

Ueber die Schaufelung des Löffelrandes

Autor(en): **Escher, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **45/46 (1905)**

Heft 17

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-25424>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

die zu Hause eine Komposition entwerfen, nun in der grossen Bibliothek die Meisterwerke der Natur studieren, und so die zur Vollendung der Bilder nötigen Studien machen“. Sowie die Natur wollte er auch die alten Meister studiert wissen.

Die *Exkursionen der Bauschule* betrachtete er als die Quelle, aus der die jungen Architekten Begeisterung für das Gute und Schöne in Kunst und Natur schöpfen können. Es wird jedem, der das Glück hatte, solche Exkursionen unter seiner Leitung mitzumachen, die Erinnerung an goldene Tage geblieben sein. Da lernte man ihn so recht als fein empfindenden Künstler und vielseitig gebildeten Menschen kennen und lieben. Wie wusste er unser Interesse für alles Edle und Schöne wachzurufen und überall das charakteristisch Wertvolle hervorzuheben. Und im Gespräche verstand er es mit dem feinsten Takte oder, wo es sein musste, mit beissender Ironie auf die Lücken unserer Bildung aufmerksam zu machen. Ein ganzer Künstler müsse auch ein ganzer Mensch sein und wer für Menschen bauen wolle, müsse auch allem Menschentum warmes Interesse entgegenbringen. Für ihn war die Architektur stets die Chorführerin der Künste; darum verlangte er auch vom Architekten möglichst vielseitige künstlerische Ausbildung, damit er befähigt sei, mit richtigem Takt seine hohe Mission zu erfüllen und alle bildenden Künste zum Gesamtkunstwerk zusammenwirken zu lassen. Er beklagte oft den Umstand, dass unsere Mittelschulen zu sehr nur zum Spekulativen, statt zum Schönen und Guten erziehen, wodurch die jungen Leute in ihren Gedanken so nüchtern, in den Entwürfen so berechnend würden und so erstaunlich wenig Phantasie entwickelten. (Schluss folgt.)

Ueber die Schaufelung des Löffelrades.

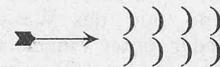
Von Professor Rudolf Escher in Zürich.

Für die Ausnützung von Wasserkraften mit hohem Gefälle und kleinen Wassermengen hat zuerst Walther Zuppinger eine Turbinenform angewandt, deren wichtigstes Merkmal ist, dass das Wasser durch einen oder einige wenige Leitkanäle in angenähert *tangentialer* Richtung dem äusseren Radumfang zugeführt wird, und die daher den Namen Tangentialrad erhalten hat. Wegen eines Fehlers in der Schaufelung (ungenügender Austritts-Querschnitt) konnte das Wasser nicht ungestört nach innen abfliessen; ein Teil blieb im Rade stecken und wurde wieder am äusseren Radumfang ausgeworfen. Es ergab sich daraus ein nur mittelmässiger Wirkungsgrad, der erst besser wurde, als man nach Girards Vorbild das Rad auf der Innenseite verbreiterte.

Die alten Tangentialräder für Fabrikbetrieb mit Rädertransmission besaßen eine vertikale Welle. Als man in den Siebziger Jahren nach hydraulischen Motoren für das Kleingewerbe suchte, um sie aus den damals aufkommenden öffentlichen Wasserleitungen zu betreiben, wandte

man sich dem bequemern Riemetrieb zu und gab darum der Achse eine horizontale Lage. Derartige Tangentialräder mit liegender Achse sind seit der zweiten Hälfte der Siebziger Jahre von Escher Wyss & Co. viele gebaut worden und zwar mit einer regelbaren Nadeldüse von kreisförmigem Querschnitt. An der schweizerischen Landesausstellung in Zürich im Jahre 1883 trat die Firma Ziegler & Bosshard mit einem von U. Bosshard entworfenen Tangentialrad vor die Öffentlichkeit, dessen Regulierung durch einen hydraulischen Servomotor unter dem Einflusse des Regulators verstellbar wurde.

Der innere Wasseraustritt beim Tangentialrad wird bei liegender Welle unbequem, weil besondere Wasserfänge angebracht werden müssen, um das Wasser daran zu verhindern, dem Austritte gegenüber neuerdings ins Rad zu fallen. Bosshard versuchte später das Wasser seitlich austreten zu lassen: um den Eintritt in der Mittelebene und überhaupt völlige Symmetrie beibehalten zu können, setzte er je zwei offene Girardschaufeln paarweise zusammen.



Der Umstand, dass hierbei viel Wasser nach aussen hin ausgeworfen wurde, veranlasste ihn, die Schaufeln mit

Erinnerungen an Professor Julius Stadler.

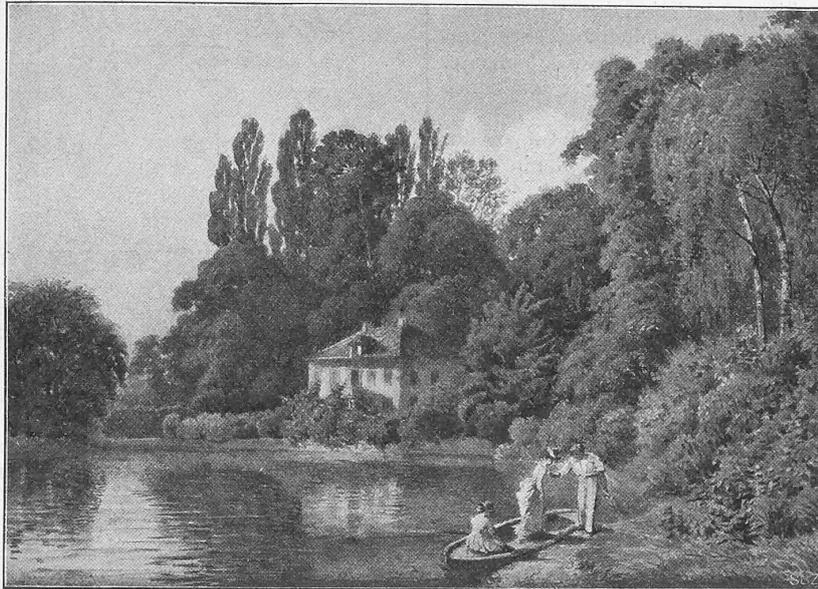


Abb. 4. Das ehemalige «Eschergut» am See in Enge bei Zürich. — Aquarell im Privatbesitz.

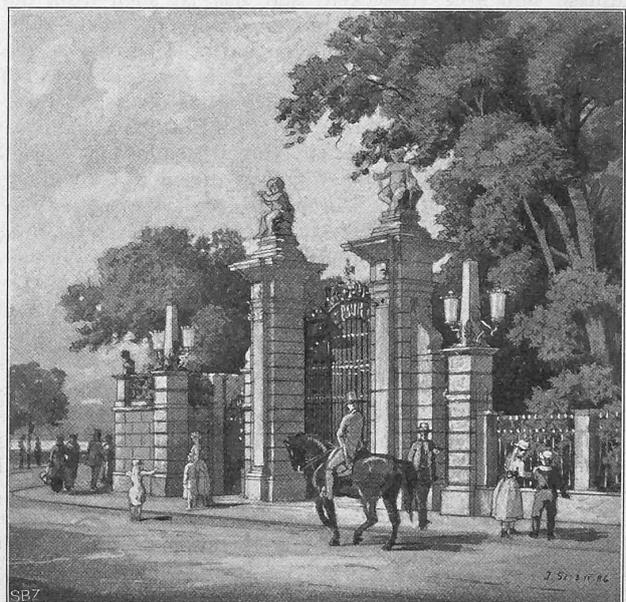


Abb. 5. Entwurf zu einem Gartenportal für das Hotel «Baur au lac». Getuschte Zeichnung im Privatbesitz.

einem Deckel zu versehen. So bekam er die Form, die Pelton in Kalifornien schon früher ersonnen hatte, die aber erst um jene Zeit in Europa bekannt wurde. Damit

war der Uebergang zu der Form des Tangentialrades vollzogen, die wir als Löffelrad bezeichnen, deren Verwendung allerdings den Rahmen des Kleingewerbes bedeutend überschritten hat.

Für das heutige Löffelrad sind folgende Merkmale kennzeichnend:

1. Die Welle liegt horizontal.
2. Das Wasser wird am äussern Radumfang in der Mittelebene in Gestalt eines oder einiger wenigen freien Strahlen zugeführt.
3. Die stark ausgehöhlten, „löffelförmigen“ Schaufeln sind nicht durch seitliche Radkränze miteinander verbunden, sondern stehen jede für sich auf dem Radumfang, entweder je einzeln darauf befestigt oder aus einem Stück mit dem Rade gegossen.
4. Durch einen stark ausgebildeten Mittelgrat an der Schaufel wird das Wasser nach beiden Seiten hin abgelenkt und tritt symmetrisch seitlich aus.

Die Symmetrie ist notwendig, um das Auftreten von achsialen Schüben zu verhindern. Der seitliche Austritt macht den Wasserfänger inwendig entbehrlich und lässt den innern Schaufelrand frei für die Verbindung der Schaufel mit dem Radkörper. Die Zweckmässigkeit der seitlichen Ablenkung ist erst verhältnismässig spät allgemein richtig gewürdigt worden; zeigten doch die Löffelräder an der schweizerischen Landesausstellung in Genf 1896, mit Ausnahme derjenigen von U. Bosshard, noch zylindrische Gestalt der führenden Mittelpartie der Schaufelflächen.

Bei der Ausgestaltung der Löffelform für die Schaufeln hat man dieselben Ziele im Auge zu behalten, wie bei jeder andern Turbinenschaufelung: das Wasser soll möglichst stossfrei eintreten, möglichst widerstandsfrei der Schaufel entlang fliessen, und endlich das Rad mit möglichst geringer absoluter Geschwindigkeit verlassen. Die Verfolgung dieser Ziele bietet aber hier gewisse Schwierigkeiten. Das Wasser tritt in Gestalt eines freien geraden Strahles in das Rad ein. Indem sich die Schaufel unter dem Einlauf wegdreht, verändert sie ihre Lage gegenüber dem Strahl fortwährend, und das Wasser trifft daher in jedem Augenblick wieder unter einem andern Winkel auf die Schaufel. Man hat es also nicht mit einem Beharrungszustand zu tun, wie man ihn sonst bei den Turbinen wenigstens annäherungsweise voraussetzen darf. Die Verhältnisse sind sehr verwickelt, und das ist auch wohl der Grund, warum das Löffelrad unseres Wissens noch keine theoretische Behandlung gefunden hat¹⁾. Den Fluss des Wassers längs der Schaufel theoretisch zu verfolgen, ist wohl aussichtslos; dagegen lässt sich ohne grosse Schwierigkeit ein genauer Einblick in die Eintrittsverhältnisse gewinnen, der beim Entwerfen von wesentlichem Vorteil sein dürfte. Dies ist die Aufgabe, die der vorliegende Aufsatz verfolgt; auf die Durchfluss- und Austrittsverhältnisse soll dabei nur soweit eingetreten werden, als nötig ist, um sich davon eine ungefähre Vorstellung zu bilden, an deren Hand die Formgebung für den Austritt zweckmässig durchgeführt werden kann. Dem Gutfinden und der Empirie bleibt dabei noch ein ziemlich weiter Spielraum vorbehalten.

§ 1. Es stelle in Abbildung 1 die Linie EA die Richtung eines Wasserfadens dar, der sich mit der Geschwindigkeit c durch das Rad bewegt. Die Umfangsgeschwindigkeit des Rades sei $u = r\omega$. Durch S werde das Profil einer Schaufel dargestellt. Es soll untersucht werden, wann, in welcher Stellung und unter welchem Winkel dieses Schaufelprofil in einem beliebigen Punkt a desselben vom Wasserfaden getroffen wird.

¹⁾ Seitdem diese Zeilen geschrieben wurden, ist in der Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen Band II, 1. und 15. April 1905, unter dem Titel «Theoretische Untersuchungen am Peltonrad» eine Arbeit von L. Hartwagner erschienen, die als Lösung einer Preisaufgabe der technischen Hochschule in München vom Jahre 1903 mit dem ersten Preise bedacht wurde. Obgleich diese Arbeit zum Teil denselben Gegenstand behandelt, glaubten wir, die Veröffentlichung des vorliegenden Aufsatzes nicht unterdrücken zu sollen.

Man zeichnet zunächst die Bahn, die ein beliebiger Punkt des Wasserfadens auf der Radebene beschreibt. Es empfiehlt sich, hierzu den Punkt P in der Mitte zwischen dem Eintritt E und dem Austritt A zu wählen. Man erhält diese relative Bahn bequem auf folgendem Wege. Man bestimmt den Radkreis KNL , dessen Umfangsgeschwindigkeit gleich c ist, indem man den Punkt N ermittelt, für welchen $ON : OM = c : u$. Denkt man sich P mit der Tangente QNR an diesen Kreis fest verbunden und rollt man die Tangente auf dem Kreise ab, so beschreibt P die gesuchte Bahn, die also eine verlängerte Evolvente ist. Sie

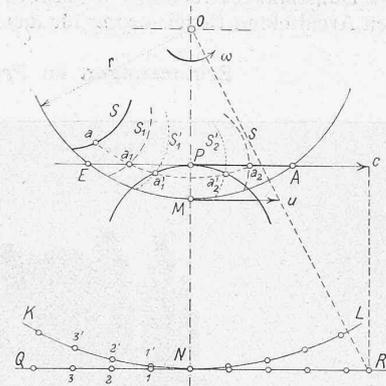


Abb. 1.

wird als Hüllkurve erhalten, wenn man auf QNR und KNL gleiche Längen 1, 2, 3 und 1', 2', 3' abträgt und mit den Halbmessern $1P, 2P, 3P$ Kreisbogen aus 1', 2', 3' schlägt.

Der Halbmesser ON wird ungefähr doppelt so gross als der Radhalbmesser; diese Konstruktion kann darum Platzen halber un-
bequem werden. In diesem Falle kann man nach Abbildung 2 folgendermassen verfahren:

Man trägt von P aus auf EA und auf dem berührenden Radkreis vom Halbmesser h Längen a_1, a_2, a_3, a_4 und b_1, b_2, b_3, b_4

auf, die sich zu einander verhalten wie $c : h\omega$. Werden dann die Strecken a_1, a_2, a_3, a_4 von b_1, b_2, b_3, b_4 aus auf den betreffenden Tangenten abgetragen, so erhält man einzelne Punkte der relativen Bahn.

Dreht man die Schaufel S (Abb. 1) so weit herum, bis der Punkt a nach a_1 bzw. a_2 in die Richtung des Wasserfadens kommt, so sind dies die beiden Stellungen der Schaufel, in welchen sie im Punkte a getroffen wird. Die Winkel, die S_1 bzw. S_2 mit S einschliessen, geben, mit der Winkelgeschwindigkeit ω gemessen, die Zeiten, nach welchen das Zusammentreffen stattfindet. Endlich findet man die Richtung, unter welcher der Strahl aufschlägt, indem man den Punkt a mitsamt der Schaufel nach a_1' , bzw. a_2' in die relative Bahn dreht. Die gesuchte Richtung ergibt sich aus dem Winkel, den die relative Bahn mit S_1' bzw. S_2' einschliesst.

§ 2. Sobald die Aussenkante einer Schaufel S_2 (Abbildung 3) den Punkt E erreicht, fängt sie den Wasserfaden auf und lässt kein Wasser mehr ins Rad eintreten. Die Was-
serteilchen aber, die in diesem Augenblicke den Punkt E bereits passiert haben, setzen ihren Weg unbeirrt fort und können dennoch auf die vorangehende Schaufel S_1 wirken. Es kann sich nun fragen, in welchem Zeitpunkte und in

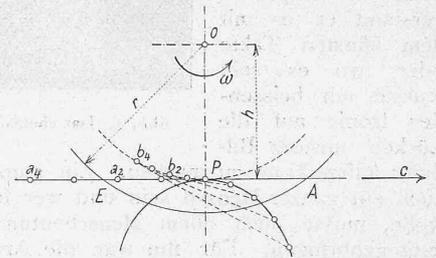


Abb. 2.

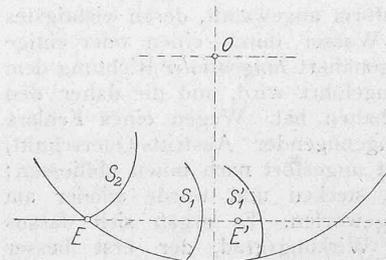


Abb. 3.

welcher Stellung diese Schaufel S_1 zuletzt noch Wasser bekommt.

Nach Verfluss einer gewissen Zeit sei das hinterste Teilchen des abgeschnittenen Wasserfadens nach E' gelangt. Da die Geschwindigkeiten bekannt sind, wird sich sehr leicht bestimmen lassen, in welche Stellung S_1' die Schaufel S_1 alsdann gelangt sein wird. Würde E' zufällig gerade auf S_1' fallen, so gäbe S_1' die Schaufelstellung an, nach der gefragt wurde. Man kann dieses Zusammentreffen durch Probieren herbeiführen und so die Frage genau beantworten. Die Drehwinkel sind das Mass für die Zeiten.

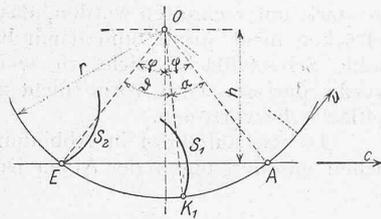


Abb. 4.

§ 3. Jedesmal, wenn eine neue Schaufel in den Wasserstrahl eintritt, findet eine Zersplitterung desselben statt, die stets mit Arbeitsverlusten verbunden sein wird. Man hat daher alle Ursache, die Zahl der Schaufeleintritte herabzusetzen, indem man die Schaufeln so weit als möglich auseinander setzt. Es wäre festzustellen, wie weit man damit gehen darf. Es seien S_1 und S_2 (Abbildung 4) zwei aufeinanderfolgende Schaufeln, von denen die hintere soeben in den Wasserfaden eingetreten ist und ihn damit abgeschnitten hat. Soll das hintere Ende des abgeschnittenen Teiles nicht wirkungslos aus dem Rade entweichen, so muss es noch vor seinem Austritte von der vorangehenden Schaufel S_1 abgefangen werden. Dies wird der Fall sein, wenn die Aussenkante K_1 der Schaufel nicht früher nach A gelangt, als das hintere Ende des abgeschnittenen Fadens. Beide würden zugleich in A eintreffen, wenn die Schaufel für die Zurücklegung des Bogens $K_1 A$ gerade so viel Zeit braucht, als das letzte Wasserteilchen, um von E nach A zu gelangen. Unter Verwendung der Bezeichnungen, die sich aus Abbildung 4 ergeben, findet man als Bedingung hierfür

$$\frac{r \alpha}{u} = \frac{2 r \sin \varphi}{c}$$

und hieraus

$$\alpha = 2 \frac{u}{c} \sin \varphi,$$

worin

$$\varphi = \arccos \frac{h}{r}.$$

Für den grössten, überhaupt möglichen Teilungswinkel findet man somit

$$\vartheta = 2\varphi - \alpha.$$

Stellt man die Schaufeln weiter auseinander, so wird tatsächlich ein, wenn auch kleiner Teil des Wassers durch den vom Rade beschriebenen Raum hindurch streichen, ohne mit einer Schaufel in Berührung gekommen zu sein.

Man darf es nicht soweit kommen lassen, dass das letzte Wasser gerade noch im letzten Augenblick durch die Schaufelkante abgefangen wird; dies wird vielmehr schon früher durch einen etwas weiter innen liegenden Punkt geschehen müssen, damit das letzte Wasser noch Gelegenheit habe, seine lebendige Kraft an die Schaufel abzugeben. Ist dieser Punkt gewählt, so ist es nach § 2 leicht, die Stellung zu bestimmen, in der das Auffangen des letzten Teilchens vor sich geht. Dreht man die Schaufel aus dieser Stellung um soviel zurück, als der Zeit entspricht, innerhalb der das letzte Wasserteilchen von E bis zur Schaufel gelangt, so ist damit auch die Teilung bestimmt.

§ 4. An die Stelle eines Wasserfadens tritt in Wirklichkeit ein Strahl von bestimmtem Querschnitt. Dieser wird entweder kreisförmige oder rechteckige Gestalt besitzen.

Die letztere ist etwas ungünstiger, weil die rechteckige Mündung mehr Reibung verursacht, als die runde. Sie muss aber immer gewählt werden, wo die Regelung des Wasserzuflusses mittelst einer Zunge oder eines Schiebers erfolgen soll. Bei teilweise geschlossener Mündung kann der Strahl sehr flach werden. Dabei ergibt sich aus konstruktiven Gründen fast von selbst, dass die Breite des Querschnittes in die Richtung der Radachse fällt. Diesen breiten Strahl in freiem Zustande nach der Mittelebene zu spalten, ohne dass er in Unordnung gerät, ist nicht möglich. Die Trennung wird daher besser verschoben, bis sich der Strahl auf die Schaufel aufgelegt und daran seine Führung gefunden hat: der Mittelgrat wird hinter die Eintrittskante der Schaufel gelegt (siehe Abbildung 5). Die der Kante anliegende Mittelpartie der Schaufelfläche empfängt das Wasser zunächst. Damit der Eintritt möglichst stossfrei vor sich gehe, darf sich der Winkel, den jene Fläche mit der Richtung des Strahles einschliesst, nicht in zu weiten Grenzen ändern. Dieser Bedingung kann die Schaufel nur innerhalb eines kleinen Radbogens genügen, und es ergibt sich daraus eine verhältnismässig enge Teilung. Diese wird auch deswegen nötig, weil man den Strahl fast tangential zuführen muss, um den Aufschlag möglichst auf den Schaufelrand zu verlegen.

In Abbildung 5 sind punktiert die Stellungen angegeben, in denen die hintere von zwei aufeinander folgenden Schaufeln den äussersten Faden abschneidet, und die vordere von dem abgeschnittenen Faden zum letzten Mal (etwas innerhalb der Kante) getroffen wird. Auf der äussersten Schaufel rechts sind die Richtungen des Aufschlages für vier Zeitpunkte angegeben, die gleichmässig über den Zeitraum verteilt sind, während ein und dieselbe Schaufel von einer punktiert gezeichneten Stellung in die andere übergeht. Man erkennt, dass der Aufschlag immer steiler wird, und man hat daher allen Grund, die Schaufel so flach als möglich zu stellen. Sie wird darum so stark

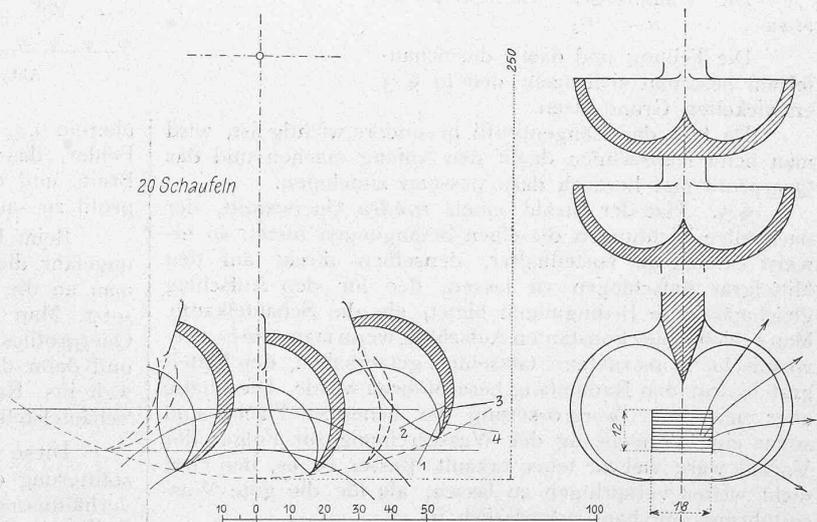


Abb. 5. — Masstab 1 : 2.

geneigt, dass der äusserste Wasserfaden anfänglich stossfrei eintritt. Solange die Schaufelkante im Strahle liegt, streift das Wasser etwas am Rücken der Schaufel, ein Nachteil, den man für die flache Lage in den Kauf nehmen muss. Weil das Wasser anfänglich ziemlich tangential auf die Schaufelfläche trifft, wird es durch den Mittelgrat nicht sehr stark seitlich abgelenkt werden; der Austritt geht somit schräg nach innen zu vor sich. Je steiler späterhin der Strahl aufschlägt, desto stärker wird die seitliche Ablenkung, um so mehr macht sich auch der ablenkende Einfluss der Zentrifugalkraft fühlbar: der Austritt wendet sich mehr zur Seite und wird schliesslich schräg auswärts gerichtet sein. Wie in der Vorderansicht der Schaufel angedeutet ist, wandert die Austrittsstelle nach und nach dem ganzen seitlichen Rande entlang; dieser muss daher über-

all den Radumfang unter einem ziemlich kleinen Winkel schneiden, wenn dem austretenden Wasser die Geschwindigkeit tunlichst entzogen werden soll. Die Schaufel muss nach allen Richtungen rundliche, flüssige Profile zeigen, und so gelangt man zu der Schaufelform, die man nicht besser kennzeichnen kann, als wenn man sie mit dem Abdruck eines Gesässes vergleicht. Die zuerst bekannt gewordene Gestalt der Peltonschaufel entspricht diesen Anforderungen nicht nach allen Richtungen und ist somit als fehlerhaft zu bezeichnen.

Je grösser der Weg ist, den das Wasser auf der Schaufel zurücklegt, desto mehr breitet es sich aus, und desto mehr kommt die Reibung an der benetzten Schaufelfläche zur Geltung. Man darf darum die Schaufel nicht grösser machen, als zur guten Wasserführung eben notwendig ist. Das richtige Mass hierfür wird sich nur auf dem Wege der Erfahrung feststellen lassen. Folgende Angaben mögen als ungefähre Anhalte für die Bemessung der einzelnen Dimensionen dienen.

Ist b die Strahlbreite, so sei die Strahldicke

$$s = 0,7 b,$$

die lichte Schaufelbreite

$$B = 3,5 \text{ bis } 4 b,$$

die radiale Schaufeltiefe

$$T = 0,6 \text{ bis } 0,75 B,$$

der Radhalbmesser

$$r \geq 2,5 T.$$

Der äusserste Wasserfaden schneide den Radumfang unter einem Winkel $\alpha = 20^\circ$.

Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus dem Leitapparat ist

$$c = \varphi \sqrt{2 g h}$$

wobei $\varphi = 0,95 \text{ bis } 0,96$.

Die Umfangsgeschwindigkeit sei etwa $u = \frac{1}{2} c$.

Die Teilung und damit die Schaufelzahl bestimmt sich nach den in § 3 entwickelten Grundsätzen.

Da hier das Längenprofil besonders wichtig ist, wird man beim Aufzeichnen damit den Anfang machen und das Querprofil erst hernach dazu passend annehmen.

§ 5. Hat der Strahl einen *runden* Querschnitt, der nach allen Richtungen dieselben Bedingungen bietet, so erweist es sich als vorteilhafter, denselben direkt auf den Mittelgrat aufschlagen zu lassen, der für den Aufschlag gleichmässige Bedingungen bietet, als die Schaufelkante. Man erhielte ganz konstanten Aufschlag, wenn man, wie es amerikanische Konstrukteure tatsächlich getan haben, den Mittelgrat bis an den Radumfang herausführen würde. Dies hätte aber eine starke Vergrösserung der benetzten Fläche und somit eine Vermehrung der Wasserreibung zur Folge; der Vorteil wäre viel zu teuer erkauft. Besser ist es, den Grat nicht weiter vorspringen zu lassen, als für die gute Wasserführung durchaus erforderlich ist.

Man wird den Grat so legen, dass er sich dem Wasser möglichst rechtwinklig entgegenstellt. Die relative Wasserbahn besitzt eine radiale Symmetrieachse. Ein radial stehender Grat würde daher beim Ein- und beim Austritte je unter symmetrischen Winkeln getroffen werden und dieser Bedingung am besten genügen. Da aber der hintere Teil der relativen Wasserbahn tatsächlich nicht benützt wird, indem das Wasser von der nachfolgenden Schaufel vorher abgefangen wird, ergibt sich für den Grat eine etwas zurückgeneigte Stellung, wie sie die Abbildung 6 aufweist.

Da das Wasser vorzugsweise auf den Grat treffen soll, wird der Strahl tiefer in das Rad hinein geleitet. Es ergibt sich daraus zugleich die Möglichkeit, die Schaufeln etwas weitläufiger anzuordnen, was im Interesse einer geringeren Zersplitterung des Strahles sehr zu begrüssen ist.

Bei dieser Schaufel kommt hauptsächlich das Quer-

profil in Betracht. Wenn auch der Austritt im Ganzen mehr nach der Seite zu erfolgt, so haben wir dennoch auch hier einen starken Wechsel in der Austrittsrichtung, da ja der Strahl im Anfang und gegen das Ende stark geneigt aufschlägt; es ist daher auch dem Längenprofil die nötige Aufmerksamkeit zu schenken. Damit die zuletzt einfallenden Wasserteilchen, die den Grat von innen schräg nach aussen treffen, ordentliche Ausflussverhältnisse finden, erhält die Schaufel zu beiden Seiten des äussern Gratendes zwei lappenartige Verlängerungen. Diese Lappen dürfen den Strahl selbst nicht berühren. Die Mittelpartie muss so stark unterbrochen werden, dass der Strahl den Schaufelrücken nicht streift, und damit beim Hinterschneiden die hohle Schaufelfläche nicht zu weit hinein ausgeschnitten werde, darf der Grat vorne nicht zu hoch über die Schaufelfläche hervortreten.

Die Schaufelform in Abbildung 6 stimmt im Wesentlichen mit derjenigen der Abner Doble Co. in S. Francisco

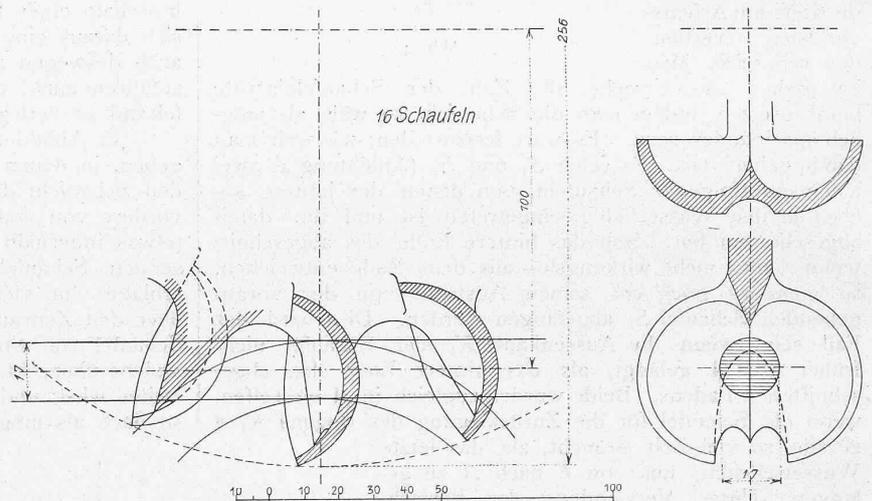


Abb. 6. — Masstab 1 : 2.

überein¹⁾. Die letztere hat aber unseres Erachtens den Fehler, dass sie wegen ihrer verhältnismässig geringen Breite und dem starken Vorspringen des Grates im Querprofil zu sackförmig ist.

Beim Entwerfen einer derartigen Schaufel kann man ungefähr dieselben Annahmen machen wie in § 4, indem man an die Stelle der Strahlbreite den Strahldurchmesser setzt. Man wird beim Aufzeichnen mit der Annahme des Querprofils beginnen, weil dieses vor allem wichtig ist, und dann das Längenprofil anpassen. Der Strahl wird so weit ins Rad hinein gerichtet, dass er in der mittlern Schaufelstellung etwas hinter der Mitte des Grates aufschlägt.

Diese Schaufelung bietet wegen der geringeren Zersplitterung des Wassers und den günstigeren Widerstandsverhältnissen der runden Düse einen bessern Wirkungsgrad als die vorige. Die Schwierigkeit liegt im Regeln der runden Düse, wenn der Wasserzfluss vermindert werden soll. Die eingangs erwähnte Nadeldüse von Escher Wyss & Co. löste die Aufgabe nicht vollkommen. Sie besass einen langen zylindrischen Fortsatz und die Nadel war zu stumpf; ihr Wirkungsgrad war darum wenig befriedigend. Die stark konvergierende Düse der Abner Doble Co. mit ihrer schlank und spitz ausgezogenen Nadel ist jedenfalls besser; sie gibt auch bei vorgeschobener Nadel einen zusammenhängenden, glatten und durchsichtigen Strahl. Ob man aber aus dieser Beschaffenheit des Strahles auf kleine Widerstände schliessen dürfe, scheint uns noch der experimentellen Bestätigung zu bedürfen.

Zürich, im Januar 1905.

¹⁾ Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1904, S. 1901.