

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65/66 (1915)
Heft: 4

Artikel: Ueber Zusammenhang zwischen Leistung und Umlaufzahl bei Wasserturbinen
Autor: Strickler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-32269>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Ueber Zusammenhang zwischen Leistung und Umlaufzahl bei Wasserturbinen. — Kleinwohnungsbauten der Architekten Fritsch & Zangerl, Winterthur. — Bauplatzstatik. — Nekrologie: Paul Vuillemin. K. Greulich. — Miscellanea: Die Entwicklung der Elektrostahlindustrie. Kondenswasser-Entölung durch Elektrolyse. Australische Transkontinental-Bahn. Aufhebung des elektrischen Bahnbetriebes Sissach-

Gelterkinden. Eisenbahnschwellen mit Asbeton. — Preisausschreiben: Preisfragen der Schläfistiftung. — Konkurrenzen: Kirchengemeindehaus Zürich-Wiedikon. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafeln 9 und 10: Eisenbahner-Kolonie Vogelsang, Winterthur.

Band 66.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 4.

Ueber Zusammenhang zwischen Leistung und Umlaufzahl bei Wasserturbinen.

Von Dipl.-Ing. A. Strickler, Zürich. ¹⁾

I.

In der Maschinentechnik ist ein allgemeines Bestreben vorhanden, die Leistungen und die Geschwindigkeiten der Maschinen immer mehr zu erhöhen. Die Gründe sind teils wirtschaftlicher, teils rein technischer Natur.

Soll ein kalorischer Kolbenmotor, z. B. ein Dieselmotor, gebaut werden mit grösserer Leistung als der bisher verwendete Typus ergab, so kann dies geschehen:

1. durch Verwendung einer grösseren Zahl von Zylindern (Parallelschaltung),
2. durch Anwendung grösserer Zylinderdurchmesser,
3. durch Anwendung grösserer Drücke in jedem Zylinder,
4. durch Anwendung grösserer Kolbengeschwindigkeiten, also grösserer Umlaufzahlen bei gegebenen Zylinderabmessungen.

Die drei ersten Mittel haben das Gemeinsame, dass sie eine grössere Gesamtkolbenkraft ergeben; sie verlangen grösseren Materialaufwand. Der vierte Weg, für sich allein beschränkt, verlangt im Allgemeinen keinen wesentlich grösseren Materialaufwand, dagegen die Verwendung besserer, widerstandsfähigeren Materials. Andererseits haben wir aber mit einer erhöhten Geschwindigkeit ein Mittel in der Hand, den Materialaufwand bei *gegebener* Einheitsleistung zu *verringern*, somit die Anlagekosten bis zu einem gewissen Grad zu vermindern.

Bei rotierenden Kraftmaschinen, z. B. *Wasserturbinen*, verhält es sich analog. Maschinen mit grösserer Einheitsleistung ergeben sich:

1. durch Verwendung mehrerer Laufräder auf derselben Welle (Parallelschaltung),
2. durch Anwendung von Laufrädern mit grösserem Durchmesser, vom gleichen Typus,
3. durch Ausnützung grösserer Gefälle mit derselben Maschine.

Die beiden ersten Wege verlangen grössere Wassermengen beim gleichen gegebenen Gefälle; es muss daher naturgemäss die auszunützende „Wasserkraft“ jetzt auf eine kleinere Zahl von Turbinen verteilt werden. Für *eine* solche ergibt sich dann in Fall 1 und 2 ein grösserer Materialaufwand. Der Gesamtmaterialaufwand für *alle* Maschinen lässt sich jedoch innert gewisser Grenzen vermindern und gerade diese Möglichkeit ist einer der wichtigsten Gründe zur Erhöhung der Einheitsleistung. In der Anwendung grösserer Gefälle ist man natürlich auf deren Vorhandensein angewiesen.

Zum oben erwähnten Fall 4 der Kolbenmaschinen besteht hier ein Analogon nur insofern, als wir mit der Möglichkeit einer gesteigerten Geschwindigkeit (Umlaufzahl) ein Mittel besitzen, den Materialaufwand bei *gegebener* Leistung der Maschineneinheit zu verringern.

Die Entwicklung des Wasserturbinenbaues bewegt sich in der Tat sowohl nach der Richtung der gesteigerten Maschinenleistung als auch der vergrösserten Umlaufzahlen. Sie soll in folgendem näher betrachtet werden.

Die Wasserräder, als älteste Form der Wasserkraftmaschinen, arbeiteten mit äusserst niedrigen Geschwindigkeiten, bzw. Umlaufzahlen. Erst mit der Zeit entstand das Bedürfnis nach deren Steigerung, und es konnten sich dann

¹⁾ Die Veröffentlichung dieser, uns noch im letzten Jahre überreichten Arbeit ist durch äussere Umstände unliebsam verzögert worden. Red.

nur solche Typen von Wassermotoren entwickeln, die einer Steigerung der Geschwindigkeiten fähig waren. So entstanden der Reihe nach die Jonvalturbine, Girardturbine, Francisturbine. Letztere war die einzige, die mit der stetig wachsenden Anforderung auf diesem Gebiete Schritt halten konnte. Sie hat sich von ihrer ursprünglichen, langsam laufenden Form zum sogenannten Schnell-Läufer ausgebildet, und als solcher hat sie nicht nur das Anwendungsgebiet der kleinen und mittlern Gefälle vollständig erobert, sondern sie wird auch die Grenze auf Kosten der typischen Hochdruckturbine, des Peltonrades, immer mehr nach oben verschieben. Der hauptsächlichste treibende Faktor zur Steigerung der Umlaufzahlen war die Elektrotechnik, die für ihre Generatoren Antriebsmotoren mit möglichst hoher Geschwindigkeit verlangte.

Die „Schnellläufigkeit“ einer Wasserturbine ist nicht nur durch die absolute Grösse der Umlaufzahl bestimmt, sondern es kommen auch Gefälle und Leistung in Betracht. Als Mass der Schnellläufigkeit gelten:

1. die *spezifische Umlaufzahl* „ n_s “ nach Baashuus:

$$n_s = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{VH}}$$

Hierin bedeuten: H = Nettogefälle, N = Nettoleistung bei Vollast und n = die Umlaufzahl in der Minute.

Die Ableitung dieses Ausdruckes kann folgenderweise durchgeführt werden:

Gegeben sei ein Francisrad von bestimmter Grösse (Durchmesser D , Eintrittsbreite B), das für die Leistung N beim Gefälle H und für die Umlaufzahl n konstruiert wurde. Bringt man dieses Laufrad unter das Gefälle $1 m$, so läuft es wieder korrekt, wenn seine Umlaufzahl = n_1 eingehalten wird, wo:

$$\frac{n}{n_1} = \sqrt{\frac{H}{1}}, \text{ also } n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$$

Sein Wasserverbrauch beträgt dann $Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}}$, und es leistet $N_1 = \frac{N}{H \cdot \sqrt{H}}$

Verkleinert man jetzt das Laufrad auf den Durchmesser D_s und die Breite B_s , sodass $\frac{D}{B} = \frac{D_s}{B_s}$, und sei vorausgesetzt, dass die Leistung dieses verkleinerten Rades vom gleichen Typus beim Gefälle $1 m$ nur noch $1 PS$ sei, so hat man:

$$\frac{n_s}{n_1} = \frac{D}{D_s} \text{ und } \frac{N_1}{1} = \frac{Q_1}{Q_s} = \frac{D \cdot B}{D_s \cdot B_s} = \left(\frac{D}{D_s}\right)^2$$

$$\text{Daher ist: } n_s = n_1 \frac{D}{D_s} = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{N_1} = \frac{n}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{N}{H \sqrt{H}}} = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{VH}}$$

Die so entwickelte Grösse n_s ist somit diejenige Umlaufzahl, die der vorliegende Laufradtypus beim Gefälle $1 m$ und für die Leistungseinheit einhalten würde.

2. die *Schluckfähigkeit* „ S “ nach Camerer:

$$S = \frac{Q}{\sqrt{H \cdot D^2}} \text{ zusammen mit}$$

$$k_u = \frac{u}{\sqrt{2gH}} = \frac{\pi D \cdot n}{60 \sqrt{2gH}}$$

worin Q = Wassermenge bei Vollast und D = Laufraddurchmesser.

Ein Francisrad ist somit nach einer Schnellläufigkeit charakterisiert entweder durch den Wert n_s oder durch die beiden Werte S und k_u .

Zwischen beiden Charakteristiken besteht der Zusammenhang (η = Wirkungsgrad):

$$n_s = (309 \sqrt{\eta}) \cdot k_u \cdot \sqrt{S}$$

Tabelle 1. Beispiele von ausgeführten Nieder- und Mitteldruck-Francis turbinen.

| Anlage, Ort | Erbauer | H m | N PS | n Uml./Min | Typus | n _s | n _s ' | Beschreibung in: |
|---|---|--------|---------|---------------|--|----------------|------------------|---------------------------------|
| <i>Offene Francis turbinen</i> | | | | | | | | |
| Augst b. Basel | Escher Wyss & Cie. | 6,0 | 2 200 | 107 | horizontal, vierfach | 267 | 534 | S. B. Z., 21. Februar 1914 |
| Wyhlen | J. M. Voith | 6,0 | 2 200 | 107 | horizontal, vierfach | 267 | 534 | S. B. Z., 12. Juli 1913 |
| Laufenburg a. Rh. | Escher Wyss & Cie. | 8,0 | 5 000 | 107 | horizontal, vierfach | 282 | 564 | — |
| Kilbourn (U. S. A.) | — | 5,2 | 2 780 | 100 | horizontal, sechsfach | 273 | 670 | — |
| White River (U. S. A.) | S. Morgan-Smith | 15,24 | 4 000 | 214 | horizontal, Zwilling | 318 | 449 | Z. f. g. T., 1914, S. 75 |
| Faal a. d. Drau (Steiermark) | Escher Wyss & Cie. | 14,8 | 6 600 | 150 | horizontal, Zwilling | 297 | 420 | S. B. Z., 20. Juni 1914 |
| Tuilère a. d. Dordogne (Frankreich) | Th. Bell & Cie. | 8,0 | 2 000 | 107 | vertikal, Zwilling | 252 | 355 | Ludin, Die Wasserkräfte, S. 253 |
| <i>Kessel-Francis turbinen</i> | | | | | | | | |
| Trollhättan (Schweden) | Nydquist & Hohn und Karlstads mek. Verksted | 30,4 | 12 500 | 187,5 | horizontal, Zwilling | 208 | 295 | Canad. Engineer, 1911 |
| Stave Lake (Kanada) | Escher Wyss & Cie. | 33,3 | 13 000 | 225 | horizontal, Zwilling | 227 | 321 | — |
| Salto del Bolarque (Spanien) | Briegleb-Hansen | 31 | 4 300 | 428,5 | horizontal, Zwilling | 273 | 386 | Z. V. D. I. 1911, S. 1384 |
| Pretao (Brasilien) | Briegleb-Hansen | 17 | 3 000 | 300 | horizontal, Zwilling | 337 | 476 | Z. V. D. I. 1913, S. 1108 |
| <i>Francis turbinen in Beton-Spiralen</i> | | | | | | | | |
| New-River (U. S. A.) | J. P. Morris | 11,6 | 3 500 | 97 | vertikal, einfach | 267 | 267 | Z. f. g. T., 1913, S. 492 |
| Keokuk a. Mississippi | J. P. Morris | 9,7 | 10 000 | 57,7 | vertikal, einfach | 335 | 335 | S. B. Z., 6. April 1912 |
| Blankenstein a. d. Ruhr | Amme, Giesecke & Koenigen | 2,75 | 547 | 43 | vertikal, einfach | 284 | 284 | Ludin, Die Wasserkräfte, S. 295 |
| Cedars Rapids (St. Lorenzstrom) | J. P. Morris | 9,15 | 10 800 | 55,6 | vertikal, einfach | 362 | 362 | Z. f. g. T., 1914, S. 320 |
| <i>Geschlossene Francis turbinen in eisernen Spiralgehäusen</i> | | | | | | | | |
| Panamakanal | Pelton Water Wheel Co. | 23 | 3 600 | 250 | vertikal, einfach | 297 | 297 | Z. f. g. T., 1913, S. 27 |
| Doryuwan (Japan) | Escher Wyss & Cie. | 30,4 | 1 000 | 600 | vertikal, einfach | 266 | 266 | — |
| Seros (Spanien) | Escher Wyss & Cie. | 47 | 15 000 | 250 | vertikal, einfach | 250 | 250 | S. B. Z., 14. November 1913 |
| Puntledge (Kanada) | Escher Wyss & Cie. | 99 | 6 000 | 500 | horizontal, einfach | 123 | 123 | — |
| Ventavon (Frankreich) | Piccard, Pictet & Cie. | 50 | 6 200 | 300 | horizontal, doppelt | 125 | 177 | S. B. Z., 25. Februar 1911 |
| Ponte della Sera | A. Riva & Cie. | 54 | 3 250 | 504 | horizontal, doppelt | 140 | 197 | Z. f. g. T., 1914, S. 154 |
| Clermont-Ferrand | Escher Wyss & Cie. | 29,2 | 1 850 | 428 | horizontal, doppelt | 192 | 271 | — |
| Tremp (Spanien) | Escher Wyss & Cie. | 68 | 2×6250 | 500 | horizontal, 2 einfache Turbinen sym. z. Gen. | 203 | 203 | — |
| Montjovet b. Aosta | Escher Wyss & Cie. | 50,2 | 6 500 | 375 | horizontal, Zwilling | 159 | 226 | — |
| Rainbowfalls (U. S. A.) | J. P. Morris | 32 | 6 000 | 225 | horizontal, Zwilling | 160 | 227 | Z. f. g. T., 1912, S. 511 |
| Long Lake (U. S. A.) | J. P. Morris | 51 | 22 500 | 200 | horizontal, Zwilling | 156 | 220 | Z. V. D. I., 1912, S. 1053 |
| Shawinigan (Kanada) | — | 45 | 20 000 | 225 | horizontal, Zwilling | 193 | 273 | S. B. Z., 13. Juni 1914 |
| Canad. Niagara Falls | Eigener Entwurf der Ges. | 40,5 | 12 500 | 250 | vertikal, Zwilling | 194 | 274 | Z. f. g. T., 1911, S. 556 |
| Vigeland (Norwegen) | Th. Bell & Cie. | 18 | 3 000 | 220 | horizontal, Zwilling | 230 | 325 | S. B. Z., 11. Januar 1913 |
| Little Falls (U. S. A.) | J. P. Morris | 20 | 9 000 | 150 | horizontal, Zwilling | 236 | 334 | Z. V. D. I., 1912, S. 1053 |
| Kallnach | Piccard, Pictet & Cie. | 19,35 | 2 500 | 300 | horizontal, Zwilling | 261 | 368 | S. B. Z., 19. Dezember 1914 |

Die Variation der spezifischen Umlaufzahl oder der Schluckfähigkeit einer Turbine wird erreicht

a) durch Variation des Verhältnisses

$\frac{\text{Eintrittsbreite}}{\text{Eintrittsdurchmesser}}$ des Laufrades, womit auch mehr oder weniger eine Aenderung des Verhältnisses: $\frac{\text{Laufraddurchmesser}}{\text{Saugrohrdurchmesser}}$ verbunden ist.

b) durch Parallelschaltung oder Serieschaltung mehrerer Laufräder.

Sei n_s = spez. Umlaufzahl eines Laufrades,
 n_s' = spez. Umlaufzahl der ganzen Turbine,
 Z_p = Zahl der parallel geschalteten Laufräder,
 Z_s = Zahl der in Serie geschalteten Laufräder,

so ist: $n_s' = n_s \cdot \sqrt{Z_p} = n_s \cdot Z_p^{1/2}$

und $n_s' = \frac{n_s}{\sqrt{Z_s}} = n_s \cdot Z_s^{-1/2}$

Schaltet man bei gegebenem Gefälle und gegebener Leistung vier Laufräder parallel, so lässt sich damit die absolute Umlaufzahl der Turbine verdoppeln gegenüber derjenigen von nur einem Laufrad vom selben Typus, also gleichem n_s , und für die gleichen Bedingungen. Schaltet man aber vier Laufräder in Serie, so wird dadurch die absolute Umlaufzahl auf $1 : 2,83$, also fast auf einen Drittel derjenigen ermässigt, die man mit nur einem Laufrad vom gleichen Typus und für die gleichen Bedingungen erreicht.

Die Serieschaltung von Francisrädern wird äusserst selten ausgeführt. Sie ergibt sehr schwere Turbinen, ist daher meistens nicht wirtschaftlich. Sie war nur ein Notbehelf zu einer Zeit, als man die Francis turbinen für grössere Gefälle noch nicht rationell ausbilden konnte. Sie entspricht auch nicht dem Fortschritt, denn sie führt zur Erniedrigung der Umlaufzahl.

Die Parallelschaltung dagegen erhöht die Umlaufzahl. Werden mehr als zwei Räder parallel geschaltet, so wird die Turbine wieder schwerer und teurer, zudem im Wirkungsgrad schlechter, sodass sich die Entwicklung eher wieder den einfacheren Turbinen zuwendet, und die spezifische Umlaufzahl des einzelnen Rades weiter zu erhöhen sucht.

Die meisten europäischen Turbinenbaufirmen haben heute ihre Laufradserien normal ausgebildet bis zu $n_s =$ etwa 300 für ein Rad; sie sind im Begriff, noch höhere spez. Umlaufzahlen zu erreichen, sodass in der nächsten Zeit Laufräder mit $n_s = 350$ und darüber zum normalen Verkauf gelangen werden.

II.

Einen Ueberblick über den heutigen Stand der Turbinentechnik geben die Tabellen 1 und 2, in denen grössere moderne Turbinen aus den letzten 4 bis 5 Jahren zusammengestellt sind. Dabei sind nur solche ausgewählt, die für die betreffende Bauart entweder grosse oder ganz kleine spezifische Umlaufzahlen aufweisen. Daraus ist zu erkennen, dass der Wert $n_s = 300$ in einzelnen Fällen bereits überschritten wurde.

Tabelle 2. Beispiele von ausgeführten Hochdruck-Francis- und Pelton-turbinen.

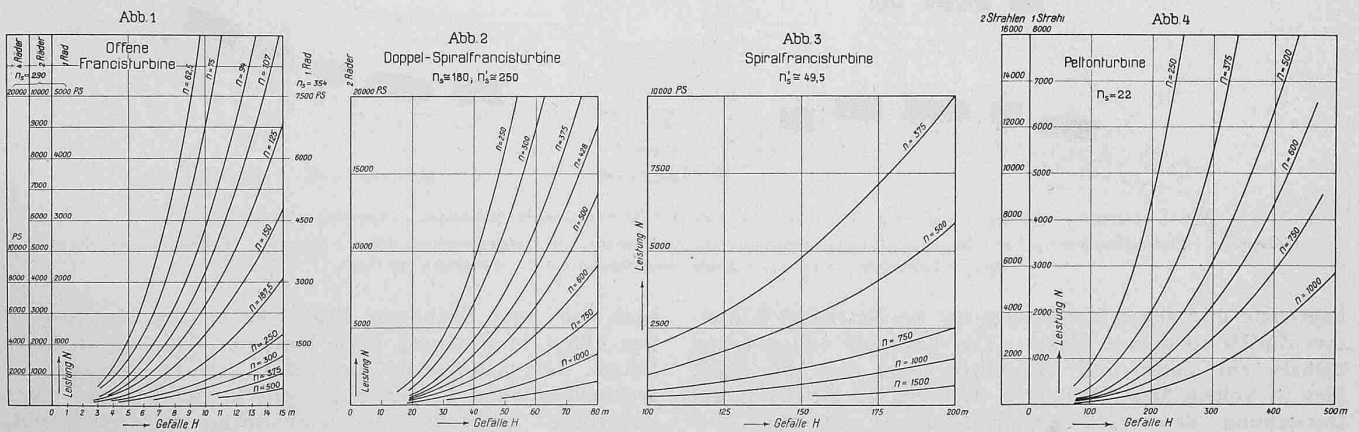
| Anlage, Ort | Erbauer | H m | N PS | n Uml./Min | Typus | n _s | n _s ' | Beschreibung in: |
|---|--------------------------|--------|---------|---------------|-----------------------------|----------------|------------------|--------------------------------------|
| <i>Spiralfrancisturbinen für grössere Gefälle.</i> | | | | | | | | |
| Funghera (Italien) | Escher Wyss & Cie. | 147 | 4 000 | 1000 | horizontal, doppelt | 87,5 | 124 | Schw. Wasserwirtschaft, VI. Band |
| Albulawerk | Escher Wyss & Cie. | 147 | 3 300 | 600 | horizontal, doppelt | 47,5 | 67,5 | Bericht v. Dir. Peter u. Dir. Wagner |
| White River (U. S. A.) | Allis-Chalmers | 134 | 18 000 | 360 | horizontal, doppelt | 75 | 106 | S. B. Z., 6. April 1912 |
| Centerville (U. S. A.) | Allis-Chalmers | 168 | 9 700 | 420 | horizontal, einfach | 68 | 68 | S. B. Z., 29. August/5. Sept. 1908 |
| Lake Coleridge (Neu Seeland) | Escher Wyss & Cie. | 139 | 2 750 | 500 | horizontal, einfach | 55 | 55 | — |
| Noriega (Mexiko) | J. P. Morris | 204 | 6 000 | 514 | horizontal, einfach | 52 | 52 | Z. f. g. T., 1911, S. 556. |
| <i>Pelton-turbinen mit grösserem n_s</i> | | | | | | | | |
| Tata (Indien) | Escher Wyss & Cie. | 505 | 13 500 | 300 | horizontal, 1 Strahl | 14,5 | 14,5 | — |
| Borgne (Wallis) | Escher Wyss & Cie. | 340 | 8 250 | 300 | horizontal, 1 Strahl | 18,7 | 18,7 | S. B. Z., 7. November 1914 |
| Kinuwaga (Japan) | Escher Wyss & Cie. | 320 | 6 000 | 375 | horizontal, 1 Strahl | 21,5 | 21,5 | — |
| Löntsch (Glarus) | Th. Bell & Cie. | 340 | 6 000 | 375 | horizontal, 2 Strahlen | 14,1 | 20 | S. B. Z., 2./9. Juli 1910 |
| | Th. Bell & Cie. | 340 | 15 000 | 300 | horizontal, 2 Strahlen | 17,8 | 25,2 | S. B. Z., 4. Januar 1913 |
| Ruetzwerk (Tirol) | J. M. Voith | 169 | 4 000 | 300 | horizontal, 2 Strahlen | 22 | 31,1 | Z. f. g. T., 1913 |
| Schnalstalwerk (Tirol) | J. M. Voith | 310 | 8 000 | 375 | hor., 2 Räder, 4 Strahlen | 13,0 | 26 | Z. v. D. I., 1912, S. 924 |
| Rjukanfos I (Norwegen) | Escher Wyss, J. M. Voith | 276 | 14 500 | 250 | hor., 2 Räder, 4 Strahlen | 13,4 | 26,8 | — |
| Saaheim (Norwegen) | Piccard, Pictet & Cie. | 253 | 16 400 | 250 | hor., 2 Räder, 4 Strahlen | 15,9 | 31,8 | S. B. Z., 12. Dezember 1914 |
| Biaschina (Tessin) | Escher Wyss & Cie. | 260 | 10 000 | 300 | vertikal, 1 Rad, 4 Strahlen | 14,4 | 28,8 | Z. f. g. T., 1913, S. 33 |
| Pirahy (Brasilien) | Escher Wyss & Cie. | 286 | 20 000 | 300 | vertikal, 1 Rad, 4 Strahlen | 18,1 | 36,2 | S. B. Z., 6. Juli 1912 |
| <i>Pelton-turbinen mit kleinem n_s bei sehr grossem Gefälle</i> | | | | | | | | |
| Isola [Adamello] (Italien) | Escher Wyss & Cie. | 920 | 6 600 | 420 | horizontal, 1 Strahl | 6,75 | 6,75 | S. B. Z., 21. Januar 1911 |
| Arniberg (Uri) | Th. Bell & Cie. | 800 | 1 300 | 360 | horizontal, 1 Strahl | 3,05 | 3,05 | S. B. Z., 19. Oktober 1912 |
| | Th. Bell & Cie. | 800 | 3 000 | 630 | horizontal, 1 Strahl | 8,1 | 8,1 | |
| Ackersand (Wallis) | Piccard, Pictet & Cie. | 700 | 5 500 | 500 | horizontal, 1 Strahl | 10,3 | 10,3 | S. B. Z., 13. November 1909 |
| Lac de Fully (Wallis) | Piccard, Pictet & Cie. | 1 650 | 3 000 | 500 | horizontal, 1 Strahl | 2,6 | 2,6 | S. B. Z., 12. Dezember 1914 |
| Capdella (Spanien) | Escher Wyss & Cie. | 820 | 7 900 | 500 | horizontal, 1 Strahl | 10,1 | 10,1 | Génie Civil, 24. April 1915 |

In Abbildung 1 ist gezeigt, wie bei bestimmten Schnellläufer-Typen (n_s = 290 und 354) für die bei offener Anordnung in Betracht kommenden Gefälle Leistungen und Umlaufzahlen zusammenhängen.

Als Abszissen sind die Gefälle und als Ordinaten die erreichbaren Leistungen aufgetragen, für verschiedene absolute Umlaufzahlen, sodass die letzteren als Parameter der Kurvenschar aufzufassen und jeweils für eine Leistungskurve konstant sind. Sodann gelten drei verschiedene Ordinaten-

ordnung von einem Spiralgehäuse und zwei Saugrohren ist die spezifische Umlaufzahl der zu verwendenden Laufäder aus konstruktiven Gründen (bei Aussenregulierung) auf etwa n_s = 180 beschränkt. In Zwillingsanordnung (zwei Spiralgehäuse) lässt sich bei gleichem Gefälle und gleicher Tourenzahl die 1,5 bis 2-fache Leistung erzielen, oder n_s ≈ 230 ÷ 260 als obere Grenze (s. Tabelle 1).

Bei Spiralturbinen ist aber auch eine untere Grenze der spezifischen Umlaufzahl gegeben, damit konstruktiv



masstäbe, links für n_s = 290 je nach der Anzahl der parallel geschalteten Räder, und rechts ein Masstab für n_s = 354. Die Leistungskurven sind Parabeln mit dem Exponenten 2 1/2, denn:

Für n = konst. und n_s = konst.

$$\text{ist } n_s = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N}{H}} = \text{konst.}, \text{ oder } \frac{1}{H} \sqrt{\frac{N}{H}} = \text{konst.},$$

$$\text{d. h. } N = \text{konst.} \cdot H^2 \cdot \sqrt{H} = H^{2\frac{1}{2}} \cdot k$$

In analoger Weise sind die Zusammenhänge zwischen Gefällen, Leistungen und Umlaufzahlen von Doppelspiral-Francisturbinen in Abbildung 2 aufgetragen. Bei der An-

noch gute Verhältnisse erreichbar sind (n_s = etwa 50 für ein Rad). Die hieraus sich ergebenden minimal erforderlichen Umlaufzahlen bei gegebenem Gefälle und gegebener Leistung sind in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 4 zeigt die maximal erreichbaren Leistungen bei gegebenen Gefällen und Umlaufzahlen von Pelton-turbinen. Auch hier ist durch konstruktive Gründe die spezifische Umlaufzahl eines Rades mit einem Strahl beschränkt, und zwar auf etwa n_s ≈ 22. Die Parallelschaltung kann hier auch noch auf die Weise erfolgen, dass mehrere Strahlen auf dasselbe Laufrad wirken. (Schluss folgt.)