enormen Breite des Rades 7.56^m wird nicht nur der Bau des Rades, sondern insbesondere auch jener des Gerinnes und des Einlaufes sehr kostspielig werden.

In dem Falle, wenn es von sehr grosser Wichtigkeit wäre, mit einem absoluten Effekt von 80 Pferden einen möglichst günstigen Nutzeffekt zu gewinnen, müsste man den Bau allerdings nach den zuletzt berechneten Dimensionen ausführen, da aber eine Breite von 7.56^m fast unausführbar ist, so würde man zwei Räder, jedes von $\frac{1}{2} \cdot 7.56 = 3.78^m$ Breite anwenden müssen. Der Werth von $R, a, c, e, i, \beta, \gamma, \delta$ würden sich dadurch nicht ändern, die Querschnittsdimensionen der Arme der Welle des Zahnkranzes etc. müssten aber für eine Kraft von 32.3 Pferden berechnet werden. Jedes dieser Räder würde nahe eben so schwer ausfallen, als das auf Tafel VII. dargestellte Rad. Denn bei ersterem ist zwar der Effekt im Verhältniss $\frac{32.3}{54.8}$, aber auch die Umfangsgeschwindigkeit im Verhältniss $\frac{0.987}{1.8}$ kleiner als bei letzterem; der am Umfange wirkende Druck, von welchem die Querschnittsdimensionen abhängen, ist also bei beiden Rädern nahe gleich gross; die zwei Räder werden also doppelt so viel kosten, als das eine Rad. Die Gerinne und Einläufe für diese zwei Räder würden ebenfalls zweimal so viel kosten, als für das eine Rad. Endlich würden die zwei langsam gehenden Räder auch noch eine weit kostspieligere Transmission verursachen, als das schneller gehende Rad. Man sieht also, dass der Bau zur Gewinnung eines Nutzeffektes von 64.7 Pferdekräften vermittelt zweier Räder zwei mal so viel kosten würde, als der Bau zur Gewinnung von 54.8 Pferdekräften vermittelt eines Rades. Zur Ausführung des ersteren würde man sich gewiss nur dann entschliessen, wenn mit der kleineren Kraft ein wichtiger Zweck durchaus nicht erreicht werden könnte.

Kostenberechnung des Rades mit Coulisseneinlauf.

Das Rad.

Holz.

	Gewicht in Kilogramm.
Schaufeln	3055
Radboden	3025

Gusseisen.

3 Kegelkränze	3892
16 leichtere und 8 stärkere Arme	4608
3 Rosetten	1238
Die Welle	2160
Der Zahnkranz	3776

Schmiedeeisen.

	Gewicht in Kilogramm.
Schrauben zu den Schaufeln und zum Boden	480
Schrauben zu den Armen	96
Schrauben zum Zahnkranz	48
Bänder zu den Schaufeln und zum Boden	173
Das totale Gewicht des Rades	22551
2 Lagen zur Axe sammt Lagerplatte	317

*Der Einlauf.**Gusseisen.*

Die Traverse	432
2 Seitenschilde	325
2 Zwischenschilde	162
2 Kappen	41
2 Zahnstangen	35
3 Zwischenwände	531
2 Lager für den Schützenzug	15
2 Getriebe und Wellen	8
	Summe 1549

Schmiedeeisen.

12 Leitflächen aus Blech	398
Axe des Schützenzuges	25
Schrauben zu den Verbindungen	37
	Summe 460

Radeinlauf und Zapfenlager wiegen also zusammen

mit Holz 24877 Kilg.
ohne Holz 18797 „

Im Durchschnitt darf man annehmen, dass bei solider Ausführung für 100 Kilg. Eisen 44 Gulden bezahlt werden müssten.

Die Kosten der Eisenconstruktion sind demnach 8270 fl.

Kosten der Eisenconstruktion per 1 Pferdekraft Nutzeffekt = 151 fl.

Das Gewicht des Rades beträgt per 1 Pferdekraft Nutzeffekt

mit Holz = 411 Kilg.
ohne Holz = 343 „

Beschreibung der Details des Rades und Einlaufes.

Tafel (XI.) enthält die einzelnen Bestandtheile, aus welchen der Einlauf besteht.

Fig. 1, 2, 3 sind zwei Ansichten und ein Durchschnitt eines Seitenschildes.

Fig. 4, 5, 6, 7 sind drei Ansichten und ein Durchschnitt eines Zwischenschildes.

Fig. 8 ist eine Ansicht von der Hälfte der oberen Traverse, welche die vier Schilde unter einander verbindet.

Fig. 9 ist ein Durchschnitt derselben.

Fig. 10 und 11 sind zwei Ansichten von einer der drei Wände, welche zwischen die Schilde gestellt, und mit denselben durch Schrauben verbunden sind.

Fig. 12, 13, 14, 15 stellen Ansichten und Durchschnitte von einer der gusseisernen Fassungen dar, mit welchen die Enden des aus zwei starken Brettern bestehenden Schützens versehen sind, und die bei der Bewegung desselben in den Leitritten *a* der Seitenschilde auf und nieder gleiten.

Fig. 16, 17, 18, 19, 20 sind Ansichten und Durchschnitte von einer der beiden Zahnstangen, welche mit den Fassungen des Schützens in Verbindung stehen und zur Bewegung desselben dienen.

Fig. 21 und 22 ist eine Leitfläche des Einlaufes.

Fig. 23 und 24 sind zwei Ansichten von einem der zwei Lager, in welchem sich die Axe der Getriebe dreht, welche in die Zahnstangen eingreifen.

Fig. 25 ist eines dieser Getriebe.

Fig. 26 ist eine Gegenrolle, welche Zahnstange und Getriebe im Eingriff zu erhalten hat.

Die Traverse liegt mit ihrer horizontalen Nerve auf den Kopfflächen *b* der Zwischenschilde, und berührt mit ihren vertikalen Endflächen *c* die oberen Endflächen *d* der Seitenschilde. Die Berührungsflächen sind mit eben gehobelten Rändern versehen, und durch Schrauben mit einander verbunden. Damit aber diese Schrauben nicht stark in Anspruch genommen sind, ist die Traverse mit den Ansätzen *e* und *f* versehen, welche in die Ausschnitte *e*₁ und *f*₁ der Schilde eingreifen. Zur Verbindung der beiden Hauptnerven, aus welchen die Traverse besteht, dienen zwei Strebennerven *g*.

Die Seitenschilde liegen mit ihren Leitritten *a* in den Seitenmauern des Zuflusskanals, und sind unten bei *g* gegen die Quader des Gerinnes geschraubt.

Die Zwischenschilde stemmen sich aber mit den Ausschnitten *f*₁ gegen

die Ansätze f der Traverse, und sind unten bei h mit zwei Schrauben gegen die Quader des Gerinnes geschraubt.

Zur genauen Verbindung der Wände und Schilde sind die zu verbindenden Flächen mit etwas über dieselben hervorragenden und eben gehobelten Säumen i versehen. Zur Verbindung eines Wandstückes mit einem Seitenschild und zur Verbindung zweier Wandstücke mit einem Zwischenschild dienen vier Schrauben.

An den Flächen der Schilde sind ferner noch gekrümmte Nuthen $i_1 i_1$ angebracht, die durch hervorgehende Säume gebildet und in welche die Leitbleche eingeschoben werden.

Die Lager für die Axe des Aufzuges sind auf die Kopfflächen der Seitenschilder angeschraubt.

Tafel X.

Fig. 1 und 2 sind zwei Ansichten eines Zahnkranzsegmentes.

Fig. 3 und 4 zwei Ansichten von einem der stärkeren Radarme.

Fig. 5 ein Durchschnitt von einem dieser Arme.

Fig. 6 und 7 Ansicht und Durchschnitt der grösseren auf der Seite des Zahnkranzes befindlichen Rosette.

Fig. 8 und 9 Ansicht und Durchschnitt von einer der beiden kleineren Rosetten.

Fig. 10 Ansicht eines der leichteren Radarme.

Fig. 11 bis 17 Ansichten und Durchschnitte von einem Kegelkranzsegmente.

Zur Verbindung der acht Zahnkranzsegmente unter einander ist jedes derselben an den Enden mit Flantschen k versehen, die ebengehobelten Säume haben Fig. 2. Die Flantschen zweier auf einander folgenden Segmente berühren sich mit diesen Säumen und sind durch zwei Schrauben verbunden. Zur Verbindung der Zahnkranzsegmente mit dem Kegelkranze sind an den Enden der unteren Flächen der Zahnsegmente, und in der Mitte der Kegelsegmente glatt gehobelte Rähmchen k_1 , ferner an der letzteren auch noch die hervorragenden Ansätze k_2 , Fig. 12, angebracht; die Rähmchen zweier unmittelbar auf einander folgender Zahnsegmente kommen auf jene der Kegelsegmente zu liegen und werden an diese durch Schrauben befestigt.

Um die Verschiebung der Segmente auf einander zu verhindern, dienen vorzugsweise die Ansätze $k_2 k_2$, welche die Zahnsegmente fassen und mit sich fortnehmen. Auf diese Weise haben die Verbindungsschrauben nur wenig auszuhalten.

Zur Verbindung der Arme mit den Kegelkränzen sind an den letzteren Ansätze angebracht, welche von den ersteren angefasst werden.

Auch sind zu diesem Zweck noch Schrauben vorhanden. Die Einrichtung, welche die Arme zum Anfassen der Kränze haben, sieht man an den Fig. 3, 4, 10, 13, 14 Tafel X. und an den Figuren der Tafeln VIII. und IX.

Die Arme sind in die Rosetten so eingelegt, dass die Flächen $m m n n$ der ersteren, mit den Flächen $m_1 m_1 n_1 n_1$ der letzteren in Berührung kommen; zu diesem Zweck sind diese Flächen eben gefeilt oder gehobelt worden. Die Arme sind mit dünnen Bleiblättern unterlegt, damit man durch das Anziehen der Schrauben, welche die Arme gegen die Rosetten andrücken, die Stellung der Arme gegen die Welle etwas adjustiren kann.

Tafel IX.

zeigt bei $o o, o_2$ die Verbindungen des Radbodens, der Radarme und des Zahnkranzes mit den Kegelkränzen. Ferner bei $K K_1 K_2$ die Verbindungen der Radarme $J J_1 J_2$ mit den Rosetten, sodann die Aufkeilung der letzteren auf die, nur stückweise dargestellte, Welle. Man sieht, dass zur Befestigung jeder Rosette nur ein Keil angewendet ist. Die Wellköpfe $r r_1 r_2$ sind abgedreht und passen genau in die ausgebohrten Höhlungen der Hülsen von den Rosetten. Die Theile $q q_2$ der Welle zwischen den Zapfen und der äusseren Rosetten sind so geformt, dass sie annähernd in allen Querschnitten gleiche Festigkeit gewähren. $s s_1$ sind die Durchschnitte der Lagerplatten. Auf der Seite des Zahnkranzes liegen die Zapfenlager für die Wasserradwelle und für die Kolbenwelle auf einer gemeinschaftlichen Lagerplatte.

Tafel VIII.

ist ein Quadrant des Rades in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse. Man sieht hier die Einrichtung des Einlaufes, die Verbindung der Schaufel- und Bodenbretter mit dem Kegelkranze; die Verbindung der leichten und starken Arme mit den Kegelkränzen und mit der Rosette; die Verbindung dieser letzteren mit der Welle; endlich auch der Lagerplatte s_2 , auf welcher das eine Lager für die Wasserradwelle, und jenes für die Kolbenwelle aufliegen.

*Tafel XII. bis XVII.***Rückschlächtiges Zellenrad mit Coulisseneinlauf.***Beschreibung des Baues im Allgemeinen.*

Tafel XII. Ansicht und Durchschnitt des Rades.

Tafel XIII. Durchschnitt des Einlaufs und eines Theils des Rades.

Tafel XIV. Einzelne Bestandtheile des Rades.

Tafel XV. Einlauf und Gerinne. Eisenconstruction.

Tafel XVI. Einlauf und Gerinne. Holzconstruction.

Das Rad ist ganz von Eisen, nur die Zellenwände sind von Holz. Es hat ventilirte Zellen; einen Zahnkranz mit äusserer Verzahnung; schmiedeiserne radiale Arme; Diagonal- und Umfangs-Spannstangen, ist also nach dem Suspensionsprincip gebaut. Der Einlauf wird durch zwei gusseiserne Seitenwände, einen Mittelschild, eine Verbindungstraverse und durch mehrere Leitflächen aus Eisenblech gebildet. Das Gerinne besteht aus drei auf Mauern aufliegenden mit den Seitenwänden und mit dem Mittelschild des Einlaufs verbundenen gusseisernen Schilden, welche den Boden des Gerinnes in concentrischer Lage gegen die Axe des Rades halten. Da die Construction dieses Einlaufes und Gerinnes zwar sehr solid aber auch ziemlich kostspielig ist, so ist auch noch auf Tafel XVI. eine minder kostspielige Holz-Construction dargestellt.

Berechnung der Dimensionen des Rades und Einlaufs.

Die Hauptdaten für die Construction des Rades sind:

Das Gefälle	$H = 5.15^m$
Wassermenge pr 1''	$Q = 1^{kbn}$
Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 68\ 67$

Angenommen wurde:

Umfangsgeschwindigkeit des Rades	$v = 1.2^m$
Füllung des Rades	$\frac{abv}{Q} = \frac{1}{2}$

Den angegebenen Elementen der Wasserkraft entspricht ein rückschlächtiges Zellenrad mit Coulisseneinlauf.

Nun ergeben sich zunächst folgende Grössen:

Verhältniss zwischen der Breite und

$$\text{Tiefe des Rades} \dots \dots \dots \frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a} = 9.2$$

$$\text{Breite des Rades} \dots \dots \dots b = \sqrt{\frac{2Q}{v}} \cdot \frac{b}{a} = 3.92^m$$

$$\text{Tiefe des Rades} \dots \dots \dots a = \frac{b}{\frac{b}{a}} = 0.426^m$$

$$\text{Radius des Rades} \dots \dots \dots R = \frac{2}{3} H = 3.433^m$$

$$\text{Zellentheilung} \dots \dots \dots e = 0.2 + 0.7 a = 0.498^m$$

$$\text{Anzahl der Zellen} \dots \dots \dots i = \frac{2R\pi}{e} = 44$$

Anzahl der (radialen) Arme eines Armsystems

$$\mathfrak{R} = 2 (1 + R) = 9$$

Der Halbmesser des Theilrisses des Zahnkranzes ist nach der

$$\text{Zeichnung} \dots \dots \dots R_1 = 3.25^m$$

$$\text{Die Geschwindigkeit in diesem Theilriss ist} \dots \dots v \frac{R_1}{R} = 1.126$$

Nimmt man vorläufig das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt und dem absoluten Effekt $\dots \dots \dots = 0.7$

an, so ist der Druck, welchen die Zähne des Zahnkranzes

$$\text{und des Getriebes auszuhalten haben} \frac{68\,67 \times 0.7 \times 75}{1.126} = 3190^{\text{kg}}$$

es sind demnach die

$$\text{Dimensionen der Zähne} \left\{ \begin{array}{l} \text{Dicke} \quad z = 0.086 \sqrt{3190} \dots = 4.86^{\text{cm}} \\ \text{Breite} \quad z_1 = 6 z \dots \dots \dots = 29.16^{\text{cm}} \\ \text{Länge} \quad z_2 = \frac{1}{4} z_1 \dots \dots \dots = 7.29^{\text{cm}} \\ \text{Theilung} z_3 = 2.1 z \dots \dots \dots = 10.21^{\text{cm}} \end{array} \right.$$

Um die Durchmesser der Arme zu bestimmen, muss man mit den bis hieher berechneten Grössen den ganzen äusseren Theil des Rades mit allen daselbst vorkommenden Verbindungen genau verzeichnen und dann das Gesamtgewicht aller Theile berechnen.

Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung des Rades beträgt das Gewicht aller äusseren Theile des Rades 20000 Kilg.
An einem Armsystem hängen demnach 10000 „

Nach der Seite 201 angegebenen Regel ist nun der
Querschnitt eines radialen Armes $= \frac{10000}{500} = 20^{\text{cm}}$
Durchmesser eines radialen Armes $= 5^{\text{cm}}$
Durchmesser einer Diagonalstange $= \frac{3}{4} \cdot 5 = 3.75^{\text{cm}}$
Durchmesser einer Umfangsstange $= 0.6 \times 5 = 3^{\text{cm}}$

Aus der Gewichtsbestimmung des Rades findet man die
Pressungen, welche die Zapfen auszuhalten haben $\left. \begin{array}{l} 14600 \text{ Klg.} \\ 12500 \text{ „} \end{array} \right\}$

Die Durchmesser der Zapfen sind demnach $\left\{ \begin{array}{l} 0.18 \sqrt{14600} = 21.8^{\text{cm}} \\ 0.18 \sqrt{12500} = 20.14^{\text{cm}} \end{array} \right.$

Länge der Zapfen (der aufliegenden Theile) $\left\{ \begin{array}{l} = 26^{\text{cm}} \\ = 23.4 \end{array} \right.$

Entfernungen der Mittelpunkte der Zapfen von den Mittelpunkten der Rosetten $\left\{ \begin{array}{l} = 52^{\text{cm}} \\ = 27.4^{\text{cm}} \end{array} \right.$

Die Durchmesser der Köpfe, auf welchen die Rosetten aufgekeilt sind, sind also nach der S. 203 angegebenen Regel $\left\{ \begin{array}{l} 21.8 \sqrt[3]{\frac{52}{\frac{1}{2} \cdot 26}} = 34.6^{\text{cm}} \\ 20.14 \sqrt[3]{\frac{27.4}{\frac{1}{2} \cdot 23.4}} = 26.75^{\text{cm}} \end{array} \right.$

Nach den Regeln, welche S. 206 zur Bestimmung der Dimensionen der mittleren Querschnitte der Welle aufgestellt wurden, findet man mit Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnungen

Verhältniss zwischen der Höhe und Dicke der Nerve

$$\frac{h}{e} = 4.5 + 1.5 \times 3.92 = 10.5$$

Verhältniss zwischen dem Durchmesser des Kernes und der

$$\text{Dicke der Nerve} \dots \frac{D_1}{e} = 6.75 - 0.75 \times 3.92 = 3.8$$

Verhältniss zwischen dem Durchmesser des stärkeren Wellenkopfes und der Dicke der Nerve:

$$\frac{D}{e} = \sqrt[3]{\frac{32}{6 \times 3 \cdot 14} \left\{ 0 \cdot 589 (3 \cdot 8)^4 + (10 \cdot 5)^3 - (3 \cdot 8)^3 \right\} \frac{1}{10 \cdot 5}} = 6 \cdot 92$$

Demnach erhält man nun:

$$\text{Dicke der Nerve} \dots \dots \dots e = \frac{34 \cdot 6}{6 \cdot 92} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Höhe der Nerve} \dots \dots \dots h = 10 \cdot 5 e = 52 \cdot 5 \text{ cm}$$

$$\text{Durchmesser des Kernes} \dots \dots \dots D_1 = 3 \cdot 8 e = 19 \text{ cm}$$

Zur Berechnung der Kolbenwelle hat man noch

$$\text{Anzahl der Umdrehungen des Wasserrades} p \cdot n = 9 \cdot 548 \cdot \frac{v}{R} = 3 \cdot 33$$

Verhältniss zwischen den Halbmessern des Zahnkranzes und des Getriebes = 4

$$\text{Halbmesser des Getriebes} \dots \dots \dots = \frac{3 \cdot 25}{4} = 0 \cdot 812 \text{ m}$$

$$\text{Anzahl der Umdrehungen der Kolbenwelle} \dots = 4 \times 3 \cdot 33 = 13 \cdot 32$$

$$\text{Durchmesser der Kolbenwelle} \dots \dots = 16 \sqrt[3]{\frac{48}{13 \cdot 32}} = 24 \text{ cm}$$

Die Coulissen des Einlaufs sind nach dem Seite 184 erklärten Verfahren so bestimmt worden, dass die äusseren Zellenwände ohne Stoss in den Strahl einzutreten beginnen. Zwei Kanäle reichen für den Wasserzufluss von 1 Kub. M. vollkommen hin. Nach der Construction des Einlaufes ist:

Der Winkel, unter welchem die Coulissen dem Umfang des Rades begegnen $\delta = 28^\circ$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Wassertheilchen der unteren Fläche des Strahles dem Umfange des Rades begegnen $V = 3 \cdot 62$

Diess sind nun die Hauptdimensionen, welche der Verzeichnung des Rades zu Grunde gelegt wurden; alle Nebendimensionen sind theils nach dem Gefühle, theils nach Erfahrungen gewählt worden, und bedürfen keiner näheren Erklärung.

Effektberechnung des Rades.

Zur genaueren Berechnung des Nutzeffektes des Rades hat man folgende Daten:

$$\begin{array}{llll} H = 5.15^m, & Q = 1^{kbm}, & v = 1.2, & V = 3.62, \\ R = 3.43^m, & a = 0.426^m, & b = 3.92^m, & c = 0.5^{m*} \\ e = 0.48^*, & s = 0.2^{m*}, & S = 2.5^{m*}, & h = 0.13^{m*} \\ \gamma = 110^*, & \delta = 28^{o*}, & \beta = 27^o, & i = 45, \\ \varepsilon = 0.015^{m*}, & f = 0.08 & d = 20.14^{cm}, & d_1 = 21.8^{cm}, \end{array}$$

wobei die mit * bezeichneten Grössen aus den Zeichnungen genommen worden sind.

Nach den S. 123 aufgestellten Formeln erhält man nun den absoluten Effect, welcher der Wasserkraft entspricht:

$$1000 QH = \dots \dots \dots E_a = 5150^{kgm}$$

Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ \begin{array}{l} V^2 - 2Vv \cos. \delta + v^2 + \\ 2g \left[\frac{1}{2} c \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right] \end{array} \right\} = 0.169 E_a$$

Effektverlust, welcher bei dem Austritt des Wassers entsteht:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2} h \right\} \dots = 0.026 E_a$$

Effectverlust, welcher durch das Entweichen entsteht:

$$464 \cdot \varepsilon R \cdot \sqrt{2ge} \cdot \frac{Q}{ab} \dots = 0.009 E_a$$

Effektverlust, welcher der Reibung des Wassers entspricht:

$$0.366 b S v^3 \dots \dots \dots = 0.001 E_a$$

Effektverlust, welcher durch die Zapfenreibung entsteht:

$$7.63 \cdot \frac{v}{R} \cdot f N \sqrt{N} \dots \dots = 0.014 E_a$$

Summe der Effektverluste \dots \dots \dots = 0.219 E_a

Nutzeffekt des Rades	} 0.781 E. 4022 Kilm. 53.6 Pferdekraft.
--------------------------------	---

Aus dieser Rechnung sieht man, dass nur bei dem Eintritt des Wassers ein bedeutender Effectverlust entsteht. Dieser Verlust könnte auch hier wiederum sehr vermindert werden, wenn die Breite des Rades grösser und a, e, c kleiner genommen würde; allein der Vortheil, welcher hieraus entstünde, wäre in gar keinem Verhältnisse mit dem Kostenaufwand, durch welchen er erkauft werden müsste.

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung des Rades.

a. Das Rad.

Holz.

Gewicht der Bretter, welche die Zellen bilden 9561 Kilg.

Gusseisen.

Das Seitengetäfer des Rades	3658 Kilg.
Die 90 Sperrahmen zur Verbindung der Zellenwände	1530 „
Der Zahnkranz	2895 „
2 Rosetten	2060 „
Die Welle	2720 „
3 Zapfenlager sammt Lagerplatten	400 „
	<hr/>
	13263 Kilg.

Schmiedeeisen.

18 radiale Arme	1080 Kilg.
18 Diagonalstangen	1800 „
9 Umfangsstangen	302 „
Reifeisen zu den Zellen	324 „
Schrauben und Keile	250 „
	<hr/>
	3756 Kilg.

b. Der Einlauf.

Gusseisen.

2 Seitenwände	720 Kilg.
Der Mittelschild	95 „
Die obere Traverse	310 „
Die untere Traverse	230 „
2 Kappen und 2 Zahnstangen, 2 Getriebe und Lager	70 „
	<hr/>
	1425 Kilg.

Schmiedeeisen.

6 Leitflächen von Blech	305 Kilg.
Axe der Getriebe zu dem Aufzug	25 „
	<hr/>
	330 Kilg.

c. Das Gerinne.

Bretter des Bodens.	1512 Kilg.
Drei durchbrochene Schilde.	1847 „
3 Schraubenstangen mit Muttern	36 „

Gesammtgewicht des Baues.

An Holz	11 Kub. M.
An Gusseisen	16535 Kilg.
An Schmiedeeisen	4122 „
An Eisen überhaupt	20657 „
An Eisen pr. Pferdekraft Nutzeffekt	325 „

100 Kilogramme verarbeitetes Eisen kann man bei diesem Rade anschlagen zu	fl. 50
Die Eisenconstruction des ganzen Baues kostet demnach	„ 10328
Die Eisenconstruction per Pferdekraft Nutzeffekt.	„ 162

Beschreibung der einzelnen Theile des Rades.

Tafel XV.

Der Zuflusskanal tritt durch eine überwölbte Maueröffnung a in die Radstube ein. Er wird durch drei überwölbte Mauern b₁, b₂ getragen und der in der Radstube befindliche Theil desselben wird durch einen Boden aus Steinplatten c c und Brettern c₁ und durch zwei gusseiserne Seitenwände c₂, c₂ gebildet. Der Einlauf wird gebildet durch die beiden Seitenwände c₂, den Mittelschild d, die obere Traverse d₁, die beiden unteren Traversen d₂ und durch die Leitflächen d₃ aus Eisenblech. Der Mittelschild ist oben gegen die Traverse d₁, unten gegen den Mittelschild e₁ des Gerinnes geschraubt. Die obere Traverse ist gegen die Seitenwände, die unteren Traversen sind gegen die Seiten- und gegen den Mittelschild geschraubt. Die Leitflächen d₃ sind in Nuthen eingeschoben, welche an den Wänden und an dem Mittelschild angebracht sind. Das Gerinne wird durch die eisernen auf den Mauern b₁, b₂ aufsitzenen Schilde e e₁, e₂, welche den Boden e₃ des Gerinnes tragen, gebildet. Jeder dieser Schilde besteht, wie Fig. 2 zeigt, aus den durch Schrauben unter einander verbundenen Theilen. Der untere Theil liegt horizontal auf. Der mittlere Theil liegt grösstentheils auf einer schiefen

Mauerfläche, nur die Enden desselben liegen horizontal auf. Der obere Theil sitzt auf dem mittleren und ist noch durch eine Schraube e_4 gegen das Mauerwerk geschraubt.

Die Bodenbretter des Gerinnes werden von unten herauf in die Schilde eingelegt und durch krumme hölzerne Segmente e_5 zwischen die Nerven der Schilde eingeklemmt, was man am deutlichsten aus Fig. 5 sieht.

Diese Einrichtung gewährt den Vortheil, dass man in jedem Augenblick den Zustand des Gerinnes untersuchen und schadhafte gewordenen Theile mit Leichtigkeit erneuern kann, ohne das Rad demontiren zu müssen.

Da, wo die Schilde $e_1 e_2$ aufsitzen, sind die Mauern $b_1 b_2$ nach der unteren Contour der Schilde ebenflächig, neben den Schilden aber nach dem Umkreis des Zahnkranzes rund geformt, was man am deutlichsten aus Fig. 1, Tafel XV. ersieht. Für den Kolben ist in dem Mauerwerk noch ein besonderer Einschnitt f , Fig. 1, Tafel XII, angebracht.

Auf der Seite des Rades, auf welcher sich der Zahnkranz befindet, ist die Lagerplatte g für die Radwelle, mit jener g_1 für die Kolbenwelle durch Schrauben verbunden, wodurch sich die Lage des Kolbens gegen den Zahnkranz nicht ändern kann. Die letztere dieser Platten ist mit zwei durch das Quaderwerk niedergehende Schrauben $h h$, Fig. 2 und 5 niedergezogen, die erstere liegt nur auf den Quadern, und ist nicht gegen dieselben niedergeschraubt. Der gepflasterte Boden i unter dem Gerinne liegt tiefer als die Pflasterung i_1 des Abzugskanals, damit man zu den unteren Brettern des Gerinnes kommen kann.

i_2 ist ein Quadersatz, durch welchen die Mauern $b_1 b_2$ zu einem Ganzen verbunden werden.

Tafel XVI.

zeigt in mehreren Figuren eine Holzconstruktion zweier Einläufe und eines Gerinnes zu dem rückschlächtigen Zellenrade. Was die Figuren darstellen, ist schon auf der Tafel beschrieben.

a Fig. 1 und 2 ist die Mauer, durch welche der Zuflusskanal in die Radstube eintritt. b ist der Boden des Zuflusskanales von der Radstube. Vor der Mauer a ist ein aus drei horizontalen Balken b_2 , aus drei vertikalen Säulen b_3 und aus der Verschalung b_1 bestehendes Rahmwerk angebracht. Innerhalb der Mauer a befindet sich ein ähnliches Rahmwerk $b_2 b_3 b_5$ mit Verschalung b_1 . Diese beiden Rahmwerke sind durch acht Hölzer b_4 und durch eben so viele Schraubenstangen verbunden. Mit den Hölzern b_4 sind die Bretter $b_1 b_2$ und b_3 verbunden, welche die Fortsetzung der Wände und des Bodens des Zuflusskanales bilden. Bei dem Einlauf Fig. 2 sind die Leitflächen b_7 von Eisenblech; bei dem Einlauf Fig. 5 sind sie von Holz. Der Bau des Gerinnes ist ähnlich dem eines Fasses. $c c c c$ sind vier in die

Seitenmauern eingemauerte Balken, in welche die Krummhölzer c_1 eingelegt und mit Schrauben c_4 niedergezogen sind.

Die Bretter c_2 , welche den Boden des Gerinnes bilden, sind von unten herauf in die Krummhölzer eingelegt, und werden durch vier schmiedeeiserne Bänder zusammengehalten und gegen die Krummhölzer angedrückt. Wie die Bodenbretter in die Krummhölzer eingelegt sind, sieht man am deutlichsten in Fig. 1. Jedes der vier Bänder kann durch zwei Schrauben c_3 gespannt werden. Unter dem Gerinn ist ein freier Raum, nach welchem man durch eine kleine Thüre gelangen kann; man kann also bei dieser Anordnung den Zustand des Gerinnes in jedem Augenblick (auch während das Rad im Gange ist), untersuchen, und die nothwendig erscheinenden Reparaturen und Auswechslungen der Bodenbretter mit Leichtigkeit vornehmen, ohne das Rad demontiren zu müssen. Der gepflasterte Boden des Raumes unter dem Gerinne liegt tiefer, als der Boden f des Abflusskanales, damit man zu den untern Brettern des Gerinnes gelangen kann. Die Spundwand e , ist bestimmt, das Eindringen des Wassers in den Raum unter dem Gerinne zu verhindern. Bei der Anordnung Fig. 1, 2, 3, 4, ist das Gerinn mit dem Einlauf durch vier Stützen d und vier Stangen d_1 vereinigt. Der Einlauf Fig. 5 ist unabhängig von dem Gerinne und wird deshalb von den Kämpfersteinen b_0 unterstützt.

Tafel XIV.

enthält die wichtigeren Details des Radbaues.

Fig. 1 ist eines von den neun Segmentstücken, aus welchen ein Gefäßerwerk besteht, kk sind Rippen, gegen welche die Bretter der Zellwände geschraubt werden. ll_1 Hülsen, in welche die Enden der radialen Arme m der Diagonalstange m_1 und der Umfangsstange m_2 gesteckt und mit Keilen nn_1 angezogen werden.

Fig. 4 und 5. Auf der äusseren Seite sind zur Befestigung der Zahnkranzsegmente die Brillen und ringförmigen Erhöhungen oo_1 angebracht. Die Säume der Ringe sind eben gehobelt, die Vertiefungen ausgebohrt und in der Mitte mit einem concentrischen Schraubenloch versehen. Aehnliche Ringe pp_1 mit gehobelten Rändern und ausgebohrten Vertiefungen sind auch an der dem Gefäßer zugewendeten Fläche des Zahnkranzes angebracht. Fig. 5, 7, 8. Zur Befestigung der Zahnsegmente mit dem Gefäßer werden in die Vertiefungen oo_1 abgedrehte, in der Mitte durchbohrte Metallscheiben eingelegt, die so dick sind, dass sie zur Hälfte über die Ebene der Ringe hervorragen. Die Zahnsegmente werden an das Gefäßer so angelegt, dass die Einlegescheiben auch in die Vertiefungen der Ringe pp_1 eingreifen, und dass die Ebenen dieser Ringe mit jenen von oo_1 in Berührung kom-

men. Das Ganze wird zuletzt mit Schraubenbolzen, welche durch die Mitte der Einlegschauben gehen, zusammengeschaubt. Diese Befestigungsart von Gusseisen mit Gusseisen gegen Verschiebung vermittelt solcher Einlegscheiben kann mit verhältnissmässig wenig Arbeit sehr genau ausgeführt werden. Die Befestigung der Zahnsegmente und der Getäfersegmente unter einander geschieht ebenfalls mit Einlegscheiben und Schrauben, wie aus Fig. 1, 2, 3, 5, 7 zu ersehen ist. Aus den Fig. 9 und 10 sieht man, dass jede Rosette aus zwei Systemen von Hülzen besteht, die auf einer cylindrischen, zum Aufkeilen dienenden Hülse q aufsitzen und durch Nerven unter einander verbunden sind.

Die Arme und Diagonalstangen sind mit ihren viereckigen Enden in die Hülzen gesteckt, und werden durch Keile q_1, q_2 angezogen. Jede Rosette wird mit einem Keil, der zur Hälfte in den Wellenkopf r , zur Hälfte in die Hülse r_1 zu liegen kommt, mit der Welle verbunden.

Fig. 6 und 7 zeigt die Kupplung zweier Stangen, aus welchen eine Umfangsstange besteht.

Tafel XIII.

Fig. 1. Vertikaldurchschnitt des Einlaufes und des Zellenkranzes.

Fig. 2. Vertikaldurchschnitt nach der Axe des Schützenzuges.

Der Schützen t besteht aus zwei starken, durch Feder und Nuth verbundenen Brettern, die an den Enden durch eiserne Kappen gefasst sind. Diese Kappen gleiten auf den schiefen, an den Seitenwänden des Einlaufes angebrachten Bahnen, und an jede derselben ist eine Zahnstange t_1 eingehängt, in welche die Zähne der Getriebe t_2 eingreifen. Die Axe t_3 dieser Getriebe liegt in zwei, an die Seitenwände des Einlaufes angeschraubten Lagern t_4 , geht in das Innere des Fabrikgebäudes und wird von da aus durch einen in der Zeichnung nicht dargestellten Mechanismus, der etwa aus einem Wurm mit Rad bestehen kann, bewegt. Bei d_1 und d_2 sieht man, dass die Traversen vermittelt Einlegscheiben und Schrauben mit den Seitenwänden und dem Mittelschild verbunden sind. Bei e_1 sieht man, wie der Mittelschild des Einlaufes auf den Mittelschild des Gerinnes geschraubt ist. Die Zellen werden durch an einander gereichte, gegen die Nerven $k k$ des Seitengetäfers geschraubte Bretter $s_1 s_2 s_3$ gebildet. Um das Zellenwerk zu einem Ganzen zu verbinden, dienen gusseiserne Rahmen $s s s \dots$. Auf Tafel XII. Fig. 2 sieht man, dass in jede Zelle zwei solche Rahmen in einer Entfernung von dem Seitengefäßer gleich $\frac{1}{3}$ der Radbreite eingelegt sind. Die Wände jeder Zelle sind also zwischen zwei Paare von solchen Rahmen geschraubt, und dadurch sind gleichzeitig die Zellen unter einander verbunden. s_1 sind die Kanäle, durch welche die in den Zellen vor ihrer Füllung enthaltene Luft während der Füllung entweicht.

G. Tafel XVII, XVIII, XIX.

Oberschlächtiges Rad für ein grosses Gefälle.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Dieses Rad ist grösstentheils aus Holz construirt, nur der Zahnkranz, die Rosetten, die Welle und einzelne Verbindungen sind von Eisen. Von jeder Rosette gehen 14 radiale und 14 schiefe Arme $a b a, b_1$ aus; erstere sind vorzugsweise bestimmt, das äussere Zellenwerk zu tragen und in concentrischer Lage gegen die Radwelle zu erhalten, letztere bilden Verstrebungen, um Seitenschwankungen zu verhindern. Der Zahnkranz, dessen Halbmesser ungefähr halb so gross ist, als jener des Rades, ist an den von einer Rosette ausgehenden 14 radialen Armen befestiget.

Unter den verschiedenen Armen bestehen folgende Verbindungen. Tafel XIX. 1) Sind die dem Zahnkranz gegenüber befindlichen 14 Arme a_1 unter einander durch die Hölzer c verbunden, welche ein regelmässiges Vierzehneck bilden, dessen Mittelpunkt in der Axe des Rades liegt. 2) Sind die Arme $a a$ der einen Seite des Rades mit denen a_1, a_1, \dots der anderen Seite durch die Hölzer c_1, e_1, \dots und durch die Streben c_2, c_2 verbunden. Die schiefen Arme b, b_1 sind etwas gebogen, und fassen zwischen sich die Hölzer c, c_1 .

Durch dieses System der Verarmung ist der innerhalb des Zahnkranzes befindliche Theil des Baues ganz unabhängig von der Wirkung des Wassers auf das Rad, und hat nur allein das Gewicht des Baues zu tragen. Die Kraft, welche das Wasser dem Umfang des Rades mitgetheilt, wird auf folgende Weise nach dem Zahnkranz übertragen. Ein Viertel dieser Kraft wird direkt durch die äusseren Theile der Arme a hereingeschaft. Ein zweites Viertel geht durch die äusseren Theile der Arme a_1 bis an die Vereinigungspunkte der Hölzer c, c_1 und von da durch die auf rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommenen Streben c_2 nach dem Zahnkranz. Die zwei letzten Viertel der Kraft gehen zunächst durch die schiefen Arme b, b_1 bis an ihre Vereinigungspunkte und wirken in der Mitte auf die Verbindungen c_1 ; von da an geht das eine Viertel direkt durch die Verbindungen c_1 nach dem Zahnkranz, das andere Viertel aber geht nach dem Arme a_1 hinaus und dann erst durch die Streben c_2 nach dem Zahnkranz herüber. Diese Erklärungen über den Bau des Rades sind vorläufig zum Verständniss der Berechnung seiner Dimensionen hinreichend.

Berechnung der wichtigsten Dimensionen des Rades,

Das Rad ist für die Annahmen:

Gefälle	$H = 12.6^m$
Wasserzufluss pr. 1''	$Q = 0.19^{Kbm}$
Umfangsgeschwindigkeit	$v = 1.5$
Füllung	$\frac{abv}{Q} = 4$

berechnet und verzeichnet.

Die Werthe von H und Q weisen natürlich in das Gebiet des oberflächigen Rades.

Nun findet man:

Absoluter Effekt der Wasserkraft	$N_a = 32$
Nutzeffekt des Rades (zu 75 Prozent)	$N_n = 24$
Verhältniss zwischen der Breite und Tiefe des Rades	

$$\frac{b}{a} = 2.25 \sqrt[3]{N_a} = 7.14$$

Breite des Rades	$b = \sqrt{\frac{4Q}{v} \frac{b}{a}} = 1.9^m$
----------------------------	---

Tiefe des Rades	$a = \frac{b}{\frac{b}{a}} = 0.266^m$
---------------------------	---------------------------------------

Schaufeltheilung	$e = 0.2 + 0.7a = 0.386^m$
----------------------------	----------------------------

Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser im Scheitel eintritt	$V = 2v = 3^m$
--	----------------

Tiefe des Scheitels unter dem Spiegel des Oberwassers	$\frac{V^2}{2g} = 0.46^m$
---	---------------------------

Freihängen des Rades	$h = 0.14^m$
--------------------------------	--------------

Halbmesser des Rades	$R = \frac{H - \frac{V^2}{2g} - h}{2} = 6^m$
--------------------------------	--

Anzahl der Zellen	$i = \frac{2R\pi}{e} = 98$
-----------------------------	----------------------------

Anzahl der radialen Arme eines Armsystems $\mathfrak{R} = 2(1 + R)$	$= 14$
---	--------

Anzahl der Umdrehungen des Rades pr. 1' $n = 9.548 \frac{v}{R}$	$= 2.38$
---	----------

Halbmesser des Theilrisses des Zahnkranzes (nach der Zeichnung)	$R_1 = 3.13^m$
---	----------------

Geschwindigkeit eines Punktes in diesem Theilrisse $v \frac{R_1}{R}$	$= 0.783^m$
--	-------------

Kraft in der Peripherie desselben.	$\frac{24 \times 75}{0.783} = 2300 \text{Klg.}$
--	---

Dimensionen der Zähne	}	Dicke	$z = 0.086 \sqrt{2300} \dots = 4.12^{\text{cm}}$
		Breite	$z_1 = 6 \ z \dots = 24.75^{\text{cm}}$
		Länge	$z_2 = \frac{1}{4} z_1 \dots = 6.19^{\text{cm}}$
		Theilung	$z_3 = 2.1 z \dots = 8.65^{\text{cm}}$
		Anzahl	$\dots = 224$

Die Querschnitte der Arme in der Entfernung des Zahnkranzes sind so bestimmt, wie sie für ein Rad sein müssten, welches einen Halbmesser gleich der Länge (2.88^{m}) der äussern Theile der Arme, eine Umfangsgeschwindigkeit 1.5^{m} , und 28 Arme hätte, und das einen Nutzeffekt von 24 Pferdekraften entwickelte.

Die Anzahl der Umdrehungen dieses Rades wären pr. 1^{m} . 4.54

Der Durchmesser einer Transmissionswelle für 24 Pferdekraft

Nutzeffekt und 4.54 Umdrehungen ist 28^{cm}

Nach der, Seite (198) angegebenen Regel ist demnach die

$$\text{Höhe eines Armes} \dots \dots \dots 28 \cdot \frac{1.7}{3 \sqrt{28}} = 14.5^{\text{cm}}$$

Nach aussen und nach innen sind die Arme etwas verjüngt.

Nach der später folgenden Gewichtsbestimmung sind die

Pressungen, welchen die Zapfen zu widerstehen haben $\left\{ \begin{array}{l} 12563 \text{ Klg.} \\ 9917 \text{ „} \end{array} \right.$

Durchmesser der Zapfen $\left\{ \begin{array}{l} 0.18 \sqrt{12563} = 20^{\text{cm}} \\ 0.18 \sqrt{9917} = 18^{\text{cm}} \end{array} \right.$

Länge der Zapfen (der aufliegenden Theile) $\left\{ \begin{array}{l} = 24 \\ = 21 \end{array} \right.$

In der Zeichnung sind beide Zapfen gleich stark gemacht worden.

Entfernung der Mittelpunkte der Zapfen von den Mittelpunkten

der Rosetten = 47^{cm}

Durchmesser der Wellenköpfe $D = 20 \sqrt[3]{\frac{47}{\frac{1}{2} 24}} = 31.7^{\text{cm}}$

Wenn wir für die Querschnittsdimensionen der Welle die Seite (206) gewählten Bezeichnungen beibehalten, so erhalten wir, nach den an dem gleichen Orte aufgestellten Regeln:

Verhältniss zwischen der Höhe und Tiefe der Nerve

$$\frac{h}{e} = 4.5 + 1.5 \times 1.9 = 7.35$$

Verhältniss zwischen dem Diameter des Kernes und der Dicke

$$\text{der Nerve} \dots \dots \dots \frac{D_1}{e} = 6.75 - 0.75 \times 1.9 = 5.32$$

Verhältniss zwischen dem Diameter des Wellenkopfes und der Dicke der Nerve

$$\frac{D}{e} = \sqrt{\frac{32}{6\pi} [0.589 (5.32)^4 + (7.35)^3 - (5.32)^3 + 7.35 - 5.32]} \frac{1}{7.35} = 5.5$$

demnach wird:

Dicke der Nerve e = 5.76^{cm}
 Höhe der Nerve h = 40.4^{cm}
 Durchmesser des Kernes D₁ = 29.3

Mit diesen Hauptdimensionen ist das Rad gezeichnet worden.

Genauere Effektberechnung des Rades.

Zur Berechnung des Nutzeffektes hat man theils durch die vorhergehenden Rechnungen, theils nach der Zeichnung folgende Elemente:

$$\begin{aligned} H &= 12.6^m, & Q &= 0.19^{Kbm}, & v &= 1.5, & V &= 3^m \\ R &= 6^m, & a &= 0.266^m, & b &= 1.9^m, & c &= 0.48^m \\ e &= 0.38^m, & s &= -0.08^m, & S &= 0, & h &= 0.14, \\ \gamma &= 180 & \delta &= 9^\circ + 30' & \beta &= 19^\circ, & \iota &= 98. \end{aligned}$$

Totalgewicht des Rades = 22535
 Durchmesser der Zapfen = 0.2^m
 Reibungs-Coeffizient = 0.08

Nun findet man den

absoluten Effekt der Wasserkraft E_a = 2394 Klgm.
 Effektverlust, welcher bei dem Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} \left\{ \frac{V^2 + v^2 - 2Vv \cos. \delta}{2g} + \left[\frac{1}{2} e \sin. \gamma + c \sin. (\gamma - \beta) - s \right] \right\} = 0.028 E_a$$

Effektverlust wegen v und h beim Austritt

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + h \right\} . . . = 0.020 E_a$$

Effektverlust, welcher durch das allmähliche Entweichen des Wassers entsteht

$$2 R Q \left[250 - 35 \frac{abv}{Q} \right] = 0.105 E_a$$

Effektverlust, welcher durch die Zapfenreibung entsteht

$$22535 \times 0.08 \times 1.5 \times \frac{0.2}{12} = 0.019 E_a$$

Summe der Effektverluste 0.172 E_a

Nutzeffekt des Rades	} $E_n = 0.828 E_s$ $E_n = 1983 \text{ Klgm.}$ $N_n = 26.4 \text{ Pferdekraft.}$
--------------------------------	--

Gewicht- und Kostenberechnung des Rades.

Holz.

Volumen der Zellenwände	3.147 ^{Kbm}
Volumen des Radbodens	2.846 "
Volumen des Seitengetäfers	1.765 "
Volumen der 56 Arme	3.800 "
Volumen der Armverbindungen	0.936 "
Gesamtvolumen des Holzes	<u>12.491^{Kbm}</u>

1 Kubikmetres durchnässtes Holz zu 1000 Klgm. gerechnet, beträgt
das Gewicht der Holzkonstruktion des Rades 12494 Klg.

Gusseisen.

Zwei Rosetten	3600 Klg.
Eine Welle	2280 "
Zahnkranz	2600 "
26 Kapseln zu den Armverbindungen	560 "
Gewicht an Gusseisen	<u>9040 Klg.</u>

Schmiedeeisen.

Schrauben und Verbindungen der Zellen	686 Klg.
16 Zahnkranzstangen	315 "
	<u>1001 Kilg.</u>
Totales Gewicht des Rades	= 22535 "
1 Kubikmetre verarbeitetes Holz zu	100 fl.
und	
100 Kilogramm verarbeitetes Eisen zu	50 fl.
gerechnet, so kostet:	
Die Holzkonstruktion des Rades	1249 fl.
Die Eisenkonstruktion des Rades	5000 fl.
Gesamtkosten des Rades	<u>6249 fl.</u>
Kosten pr, 1 Pferdekraft	235 fl.

Beschreibung der einzelnen Theile des Baues.

Tafel XIX.

Verbindung der Arme unter einander und des Zahnkranzes mit den Armen.

Fig. 1 ist eine Ansicht, Fig. 2 ein Grundriss dieser Verbindung. Denkt man sich das Rad unmittelbar ausser dem Zahnkranz, durch eine Cylinderfläche geschnitten, deren Axe mit jener des Rades zusammenfällt, auf diese Fläche durch radiale Projektionslinien die Armverbindungen und den Zahnkranz projiziert, sodann die Cylinderfläche in eine Ebene entwickelt, so erhält man Fig. 2.

$a a_1$ sind die Durchschnitte der radialen Arme des Rades. $b b_1$, die Diagonalarme, welche um die Traversen c, c_1 herumgebogen sind. c sind die Traversen zwischen den radialen Armen a, a_1 . c_2 die schiefen Streben zwischen den Armen a, a_1 der einen, und den Armen $a a$ der andern Seite des Rades. d ist eine aus zwei Theilen bestehende Kapsel. Die beiden Theile derselben umfassen den Arm a_1 , greifen mit ihren Enden in die Traversen c_1 ein und sind mit denselben noch durch Schrauben verbunden. Ein hölzerner Keil d_1 dient zur Verbindung der Kapsel mit dem Arme a_1 . Die Traversen c_1 und c_2 werden durch zwei an die Kapsel angegossene Hülsen gefasst. Fig. 3 und 4 sind Ansichten von diesem Bestandtheile. Die Zahnsegmente sind, wie aus Fig. 1 und 2 zu ersehen ist, vermittelst Flantschen mit eingelegten Metallscheiben zusammenschraubt. Je zwei unmittelbar aufeinander folgende Segmente umfassen einen Arm a und werden mit demselben vermittelst der Kapsel d_2 , Fig. 1, 2, 5, 6 verbunden. Zwei an die Kapsel angegossene Hülsen fassen die Traversen c_1 und die Strebe c_2 .

Tafel XVIII.

Fig. 1 ist ein Durchschnitt des Zellenwerkes, Fig. 2, 3, 4 zeigen die Verbindung der Radfelgen unter einander und mit den Radarmen. Die Bretter der Zellenwände sind in die innere Felgenschichte eingesetzt und unter einander durch die Bänder e und Spulen e_1 verbunden. Die beiden Seiten des Rades sind ferner durch Stangen e_2 , Fig. 3, 4, welche durch die Arme gehen, zusammengehalten. Bei f , Fig. 3 und 4, sieht man, wie die Felgen und der Radboden ineinander greifen; bei a , Fig. 2, die Verbindung der äusseren Felgenschichte mit den Armen. $g g$ sind gusseiserne Kapseln, vermittelst welchen die schiefen Arme $b b_1$ mit den radialen $a a_1$ verbunden werden. Fig. 5 ist eine äussere, Fig. 6 eine innere Ansicht, Fig. 7 ein Durchschnitt eines Zahnkranzsegmentes. Fig. 8 einer von den Armen des Zahn-

kranzes. Diese Arme sind durchaus nothwendig, um den Zahnkranz in concentrischer Lage zu erhalten, indem derselbe an den hölzernen Radarmen nur durch Reibung gehalten wird. Die Arme *h* sind in die innere Fläche der Zahnsegmente so eingelegt, dass sie diese nur einwärts ziehen, nicht aber auswärts schieben können.

Fig. 9 ist eine äussere Ansicht, Fig. 10 ein Durchschnitt von der Rosette, auf der Seite des Zahnkranzes. Sie ist mit dreierlei Hülsen versehen. Die Hülsen *i* gehören zu den radialen, die Hülsen *i*₁ zu den schiefen, die Hülsen *i*₂ zu den Zahnkranz-Armen. Die letzteren *i*₂ befinden sich zwischen den ersteren *i*. Die Hülsen *i*, *i*₁ sind mit Deckel *k* Fig. 13 versehen, welche sich aussen an die Seitenwände anstemmen, so dass sie nach radialer Richtung nicht hinausgeschoben werden können. An den inneren Flächen der Deckel bei *k*₁ und an den äusseren Enden der Hülsen *i* und *i*₁ sind Ansätze *k*₁, *k*₂, Fig. 12, angebracht, welche in das Holz der Arme eingreifen. Zwei Schrauben, welche durch die Arme und durch die zweien Hülsen gemeinschaftliche Mittelwand gehen, drücken die Deckel gegen die Hülsen und gegen die Arme, können aber nie bedeutend in Anspruch genommen werden, weil die Ansätze *k*₁, *k*₂ vorhanden sind, welche verhindern, dass die Arme nicht aus den Hülsen gezogen werden können. Die Zahnkranzstangen *h* sind mit den Hülsen durch Keile verbunden und werden durch diese angespannt. Die Hülse der Rosette ist mit einem Längenkeil auf den Kopf der Welle aufgekeilt, auch ist noch ein aus zwei halbkreisförmigen Hälften bestehender Keilring *l* in die Welle eingelegt, durch welchen die Rosette gegen eine Verschiebung nach auswärts geschützt wird. Die Rosette, Fig. 11 und 12, auf der andern Seite des Rades ist ähnlich construirt, wie die so eben beschriebene, nur sind an derselben die Hülsen *i*₂ nicht vorhanden. Fig. 11 ist die innere Ansicht, Fig. 12 ein Durchschnitt dieser Rosette. In Fig. 12 sieht man, wie die Arme durch die Ansätze *k*₁, *k*₂ gefasst werden.

Tafel XVII.

enthält eine Ansicht Fig. 1 und einen Vertikaldurchschnitt Fig. 2 des Rades. Das Rad hängt zwischen zwei Seitenmauern, auf welchen die Lager für die Wasserrad- und für die Kolbenwelle aufliegen. Unter den Lagerplatten sind grössere Quaderblöcke eingemauert. Das Zuleitungsgerinne tritt bei *m* Fig. 1 in die Radstube ein, und wird durch zwei neben dem Rade aufgestellte oben durch einen Querbalken verbundene Säulen *n n* getragen. Der Schützen, welcher aus einem schiefgestellten Brette *o* besteht, welches an zwei Gelenkstangen *p* angehängt ist, deren Drehungszapfen an den Wänden des Zuleitungsgerinnnes ange-

bracht sind, wird durch einen Mechanismus, bestehend aus Schrauben und Winkelrädern, von der Kurbel q aus auf und nieder bewegt. Dieser Mechanismus hat folgende Einrichtung. An dem Schützen o sind zwei Stangen $r r$ angehängt, an deren oberen Enden Schraubengewinde angeschnitten sind. Die konischen Rädchen $s s$ liegen mit ihren Hülsen auf Metallplättchen, die in den Querbalken eingelassen sind, und in diese Hülsen sind die Muttern für die Spindeln $r r$ eingeschnitten. Wenn nun an der Kurbel q gedreht wird, wird die Bewegung durch die Winkelräder $u u v v$ den Rädchen $s s$ mitgetheilt, und dadurch werden die Schraubenspindeln $r r$ mit dem daran hängenden Schützen auf oder nieder geschraubt.

H. Tafel XX. XXI. XXII.

Unterschlächtiges Schaufelrad mit Hebewerk.

Dieses Rad ist für eine Wassermenge von 5^{Kbm} p $1''$ und für ein Gefälle von 1^m construirt. Bei so bedeutenden Wassermassen kommen jederzeit beträchtliche Veränderungen im Wasserstande vor, es ist deshalb angenommen worden, der höchste Wasserstand sei um 0.8^m höher als der tiefste. Unter diesen Umständen kann nur dann von einer Ausführung eines Baues die Rede sein, wenn es gestattet wird, den oberen Wasserspiegel mittelst eines Schleussenbaues in dem gleichen Maasse zu stauen, in welchem der untere Wasserspiegel im Flusse steigt, so dass das nutzbare Gefälle unveränderlich auf 1^m erhalten werden kann; denn wenn der obere Wasserspiegel gar nicht oder nur wenig gestaut werden dürfte, würde bei Hochwasser nur eine sehr geringe Betriebskraft vorhanden sein, die mit den Kosten eines derartigen Baues in einem argen Missverhältnisse stünde. Es ist daher angenommen worden, dass mittelst eines Schleussenbaues der obere Wasserspiegel genau nach dem Wasserstand im Abflusskanal regulirt werden kann, so dass also das benutzbare Gefälle unveränderlich 1^m beträgt.

Bei 1^m Gefälle, 5^{Kbm} Wasserzufluss p $1''$ und 0.8^m Veränderung im Wasserstande, unterliegt es keinem Zweifel, dass man heut zu Tage kein Wasserrad, sondern lieber zwei Turbinen bauen würde; denn einerseits ist es unter diesen Umständen ganz unmöglich durch einen Radbau ungefähr eben so viel reine Betriebskraft zu erhalten, als durch einen Turbinenbau, und andererseits muss der erstere Bau kostspieliger

ausfallen als der letztere, weil das Rad, um bei jedem Wasserstand einen gleich guten Effekt geben zu können, nothwendig mit einem Hebewerk versehen werden muss, was mit beträchtlichen Unkosten verbunden ist.

Ich bin daher weit entfernt, einen Radbau nach den vorliegenden Zeichnungen unter den gegebenen Umständen zur Ausführung empfehlen zu wollen, glaube aber, dass diese Zeichnungen, wenn auch nicht für den Zweck der Praxis doch für jenen der Schule von Werth sein dürften. Denn 1) handelt es sich in dem vorliegenden Werk möglichst vollständig zu zeigen, was durch die Wasserräder unter allen Umständen geleistet werden kann. 2) Ist für den Anfänger im Maschinenbau die Konstruktion eines derartigen Rades mit Hebezeug sehr belehrend, und gibt zu den manigfaltigsten constructiven Uebungen die Veranlassung. 3) Kann eine gründliche Vergleichung zwischen den Wasserrädern und den Turbinen erst dann zu Stande kommen, wenn die Leistungen von beiden unter allen Umständen genau bekannt sind. Diese Gründe haben mich bewogen, den Bau dieses Rades mit Hebewerk durch ein Beispiel zu erläutern.

Bevor ich zur Beschreibung übergehe, will ich auch noch die Frage berühren, ob nicht in dem vorliegenden Falle ein Poncelet'sches Rad mit krummen Schaufeln mit Vortheil angewendet werden könnte?

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit krummen Schaufeln, wenn sie zweckmässig gekrümmt und in hinreichender Anzahl genommen würden, ein grösserer Nutzeffekt erhalten würde, als mit ebenflächigen Schaufeln; es ist aber auch gewiss, dass der Bau mit krummflächigen mehr als jener mit ebenflächigen Schaufeln kosten würde, denn das Hebewerk ist in dem einen und in dem anderen Falle nothwendig und die Hauptdimensionen des Rades, nämlich Breite und Halbmesser, fallen für beide Anwendungen ungefähr gleich gross aus, die Differenz der Kosten wird also durch die Form und Anzahl der Schaufeln bestimmt. Welche von den beiden Anordnungen den Vorzug verdiente, wenn es sich um eine Ausführung handelt, hängt nun davon ab, ob die Leistungen des Rades oder die Kosten des Baues mehr zu berücksichtigen sind. Ich habe mich für das letztere entschieden. Uebrigens sind die Schaufeln unter einem Winkel gegen den Radius gestellt und etwas gebrochen, wodurch sich die Construction einer mit krummflächigen Schaufeln nähert.

Beschreibung des Baues im Allgemeinen.

Das Rad ist bis auf die Schaufeln von Eisen. Das Hebewerk oder vielmehr die Hebwerke, denn es sind deren zwei dargestellt, sind ganz

von Eisen. Die Zu- und Abflusskanäle und das Radgerinne sind, bis auf kleinere Verbindungstheile, von Holz. Die Welle des Rades hat einen cylindrischen Kern und vier unter rechten Winkeln sich durchkreuzende, nach der Richtung der Axe bogenförmig gekrümmte Nerven. Auf die Welle sind drei Kegelkranzwerke aufgekeilt, von denen jedes aus einer Rosette, 8 Armen und aus 8 Kegelsegmenten besteht. Jede von den 24 Schaufeln ist an die drei Kegelkränze mit Schrauben befestigt. An eines der beiden äusseren Armwerke ist ein aus 8 Segmenten bestehender Zahnkranz angeschraubt, welcher die dem Rade mitgetheilte Kraft an die Kolbenwelle abgibt. Das Radgerinne besteht aus zwei bedielten, unter einander und mit dem Zuleitungskanale zusammengliederten Rahmwerken, das erstere derselben, welches zunächst die Fortsetzung des Zuflusskanals bildet, hat eine ebene Oberfläche, das letztere ist nach dem Umfange des Rades sattelförmig gekrümmt und mit 4 Stangen an das Hebwerk gehängt, so dass es seine Entfernung von der Axe des Rades nicht ändert, wenn dieses durch das Hebwerk gehoben oder niedergesenkt wird. Es folgt also das Gerinne dem Rade und wird mit diesem gleichzeitig und übereinstimmend bewegt. Zum Heben und Senken des Rades sind auf Tafel XXII. zweierlei Vorrichtungen angegeben. Die eine, welche auch in der Zusammenstellung auf Tafel XX. dargestellt ist, ist ein Hängwerk, die andere dagegen ist ein Stützwerk. Beide Anordnungen stimmen darin überein, dass sie aus Hebeln bestehen, die sich um die Kolbenwelle drehen und auf welchen die Radwelle mit ihren Zapfen aufliegt, unterscheiden sich aber in dem Mechanismus, durch welchen diese Hebel auf und nieder bewegt werden. Bei dem Hängwerk hängt nämlich jeder Hebel mittelst einer Schraubenstange an einem gusseisernen Gestelle; bei dem Stützwerk dagegen wird jeder Hebel durch eine Schraubenspindel unterstützt. Unmittelbar vor dem Rade ist ein Regulirschützen angebracht, mittelst welchem der Wasserzufluss verändert werden kann. Sie besteht aus einem mit Brettern belegten Rahmen, der mittelst 8 schmiedeisernen Stangen an die Säulen der Einlassschleuse zurückgehängt ist und durch zwei Zahnstangen auf und niederbewegt werden kann. Die Getriebe, welche in die Zahnstangen eingreifen, befinden sich an einer nach dem Fabrikgebäude fortlaufenden Axe, von wo aus sie mittelst einer in der Zeichnung nicht dargestellten Winde, die am einfachsten aus Wurm, Wurmrad und Kurbel bestehen kann, in Bewegung gebracht wird. In einiger Entfernung von dem Regulirschützen ist eine Einlassschleuse angebracht, die, wenn das Rad arbeitet, ganz aufgezo-gen wird, so dass das Wasser ungehindert bis zur Regulirfalle hinfließen kann, dagegen aber ganz niedergelassen wird, wenn das Rad abgestellt, d. h. ausser Gang kommen soll. Die ganze rechtwinkliche Oeffnung, durch welche das Wasser eintritt, ist durch 2

Zwischensäulen in drei gleich grosse Oeffnungen getheilt, und jede dieser Oeffnungen ist mit einem besonderen Schützen nebst dazu gehörigem Aufzuge versehen, Jeder von diesen Schützen läuft mit 6 Rollen an den aufrechten Säule des Schleussenbaues, ist mit einer Zahnstange versehen, und wird vermittelst eines aus Rädern, Sperrrad, Sperrhaken und Kurbel bestehenden Aufzuges auf und nieder bewegt.

Diese allgemeine Beschreibung des Baues ist vorläufig genügend, die detaillirte Beschreibung wird später folgen.

Berechnung der Hauptdimensionen des Baues.

Die Hauptdaten sind:

Gefälle $H = 1^m$
 Wasserzufluss p 1'' $Q = 5^{km}$

Angenommen wurde:

Halbmesser des Rades $R = 3^m$
 Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . $v = 0.4 \sqrt{2gH} = 1.77^m$
 Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt des Rades und dem
 absoluten Effekt der Wasserkraft $\frac{N_n}{N_a} = 0.35$
 Füllung des Rades $\frac{Q}{abv} = \frac{2}{3}$

Durch Rechnung findet man nun:

Absoluter Effekt der Wasserkraft in Pferdekraften à 75 Klgm.
 $N_a = \frac{1000QH}{75} = 66.67$

Nutzeffekt des Rades $N_n = 23.33$
 Verhältniss zwischen der Breite des Rades und der radialen

Dimension einer Schaufel $\frac{b}{a} = 1.75 \sqrt[3]{N_n} = 7.1$

Breite des Rades $b = \sqrt{\frac{3Q}{2v}} \cdot \frac{b}{a} = 5.48^m$

Radiale Dimension der Schaufeln $a = \frac{b}{7.1} = 0.77$

Anzahl der Arme eines Systems $\mathfrak{N} = 2(1 + R) = 8$

Schaufeltheilung $e = 0.2 + 0.7a = 0.739$

Anzahl der Radschaufeln $i = \frac{2R\pi}{e} = 24$

$$\begin{aligned} \text{Anzahl der Umdrehungen des Rades } p \text{ 1}^m \cdot n &= 9 \cdot 548 \cdot \frac{v}{R} = 5 \cdot 63 \\ \text{Halbmesser des Zahnkranzes (angenommen)} & \dots \dots \dots R_1 = 2^m \\ \text{Halbmesser des Getriebes} & \dots \dots \dots r_1 = \frac{1}{4} R_1 = 0 \cdot 5 \\ \text{Anzahl der Umdrehungen des Getriebes} & \dots \dots \dots n_1 = 4 n = 22 \cdot 52 \\ \text{Geschwindigkeit am Umfang des Zahnkranzes} & \dots = \frac{2}{3} v = 1 \cdot 18^m \\ \text{Druck am Umfang des Zahnkranzes} & \dots \dots \dots = \frac{75 N_n}{1 \cdot 18} = 1483 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensionen der Zähne} \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} z = 0 \cdot 086 \sqrt{1483} \dots = 3 \cdot 31 \\ z_1 = 6 z \dots \dots \dots = 19 \cdot 86 \\ z_2 = \frac{1}{4} z_1 \dots \dots \dots = 4 \cdot 96 \\ z_3 = 2 \cdot 1 z \dots \dots \dots = 6 \cdot 95 \\ \text{Anzahl} = \frac{2 R_1 \pi}{z_3} \dots \dots = 184 \end{array} \right.$$

Die mittleren cylindrischen Theile der Radwelle sind wie Transmissionswellen bestimmt worden, die $\frac{1}{3} N_n$ und $\frac{2}{3} N_n$ Pferdekraft mit $n = 5 \cdot 63$ Umdrehungen zu übertragen haben. Es sind demnach

$$\text{die Durchmesser der cylindrischen} \left\{ \begin{array}{l} \text{Theile der Radwelle} \dots \dots \dots 16 \sqrt[3]{\frac{23 \cdot 33}{3 \times 5 \cdot 63}} \dots = 18^{\text{cm}} \\ \dots \dots \dots 16 \sqrt[3]{\frac{2 \times 23 \cdot 33}{3 \times 5 \cdot 63}} \dots = 23^{\text{cm}} \end{array} \right.$$

Die Nerven, mit welchen die Radwelle versehen ist, geben diejenige Verstärkung, die hier nothwendig ist, damit die Welle das Gewicht des Rades zu tragen vermag. Die Berechnung dieser Nerven folgt weiter unten.

Das Armsystem, an welches der Zahnkranz angeschraubt ist, hat die Kraft $\frac{2}{3} N_n$ von der Rosette bis zum Zahnkranz heraus und die Kraft $\frac{1}{3} N_n$ von dem Kegelkranz bis zum Zahnkranz hinein zu übertragen. Die beiden anderen Armsysteme haben jedes eine Kraft $\frac{1}{3} N_n$ von den Kegelkranzen bis zur Welle hinein zu übertragen. Die Querschnittsdimensionen der Arme sind demnach nach Seite 198:

a) für die leichten Arme:

$$\begin{array}{l} \text{an der Axe} \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = 0 \cdot 86 \times 18 \dots \dots = 15 \cdot 48^{\text{cm}} \\ \text{Dicke} = \frac{1}{5} \times 15 \cdot 48 \dots \dots = 3 \cdot 10 \text{ „} \end{array} \right. \\ \text{am Kegelkranz} \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} \text{Höhe} = \frac{3}{4} \times 15 \cdot 48 \dots \dots = 11 \cdot 61 \text{ „} \\ \text{Dicke} = \frac{3}{4} \times 3 \cdot 10 \dots \dots = 2 \cdot 32 \text{ „} \end{array} \right. \end{array}$$

b) für die starken Arme.

an der Axe, . . .	{	Höhe = 0.86×23	= 17.78 ^{cm}
		Dicke = $\frac{1}{5} \times 17.78$	= 3.56 „
am Zahnkranz . . .	{	Höhe = $\frac{3}{4} \cdot 17.78$	= 13.33 „
		Dicke = $\frac{3}{4} \cdot 3.56$	= 2.67 „
am Kegelkranze . . .	{	Höhe = { wie bei a }	= 11.61 „
		Dicke = { wie bei a }	= 2.32 „

Zur Bestimmung der Dimensionen der Nerven der Welle dienen die Figuren 63 und 70, von denen die eine die auf die Welle wirkenden Kräfte nebst ihren Angriffspunkten und die andere die Bezeichnungen für die Dimensionen des mittleren Querschnitts enthält. Die Pressungen sind aus der später folgenden Gewichtsrechnung entnommen. Die Pressungen 1100 bedeuten die Gewichte der zwei Wellenhälften in ihren Schwerpunkten wirkend.

Denkt man sich die rechte Hälfte der Welle eingemauert, so ist das in Kilg. und Centim. ausgedrückte Moment, welches den mittleren Querschnitt der Welle zu brechen sucht:

$$6400 \times 300 - 4411 \times 250 - 1100 \times 150 = 692250$$

man hat daher:

$$\frac{\mathfrak{R}}{6h} \left[0.589 D_1^4 + (h^3 - D_1^3) e + (h - D_1) e^3 \right] = 692250$$

wobei \mathfrak{R} den Coefficienten für respective Festigkeit bezeichnet. In dieser Gleichung kann nun D_1 , h und \mathfrak{R} angenommen werden und dann findet man aus ihr die Dicke der Nerve. Für D_1 muss offenbar der kleinere Durchmesser von den cylindrischen Theilen der Welle genommen werden. h kann man so wählen, dass die Welle ein geschmeidiges Ansehen erhält. Für \mathfrak{R} darf man den zehnten Theil des Werthes in Rechnung bringen, welcher dem Bruch entspricht.

Setzen wir also:

$$D_1 = 18^{\text{cm}}, h = 50^{\text{cm}}, \mathfrak{R} = \frac{3000}{10} = 300$$

so findet man, dass obiger Gleichung Genüge geleistet wird durch

$$e = 5.29^{\text{cm}}$$

Hiermit sind nun die mittleren Querschnittsdimensionen der Welle bestimmt.

Die Dimensionen der ausserhalb des Rades befindlichen Theile der Welle sind nun:

Durchmesser der Zapfen:

$$\text{auf der Zahnkranzseite} = 0.18 \sqrt{6400} \dots \dots \dots = 14.4$$

$$\text{auf der anderen Seite} = 0.18 \sqrt{4650} \dots \dots \dots = 12.2$$

Länge der Zapfen:

$$\text{auf der Zahnkranzseite} \dots \dots \dots = 19^{\text{cm}}$$

$$\text{auf der anderen Seite} \dots \dots \dots = 19^{\text{cm}}$$

Entfernung der Mittel der Zapfen von jenen der Rosetten:

$$\text{auf der Zahnkranzseite} \dots \dots \dots = 40$$

$$\text{auf der anderen Seite} \dots \dots \dots = 40$$

Durchmesser der Wellköpfe:

$$\text{auf der Zahnkranzseite} = 14.4 \sqrt[3]{\frac{40}{\frac{1}{2} 19}} \dots \dots \dots = 23.24$$

$$\text{auf der anderen Seite} = 12.2 \sqrt[3]{\frac{40}{\frac{1}{2} 19}} \dots \dots \dots = 20.00$$

In der Zeichnung sind die Wellköpfe etwas grösser, als hier die Rechnung gegeben hat, weil wegen der Keile, die zum Aufkeilen der Rosetten dienen, eine Verstärkung nothwendig wird. Diese nun berechneten Querschnittsdimensionen der Welle gewähren hinreichend sichere Anhaltspunkte zur vollständigen Verzeichnung derselben, und es sind nun überhaupt alle Hauptdimensionen des Rades bestimmt.

Die Berechnung der Querschnittsdimensionen der beiden Hebwerke und der Schützenzüge will ich übergangen, weil die Regeln zur Berechnung der Querschnittsdimensionen der Maschinenorgane überhaupt nicht hierher gehören.

$$\text{Der Durchmesser der Kolbenwelle ist } 16 \sqrt[3]{\frac{23.33}{22.52}} \dots \dots \dots = 17$$

Effektberechnung des Rades.

Die Wirkung des Wassers auf die Schaufeln erfolgt bei diesem Rade ungefähr, wie bei dem Poncelet-Rade. Es schlägt zunächst theilweise an die Schaufeln, gleitet dann mit der nach dem Schläge noch übrig bleibenden relativen Geschwindigkeit an den Schaufeln hinauf, und wirkt dabei fortwährend durch Druck. In der Höhe der Schaufeln angekommen, beginnt es wiederum an denselben herabzugleiten, kann aber, während diess geschieht, kaum mehr eine merkliche Wirkung hervorbringen, denn die Schaufeln haben in ihrer Austrittsposition fast eine vertikale Stellung. Die Hauptverluste an Effekt, welche bei diesem Rade vorkommen, sind also: 1) der Verlust, welcher bei dem partiellen Stoss beim Eintritt des Wassers stattfindet; 2) die Wirkungsfähigkeit, welche im Wasser enthalten ist, wenn es in seiner Aufwärtsbewegung den höchsten Punkt erreicht hat. Andere beachtenswerthe Verluste kommen nicht vor, denn die Schaufeln gehen fast nach vertikaler Richtung aus dem Unterwasser und ein merklicher Wasserverlust zwischen und unter den Schaufeln kann bei der vorhandenen Bauart des Radgerinnes nicht eintreten. Zwischen den Schaufeln kann kein Wasser entweichen; weil der sattelförmige Theil des Gerinnes dem Umfang des Rades auf zwei Schaufeltheilungen folgt. Unter dem Rade kann kein Wasserverlust stattfinden, weil der ebenflächige bewegliche Theil des Zuleitungsgerinnes das Wasser über den Spielraum weg in die Schaufelräume leitet.

Wenn wir uns auch hier wiederum der Bezeichnungen bedienen, welche bei dem Poncelet-Rade (Seite 136) gewählt worden sind, so erhalten wir:

Den Effektverlust, welcher beim Eintritt des Wassers entsteht:

$$1000 \frac{Q}{2g} [V \sin. (\beta - \delta) - v \sin. \beta]^2$$

Die relative Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser nach dem Stosse an den Schaufeln hinaufzugleiten beginnt, ist:

$$V \cos. (\beta - \delta) - v \cos. \beta.$$

Die Höhe, bis zu welcher es emporsteigt, ist:

$$\frac{1}{2g} [V \cos. (\beta - \delta) - v \cos. \beta]^2$$

Die Wirkungsfähigkeit, welche im Wasser in dem Momente enthalten ist, wenn es im höchsten Punkte angekommen ist:

$$1000 Q \left\{ \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{2g} [V \cos. (\beta - \delta) - v \cos. \beta]^2 \right\}$$

Der Nutzeffekt des Rades ist demnach:

$$E_n = 1000 QH - 1000 \frac{Q}{2g} [V \sin. (\beta - \delta) - v \sin. \beta]^2 \\ - 1000 \frac{Q}{2g} \left\{ v^2 + [V \cos. (\beta - \delta) - v \cos. \beta]^2 \right\}$$

Es ist aber, wenn das Rad durch das Hebwerk zweckmässig nach dem Wasserstand gestellt wird:

$$V = \sqrt{2gH}$$

und unter dieser Voraussetzung wird der Ausdruck für den Effekt:

$$E_n = 1000 \frac{Q}{g} v (V \cos. \delta - v)$$

Diese Formel stimmt aber mit derjenigen überein, welche unter der Voraussetzung gefunden wird, dass das Wasser senkrecht gegen die Schaufeln eines Rades stösst und nach dem Stosse mit der Geschwindigkeit v von dem Rade fortfließt, der Vortheil, den also diese schiefe Stellung der Schaufeln gewähren kann, reducirt sich auf die hier nicht in Rechnung gebrachte Wirkung, die das Wasser während seiner niedergehenden Bewegung noch hervorzubringen im Stande sein mag.

Setzen wir in dem letzten Ausdruck für den Effekt:

$$v = 0.4 V, \quad \delta = 14^\circ$$

so findet man:

$$E_n = 0.456 \times 1000 Q \frac{V^2}{2g} = 0.456 E_n$$

Dieses Resultat dürfte der Wahrheit sehr nahe kommen, denn ein merklicher Wasserverlust kann, wie schon gezeigt worden ist, nicht eintreten, und wenn auch etwas Wasser verloren geht, so wird der daraus entstehende Effektverlust wiederum durch die Wirkung ersetzt, welche das Wasser in seiner niedergehenden Bewegung hervorbringt. Wir dürfen uns also versprechen, dass das Rad 45 Procent Nutzeffekt hervorbringen könnte, ein Resultat, das für ein unterschlächtiges Rad günstig genannt werden kann. Wenn die Schaufeln noch mehr schief gestellt würden, als sie es in der Zeichnung sind, könnte allerdings das Wasser in seiner niedergehenden Bewegung besser wirken; allein durch eine zu schiefe Stellung der Schaufeln wird ihre senkrechte

Entfernung am inneren Umfange des Rades so eng, dass das Wasser in seiner Aufwärtsbewegung gegen die Rückseite der Schaufeln schlagen müsste, wodurch jener Vortheil wieder aufgehoben würde.

Dieser inneren Verengung der Schaufelkanäle kann man nur durch krumme Schaufeln entgehen und darin, und sonst in nichts anderem, liegt der Vortheil der letzteren, denn für die Wirkung des Wassers ist es ganz gleichgültig, wie die Schaufeln geformt werden.

Gewichts- und Kostenberechnung des Baues.

a. Das Rad.

	Gewicht in Kilogramm.
24 Schaufeln von Holz	530
3 Kegelkränze	2295
16 leichte Radarme	1840
8 schwere Radarme	1380
3 Rosetten	858
1 Welle	2200
1 Zahnkranz	1750
Schrauben und Beschläge	147
Totales Gewicht des Rades	11000

In der Voraussetzung, dass das Rad 45 Procent Nutzeffekt gibt, ist $N_n = 30$. Das Gewicht pr 1 Pferdekraft Nutzeffekt ist dann:

$$\frac{11000}{30} \dots \dots \dots = 366 \text{ Kilg.}$$

Wenn dagegen 35 Procent Nutzeffekt gerechnet werden, wie bei der Berechnung der Arme und Wellen geschehen ist, wird $N_n = 23.33$ und das Gewicht für 1 Pferdekraft Nutzeffekt wird sodann:

$$\frac{11000}{23.33} \dots \dots \dots = 471 \text{ Kilg.}$$

Das Rad selbst ist also nicht schwer.

b. Gewicht des Hängwerkes.

2 grosse Böcke, an welche das Rad angehängt ist, nebst den zwei grossen Lagerplatten	1636 Kilg.
1 Lagerbock für die Kolbenwelle und für den Hebel auf der Seite des Zahnkranzes	185 „
Latus	1821 Kilg.

	Transport .	1821 Kilg.
1 Stuhl für den Hebel auf der dem Zahnkranz gegenüber befindlichen Seite		190 "
Die zwei gegossenen Arme, welche die Radaxe in unveränderlicher Entfernung von der Axe der Kolbenwelle erhalten, nebst den gegossenen Ringen, in welche die Schalen der Radzapfen eingelegt sind		478 "
Die zwei grossen Schrauben, an welchen das Rad hängt .		94 "
Die zwei mit Zapfen und Axenhaltern versehenen Müttern		16 "
Die zwei Wurme		29 "
Die zwei Wurmräder		63 "
Die zwei Kurbeln		7 "
	Summe .	2698 Kilg.

c. *Gewicht des Stützwerks.*

Die zwei Stühle, welche die Pfannen für die Stützschauben tragen		171 Kilg.
Die zwei mit Zapfen und Axenhaltern versehenen Pfannenträger		15 "
Zwei Wurmräder		63 "
Zwei Wurme		29 "
Zwei Kurbeln zu den Wurmaxen		7 "
Zwei Stützschauben		94 "
Zwei Hebel, auf welchen das Rad liegt, nebst den mit Zapfen versehenen Schraubenmüttern		1209 "
Ein Stuhl zur Kolbenwelle und für den Hebel auf der Zahnkranzseite		273 "
Ein Stuhl auf der andern Seite des Rades		180 "
	Summe .	2155 "

d. *Gewicht der eisernen Theile, welche an dem Bau des Gerinnes, an dem Regulir-Schützen und an dem Einlass-Schützen vorkommen.*

Vier Stangen, mittelst welchen das Gerinne an das Hebewerk gehängt ist		61 Kilg.
Vier gegossene Anfasser, in welche jene Stangen unten eingehängt sind		40 "
	Latus . .	101 Kilg.

	Transport	101 Kilg.
Acht Charnier-Verbindungen zum gegliederten Gerinne		33 "
Sechs runde Parallelogrammstangen		121 "
Zwei flache Parallelogrammstangen		130 "
Acht Bolzen zur Befestigung dieser acht Stangen mit dem Regulirschützen		14 "
Acht Bolzen zur Befestigung der gleichen Stangen mit den Säulen der Einlass-Schleuse		21 "
Zum Aufzug des Regulirschützen	2 Zahnstangen	52 "
	2 Endlager	48 "
	1 Mittellager	11 "
	2 Getriebe	33 "
	1 Axe	93 "
Zu den Aufzügen der Einlass-schleuse	18 Rollen mit Lagern	312 "
	3 Zahnstangen	171 "
	3 Aufzugwinden mit Rädern, Getrieben, Sperrwerk u. Kurbeln	585 "
	Summe	1725 Kilg.

Die ganze in der Zeichnung dargestellte Holzconstruction, mit Ein-schluss der Radschaufeln, hat:

Kubikinhalt	15 ^{kbm}
Oberfläche	447 ^{qm}

Die Gesamtkosten des Baues sind nun:

Eisenconstruction am

Rad (ohne Schaufeln)	= 10470 Kilg.
Hebwerk	= 2698 "
Schützen und Gerinne	= 1725 "
	<hr/>
	14893 Klg., 100 Kilg. à fl. 40, fl. 5960

Holzconstruction:

Volumen	15 ^{kbm} , 1 ^{kbm} à fl. 20	300
Zu bearbeitende Oberfläche	477 ^{qm} , 1 ^{qm} à fl. 1.5	716
		<hr/>
	Summe	fl. 6976

Kosten p. 1 Pferdekraft:

wenn 35 Procent Nutzeffect gerechnet werden	fl. 300
wenn 45 Procent Nutzeffect gerechnet werden	fl. 233

Diese Baukosten sind nun zwar, wie vorauszusehen war, höher als bei den übrigen Rädern, sie stehen aber doch in keinem grossen Missverhältniss mit den Leistungen, welche man sich von dem Rade versprechen darf.

Beschreibung der Details des Baues.

Tafel XXI.

enthält die Details zu dem Rade, zum Regulirschützen und zur Einlassschleuse. Fig. 1 ist eine Ansicht, Fig. 2 und 3 sind Durchschnitte von einem Schaufelkranz-Segmente. Der Kranz *a* geht mitten durch die Schaufelarme und theilt diese in zwei Theile, die unter einem stumpfen Winkel zusammen treffen. An den Winkelpunkten stossen je zwei eine Schaufel bildende Bretter an einander und werden mit Schrauben theils gegen die Armnerve *a*, theils gegen die Lappen *a*₁ befestigt. Die Kegelkranzsegmente stossen stumpf aneinander und ihre wechselseitige Verbindung, so wie auch jene mit den Radarmen, geschieht durch runde Metallscheiben und Schraubenbolzen, von denen die ersteren zur Hälfte in die Enden der Kegelkränze und zur Hälfte in die Enden der Arme eingelegt sind. Diese Metallscheiben sind abgedreht und die Vertiefungen, in welche sie zu liegen kommen, ausgebohrt. Die Säume, welche die Vertiefungen umgeben, sind gehobelt.

Fig. 4 und 5 sind zwei Ansichten. Fig. 6 ist ein Querschnitt eines Zahnkranzsegmentes. Die Zähne des Zahnkranzes, so wie jene des Getriebes sind nach Evolventen gekrümmt. Die Vortheile, welche die Evolventenverzahnung überhaupt und insbesondere bei den Wasserrädern gewährt, sind sehr mannigfaltig. Die Nachweisung dieser Vortheile gehört aber nicht hierher. Die Zahnkranzsegmente stossen mit Endflantschen, die gehobelte Säume haben, aneinander und sind mit Schrauben zusammen geschraubt. Die Verbindung des Zahnkranzes mit den Armen geschieht ähnlich, wie jene der Kegelkränze mit den Armen, vermittelt eingelegter Metallscheiben und Schrauben.

Fig. 7 ist der mittlere Querschnitt der Radwelle, durch den schwächeren cylindrischen Kern.

Fig. 8 bis 13 stellen einen auf der Zahnkranzseite befindlichen Radarm dar. Fig. 14 und 15 dagegen einen Arm des mittleren Armsystems. Die Grundform jedes Armes hat einen T förmigen Querschnitt. Die mittlere Nerve ist an dem inneren Ende des Armes hufeisenförmig in zwei Nerven *c*₁ *c*₁ getheilt, die äussere Seite des Armes ist mit Saumnerven *c*₂ *c*₂ versehen. Jeder Arm von der Zahnkranzseite ist mit drei brillenförmigen Theilen versehen, von denen jeder durch gehobelte,

über die Ebene des Armes hervorragende Säume c_3 gebildet wird, welche die ausgedrehten und in der Mitte durchbohrten Vertiefungen c_4 umgeben. Die äussere, quer über die Arme gestellte Brille, welche Fig. 10 im Durchschnitte zeigt, dient zur Befestigung der Kegelkränze untereinander und mit dem Arme. Die mittlere in Fig. 11 im Querschnitt dargestellte Brille dient zur Befestigung des Zahnkranzes mit dem Radarme. Die innere nach der Richtung des Armes gestellte Brille dient zur Befestigung der Arme mit der Rosette. Diese Befestigungen geschehen durch abgedrehte und in der Mitte durchgebohrte Metallscheiben, die zur Hälfte in die Vertiefungen der Brillen und zur Hälfte in die an den Enden der Kegelkränze und Zahnkranzsegmente angebrachten ähnlichen Vertiefungen eingelegt werden, und durch Schraubenbolzen, welche durch die mittleren Durchbohrungen gesteckt und mit Muttern angezogen werden. Die Metallscheiben schützen gegen jede Verschiebung der Theile gegen einander, so dass die Bolzen nur die Theile zusammen zu halten haben. Die gehobelten Flächen c_5 Fig. 9 kommen überdiess noch zwischen Ansätze zu liegen, die an der Rosette angegossen sind, und je zwei aufeinander folgende Arme berühren sich an der Rosette mit den gehobelten Flächen c_6 Fig. 9. Diese etwas raffinierte Verbindung mit den Einlegscheiben macht allerdings viele Arbeit, sie ist aber auch äusserst exakt und solid. Die Fig. 8 bis incl. 15 zeigen, dass im Allgemeinen die Querschnitte nach aussen zu verjüngt sind. Diese Verjüngung ist bei den Armen Fig. 14 und 15 ganz stetig, bei dem Arme Fig. 9 dagegen bemerkt man an der mittleren Brille eine plötzliche Aenderung des Querschnitts, was daher kommt, weil die Kraft, welche der äussere Theil dieses Armes bis zur Brille einwärts zu übertragen hat, nur halb so gross ist, als diejenige, welche der innere Theil des Armes bis zur mittleren Brille hinaus übertragen muss.

Fig. 16 bis incl. 19 zeigen die Construction der Rosette. Die obere Hälfte der Fig. 16 ist ein Schnitt der Rosette auf der Zahnkranzseite nach einer Richtung, $\alpha\beta$, welche den Winkel der Richtungen zweier unmittelbar aufeinander folgender Arme halbirt. Die untere Hälfte von Fig. 16 ist ein Schnitt nach der Richtung eines Armes. Die untere Hälfte von Fig. 17 ist eine Ansicht von der Seite, an welche die Arme angelegt werden, die obere Hälfte ist eine Ansicht von der anderen Seite. Das Gleiche gilt auch in Bezug auf die Figuren 18 und 19, welche die mittlere Rosette des Rades darstellen. Die dritte Rosette stimmt der Form nach genau mit der ersteren überein, hat aber etwas kleinere Dimensionen als diese. Der Hauptkörper einer jeden Rosette wird durch eine Scheibe d und durch die cylindrische Hülse d_1 gebildet. Ueber diese Scheibe ragen die Bogenstücke d_2 und die brillenförmigen Säume d_3 .

hervor, erstere aber bedeutend mehr als letztere. Die Säume d_3 sind eben abgedreht und kommen mit den an den inneren Theilen der Arme befindlichen Säumen in Berührung. Die Vertiefungen d_4 , welche durch die Säume gebildet werden, sind ausgedreht und in der Mitte durchbohrt. Jede von den Seitenrosetten wird durch einen, die mittlere Rosette dagegen wird wegen der Querschnittsform der Welle mit vier Keilen aufgekeilt.

Fig. 20 und 21 zeigen das Getriebe, welches durch den Zahnkranz getrieben wird. Die Zähne sind nach Kreisevolventen gekrümmt, und die Umfangsnerve e ist in der Mitte zwischen je zwei Armen erhöht; im Uebrigen ist das Getriebe wie gewöhnlich gebildet.

Die Fig. 22 bis 26 incl. zeigen die Theile des Aufzugs für den Regulirschützen. Fig. 22 ist das Doppellager f , in welches die Axe f_1 und die Axe f_2 für die Leitrolle f_3 eingelegt ist, welche letztere die Zahnstange f_4 gegen die Zähne des Getriebes f_5 hält. Die Lager für die Aufzüge brauchen nicht mit Pfannen versehen zu werden, weil diese Aufzüge nur von Zeit zu Zeit bewegt werden, daher ein Ausreiben der Lager nicht eintreten kann.

In Fig. 27, 28, 29 sind die zwei Bolzen dargestellt, die eines von den Gelenken bilden, durch welche die beweglichen Theile des Gerinnes untereinander und mit dem unbeweglichen Theile zusammengliedert sind.

Fig. 30 bis 34 incl. zeigen einen von den drei Aufzügen der Einlass-Schleusse; g ist die Lagerplatte, welche mit zwei Schrauben auf dem oberen Querbalken der Schleusse befestigt wird; g_1 sind zwei an die Platte angegossene Schilde, in welchen sich die beiden Axen g_2 und g_3 des Aufzuges bewegen. Mit g_2 ist das Sperrad g_4 , das Getriebe g_5 und die Kurbel g_6 verbunden; mit der Axe g_3 das Getriebe g_7 und das Stirnrad g_8 . Um die von dem Getriebe g_7 bewegte Zahnstange g_9 in vertikaler Richtung und in gleicher Entfernung von der Axe g_3 zu erhalten, geht dieselbe durch ein in der Platte g angebrachtes Loch und berührt mit ihrer Verstärkungsnerve den von der Axe g_3 entfernteren Rand dieses Loches. Ein Sperrhaken g_{10} verhindert die rückgängige Bewegung der Winde.

Fig. 35, 36, 37 zeigen die Einrichtung von einer der 18 Laufrollen, mit welchen die drei Schützen der Einlass-Schleusse versehen sind. h ist das mit zwei Schrauben an den Schützen geschraubte Lager, welches die in Fig. 37 besonders abgebildeten Zapfen h_1 hält, auf welchen sich die Rolle h_2 dreht.

H. Tafel XXII.

Auf dieser Tafel sind zweierlei Anordnungen zum Heben und Senken des Rades und des daran gehängten gegliederten Gerinnes dargestellt.

Fig. 1 bis 8 incl. ist ein Hebwerk mit Stützschauben, in Fig. 9 bis 17 incl. ein Hebwerk mit Hängschauben.

Das Stützwerk hat folgende Einrichtung. Auf jeder Seite des Rades ist ein Hebel angebracht, welcher sich um eine Axe dreht, die mit jener der Kolbenwelle übereinstimmt. Diese Hebel werden durch starke Schraubenspindeln gestützt und tragen das Rad, indem es mit den Zapfen seiner Welle auf den Hebeln liegt. Von jedem dieser Hebel gehen zwei Stangen nach dem unter dem Rade befindlichen sattelförmigen Theile des Gerinnes. Die Hebel umgreifen mit ihren schnabelförmigen Enden die Zapfen, mit welchen die den Stützschauben entsprechenden Schraubennuttern versehen sind. Werden die beiden Schraubenspindeln gleichzeitig mittelst der zu diesem Zwecke vorhandenen Winden nach der einen oder der anderen Richtung gedreht, so gehen die Muttern hinauf oder herab und die Hebel mit dem Rade und dem daran hängenden Gerinne folgen nach, ohne dass der Eingriff die Zähne des Zahnkranzes in das bei dieser Bewegung ruhig liegende Getriebe gestört wird.

Die Details dieser Anordnung sind folgendermassen beschaffen: Die Hebel, welche die Wasserradwelle tragen, haben von ihren Drehungsaxen an bis in die Nähe der Lager für die Wasserradwelle einen T förmigen Querschnitt. Von da an theilt sich aber die verticale Hauptnerve i Fig. 1, 2, 4, 5, 6 in zwei Nerven i_1 Fig. 1, 2, 3, 7, die aber oben durch eine horizontale, jedoch an zwei Stellen durchbrochene Nerve i_2 verbunden sind. Diese Hebel sind so berechnet und geformt, dass alle Querschnitte bis auf den zehnten Theil ihrer respectiven Festigkeit in Anspruch genommen sind. Der auf der Zahnkranzseite befindliche Hebel endiget mit einem innen zapfenlagerartig eingerichteten, aussen wiegenförmigen Theile i_3 , der mit seinen halbrunden Rändern in den eben so geformten Ausschnitten des Stuhles aufliegt und sich in denselben drehen kann. In diesem Lager, welches mit Pfannen und mit einem (zwar nicht unumgänglich nothwendigen) Deckel versehen ist, liegt die Kolbenwelle mit ihrem Halse. Wird der Hebel i auf und nieder bewegt, so erleidet die Kolbenwelle keine Verschiebung, weil die äussere Rundung des Hebels, mit welcher er im Stuhle aufliegt, mit der Axe der Kolbenwelle concentrisch ist. Der Stuhl k besteht aus einer Grundplatte und aus zwei durch eine Nerve vereinigte und verstreute vertikale Schilde mit den zur Lagerung des Hebels geeigneten Ausschnitten. Der Deckel

des Lagers wird mittelst zweier Schrauben gegen das Lager niedergeschraubt. Die Bolzen dieser Schrauben sind ankerförmig und in den Körper des Lagers eingelegt. Der Hebel auf der dem Zahnkranze gegenüber befindlichen Seite des Rades ist mit einer einfachen Drehungsaxe k_1 Fig. 6 versehen, die in einem aus zwei Schilden und aus einer Grundplatte bestehenden Stuhl k_2 aufliegt. Die geometrische Axe von k_1 stimmt mit jener der Kolbenwelle überein. Die Pfannen i_4 Fig. 1, 2, 7, 8, in welchen sich die Zapfen der Wasserradwelle drehen, liegen in halbkreisförmigen, in den Nerven i_1 angebrachten Ausschnitten und sind durch Ränder, welche die inneren Flächen der Nerven i_1 berühren, gegen jede Verschiebung nach der Richtung der Axe des Wasserrades geschützt. Ueber den Zapfen ist ein halbkreisförmiger, aussen cylindrischer innen vernervter Deckel gestürzt, welcher den Zapfen nicht berührt und die Bestimmung hat, das ringförmige Gussstück i_6 zu tragen. Die Saumnerven dieses Stückes bilden unten zwei doppelte Zapfenhalter, in welche die Stangen i_7 mittelst zweier Zapfen angehängt sind. Die Stangen i_7 sind, wie aus Fig. 1 Tafel XX. zu ersehen ist, zum Verlängern und zum Verkürzen eingerichtet, um den Spielraum zwischen den äusseren Schaufelkanten und dem Gerinnsattel genau reguliren zu können.

1 Fig. 1, 2, 3 ist eine mit zwei Zapfen versehene Schraubenmutter, welche in Verbindung mit der Spindel l_1 eine Art Krücke bildet, die den grossen Hebel unterstützt, indem dieser mit seinen schnabelförmigen Enden die beiden Zapfen der Mutter übergreift. Die Spindel l_1 steht mit ihrem unteren Zapfenende in einer Pfanne, die mit zwei Zapfen in einem Stuhl m liegt und mittelst zweier Arme die Axe einer Schraube ohne Ende l_3 hält, welche durch eine Handkurbel l_4 gedreht werden kann, wodurch das mit der Spindel l_1 befestigte Wurmrad l_5 , und mithin die Spindel l_1 selbst in drehende Bewegung versetzt wird. Die Wirkung von dieser Vorrichtung bedarf keiner Erklärung. In der höchsten und tiefsten Stellung des Hebels steht die Spindel l_1 vertikal, in der mittleren Stellung, welche in der Zeichnung dargestellt ist, steht sie schief. Die Stühle m und k_2 stehen hart am Rande der Seitenmauern des Rades, die bei dem Stuhle k höher sind, als bei dem Stuhle m . Da die radialen Kanten nur um den für die Ausführung nothwendigen Spielraum von 2^{cm} von den Seitenmauern entfernt sind, so mussten diese letzteren für das Spiel der Stangen i_7 , welche nothwendig ausserhalb des Rades sein müssen, ausgeschnitten sein.

Wenden wir uns nun zur Beschreibung des Hebwerkes mit Hängschrauben. Bei dieser Anordnung, welche auch in der Zusammenstellung Tafel XX. dargestellt ist, befindet sich auf jeder Seite des Rades ein gusseiserner Arm, durch welchen die Axe der Wasserradwelle in unveränderlicher Entfernung von der Axe der Kolbenwelle erhalten wird.

Diese Arme drehen sich um Axen, die mit jener der Kolbenwelle übereinstimmen. Die Wasserradwelle dreht sich mit ihren Zapfen in Pfannen, welche in die ringförmigen Enden der Arme eingelegt sind, und diese Enden sind vermittelst eines Gehänges und einer Schraube an zwei gusseiserne, pyramidale Stühle gehängt, können aber gehoben und gesenkt werden. Von jenen Gehängen gehen Stangen nach dem Gerinnsattel hinab.

Der auf der Seite des Zahnkranzes befindliche Arm n hat im Allgemeinen einen kreuzförmigen Querschnitt, endiget linker Hand, Fig. 9, mit einem Ring von T förmigem Querschnitt und rechter Hand, mit einem innen zapfenlagerartig eingerichteten, aussen wiegenförmigen Theil. Das Lager, in welchem sich die Kolbenwelle dreht, ist mit Schalen und mit einem Deckel versehen, welcher vermittelst zweier Schrauben, Fig. 15, nieder geschraubt wird. Die Ränder der Wiege sind concentrisch mit der Axe der Kolbenwelle, und liegen in entsprechenden bogenförmigen Ausschnitten des Stuhles o . In den Ring n_1 des Armes ist von jeder Seite ein genau einpassender Ring n_2 eingeschoben. Diese Ringe, welche durch die in sie eingelegte Pfanne n_3 für den Zapfen der Wasserradwelle zusammengehalten werden, hängen vermittelst des Zapfens p , Fig. 9, 11, 13 an der Schraubenspindel p_1 , und halten vermittelst zweier Zapfen die nach dem Gerinnsattel führenden Stangen p_2 . Ueber die Spindel ist eine Hülse p_3 geschoben, die vermittelst zweier Zapfen p_4 auf dem pyramidalen Stuhl q aufliegt und mit einem Axenhalter p_5 versehen ist, in welchem die Axe der Schraube ohne Ende r liegt, die mit ihren Gewinden in die Zähne des mit einer messingenen Schraubennutter r_1 ausgefüllten Rades r_2 eingreift. Die Mutter liegt mit ihrer unteren ringförmigen Fläche auf der Hülse p_3 , und die Axe der Schraube ist mit einer Kurbel r_3 versehen. Wird diese Kurbel nach der einen oder nach der anderen Richtung gedreht, so wird die Spindel p_1 mit allen daranhängenden Theilen in die Höhe geschraubt oder niedergelassen.

Die Einrichtung des Heberwerkes auf der dem Zahnkranz gegenüber befindlichen Seite des Rades weicht von der so eben beschriebenen nur darin ab, dass der Verbindungsarm rechter Hand mit einer ganz kurzen Drehungsaxe s , Fig. 16 und 17 versehen ist, die mit zwei Zapfen in einem Stuhl s_1 liegt. Die Stühle q o auf der einen, und die Stühle q s_1 auf der anderen Seite des Rades sind mit Schrauben gegen gusseiserne, am Rande der Seitenmauern liegende und mit drei starken Bolzen niedergeschraubte Platten t befestiget. Für die Hängstangen p_2 sind in den Seitenmauern Einschnitte u vorhanden, die eine ziemliche Breite haben müssen, weil die Stangen p_2 beim Heben und Senken ihre Richtung verändern.

Dieses Hebwerk mit den Hängschrauben ist etwas kostspieliger als jenes mit den Stützschauben, allein das erstere gewährt auch eine viel grössere Sicherheit als das letztere.

J. Tafel XXIII.

Zwei Poncelet - Räder.

Beschreibung.

Diese beiden Räder sind nach den Seite (151 u. 153) aufgestellten Regeln berechnet und verzeichnet. Um eine symetrische Anordnung der Figuren zu erhalten, sind die Wassermengen und die Gefälle so gewählt worden, dass beide Räder gleich grosse Halbmesser und Radbreiten erhalten haben.

Das eiserne Rad ist für ein Gefälle von $H = 1^m$ und für eine Wassermenge $Q = 1.11^{kbn}$ nach den Regeln Seite 151, das hölzerne für ein Gefälle $H = 0.875^m$ und eine Wassermenge $Q = 1.034^{kbn}$ nach den Regeln Seite 153 berechnet. Das eiserne Rad hat gusseiserne Seitengefäßer, Blehschaufeln, schmiedeeiserne Arme, gusseiserne Rosetten und Welle. Die Kraft wird durch die Welle fortgepflanzt. Das Gefäßer ist aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt, und jedes derselben ist vermittelt 6 Einlegscheiben mit zwei unmittelbar auf einander folgenden Armen verbunden. An die Segmente sind an der inneren Ebene nach den Schaufeln gekrümmte Nerven angegossen, gegen welche die Schaufelbleche mit Schrauben befestiget werden. Die Schaufeln sind unter einander durch Spulen und Bolzen verbunden. Jeder Radarm ist mit zwei Einlegscheiben und mit zwei Bolzen an die Rosette geschraubt. Sie sind von Schmiedeeisen, weil sie von Gusseisen, um nicht gebrechlich zu sein, viel stärker hätten gemacht werden müssen, als für die zu übertragende Kraft nothwendig wäre. Der Theil der Welle zwischen den Rosetten ist für die Hälfte, die Fortsetzung der Welle für die ganze Kraft berechnet, welche dem Rade mitgetheilt wird. Das Zuleitungsgerinne wird durch zwei mit Brettern verkleidete Seitenmauern und durch einen Bretterboden gebildet. Vor dem Rade befindet sich eine schief gestellte Querwand mit einer Ausflussöffnung, welche durch einen beweglichen Schützen nach Erforderniss regulirt werden kann. Diese schiefe Querwand besteht aus zwei in die Seitenmauern eingemauerten Balken, die unten in eine Querschwelle eingezapft und oben durch zwei Querhölzer verbunden sind, in welche eine Bedielung eingelegt ist. Der Schützen ist auf einer Seite eben, auf der andern ge-

krümmt. Die ebene Fläche berührt den untern der beiden Querbalken, die abgerundet dem Zuflusskanal zugewendete Seite dient zur Leitung des Wassers nach der Ausflussöffnung. Durch diese Abrundung wird der Geschwindigkeitsverlust beseitigt, der jedesmal entsteht, wenn in Folge einer starken Contraction das Wasser gegen den Gerinnsboden hinstösst. Das Schützenbrett ist an den Enden durch gusseiserne Kappen gefasst, an welche Zahnstangen, die durch zwei an einer Axe befindliche Getriebe auf und ab bewegt werden können, angehängt sind. Das Radgerinne, das heisst der Theil des Gerinnes, welcher sich unter dem Rade befindet, ist aus behauenen Steinen gemacht, die auf einem Fundament von Bruchsteinen liegen. Der sattelförmige Theil des Radgerinnes schützt gegen den Wasserverlust, der bei einem geradlinigen Gerinne jederzeit durch den Spielraum unter dem Rade und auch dadurch entsteht, dass ein Theil des Wassers zwischen den Schaufeln nach dem Abzugskanal gelangt, ohne auf die Schaufeln zu wirken. Der Abflusskanal ist, um das Austreten und Abfliessen des Wassers zu erleichtern, bedeutend breiter als das Rad.

Bei dem hölzernen Rade, Fig. 3 und 4, bestehen die Radkronen, ähnlich wie bei den Zellenrädern, aus zwei Schichten von Felgen, die durch hölzerne Nägel und durch über die äusseren Stossfugen geschraubte Schienen verbunden sind. Die Stossfugen der äusseren Felgenschichten haben eine radiale, jene der inneren Fläche eine schiefe Richtung. Um jede der beiden Radkronen ist ein schmiedeeisener Reif gezogen, welche dazu beitragen, das Rad rund zu erhalten. Die Schaufeln bestehen aus einzelnen, krumm gehobelten Brettern, die durch Federn aus Blechstreifen und durch schmiedeeiserne, mit Holzschrauben befestigte Bänder zusammengehalten werden. Dieselben sind in die inneren Felgenschichten der Radkronen eingentheth. Die zweimal 6 hölzernen Radarme sind auf die gleiche Weise, wie bei dem Rade Tafel I. durch die Welle gesteckt und fassen aussen mit Verzahnungen die Radkronen. Jeder Radarm ist mit zwei Bolzen an eine Krone geschraubt und die beiden Seiten des Rades sind durch 6 eiserne Stangen gegen einander gezogen, wodurch die Arme gegen die Krone und diese gegen die Schaufeln gepresst werden, so dass diese nicht aus den Nuthen treten können. Die Welle ist mit einem dreiflügligen Schaufelzapfen versehen. Der Zuleitungskanal und die Regulirschützen sind wie bei dem eisernen Rade. Das Radgerinne wird durch neben einander gelegte unter einander mit Schrauben verbundene, und mit ihrem Ende auf Querschwellen aufliegende Längenhölzer gebildet. Der Theil unmittelbar unter der Axe ist wiederum zur Vermeidung des Wasserverlustes nach dem Umfang des Rades gekrümmt. Der Abflusskanal ist breiter als das Rad,

Berechnung der Hauptabmessungen

a) des eisernen Rades.

Gegeben ist:

Das Gefälle $H = 1^m$
 Der Wasserzfluss pr. 1'' $Q = 1.11^{Kbm}$
 Der absolute Effekt der Wasserkraft

$$\text{in Pferdekraften } N_n = \frac{1000 Q H}{75} = 14.8$$

Nun ist nach den Seite 151 aufgestellten Regeln:

Halbmesser des Rades $R = 1.75 H = 1.75^m$ Die Winkel, welche der Krümmung des Gerinns entsprechen $\lambda = 15^\circ$ Neigung des Gerinns zwischen der Schützenöffnung und dem Rade gegen den Horizont $\gamma - \delta = 3^\circ$ Dicke der Wasserschichte unmittelbar vor dem Rade
 $\Delta = \frac{1}{6} H = 0.166^m$ Winkel, welcher dem Durchschnittspunkt des mittleren Wasserfadens mit dem Umfang des Rades entspricht $\gamma = 24^\circ + 29'$ Winkel, unter welchem die Radschaufeln den Umfang des Rades durchschneiden $\beta = 23^\circ + 3'$ Höhe der Radkrone $a = 0.476 H = 0.476^m$ Halbmesser der Schaufelkrümmung $\rho_m = 0.442 H = 0.442^m$ Breite des Rades $b = 6 \frac{Q}{H \sqrt{2gH}} = 1.5^m$

Anzahl der Radschaufeln = 36

Umfangsgeschwindigkeit des Rades = $0.55 \sqrt{2gH} = 2.44^m$ Anzahl der Umdrehungen des Rades pr. 1' $n = 9.548 \frac{v}{R} = 13.3$

Nehmen wir zur Berechnung der Dimensionen der Welle und der Arme an, dass der Nutzeffekt des Rades

75 Prozent betrage, so ist zu setzen $N_n = 11.1$
 und es wird

Durchmesser der Welle zwischen den Rosetten

$$d = 16 \sqrt[3]{\frac{1/2 N_n}{n}} = 12^{cm}$$

Durchmesser des Halses der Welle ausserhalb des Rades

$$d_1 = 16 \sqrt[3]{\frac{N_n}{n}} = 15^{cm}$$

Anzahl der Radarme eines Armsystems $\mathfrak{R} = 2(1 + R) = 6$

Höhe eines Radarmes nach Seite (198) . . . = $0.941 d = 11.3^{\text{cm}}$
 Dicke desselben $\frac{1}{5} 11.3 = 2.26^{\text{cm}}$
 Das Gewicht des Rades ist nach der weiter unten folgen-
 den Berechnung = 4403Klg.
 Der Durchmesser des Zapfens der Radwelle ist demnach
 = $0.18 \sqrt[1/2]{4403} = 8.5^{\text{cm}}$

b) Des hölzernen Rades

nach den Seite 153 aufgestellten Regeln. Gegeben ist:

Gefälle $H = 0.875$
 Wasserzufluss pr. 1' $Q = 1.034$
 Absoluter Effekt in Pferdekräften . . $N_a = \frac{1000 Q H}{75} = 12.06$

Man erhält nun nach jenen Regeln:

Halbmesser des Rades $R = 2 H = 1.75^{\text{m}}$
 Winkel, welcher der Krümmung des Gerinnes entspricht $\lambda = 15^\circ$
 Neigung des ebenen Theiles des Gerinnes gegen den
 Horizont $\gamma - \delta = 3^\circ$
 Dicke der Wasserschicht am Rade . . $d = 0.19 H = 0.166^{\text{m}}$
 Winkel, welcher dem Durchschnittspunkt des mittleren
 Wasserfadens mit dem Radumfang entspricht . $\gamma = 24^\circ + 29'$
 Winkel, unter welchem die Schaufeln den Radumfang
 durchschneiden $\beta = 23^\circ + 3'$
 Höhe der Radkrone $a = 0.509 H = 0.445^{\text{m}}$
 Halbmesser der Schaufelkrümmung . . $\rho_m = 0.711 H = 0.622^{\text{m}}$
 Breite des Rades $b = 5.26 \frac{Q}{H \sqrt{2 g H}} = 1.5^{\text{m}}$
 Anzahl der Radschaufeln 42
 Umfangsgeschwindigkeit des Rades $v = 0.55 \sqrt{2 g H} = 2.28$
 Anzahl der Umdrehungen pr. 1' . . $n = 9.548 \cdot \frac{v}{R} = 12.44$
 Angenommen, das Rad gebe Nutzeffekt 75%
 so ist $N_n = 9.05$
 Durchmesser der Radwelle $36 \sqrt[3]{\frac{N_n}{n}} = 32.4^{\text{cm}}$
 Anzahl der Radarme eines Systems $\mathfrak{R} = 2 (1 + R) = 6$
 Gewicht des Rades nach Seite 307 = 4820
 Durchmesser des Zapfens $0.18 \sqrt[1/2]{4820} = 8.8^{\text{cm}}$

Gewichtsbestimmung und Kostenberechnung.**a) Des eisernen Rades.**

2 Radkronen	1673 Kilg.
12 schmiedeeiserne Arme	302 "
2 Rosetten	578 "
36 Blehschaufeln	1399 "
1 Welle (von 2 ^m Länge)	221 "
420 Schrauben	125 "

Gewicht des Rades ohne Zapfenlager 4298 Kilg.

1 grosses und ein kleineres Zapfenlager 45 Kilg.

Zum Aufzug	}	2 Zahnstangen	43 "
		2 Getriebe	4 "
		1 Getrieb-Axe	13 "

Gewicht der ganzen Eisenconstruktion 4403 Kilg.

Gewicht des Rades per Pferdekraft Nutzeffekt = $\frac{4298}{11.1} = 387$ Kilg.

Kosten der Konstruktion per Pferdekraft = $\frac{4403}{11.1} \cdot \frac{50}{100} = 200$ fl.

b) Des hölzernen Rades.*Holzkonstruktion.*

	Volumen in Kub.-M.	Oberfläche in Quadr.-M.
am Rade	28	143
am Gerinne	1.2	26
	<u>40</u>	<u>169</u>

Eisenkonstruktion.

2 Radreifen	99 Kilg.		
42 Schaufelbänder	132 "		
6 Stangen zum Zusammenziehen	54 "		
24 Schrauben zu den Armen	3 "		
6 Wellringe	67 "		
2 dreiflügelige Zapfen	111 "		
3 × 42 Nuthbleche zu den Schaufeln	354 "		
2 Zapfenlager	30 "		
Zum Aufzug	}	2 Zahnstangen mit Kappen	43 "
		2 Getriebe	4 "
		1 Axe	13 "

910 Kilg.

Zur Kostenberechnung darf man hier für Bearbeitung von 1^m Oberfläche der Holzkonstruktion 2 fl. und für 100 Kilg. Eisen 80 fl. in Rechnung bringen. Dann sind die Kosten

4 ^{km} Eichenholz à 20 fl.	80 fl.
169 ^m zu bearbeitende Oberfläche	338 „
910 Kilg. Eisen	728 „
	<hr/>
	1146 fl.

Kosten des Baues per Pferdekraft Nutzeffekt = $\frac{1146}{9} = 127$ fl.

Das Gewicht des Rades ohne Gerinne ist = 4820 Kilg.

Das Gewicht des Rades per 1 Pferdekraft = 536 „

Tabelle in Flüssen
 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

| | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|-----------------|-------------|--------------|
| Kosten des Baues | per Pferdekraft | mit Gerinne | ohne Gerinne | Kosten des Baues | per Pferdekraft | mit Gerinne | ohne Gerinne |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 |
| 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |
| 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 |
| 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 |
| 97 | 98 | 99 | 100 | | | | |

*Uebersicht über die Wasserräder, Leistungen, Gewichte und Kosten der auf den grossen
Tafeln dargestellten Räder.*

| Bezeichnung der Tafeln. | Charakteristik des Rades. | Gefälle in Metres. | Wasserzufluss per 1 Sekunde in Kub -M. | Absoluter Effekt der Wasserkraft in Pferden à 75 Kilogr. | Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt des Rades und dem absoluten Effekt der Wasserkraft. | Nutzeffekt des Rades in Pferdekraften. | Gewicht des Rades ohne Einlauf und ohne Gerinne in Kilg. | Gewicht des Rades per 1 Pferdekraft Nutzeffekt. | Kosten des Rades ohne Einlauf und ohne Gerinne. | Kosten des Rades per Pferdekraft Nutzeffekt. | Kosten des Baues mit Einlauf und Gerinne. | Kosten des Baues per Pferdekraft Nutzeffekt. |
|-------------------------|---|--------------------|--|--|---|--|--|---|---|--|---|--|
| A | Hölzernes Kropfrad | 1.5 | 0.253 | 5.1 | 0.53 | 264 | 1735 | 667 | 215 | 81 | 264 | 100 |
| B | Eisernes Kropfrad | 1.5 | 0.253 | 5.1 | 0.53 | 264 | 1655 | 626 | 612 | 231 | 671 | 254 |
| C | Kleines eisernes überschlächtiges Rad | 3 | 0.225 | 9 | 0.70 | 6.3 | 3175 | 504 | 1587 | 252 | 1747 | 277 |
| C | Kleines hölzernes überschlächtiges Rad | 3 | 0.225 | 9 | 0.61 | 5.5 | 2240 | 408 | 212 | 40 | 281 | 51 |
| D | Hölzernes Schaufelrad mit Ueberfall-Einlauf | 2.5 | 1.5 | 50 | 0.72 | 36 | 18880 | 525 | 3483 | 97 | 4581 | 127 |
| E | Eisernes Schaufelrad mit Couliessen-Einlauf | 3 | 2 | 80 | 0.69 | 54.8 | 22551 | 411 | 8725 | 159 | 9788 | 180 |
| F | Rückschlächtiges Zellenrad mit Couliessen-Einlauf | 5.15 | 1 | 68.7 | 0.78 | 53.6 | 26580 | 495 | 8996 | 167 | 11561 | 215 |
| G | Grosses überschlächtiges Rad | 12.6 | 0.19 | 32 | 0.83 | 27.5 | 22535 | 819 | 5928 | 212 | 5906 | 215 |
| H | Unterschlächt. Schaufelrad mit Hebewerk | 1 | 5 | 66.7 | 0.45 | 30 | 11000 | 366 | 4768 | 158 | 6976 | 233 |
| I | Eisernes Poncellet-Rad | 1 | 1.11 | 14.8 | 0.76 | 11.2 | 4298 | 384 | 2149 | 192 | 2749 | 245 |
| I | Hölzernes Poncellet-Rad | 0.785 | 1.03 | 12.06 | 0.76 | 9.2 | 3620 | 400 | 926 | 100 | 1198 | 130 |
| | Mittlere Werthe | — | — | — | 0.67 | — | — | 509 | — | (h) 106
(e) 193
(m) 153 | — | (h) 124
(e) 210
(m) 190 |

(h) Mittel aus allen hölzernen; (e) Mittel aus allen eisernen; (m) Mittel aus allen Rädern überhaupt.