

Rümelin:

Die Haupttypen der Wasserkraftstationen

in tabellarischer Uebersicht.



Preis 1,50 Mk.

G. 37 a
—
39

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305635

Die Kraftstationen der
Wasserkräfte
in Österreichische Uebersicht



537
39

xx
829

Die Haupttypen der Wasserkraftstationen

in tabellarischer Uebersicht.

Von

Regierungsbaumeister a. D. **Th. Rümelin**,
Oberingenieur in Dresden.

Erstmals in kürzerer Fassung erschienen in
Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft 1913, Heft 3
(Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.).

F. N. 30280



In Kommissionsverlag bei v. Zahn & Jaensch, Dresden.

xx
829

Alle Rechte vorbehalten.



III 33403

Akc. Nr. 2326/50

Weitaus die meisten Wasserkraftstationen stellen Maschineneinheiten von ungefähr 500 bis 5000 P.S. auf, wobei für niedere Gefälle im allgemeinen kleinere, für höhere dagegen größere

In den Fig. 1 bis 3 sind des Vergleichs wegen lauter Aggregate derselben Größe gewählt. Schon bei oberflächlicher Betrachtung fällt hier auf, daß die Stationen mit wachsendem

Fig. 1 bis 3. Drei Wasserkraftstationen der Klasse B. Maßstab 1:1000.

(Type II, III und IV.)

Erläuterung: *OW* Oberwasser. *UW* Unterwasser. *M* Maschinenhalle. *S* Schalthaus. *T* Turbinenkammern. *E* Einlaufkammern. *L* Leerschlußanlage. *LS* Leerschütze. *F* Feinrechen. *R* Rohrbahn.

Fig. 1. Wasserkraftstation der Type II. Q 150 cbm, H 10 m. Tourenzahl $n = 125$ pro Minute. Francisdoppelzwillinge im offenen Schacht mit 1700 mm Laufraddurchmesser. Polzahl 48 bei 50 Perioden. Turbinenwirkungsgrad im Gebrauchszustand, bei Vollast $\eta = 79\%$. Toleranz am Uebereich $h = 1$ m.

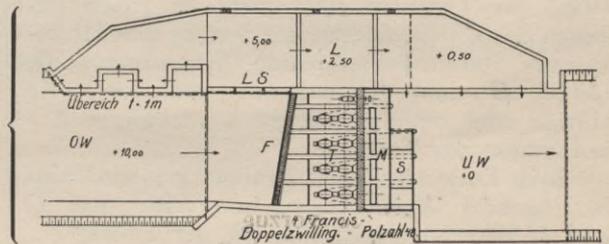


Fig. 2. Wasserkraftstation der Type III. Q 75 cbm, H 20 m. $n = 214,3$. Franciszwillinge in eisernem Kesselgehäuse innerhalb des Maschinensaals aufgestellt, Laufraddurchmesser 1400 mm. Polzahl 28. $\eta = 79\%$. $h = 0,75$.

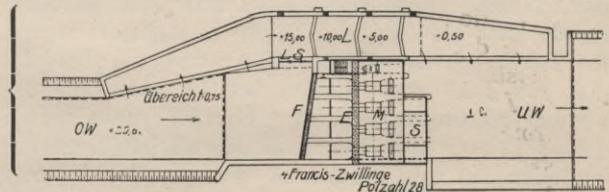
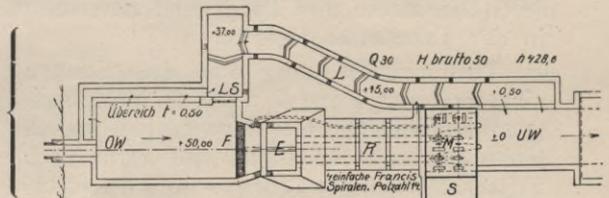


Fig. 3. Wasserkraftstation der Type IV. Q 30 cbm, H 50 m. $n = 428,6$. Einfache Francisspiralen mit 1100 mm Laufraddurchmesser. Polzahl 14. $\eta = 79\%$. $h = 0,50$.



Aggregate sich ergeben. Derlei Anlagen kann man unter einer Klasse der Normalgröße oder der Tausendereinheiten (Klasse B) zusammenfassen. Darüber liegt die Klasse A der Großwasserkraftanlagen, welche Einheiten über 5000 bis 15000 P. S. und mehr, kurz Zehntausendereinheiten, darunter die Klassen C und D der mittleren und Kleinwasserkraftanlagen, die Hunderter- bzw. Zehnerereinheiten aufstellen.

Geographische Lage, Klima und Betriebsart beeinflussen das Äußere der Anlagen in hohem Maße, doch lassen sich, bei aller Mannigfaltigkeit, stets die in dieser Schrift unterschiedenen Haupttypen je nach System und Art der verwendeten Turbinen erkennen.

Gefälle an baulichem Umfang kleiner werden. Dieses Verhältnis würde sich noch steigern, wenn das eingangs über die Aggregatgröße Gesagte in den Figuren berücksichtigt wäre. In praxi würde man z. B. bei dem Fall der Fig. 1 kleinere Einheiten wählen, um nicht zu unförmige Generatoren zu bekommen. Man erhielte dann aber eine größere Anzahl Aggregate und ein noch größeres Krafthaus.

Einen wesentlichen Einfluß auf das Äußere, den Wirkungsgrad, die Baukosten und die Rentabilität der Kraftstationen übt das natürliche Gefällevorkommen aus, d. h. die Frage, ob der „Wasserfall“ schon vorhanden oder künstlich erst durch Fernleitung des Wassers, die Werk-

gerinne, geschaffen werden muß, dann der Wasserhaushalt des Muttergewässers, und endlich die Betriebswirtschaft des Verbrauchszweigs. Damit ergibt sich, wie für die Wasserkraftanlagen im ganzen, so auch für jede Type der Kraftstationen eine große Mannigfaltigkeit der äußeren Ausbildung¹⁾.

In jedem Einzelfall müssen daher die besonderen Anforderungen studiert werden, um die zweckmäßigste Form zu finden; außerdem existiert aber bei allen Wasserkraftstationen ein wichtiges Bestimmungsgebiet, für welches sich allgemeine Entwurfsregeln aufstellen lassen. Sollen die Bauteile einer Kraftstation entworfen werden, so muß zuvor bekannt sein, welches System, welche Größe und welche Anordnung die Wasserturbinen zu erhalten haben. Die Wahl der Turbinen steht nicht im freien Belieben des Konstrukteurs, sondern es gibt für bestimmte Stationskonstituenten (Wassermenge Q , Gefälle H einer Kraftstation) stets nur eine einzige oder einzelne wenige bestmögliche Anordnungen der Turbinen.

Beim Entwerfen einer Kraftstation wird also in folgender Weise vorzugehen sein. Aus Q und H berechnet man sich mit der Formel

$$PS = 10 QH$$

zunächst überschläglich die Pferdestärkenanzahl der Station. Dann entscheidet man sich, welche Größe den Maschineneinheiten aus allgemeinen Rücksichten²⁾ zu geben ist, ob und wievielmals die PS -Zahl und damit das Q der obigen Formel zu unterteilen ist. Hierauf sucht man dieses Teil- Q und das H in den nachstehenden Tabellen auf und findet zu diesen oder ihnen benachbarten Zahlen:

1. die Größenklasse und Type der Kraftstation in der Tabellenüberschrift;
2. die Turbinenanordnung aus den Spalten „Turbinenart“, η und D_1 ; η ist der Wirkungsgrad der Turbine; hier hat man gewöhnlich einen gewissen Spielraum und kann nach wirtschaftlichen Erwägungen (und die Rücksicht auf 3) auswählen, ob man eine teurere Maschine mit relativ hohem, oder eine billigere mit relativ niederem Wirkungsgrad vorziehen will. D_1 ist der Durchmesser des Laufrades, dieser gibt ein Bild der Turbine, auch Gewicht und Preis stehen zu D_1 in einem gewissen Verhältnis;
3. die Tourenzahl n pro Minute. Höhere n sind im allgemeinen niedrigeren vorzuziehen, denn sie ergeben kleinere D_1 und, bei den Generatoren, geringere Polzahl³⁾.

Man hat also in den Daten „Turbinenart“, η , n und D_1 in jedem gegebenen Fall einen Spielraum, wobei unsere Tabellen die Uebersicht und damit die Auswahl erleichtern.

Ueber die Systemziffer S siehe das Begleitwort am Schluß.

Die folgenden 102 Beispiele von Anlagen der Normalgröße B umfassen die Turbinenkonstituenten von 32,5 bis 0,20 cbm/sec Wassermenge und 3,1 bis 1000 m¹) Nutzgefälle (wirksames Turbinengefälle), wofür Aggregate von 100 bis 3000 P.S. ausgerechnet sind. Aus Größenklasse C sind 67 Beispiele von 10,5 bis 0,05 cbm/sec und 1,8 bis 500 m Gefälle aufgeführt für Aggregate von 200 und 300 P.S.

1. Niederdruckstationen.

(Typen I, II und III.)

Vergl. die Fig. 1 u. 2. Das Wasserschloß — d. i. die seeartige Verbreiterung des Zuflußgerinnes oberhalb der Kraftstation, gewöhnlich Klärbecken, Feinrechen F , Turbinenkammerschützen oder Einlaufschützen, Leerschützen LS und selbsttätige Entlastungsanlage (Uebereich) enthaltend — und das Turbinenhaus sind bei diesen Anlagen so zusammengebaut, daß die hintere Abschlußmauer des Wasserschlosses gleichzeitig die vordere Turbinenhauswand bildet; beide liegen im Zuge der Werkkanäle OW und UW , und sind nicht durch eine sogen. Hochdruckrohrbahn (R in Fig. 3) getrennt.

Bei den Niederdruckstationen macht es ebenso wie bei Hochdruckanlagen keinen prinzipiellen Unterschied, ob die Aggregate liegen oder stehen, bei sämtlichen Typen kommt stehende wie liegende Turbinenachse vor.

Je nach der Anordnung der Turbinen zerfallen die Niederdruckstationen in folgende Typen:

Type I. Niederdruckstationen mit Turbinen im offenen Schacht, Abtriebsorgane (Zahn-, Riemen- oder Seiltrieb) zwischen Turbine und Generator bzw. Arbeitsmaschine vorhanden.

Type II. Niederdruckanlagen mit Turbinen im offenen Schacht, Turbinen und Arbeitsmaschinen oder Generatoren direkt gekuppelt.

Hierher gehören in Klasse B Anlagen mit einem Gefälle von etwa 3,5 mit 15 m, in Klasse C von etwa 2,7 bis 15 m. Unterhalb 3,5 bzw. 2,7 m zwingt gewöhnlich das kleine n zur Anwendung von Abtriebsorganen; oberhalb von 15 m wird die Wasserpressung auf den unteren Wandteilen des Mauerschachts zu groß, so daß der Glattputz der Wand zu häufig Reparaturen erfordert.

1) Vergl. Sammlung Göschen, Wasserkraftanlagen I, S. 48.

2) Vergl. ebendasselbst I, S. 14.

3) Eine Tabelle der handelsüblichen n bei Wechselstromaggregaten siehe ebendasselbst II, S. 115.

1) In Klasse A sind bis jetzt 1650 m Gefälle erreicht (W. A. Martigny in Wallis).

Type III. Niederdruckanlagen mit Turbinen im (eisernen) Gehäuse.

Diese Anlagen werden etwa bei Gefällen von 15 bis 30 m ausgeführt. Die dem Wasserschloß und Maschinensaal gemeinsame bergseitige Wand wird durch die Druckrohre durchsetzt, welche das Wasser aus den 5 bis 10 m tiefen Einlaufkammern (siehe *E* in Fig. 2) zu den im Maschinensaal selbst in einem Gehäuse aufgestellten Turbinen bringen. Je nachdem ein Kessel- oder ein Spiralgehäuse vorhanden ist, unterscheidet man Kesselturbinenstationen und Niederdruckstationen mit Spiralturbinen.

2. Hochdruckstationen.

(Typen IV und V.)

Vergl. hierzu Fig. 3. Zwischen Wasserschloß und Kraftstation befindet sich bei allen diesen Anlagen die Rohrbahn *R*, welche die aus Guß-

eisen, Schmiedeeisen oder Stahl hergestellte Druckrohrleitung enthält, bei höheren Gefällen auch noch die Leerlaufleitung, wenn ein betonierter Leerlauf mit Kaskaden oder als Schlußtenne nicht möglich ist. Am unteren Ende der Leerlaufleitung werden besondere Vorkehrungen zur Vernichtung der strömenden Energie des Wassers notwendig, sogen. Zerstäuber oder Strahlableiter¹⁾.

Nach dem Turbinensystem zerfallen die Hochdruckstationen in folgende Typen:

Type IV. Hochdruckstationen mit Francis-Spiralturbinen, und

Type V. Hochdruckstationen mit Freistrahlturbinen²⁾.

1) Vergl. ebendasselbst I, S. 103.

2) Auch Peltonturbinen genannt; Pelton ist aber nicht der Erfinder.

Systemtafeln

für die

Haupttypen der Wasserkraftstationen.

Tafel 1.
Wasserkraftstationen der Normalgröße (B).

Type B I.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁
1000 P. S. - Einheiten ¹⁾ :							
1	32,5	3,10	Zw., stehend mit Zahntrieb 1:5 oder liegend mit Riementrieb (Stahlband) 1:5	37,5	79	91,7 = 65 $\sqrt{2}$	3060

Type B II.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
1000 P. S. - Einheiten:														
			Relativ hoher Wirkungsgrad						Relativ niederer Wirkungsgrad					
2	27	3,6 ²⁾	Dopp. Zw.	93,7	76	186 = 93 $\sqrt{4}$	1510	—	—	—	—	—	27	3,6 ²⁾
3	20,5	4,9	D. Zw.	93,7	79 ³⁾	128,5 = 64 $\sqrt{4}$	1550	D. Zw.	125	76,5	173 = 85,5 $\sqrt{4}$	1290	20,5	4,9
			od. Zw.	93,7	76	128,5 = 91 $\sqrt{2}$	1770		—	—	—	—		
4	10,7	9,4	D. Zw.	214,3	79	130 = 65 $\sqrt{4}$	930		—	—	—	—		
			od. Zw.	93,7	82	56,8 = 40 $\sqrt{2}$	1880	Zw.	214,3	76	130 = 92 $\sqrt{2}$	1060	10,7	9,4
5	7	14,4	Zw.	125	82 ⁵⁾	44,8 = 32 $\sqrt{2}$	1650	Zw.	375	76	134,5 = 95 $\sqrt{2}$	770	7	14,4
2000 P. S. - Einheiten ⁵⁾ :														
6	21,5	9,3	D. Zw.	150	79	130 = 65 $\sqrt{4}$	1330	Zw.	150	76	130 = 92 $\sqrt{2}$	1510	21,5	9,3
7	14	14,3	D. Zw.	150	82,5	76,3 = 38 $\sqrt{4}$	1440	D. Zw.	300	77,5	153 = 76,5 $\sqrt{4}$	880	14	14,3
			Zw.	150	80	76,3 = 54 $\sqrt{2}$	1560	Zw.	214,3	77,5	109 = 77 $\sqrt{2}$	1230		

1) Die Zahlen 1000, 2000, 100 usw. P. S. sind rund genommen.

2) Turbinenkammer als Heberkammer ausgebildet.

3) Ein Punkt über den Zahlen bedeutet: „reichlich gerechnet“.

4) Ein Strich über den Zahlen bedeutet: „knapp gerechnet“.

5) Bei 2000 P. S. - Einheiten ist nicht unter 150, bei 3000 P. S. nicht unter 250 heruntergegangen, um nicht zu unförmige Generatoren zu erhalten.

Type B III.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
2000 P. S. - Einheiten:														
Relativ hoher Wirkungsgrad							Relativ niedriger Wirkungsgrad							
8	13,4	15	Zw.	150	80,5	72 = 51√2	1590	Zw.	250	77	120 = 85√2	1120	13,4	15
9	6,25	32	Zw.	250	83	46,3 = 32,7√2	1240	Zw.	500	79	92,6 = 65,5√2	740	6,25	32
3000 P. S. - Einheiten:														
10	9,4	32	Zw.	250	82	56,9 = 40,2√2	1290	Zw.	375	79,5	85,4 = 60,6√2	965	9,4	32

Type B IV.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
α) Anlagen, für welche einstufige Francisturbinen angewendet werden können. (Etwa von Q 3,9 — H 51 bis Q 1,75 — H 115.)														
2000 P. S. - Einheiten:														
11	3,9	51	Zw.	500	82,5	51,8 = 36,6√2	805	Zw.	250	79	25,9 = 18,3√2	705	3,9	51
			Einf.	375	82	38,8	815	Einf.	214,3	80	22,1	725		
12	2,4	83	Einf.	500	81,5	28,1	970	Zw.	500	79	28,1 = 19,9√2	910	2,4	83
13	1,75	115	—	—	—	—	—	Einf.	375	79,5	21,1	1230	1,75	115
								Einf.	500	79	18,8	1070		
3000 P. S. - Einheiten: (Etwa von Q 5,9 — H 51 bis Q 2,25 — H 133.)														
14	5,9	51	Zw.	375	83	47,7 = 33,7√2	1050	Zw.	500	81	63,6 = 45√2	835	5,9	51
			Einf.	250	83	31,8	1110	Einf.	500	79	63,6	925		
15	3,2	93	Einf.	500	82	29,8	1040	Zw.	500	79,5	29,8 = 21,1√2	980	3,2	93
16	2,25	133	—	—	—	—	—	Einf.	375	80	22,3	1310	2,25	133
								Einf.	500	79	19,1	1140		
β) Anlagen, für welche zweistufige Francisturbinen (Pfarrturbinen) in Betracht kommen, die aber nach dem heutigen Stand der Turbinentechnik lieber mit Francis- oder Freistrahlturbinen ausgeführt werden.														
2000 P. S. - Einheiten: (Von Q 1,65 — H 120 bis Q 1,17 — H 170.)														
17	1,65	120	(Pfarrturbine einstuf. Francis	500 500	82 78,5	17,7 17,7	830 1070	(Pfarrturbine einstuf. Francis	375 —	80 —	13,3 —	1050 —	1,65	120
18	1,17	170	(Pfarrturbine Freistr. m. 2 Einl.	— 300	— 80	— 11,4 = 8,1√2	— 1740	(Pfarrturbine Freistr. m. 3 Einl.	500 500	79 77	11,4 11,4 = 6,6√3	915 1070	1,17	170
3000 P. S. - Einheiten: (Von Q 2,2 — H 135 bis Q 1,5 — H 200.)														
19	2,2	135	(Pfarrturbine einstuf. Francis	500 500	82,5 79	18,7 18,7	890 1150	(Pfarrturbine Freistr. m. 3 Einl.	300 300	79 77	11,3 11,3 = 6,5√3	1360 1600	2,2	135
20	1,5	200	—	—	—	—	—	(Pfarrturbine Freistr. m. 2 Einl.	500 300	79 80	11,5 11,5 = 8,1√2	1000 1890	1,5	200

Type B V.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
2000 P. S. - Einheiten: (Von Q 1,11 - H 180 bis Q 0,20 - H 1000.)														
Relativ hoher Wirkungsgrad							Relativ niedriger Wirkungsgrad							
21	1,11	180 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	250	81,5	5,36 = 3,79√2	210	T. mit 2 Einl.	375	78,5	8,04 = 5,7√2	1460	1,11	180 ¹⁾
			Einfach	300	82,5	4,72 = 3,33√2	1990	Einfach	300	77,5	6,43	1840		
22	0,87	230 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	250	81,5	3,93	2400	T. mit 2 Einl.	500	79	7,87 = 5,55√2	1230	0,87	230 ¹⁾
			Einfach	375	82	3,78 = 2,67√2	1880	Einfach	375	78,5	5,91	1650		
23	0,61	330 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	375	82	3,02	2370	T. mit 2 Einl.	750	79	7,56 = 5,35√2	975	0,61	330 ¹⁾
			Einfach	500	83	2,98	1750	Einfach	500	79,5	5,02	1460		
24	0,40	500	T. mit 2 Einl.	750	83	4,49 = 3,18√2	1170	T. mit 2 Einl.	1000	81	5,98 = 4,22√2	890	0,40	500
			Einfach	1000	83	2,98	1750	Einfach	1000	78	5,98	910		
25	0,265	750	T. mit 2 Einl.	1000	82	3,58 = 2,53√2	1060	T. mit 2 Einl.	750	80,5	2,69 = 1,90√2	1420	0,265	750
			Einfach	1000	82	3,58	1075	Einfach	500	80,5	1,79	2040		
26	0,20	1000	Einfach	1000	82	2,51	1220	Einfach	750	80,5	1,88	1610	0,20	1000
3000 P. S. - Einheiten: (Von Q 1,45 - H 204 bis Q 0,30 - H 1000.)														
27	1,45	204 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	250	81,5	5,58 = 3,95√2	2280	T. mit 2 Einl.	375	78,5	8,36 = 5,91√2	1550	1,45	204 ¹⁾
			Einfach	300	82,5	4,60 = 3,26√2	2170	Einfach	300	77	6,68	1950		
28	1,09	275 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	250	81,5	3,86	2610	T. mit 2 Einl.	500	79	7,72 = 5,46√2	1350	1,09	275 ¹⁾
			Einfach	375	82	3,61	2100	Einfach	375	78,5	5,79	1800		
29	0,75	400 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	500	82,5	4,82 = 3,40√2	1560	T. mit 2 Einl.	750	79,5	7,24 = 5,12√2	1080	0,75	400 ¹⁾
			Einfach	750	82	3,61	2100	Einfach	500	80	4,82	1610		
30	0,50	600 ¹⁾	T. mit 2 Einl.	750	83	4,38 = 3,10√2	1270	T. mit 2 Einl.	1000	81	5,82 = 4,11√2	970	0,50	600 ¹⁾
			Einfach	1000	83	2,91	1910	Einfach	1000	78,5	5,82	990		
31	0,375	800	T. mit 2 Einl.	1000	82,5	4,07 = 2,88√2	1100	T. mit 2 Einl.	750	81	3,05 = 2,16√2	1450	0,375	800
			Einfach	750	83	3,05	1470	Einfach	1000	81	4,07	1120		
32	0,30	1000	Einfach	1000	83	3,08	1240	Einfach	750	81,5	2,31	1620	0,30	1000

1) Auch Doppelturbinen mit je zwei Einläufen sind möglich; die Dimensionierung muß in diesem Falle mit $\frac{1}{2} Q$ und H vorgenommen werden, z. B. $Q = 0,87 \cdot \frac{1}{2} = 0,435$ $H = 230$ $n = 375$ $\eta = 83$ $S = 4,19$ oder $2,96\sqrt{2}$ $D_1 = 1570$.

Tafel 2. Wasserkraftstationen mittlerer Größe (C).

Type C I.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
200 P. S. - Einheiten: (H etwa 1 ¹ / ₂ bis 2 ¹ / ₂ m.)														
1	10,5	1,9	Relativ hoher Wirkungsgrad				Relativ niedriger Wirkungsgrad				10,5	1,9		
			Zw.	37,5 (mit 1:5 187,5 am Gen.)	80,5	75,1 = 53,1√2	2260	Zw.	60 (mit 1:5 300 am Gen.)	77			120 = 84,9√2	1650
300 P. S. - Einheiten:														
2	16,5	1,8	D. Zw.	50	79	131 = 65,5√4	1750	D. Zw.	60	77,5	157 = 78,5√4	1550	16,5	1,8
			Zw.	37,5 (Gen. 187,5)	78,5	98 = 69,3√2	2390	Zw.	50 (mit 1:5 250 am Gen.)	76	131 = 92,6√2	2000		

Type C II.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
200 P. S. - Einheiten: (H etwa 2,7 bis 15 m.)														
3	7	2,85	D. Zw.	93,7	80	113 = 56√4	1125	Zw.	107,1	76	129 = 91,3√2	1180	7	2,85
4	2,2	9,1	D. Zw.	250	82,5	70,3 = 35,2√4	670	D. Zw.	500	78	141,5 = 70,8√4	410	2,2	9,1
			Zw.	187,5	82,5	53 = 37,5√2	910	Zw.	375	78	106 = 75√2	550		
5	1,45	15	Einfach	125	83	35,3	1340	Einfach	300	77	84,7	720	1,45	15
			Zw.	300	83	47,5 = 33,6√2	715	Zw.	750	77	119 = 84,2√2	375		
			Einfach	214,3	83	33,9	1000	Einfach	500	77 ¹ / ₂	79,1	540		
300 P. S. - Einheiten:														
6	10	2,85	D. Zw.	93,7	78,5	135 = 67,7√4	1200	D. Zw.	125	76	180 = 90√4	1000	10	2,85
7	3,3	9,1	D. Zw.	187,5	83	64,7 = 32,5√4	880	D. Zw.	500	76,5	174 = 87√4	440	3,3	9,1
			Zw.	150	82,5	51,9 = 36,7√2	1140	Zw.	375	76	130 = 92,1√2	600		
8	2	15	Einfach	93,7	83	32,3	1760	Einfach	250	76,5	86,4	880	2	15
			Zw.	250	83	46,3 = 32,7√2	855	Zw.	500	79	92,7 = 65,4√2	505		
			Einfach	187,5	83	34,9	1150	Einfach	500	76	92,7	580		

Type C III.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
(H etwa 15 bis 30 m.) 200 P. S. - Einheiten:														
Relativ hoher Wirkungsgrad							Relativ niedriger Wirkungsgrad							
9	1,25	16	Zw. Einfach	375 250	82,5 83	52,5 = 37,1√2 34,9	600 890	Zw. Einfach	750 500	78 78,5	105 = 74,3√2 70,0	365 540	1,25	16
10	0,625	32	Zw. Einfach	750 500	82,5 82	44,1 = 31,2√2 29,3	410 605	— Einfach	— 1000	— 79,5	— 58,8	— 360	0,625	32
300 P. S. - Einheiten:														
11	1,88	16	Zw. Einfach	300 187,5	82,5 82,5	51,3 = 36,3√2 32,1	750 1170	Zw. Einfach	750 500	76 76,5	128 = 90,5√2 85,6	400 580	1,88	16
12	0,94	32	Zw. Einfach	750 500	82,5 82,5	54,0 = 38,2√2 36,0	425 630	— Einfach	— 1000	— 78	— 72,0	— 385	0,94	32

Type C IV.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
200 P. S. - Einheiten: (Etwa von Q 0,4 — H 50 bis Q 0,265 — H 75.)														
13	0,25	80	—	—	—	—	—	Zw.	1000	79	18,7	445	0,25	80
300 P. S. - Einheiten: (Etwa von Q 0,50 — H 60 bis Q 0,35 — H 85.)														
14	0,52	58	Einfach	1000	83	34,2	420	Einfach	750	78,5	18,2√2	500	0,52	58
β) Anlagen, für welche auch zweistufige Francisturbinen (Pfarrturbinen) in Betracht kommen.														
200 P. S. - Einheiten: (Bis etwa Q 0,20 — H 100.)														
15	0,230	87	Francis einfach (Pfarrturbine)	1000 1000	78 81,5	16,8 16,8	455 495	Freistr. m. 2 E. (Pfarrturbine)	500 750	78 79,5	8,40 12,6	760 630	0,230	87
300 P. S. - Einheiten: (Bis etwa Q 0,24 — H 125.)														
16	0,300	100	Francis einfach (Pfarrturbine)	1000 1000	78 82	17,3 17,3	490 535	Freistr. m. 2 E. (Pfarrturbine)	500 750	78 80	8,66 13,0	545 680	0,300	100

Type C V.

Nr.	Q cbm	H m	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Turbinenart	n	η %	S	D ₁	Q cbm	H m
200 P. S. - Einheiten:														
17	0,125	160	2 Einl. Einfach	500 375	82,5 83	3,92 = 2,77√2 2,93	980 1310	2 Einl. Einfach	1000 750	79 78	7,85 = 5,55√2 5,89	510 685	0,125	160
18	0,050	400	Einfach	1000	82	2,50	770	Einfach	750	80,5	1,87	1020	0,050	400
300 P. S. - Einheiten:														
19	0,200	150	2 Einl. Einfach	500 300	82 83	5,21 = 3,69√2 3,12	970 1600	2 Einl. Einfach	750 500	79 79,5	7,81 = 5,52√2 5,21	660 990	0,200	150
20	0,060	500	Einfach	1500	82	3,47	590	Einfach	750	80	1,73	1130	0,060	500

Die Beispiele der vorstehenden Systemtafeln sind mit dem Hollschen Rechenschieber bestimmt worden. Der Hollschieber ist vom Diplomingenieur Paul Holl vor 5 Jahren zur Berechnung von Wasserkraftanlagen erfunden worden. Die früher gebrauchten Bezeichnungen Turbinenrechenschieber und Turbo ließen die Annahme zu, daß es sich um ein Instrument handle, welches Turbinenspezialisten, Maschinenbauer usw. benutzen. Bei der zweiten Auflage der „Anleitung“ zum Gebrauch dieses Rechenschiebers ist der Titel abgeändert, aber beim Instrument selbst sind die irreführenden Bezeichnungen bis jetzt geblieben. Jedoch Tatsache ist, daß der Schieber für Nicht-Turbinenfachleute bestimmt ist, die mit Wasserkraftanlagen zu tun haben, also für projektierende Bauingenieure, Regierungs- und Kommunalbeamte, Fabrikanten und Wasserkraftinteressenten, welche sich bisher in solchen Fällen an eine Spezialfirma wenden mußten. Vorausgesetzt wird nicht mehr, als was zum Gebrauch eines jeden gewöhnlichen Rechenschiebers auch notwendig ist, nämlich die Kenntnis des logarithmischen Rechnens. Der Hollschieber gibt indessen mehr als nur dasjenige, was zur Projektierung einer Turbine gehört. Alle die verschiedenen Berechnungen, die bei einem Entwurf von Wasserkraftanlagen vor allem dem Bauingenieur und Projektanten vorkommen, wie z. B. die Bestimmung von Schützöffnungen, Druckverlust in Rohrleitungen, Wellendurchmesser, die Berechnung der Werte $\sqrt{2gh}$ und $x^{3/2}$ usw., erlaubt das Instrument auszuführen. Es bedeutet Ersparnis an Kopfarbeit, wenn man derartige Berechnungen nicht mühevoll zahlenmäßig auszuführen braucht, sondern die verschiedenen Möglichkeiten gleichsam bildhaft übersichtlich vor sich liegen sieht, zwischen denen man dann Auswahl treffen kann.

Der Hollschieber beruht auf der „Charakteristik“

$$S = \frac{n \sqrt[4]{Q}}{\sqrt{H^3}}$$

welche einfacher, weil direkt aus den gegebenen Größen n, Q, H bestehend, ist, als die im Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften XIII, S. 951, angegebene Charakteristik:

$$S_1 = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{\sqrt{H}}}$$

Es braucht nicht erst der Wert N , die Pferdestärkenzahl des Aggregates, ausgerechnet zu werden. Uebrigens ist

$$S = \frac{1}{\sqrt{10}} S_1.$$

Der Wasserbauer, welcher mit der Berechnung von offenen Werkkanälen zu tun hat, vermißt auf dem Hollschieber allenfalls die Kuttersche Formel¹⁾, die auf dem Instrumente nur für geschlossene Profile gebracht ist. Vielleicht schafft eine neue Auflage hier Abhilfe, was einfach in der Weise ginge, daß Textblätter für die Schieberrückseite hergestellt würden. Auf einem solchen Textblatt müßten die Werte der Rauigkeitszahl m der sogen. vereinfachten Kutterschen Formel

$$k = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

verzeichnet sein; die Formel selber, die, wie ich am Schlusse meiner bei von Zahn & Jaensch, Dresden, demnächst erscheinenden Broschüre: „Wie bewegt sich fließendes Wasser? Entdeckung eines Weges zur Erklärung des Problems“, ausführlich auseinandergesetzt habe, berechtigter und vor allem bequemer als die Bazinsche ist, weil sie mit einem Griff weniger auszuwerten geht, und die, wie jeder Praktiker weiß, genügend genau ist, läßt sich dann mit der Vorderseite des Hollschiebers schnell ausrechnen. Warum sollte auch diese Kuttersche Formel zu ungenau sein, wenn Bazins Formel

$$k = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$$

wie man vielfach hören kann²⁾, befriedigend genau ist? Der Bazinsche Wert γ ist nur um eine im Einzelfall konstante Zahl vom Kutterschen m verschieden!

Die Turbinenprojektierung selbst ermöglicht der Hollschieber in einfachster Weise. Einfach muß die Manipulation sein, weil ja Nichtfachleute mit dem Schieber in den Stand gesetzt sein sollen, Turbinenanlagen generell zu projektieren. Sobald die Konstituenten einer Wasserkraft, also

die Wassermenge Q und das Gefälle H

bekannt sind, gibt der Schieber zu einer angenommenen Tourenzahl mit einem Schlag Systemlage, Art und Wirkungsgrad der besten möglichen Turbine. Mit einem weiteren Griff erhält man die Größe des Laufrades, und es

1) Diese Formel gibt z. B. der Kaumannsche Schieber für Fluß- und Kanalbau wieder, und zwar die lange Formel $23 + \frac{1}{n} \dots$ usw., nebst den Werten von n .

2) Z. B. Zentralbl. d. Bauw. 1912, S. 31. Oder Rudolf Hering, M. Am. Soc. of Civ. Eng., in den Transactions der Society, Dezember 1911, Paper 1215, S. 460: „Bazins new formula, by omitting the deductions from the erroneous Humphreys and Abbot formula, is better than Kutters.“

kostet nicht viel Uebung, damit eine Vorstellung von der Größe der Turbine, der Turbinenkammer oder des Maschinensaals, der Kraftstation überhaupt zu verbinden.

Es ist bemerkenswert, daß für diese Zwecke schon die billigere Ausführung des Hollschiebers, in Pappe, vollauf genügt; dieselbe hat den Vorzug, daß auf ihr mehr erklärender Text aufgedruckt ist als auf dem Holzinstrument.

Es ist möglich, mit dem Schieber eine Turbine noch viel weiter ins einzelne gehend durchzuprojektieren; man benutzt dazu die von Holl zu dem Schieber geschriebene „Anleitung“¹⁾, in welcher eine Menge ausgerechneter Beispiele gegeben sind, so daß auch der Nichtkundige eine Handweisung vorfindet. Holl schrieb in dieser Anleitung S. 108: „... An Hand der vorstehenden, in kürzester Zeit vom Schieber abgelesenen Resultate ist die Anlage so weit projektiert, daß Projektzeichnung, Kostenanschlag und, bei Ueberseeprojekten, eine Stückliste mit den Abmessungen und Gewichten der seetüchtig verpackten Turbinenbestandteile zur Berechnung der Seefracht angefertigt werden kann. In gleicher Weise ist jedes Projekt für eine Wasserkraftzentrale zu behandeln. ...“

Ich will nicht sagen, daß durch den Schieber nunmehr das Befragen einer Spezialfirma überflüssig geworden ist; im Gegenteil, ich möchte sogar ausdrücklich davor warnen, daß etwa jemand nur nach dem Schieber gleich eine Turbine bestellen zu sollen glaubt, sonst können leicht infolge fehlender Uebung Mißgriffe vorkommen, und der Besitzer des Instrumentes wird diesem die Schuld zumessen, die an ihm selber lag. Der Schieber ist fehlerlos; er befolgt stets den Grundsatz, von allen möglichen Konstruktionen stets das Beste auszuwählen. Wenn man also bei dem Detailprojekt, nach welchem gebaut werden soll, stets die Spezialfirma zu Rate ziehen wird, so hat man doch in dem Schieber und der „Anleitung“ eine gute Kontrolle der Angaben der Maschinenfabrik. Bei generellen Projektierungen aber spart man Zeit; man braucht nicht mehr, wie früher, auf die Korrespondenz mit der Turbinenfirma zu warten, sondern hat gerade für diese Fälle des allgemeinen Entwerfens am Hollschieber einen zuverlässigen Ratgeber. Dazu kommt der weitere, namentlich für angehende Ingenieure und Techniker wichtige Umstand, daß der Hollschieber das Verständnis und die Uebersicht über die Wasserkraftmaschinen fördert.

Weil nun manche Fachgenossen den Schieber nicht so häufig zu gebrauchen haben, daß ihnen die Anleitung durchaus geläufig ist, so habe

ich die wichtigsten Manipulationen, die mit dem Hollschieber vorgenommen werden können, in dem folgenden Gebrauchsregister übersichtlich zusammengestellt. Damit wird einem Bedürfnis der Praxis entsprochen, für ähnliche Fälle hat man einen ungefähren Anhalt.

Der Gebrauch des Registers ergibt sich von selbst. Für denjenigen, der sich genauer orientieren will, sind die Seitenzahlen der „Anleitung“ beigelegt. *V* bedeutet Vorder-, *U* Unterseite des Schiebers. $H_{(Q)}$ heißt: *H* genommen auf der Skala *Q*; $t_{(v)}$ desgleichen auf der Skala *v*; $B_{(D)}$ desgleichen auf der Skala *D*; $H_{(hi)}$ bedeutet *H* genommen auf der Hilfsskala, welche sich auf der Zungenunterseite der Schiebers befindet ... usw.

Die Werte der vorstehenden Systemtafeln sind zu den gegebenen Konstituenten *Q* und *H* für angenommene Tourenzahlen bestimmt. Die Tourenzahlen wurden für die handelsübliche Polzahl und 50 Perioden pro Sekunde gewählt. Die Wirkungsgradangaben des Hollschiebers gelten für volle Beaufschlagung, Vollastbauart und Gebrauchs-, nicht Neuzustand der Maschinen. Die Zahlen der Tabellen weisen ungefähr die Grenzen, innerhalb welcher die in jedem einzelnen Fall möglichen Turbinen liegen. So wird man z. B. bei den Konstituenten $Q7 \text{ cbm} - H_{14,4} \text{ m}$ Franciszwillinge von höherem oder niedrigerem Wirkungsgrad erhalten können, nämlich $82,5$, d. h. schwach $82,5\%$, oder 76% , je nachdem man die Tourenzahl *n* zu 125 oder 375 pro Minute wählt. Dem geringeren Wirkungsgrad entspricht aber eine billigere Maschine, denn diese ist, wie aus dem Laufraddurchmesser $D_1 = 770 \text{ mm}$ hervorgeht, nicht einmal halb so groß wie jene mit $D_1 = 1650$, und ebenso ist auch die Dynamo kleiner, wie die Tabelle auf S. 16 der „Anleitung“ lehrt. Der übrige Gebrauch der Tafeln ergibt sich von selber.

Wer über das weitverzweigte Gebiet der verschiedenen Turbinenausführungen im großen und ganzen Uebersicht gewinnen oder das Wie und Warum des vorliegenden Einzelfalles verstehen will, für den empfiehlt es sich, vergleichende Studien zu machen, z. B. an Hand der Tafeln und des Schiebers zu untersuchen, woher etwa in den Fällen Nr. 24 a rechts, 24 b rechts, 28 b rechts, 30 b rechts von Klasse B, und Nr. 17 b rechts von Klasse C, die sämtlich ungefähr die gleiche Systemziffer besitzen, doch die Verschiedenheiten kommen, oder warum in Klasse C bei Nr. 8 b rechts und 11 b rechts sich der gleiche Laufraddurchmesser ergibt, und so fort.

Der Hollschieber und die Tafeln geben auf alle diese Fragen Antwort.

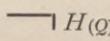
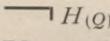
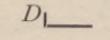
1) Bei Oldenbourg in München erschienen.



Gebrauchsregister

für den

Hollschen Rechenschieber zum Entwerfen von Wasserkraftanlagen.

Gesucht	Einstellen	Ablesen	Zungen- seite	„Anleitung“	
				Text Seite	Beispiel Seite
I. Entwurfsoperationen.					
Ausflußgeschwindigkeit $\sqrt{2gh}$ (Meter) . . .	 $H(Q)$	zehnfacher Wert (D) 	V	32	—
Bohlenstärke (unterste B. einer Schützentafel)	$t(v)$ unter $B_{(D)}$	über $\frac{1}{5}$	U	51	78, 119
Beaufschlagungsgrad a einer Turbine bei veränderlichem H und Q	H' über den Wert $\frac{Q'}{Q}$ der mittels der Skalen Q und v ausgerechnet ist	} unter $H_{(hi)}$	"	64	99
Dimensionierungstabellen für Turbinen . . .				—	—
Druckverlust (siehe Reibungsverlust).	—	—	—	—	—
Durchflußquerschnitt F eines Kanalprofils	 über Q	unter v	"	52	78
Düsendurchmesser	$H_{(hi)}$ über Q	über D_{ii} resp. $10 D_{ii}$	"	20	86, 92
$10\sqrt{2gh}$	 $H(Q)$	über D_{I} 	V	32	—
Kilowatt	PS auf (D)	über W	"	32	105
Kranzbreite b eines Schwungrades	\bar{H} über $G_{\text{Kranz}}(Q)$	{ über $D_{\text{Kranz}}(v)$ } { $(D$ in Meter) }	U	43	106
Kranzdurchmesser (D_{Kranz}) eines Schwun- rades	—	—	"	43	106
Kranzgewicht (G_{Kranz}) eines Schwungrades	—	—	"	43	106
Kreisinhalt	D_{I} 	über $\frac{m^2}{(Q)}$	V	31	87
Kuttersche Formel	—	—	—	56f.	79ff.

Gesucht	Einstellen	Ablesen	Zungen- seite	„Anleitung“	
				Text Seite	Beispiel Seite
Laufraddurchmesser D_1	n über $H(Q)$	{ über Lage im Hilfsbild }	„	17 ff.	85 ff.
Manometrische Förderhöhe einer Zentri- fugalpumpe	—	—	„	73	124 f.
Maschinengröße (Systemlage) einer Turbine	—	—	„	8 ff.	82 ff.
Oeffnungstiefe einer Schütze	—	—	U	51	78, 119.
Oeffnungsweite einer Schütze	—	—	„	„	„
Pferdestärken aus Kilowatt	—	—	V	—	105
„ durch eine Welle zu übertragen	—	—	U	74	85, 87, 96
„ vermindert bei abnormem H .	—	—	„	62	97
Raddurchmesser	n unter $10 v$ umf.	über $\perp \phi$	V	31	116
Rohrdurchmesser		über v	U	34	82, 103
„ abnehmender	—	—	—	41	83
„ bestimmt aus Druckverlust	—	—	„	36	83
Rohrreibungsverlust	$Ro \phi$ unter $100 v(D)$	über $D(Q)$ auf v	„	„	„
Strahldurchmesser	„ „ „	„	„	„	„
Sauggefälle, maximal zulässiges	—	—	—	72	—
Saugrohrdurchmesser.	$H(hi)$ über Q	über Sg	„	20, 21 ff.	85 ff.
Schützweite, s. Bohlenstärke.	„ „ „	über Sp	„	„	„
Spiralgehäuse (Anfangsdurchmesser).	—	unter Systembild, auf D	V	23 ff.	—
Systemziffer.	H über Q	über n	„	8 ff.	82 ff.
„ „ Zentrifugalpumpe	—	—	„	73	124 ff.
Torsionsbeanspruchung.	n über N	To unter D	U	74	85, 87, 96
Tourenzahl einer Welle	—	—	„	74	85, 87, 96
„ „ Zentrifugalpumpe	—	—	„	73	124 ff.
„ „ Turbine, vermindert bei ab- normem H	$H(hi)$ über $n(Q)$	bei H' abnorm	„	61	96
Turbinensystem	H über Q	bei n	V	8 ff.	82 ff.
Umdrehungs- und Polzahl von Wechsel- stromaggregaten	} —	—	—	16	—
Umfangsgeschwindigkeit eines Rades	{ $\frac{1}{\phi}$ unter D	bei n auf Skala } $D(\frac{1}{10})$	„	31	116
Wassermenge, verminderte, bei abn. H	$H(hi)$ über Q	unter H' abnorm	U	61	97
„ einer Turbine	n unter Systemlage	unter H	V	8 ff.	82 ff.
„ „ Zentrifugalpumpe	„ „ „	„ „	„	73	124 f.
Wasserschloß	—	—	—	49 ff.	118 ff.
Wellendurchmesser.	$n(hi)$ über N	auf D über To	U	74	85, 87, 96
Wirkungsgrad einer Turbine	H über Q	bei n	V	8 ff.	82 ff.
II. Rechenoperationen:					
Multiplizieren und Dividieren	{ Skala D und N v und Q (gegen- stimmig)	—	V	29 ff.	
Quadrieren und Radizieren	D und Q	—	V	„	
3. Potenz und 3. Wurzel	D und N	—	„	„	
$\frac{3}{2}$ Potenz	$n(hi)$ verkehrt und Q H und Q Q und N	—	„	„	

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33403

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000305635