

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Beschreibung einiger Turbinen

[urn:nbn:de:bsz:31-270981](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270981)

jene der Wasserräder nie erreichten. Die Bedingungen, bei deren Erfüllung die Krafterleistungen einer Turbine günstig sein können, hat erst in neuerer Zeit die Wissenschaft ausfindig gemacht, und die Schwierigkeiten, welche der Ausführung dieser Maschinen entgegenstehen, konnten auch erst in neuerer Zeit bewältigt werden, seitdem die Maschinenwerkstätten vollkommen eingerichtet sind, und die Durchführung aller Arbeitsprozesse zu einer so hohen Vollendung gediehen ist.

Die neueren Turbinen sind aus einer wissenschaftlichen Kritik der älteren Wasserräder und der älteren Turbinen hervorgegangen. Die Wissenschaft hat schon längst den Satz aufgestellt, dass diese Wasserräder und Turbinen so angeordnet sein sollten, dass 1) das Wasser, ohne einen Stoss zu verursachen, in das Rad gelangen kann; 2) während seines Verweilens in dem Rade keinerlei Störungen in seiner Bewegung erleide; 3) ohne Geschwindigkeit das Rad verlasse. Die Theorie hat ferner erkannt, dass die rasche Bewegung der kleinen oberflächlichen Tyroler Wasserrädchen, wie die rasch laufenden südfranzösischen Löffelräder und ähnliche Anordnungen von grossem praktischen Werth sind, und dass es eben darauf ankomme, die drei oben ausgesprochenen Prinzipien auf derlei kleine, schnell laufende Wasserrädchen anzuwenden. Dies ist die leitende Idee, aus der alle neueren Turbinen hervorgegangen sind, und alle diese Turbinen sind keine neuen Erfindungen, sondern sind nur durch richtige Anwendungen der wissenschaftlichen Prinzipien entstanden, oder sie sind verbesserte Auflagen der älteren Turbinen.

In meinem grösseren Turbinenwerk findet man sowohl Beschreibungen wie Abbildungen von den meisten älteren Turbinen und von fast allen denkbaren neueren Anordnungen; hier müssen wir uns einschränken, und werden deshalb nur die praktisch wichtigsten beschreiben.

### Beschreibung einiger Turbinen.

Die *Vollturbine* von *Fourneyron*, direkte Aufstellung. Tafel X., Fig. 1 und 2. Dem französischen Ingenieur *Fourneyron* gebührt das Verdienst, die erste auf den oben ausgesprochenen Prinzipien beruhende Turbine angeeignet, und sogar mit sehr schöner und wohl ausgedachter Detailkonstruktion ausgestattet zu haben. Nachdem einmal dieser Schritt gethan war, unterlag es keiner besonderen Schwierigkeit, mannigfaltige Variationen von Turbinenkonstruktionen ausfindig zu machen. Diese Turbine hat folgende Einrichtung:

*a* ist der tellerförmige mit einer vertikalen Axe *b* verbundene Körper des Turbinenrades. Auf dem Rande dieses Tellers sind viele gekrümmte Blechschaufeln *c c* angebracht, die den inneren Umfang ungefähr unter einem rechten, den äusseren Umfang unter einem kleinen Winkel durchschneiden. Auf die obere Kante der Schaufeln ist eine ringförmige Krone *a a* gelegt und mit den Schaufeln verbunden. Die Axe dreht sich unten in einer ziemlich komplizirten, zum sorgfältigen Oelen eingerichteten Pfanne *e*, die durch einen Hebel *f* verstellbar ist, um das Rad mehr oder weniger heben zu können. *g* ist eine Stange, vermittelt welcher der Hebel von oben aus bewegt und gesteltt werden kann.

Der in der Regel aus Holz konstruirte Zuflusskanal *h* endiget mit einer Querwand *i*, und am Boden desselben ist eine grössere runde Oeffnung angebracht, an welche sich der cylindrische Mantel *k* anschliesst. Im Innern des Turbinenrades befindet sich das Einlaufgrad, vermittelt welchem das Wasser aus dem Zuflusskanal nach geeigneten Richtungen in das Turbinenrad geleitet wird. Dieses Einlaufgrad hat folgende Konstruktion. *l* ist eine kreisrunde ebene Platte, die in der Mitte eine Oeffnung hat, und vermittelt einer Hülse mit einer Röhre *m* verbunden ist, welche oben an zwei Balken oder an einen Brückenbau gehängt wird. Auf der Platte *l* sind (wie aus Figur 2 am Deutlichsten zu ersehen ist) gekrümmte Blechflächen *n n* angebracht, die den äussern Umfang der Platte unter einem kleinen Winkel schneiden und nach der Axe herein gekrümmt sind. Diese Leitschaufeln *n* haben also, wie man sieht, eine Krümmung, welche der Krümmung der Radschaufeln *c* entgegengesetzt ist. Das Leitschaufelrad hängt also vermittelt der Röhre *m* an der oberen Brücke, und der äussere Umfang des Leitschaufelrades ist von dem inneren Umfang des Turbinenrades nur durch einen sehr kleinen Zwischenraum getrennt. *o o* ist ein Blechcylinder, der an seinem obern Rande mit einer Lederdichtung (ähnlich wie ein Pumpenkolben) versehen ist, so dass dieser Cylinder *o* an dem Mantel *k* auf und ab verschiebbar ist und gleichsam eine Verlängerung des Mantels *k* bildet. Zum Behufe dieser Bewegung sind an dem Cylinder *o* drei oder vier Stangen angebracht, und diese werden durch einen in der Zeichnung nicht angedeuteten Mechanismus in die Höhe gezogen oder niedergesenkt. An der innern Fläche des Schützenmantels sind Holzstücke *q q* befestigt, die von einander um etwas mehr entfernt sind, als die Dicke der Leitschaufeln beträgt. Diese hölzernen Beilagen dienen zur Leitung des Wassers in das Rad. Die äusseren vertikalen Kanten der Leitschaufeln *n* reichen ganz nahe bis an die innere Fläche des Schützencylinders *o o*. In

der Zeichnung ist der Schützen ganz aufgezo- gen dargestellt, indem der untere Rand desselben auf der Höhe der Krone  $a$  steht. Die Axe ist oben mit einem Transmissionsrad versehen und es ist selbst- verständlich, dass ein Lagerstuhl vorhanden sein muss, um die Welle in ihrer richtigen Lage zu erhalten.

Das durch den Kanal  $h$  zufließende Wasser gelangt durch den Mantel  $k$  und den Schützensylinder  $o$  in den Bereich der Leitschau- feln  $n n$  herab, wird von denselben in horizontalem Sinne nach dem äussern Umfang der Leitschau- feln hinausgeleitet, schiesst daselbst nach tangentialer Richtung in einzelnen Strahlen hinaus, gelangt in den Bereich der Radschau- feln  $e$ , will nach gerader Linie ver- möge der Trägheit fortgehen, wird aber durch die Radschau- feln genöthigt, krummlinig fortzugehen, übt dadurch gegen diese Rad- schau- feln Pressungen aus und treibt das Rad nach der Richtung des Pfeiles herum. Zuletzt fällt es am äussern Umfang des Rades heraus und zieht in den Abflusskanal  $r$  fort. Es hat das Ansehen, wie wenn das Wasser bei seinem Uebertritt aus dem Einlauf- rad in das Turbinenrad gegen die Schau- feln des letzteren stossen müsste, wir werden aber in der Folge sehen, dass dies nicht geschieht, sondern dass in geregeltem Gang des Rades die Richtung der re- lativen Bewegung des Wassers gegen den innern Umfang des Tur- binenrades genau mit der Anfangsrichtung der Radschau- feln zu- sammenfällt. Wer sich über die konstruktiven Details dieser Tur- bine belehren will, beliebe die auf Tafel I. des grösseren Turbinen- werkes konstruktiv dargestellte *Fourneyron'sche* Turbine anzusehen.

*Fourneyron'sche Turbine, umgekehrte Aufstellung.* Tafel X., Fig. 3.

$a$  ist das Ende des Rohres durch welches das Wasser aus dem Zu- flusskanal zur Turbine herabgeleitet wird. Dieses Rohr  $a$  mündet in den Maschinencylinder  $b$  ein, auf welchen das Rohrstück  $c c$  ge- schraubt ist, das in der Mitte mit einem hohlen conoidisch ge- formten Körper versehen ist. Drei oder vier Arme  $e$ , die an  $a$  und  $c$  angegossen sind, halten denselben. Gegen  $a$  ist der Körper des Leitschau- felrades  $f f$  geschraubt.  $h h$  ist das Turbinenrad, ganz ähnlich konstruirt, wie früher beschrieben wurde. Die Axe hat unten einen Zapfen und dieser dreht sich in einer Pfanne, die von dem Körper  $a$  getragen wird. Oben ist die Axe durch ein Lager gehalten und mit einem Transmissionsrad versehen.

Turbinen dieser Art sind schon mehrmals ausgeführt worden. Für grössere Gefälle können sie wohl gebraucht werden, indessen in neuester Zeit sind sie nicht mehr in der Mode.

**Schottische Turbine.** Tafel X., Fig. 4 und 5. Diese Turbine ist dem Wesen nach das *Segner'sche* Rad oder die Turbine von *Manoury*. Auch kann man sie als eine Spezialisirung der *Fourneyron'schen* ansehen. Wenn man nämlich bei dieser letzteren die Leitschaufeln weglässt, und das Rad mit nur wenigen Rad-schaufeln versieht, endlich die umgekehrte Aufstellung anwendet, so entsteht diese *Schottische* Turbine. Diesen Namen hat sie in neuerer Zeit erhalten, weil sie in Schottland von einem Ingenieur Namens *Whitlaw* vielfach ausgeführt worden ist. Die oben dargestellte Turbine ist, was das Detail anbelangt, etwas anders eingerichtet, als die Turbine von *Whitlaw*. *a* ist das Zuflussrohr, es mündet in den Maschinencylinder *b*, der auf ein Sockelgehäuse gestellt ist. Auf diesen ist eine Röhre befestigt, die sich oben nach einer schirmförmigen Fläche *c c* erweitert. Das Rad hat drei Kanäle *d d d*, kehrt seine untere Oeffnung dem oberen Rande des Maschinencylinders zu, und daselbst ist eine Dichtung vorhanden, welche gegen Wasserverlust schützen soll, aber leider viele Reibung verursacht. Der Radkörper ist mit einer Axe *e* verbunden, die sich unten im Sockelgehäuse bei *f* in einer Pfanne dreht, oben durch ein Axenlager gehalten wird. Wenn der Grundsatz, auf welchem die *Fourneyron'sche* Turbine beruht, richtig ist, so kann diese *Schottische* Turbine unmöglich auf einem richtigen Grundsatz beruhen, denn sie entsteht ja, wie wir gesehen haben, nur durch Weglassung von wesentlichen Elementen der *Fourneyron'schen* Turbine. Die Praktiker haben lange für diese *Schottische* Turbine geschwärmt und ihre Einfachheit, Solidität und leichte Behandlung gerühmt. Allein das alles hat sich nicht bestätigt, die Turbine wird wenigstens auf dem Kontinent nicht mehr gebaut, und die Schwierigkeit der Herstellung einer sicher verschliessenden und doch wenig Reibung verursachenden Dichtung hat sich nur zu deutlich gezeigt.

**Vollturbinen mit übereinander liegenden Rädern.** Bei den *Fourneyron'schen* Turbinen liegen die beiden Räder (das Turbinenrad und das Leitrad) concentrisch in einander. Dies hat zur Folge, dass das Wasser ziemlich verwickelte Bahnen durchlaufen muss, um aus dem Zuflusskanal bis in das Turbinenrad zu gelangen, und dass ferner die Konstruktion dieser Turbine verhältnissmässig komplizirt ausfällt. Auch ist wenigstens bei Anordnungen für kleinere Gefälle die Aufstellung und Beaufsichtigung schwierig und etwaige Reparaturarbeiten lassen sich nur nach einer vorausgegangenen

lästigen Demontirung der Maschine vornehmen. Diese Erwägungen haben mich schon in der frühesten Zeit meiner Studien über die Turbine zu dem Gedanken geführt, dass es vortheilhafter wäre, die Räder übereinander zu legen und das Wasser nach vertikaler Richtung durchströmen zu lassen. Allein es gelang mir nicht, in diesem Falle einen zweckmässigen Schützen zur Regulirung des Wasserzufflusses ausfindig zu machen, und dies veranlasste mich damals, die Anordnung mit zwei übereinander liegenden Rädern aufzugeben. Wahrscheinlich haben diesen Gedanken auch Andere erfasst, aber zu einem glücklichen Erfolg ist derselbe erst bei der Turbine gediehen, die ich der Kürze wegen die *Jonval'sche* nennen will, weil die erste praktische Ausführung und spätere Verbreitung dieser Turbine mit *Jonval* beginnt. Die ersten praktisch günstigen Erfolge haben jedoch erst die Herren *André Köchlin* in Mülhausen erzielt. Die eigentliche Erfindung besteht bei diesen Turbinen nicht eigentlich darin, dass die Räder übereinander gestellt sind, sondern dass sie sich in einer je nach Umständen gekrümmten Röhre befinden, durch welche das Wasser aus dem Zuflusskanal in den Abflusskanal strömt. Indem das Wasser die in der Röhre befindlichen Räder durchströmt, gibt es die lebendige Kraft, die ihm vermöge des Gefälles zukommt, an das Turbinenrad ab und fliesst unten ohnmächtig ab. Diese Aufstellung der Räder in Verbindung mit der Uebereinanderstellung hat dieser Maschine ihren hohen praktischen Werth verliehen. In dem grösseren Werke über Turbinen findet man auf den Tafeln 5, 6, 7, 8 eine sehr grosse Anzahl von *Jonval'schen* Turbinen dargestellt; beinahe alle logischen Möglichkeiten. Hier müssen wir uns auf einige der wichtigsten dieser Anordnungen beschränken.

*Jonval'sche Turbine für kleine Gefälle.* Tafel X., Fig. 6 und 7. *a* ist der Zuflusskanal, *b* der Abflusskanal. Vom Boden des ersteren an hängt ein Rohr *c* herab, das oben konisch, unten cylindrisch geformt ist. Es taucht bis zu einer gewissen Tiefe in das Unterwasser ein. In diesem Rohr (dem Turbinenmantel) befinden sich die beiden Räder. *a* ist das unbewegliche Einlaufrad. Der Körper desselben kann am deutlichsten an der in Fig. 8 im Durchschnitt dargestellten Turbine erkannt werden. Dieser Körper ist ein cylindrischer Ring mit einem konischen Deckel, der an der Spitze eine Oeffnung hat und für den dichten Durchgang der Turbinenaxe mit einer Stopfbüchse versehen ist. Von dieser Wand gehen die Leitschaufeln aus, deren Form man sich auf folgende

Weise entstanden denken kann. Man verzeichne auf der äusseren cylindrischen Fläche des Radkörpers eine krumme Linie, welche den oberen Rand nahe unter einem rechten Winkel, den unteren Rand dagegen unter einem kleinen spitzen Winkel schneidet, und denke sich nun, dass eine gerade Linie längs der geometrischen Axe des Cylinders so herab bewegt werde, dass sie in jeder Position diese Axe senkrecht durchschneidet und durch einen Punkt der auf dem Cylinder verzeichneten Kurve geht. Hierdurch entsteht eine Art Schraubenfläche und dies ist die Form einer Leitschaufel des Einlaufrades. Denkt man sich, dass das ganze System der Schraubenflächen aller Leitschaufeln durch eine Kegelfläche geschnitten werde, deren Form mit der inneren Fläche des oberen konischen Theiles des Mantels  $e$  übereinstimmt, so erhält man die äusseren Begrenzungen der Schaufeln. Dieses Einlaufrad ist einfach in den konischen Trichter des Mantels eingelegt, so dass die äusseren Umfangskanten der Schaufeln die innere Fläche des Trichters berühren. Eine weitere Befestigung des Einlaufrades ist nicht vorhanden und nicht erforderlich. Das Turbinenrad  $e$  ist ähnlich gebildet. Der Körper desselben ist, wie am deutlichsten Fig. 8 zeigt, ein cylindrischer Ring mit einem ebenen Boden, der in der Mitte mit einer Hülse zur Befestigung an die Turbinenaxe  $g$  versehen ist. Die Schaufelflächen sind ebenfalls nach Schraubenflächen geformt. Die äusseren Umfangskanten liegen jedoch in der Fläche eines Kreiscylinders, dessen Durchmesser etwas kleiner ist, als der innere Durchmesser des cylindrischen Theiles des Mantels  $e$ . Wie aus Fig. 6 zu ersehen ist, sind die Krümmungen der Schaufeln des Turbinenrades den Krümmungen der Schaufeln des Leitrades entgegengesetzt, und es hat das Ansehen, wie wenn das aus den Leitschaufelkanälen ausströmende Wasser gegen die Schaufeln des Turbinenrades stossen müsste; allein, wenn das Turbinenrad im richtigen Gang ist, stimmt die Richtung der relativen Bewegung des aus den Leitschaufelkanälen ausströmenden Wassers gegen das Rad mit der Richtung der Radschaufeln an der oberen Ebene des Rades überein, und so kommt es dann bei diesem regelmässigen Gang oder Trieb, dass der Eintritt des Wassers in das Turbinenrad ohne Stoss erfolgt. Die Axe  $g$  des Rades dreht sich unten in einer Pfanne  $f$ , die durch drei oder vier vom Cylindermantel ausgehende eiserne Arme getragen wird; oben wird die Axe durch ein Axenlager gehalten und ist mit einem Transmissionsrad versehen. Das Wasser strömt aus dem Zuflusskanal durch die Kanäle des unbeweglichen Leitrades, springt in das Turbinenrad über, durchströmt es mit seiner lebendigen Kraft, treibt es nach der Richtung des Pfeiles

herum und fließt dann ohnmächtig niederwirbelnd in den Abflusskanal herab. Man erkennt sogleich, dass die Aufstellung und Bedienung dieser Turbine viel einfacher ist, als die *Fourneyron'sche*, indem die beiden Räder leicht von oben herab eingesetzt und nach oben hinauf herausgenommen werden können.

*Jonval'sche Turbine für größere Gefälle.* Tafel X., Fig. 8. Diese ganz im Durchschnitt dargestellte Turbine unterscheidet sich von der vorhergehenden nur durch zwei Dinge, 1) ist der cylindrische Theil des Mantels  $c$  viel länger und 2) sitzt der Mantel unten mit einzelnen rippenförmigen Füßen auf einer Grundplatte  $i$  auf, die eine konoidische Form hat. Auch ist am untern Rand des Mantels ein Ringschützen  $h$  angebracht, wodurch der Wasserzufluss regulirt oder auch ganz aufgehoben werden kann. Allein wir werden in der Folge bei der theoretischen Behandlung des Gegenstandes leider kennen lernen, dass dieser Schützen eigentlich nur zum gänzlichen Abstellen der Turbine gute Dienste leistet, zur Regulirung des Wasserzuflusses aber nicht gebraucht werden kann, denn wenn man z. B. den Schützen so weit niedersenkt, dass nur die Hälfte von derjenigen Wassermenge durchfließt, die bei ganz aufgezo- genem Schützen durchgeht, so wird das Güteverhältniss der Turbine, d. h. das Verhältniss zwischen dem Nutzeffekt, den sie entwickelt, und dem absoluten Effekt der Wasserkraft, sehr klein. Vortheilhaft kann also die Wasserkraft nur bei ganz aufgezo- genem Schützen benützt werden. Bei einer guten Regulirung müsste dagegen das Güteverhältniss ein gleich grosses bleiben, ob man viel oder wenig Wasser auf die Turbine wirken lässt. Es ist leicht zu erkennen, dass die Anwendbarkeit dieser Turbine beschränkt ist. Es darf nämlich, theoretisch gesprochen, die Höhe der unteren Ebene des Turbinenrades über dem Wasserspiegel im Abflusskanal nicht mehr als  $10^m$ , d. h. nicht mehr als die Höhe der Wassersäule betragen, welche durch den Druck der Atmosphäre getragen wird; ja in der Praxis kann diese Höhe nicht mehr als circa  $8^m$  sein; denn wenn sie höher als  $10^m$  und z. B.  $12^m$  wird, bildet sich unter dem Rand ein leerer Raum von  $2^m$  Höhe, durch welchen das Wasser aus dem Rad herabregnet, und diese Höhe von  $2^m$  ist für die Wirkung des Wassers auf das Rad ganz verloren. Aber innerhalb dieser Grenzen leistet diese Aufstellung vortreffliche Dienste, indem die Räder am oberen Ende des Rohres angebracht werden können, also leicht zugänglich sind, leicht eingesetzt und wieder herausgezogen werden können, die Turbinenaxe leicht und kurz sein kann, die relative Lage der Räder gegen den Mantel vollkommen gesichert ist, kostspielige Fun-

damentirungen und Brückenbauten nicht nothwendig sind u. s. w. Wenn es möglich wäre, einen ganz richtig wirkenden Regulirschützen anzubringen, würde diese Turbine wenig zu wünschen übrig lassen. Von den verschiedenen Regulirschützen wird später die Rede sein.

*Sonval'sche Turbine, mittlere Aufstellung.* Tafel XI., Fig. 1. Wenn das Gefälle grösser als 8 bis 10<sup>m</sup> ist, kann diese mittlere Aufstellung gewählt werden. Zwei solche Turbinen, eine von 80, die andere von 120 Pferdekraft, betreiben eine grosse Spinnerei zu Atzenbach im Badischen Wiesenthal. Sie sind auf der Tafel XVII. des grösseren Turbinenwerkes abgebildet und in Esslingen ausgeführt. Der Theil der Maschine bis zur oberen Ebene des Einlaufrades ist identisch wie bei der vorhergehenden Turbine, aber oberhalb des Einlaufrades erhebt sich ein mit einem Deckel geschlossener Cylinder *a*, nach welchem das Wasser aus dem Zuflusskanal *c* durch das Rohr *b* niederfließt. Das Rohr *b* sitzt unten auf einem Mauerwerk. Der Cylinder *a* muss noch durch eine in der Zeichnung nicht dargestellte Mauerplatte getragen und gehalten werden. Diese Aufstellung kann möglicher Weise für die grössten Gefälle gebraucht werden, denn die Höhe des oberen Rohres ist nicht beschränkt, und es ist nur nothwendig, dass die Höhe des Turbinenrades über dem Spiegel des Unterwassers nicht mehr als circa 8<sup>m</sup> betrage. Indessen, praktisch ist diese Aufstellung doch nicht, weil die Räder im Innern eingeschlossen, also schwer zugänglich sind. Will man sie heraus nehmen, und dann wiederum einsetzen, so muss der Deckel des Cylinders *a* los gemacht und abgehoben werden. Auch die Stopfbüchse am Deckel für den Durchgang der Axe ist fatal, weil für Wellen, die sich drehen, Stopfbüchsendichtungen nicht gut gemacht werden können. Ich habe schon in meinem ersten Werk über Turbinen eine ähnliche Aufstellung beschrieben, und nach dieser wurden die Atzenbacher Turbinen ausgeführt, und zwar gegen meinen Rath. Indessen die Ausführung gelang doch, die Turbinen sind heute noch im Gang, leisten gute Dienste, aber über Unbequemlichkeit der Behandlung beklagt man sich doch, und die Zapfen machen viele Schwierigkeiten, was theilweise von dieser Aufstellungsart herrührt.

*Sonval'sche Turbine, umgekehrte Aufstellung.* Tafel XI., Fig. 2. Diese Aufstellung habe ich im Jahre 1845 für die Lokalität *Atzenbach* ausgedacht und zur Ausführung vorgeschlagen. Der Fabrikant hatte aber nicht den Muth, meinen Vorschlag anzunehmen.

Einige Jahre später hat *Trück* eine solche Turbine für eine Fabrik bei Frankfurt am Main ausgeführt, die noch im Gange ist und gute Dienste leistet. Sie ist auf Tafel XVI. des grösseren Turbinenwerkes konstruktiv dargestellt. Das Wasser wird aus dem Zuflusskanal *a* durch das Rohr *b* in den auf einem Fundament stehenden Maschinencylinder *c* geleitet. Vor demselben ist eine Drehklappe *i* angebracht. Auf den oberen Rand des Cylinders *c* ist ein kurzer mit äusseren Flantschen versehener Cylinder *a a* geschraubt, der im Innern einen konoidisch geformten Körper *e* enthält. Drei von der Cylinderwand ausgehende Arme halten diesen Körper, und auf denselben ist das Einlaufrad *g* gelegt und angeschraubt. Die Lage desselben ist jedoch die umgekehrte von derjenigen der früher beschriebenen Turbinen. Die Leitschaufeln sind nämlich hier gegen die obere Ebene des Leitrades schwach geneigt, bilden aber mit der untern Ebene beinahe einen rechten Winkel. Gegen den Körper *e* ist auch eine Pfanne befestigt, in welcher der untere Zapfen der Turbinenaxe läuft. *h* ist das Turbinenrad, ebenfalls in umgekehrter, d. h. in einer solchen Stellung, dass die Radschaufeln die untere Ebene des Rades unter einem grösseren, die obere Ebene des Rades dagegen unter einem kleinen Winkel schneiden. *f* ist eine an die Flantsche des Cylinders *a* geschraubte, unten konisch, oben cylindrisch geformte Umhüllung. Die innere Fläche des Kegels berührt die äusseren Umfangskanten der Leitschaufeln. Zwischen den Umfangskanten der Radschaufeln und der inneren cylindrischen Fläche des Mantels *f* ist jedoch ein kleiner Spielraum gelassen. Der Abflusskanal *k* umgibt von drei Seiten den Mantel *f*. Die Wirkung des Wassers auf die Turbine ist selbstverständlich, und ohne in eine theoretische Betrachtung einzugehen, ist zu errathen, dass auch bei dieser Aufstellung die Kraft des Wassers eben so nutzbar gemacht werden kann, wie bei den früher beschriebenen Turbinen. Theoretisch gesprochen kann diese Anordnung selbst für die höchsten Gefälle gebraucht werden; geht man aber auf die praktischen Verhältnisse ein, so erkennt man leicht, dass die Anwendbarkeit dieser Turbine beschränkt wird. Für kleine Gefälle und grosse Wassermassen ist doch die direkte Aufstellung Tafel X., Fig. 6 weit einfacher, ebenso auch für mittlere Gefälle Tafel X., Fig. 8.

Für sehr hohe Gefälle und ganz kleine Wassermassen fällt diese Turbine wie alle Vollturbinen so klein aus, dass sie nur mehr noch eine Modellgrösse hat, und selbst bis zur Kleinheit einer Tabatiere zusammengeht, und dann werden die Krümmungshalbmesser der Schaufelkrümmung so klein, dass das Wasser bei seiner grossen Geschwindigkeit den so stark gekrümmten Schaufeln nicht

mehr folgt; ferner wird die Geschwindigkeit dieser Turbine bei hohem Gefälle so gross, dass die Zapfen nicht mehr haltbar sind. Die Turbine bei Frankfurt hat nur einen Durchmesser von 0.3<sup>m</sup> und macht in der Minute 720 Umdrehungen.

**Partial-Turbinen.** Partial-Turbinen wollen wir solche Turbinen nennen, bei welchen das Wasser gleichzeitig nur auf einen Theil der Radschaufeln wirken kann. Sie unterscheiden sich von den Voll-Turbinen durch die Konstruktion des Einlaufes, der so gebildet ist, dass er das Wasser nicht überall, sondern nur an einzelnen Stellen in das Rad eintreten lässt. Diese Partial-Turbinen erhalten bei gleicher Wassermenge viel grössere Dimensionen und machen deshalb viel weniger Umdrehungen als Voll-Turbinen, sind demnach für die Benützung von kleinen Wassermengen und grossen Gefällen geeignet. Nur ist leider die Effektleistung der Partial-Turbinen nicht so günstig als jene der Voll-Turbinen.

**Tangentialräder.** Die sogenannten Tangentialräder sind im Wesentlichen *Fourneyron'sche* Partial-Turbinen. Es gibt deren mehrere Arten. Wir beschränken uns hier auf die Beschreibung von nur einer Art, welche in theoretischer Hinsicht vollkommen, und in praktischer Hinsicht von Werth ist, nämlich die Anordnung Tafel XI, Fig. 3 und 4, bei welcher das Wasser am äussern Umfang des Rades eintritt und am innern Umfang austritt. Das Wasser gelangt durch das Zufussrohr *a* in den Einlauf *b*, wo zwei Schieber *c c* angebracht sind, die durch Schrauben und Räder vorgeschoben oder zurückgezogen werden können, wodurch der Wasserzfluss regulirt werden kann. Die Radflächen begegnen dem äusseren wie dem inneren Umfang unter kleinen Winkeln.

### Theorie der *Fourneyron'schen* Turbinen.

**Bewegung und Wirkungsart der *Fourneyron'schen* Turbine.** Im Vorhergehenden haben wir die Turbinen nur äusserlich beschrieben, ohne in die dynamischen Vorgänge tiefer einzudringen. Wir haben dadurch eine äussere Anschauung von den mannigfaltigen Anordnungen gewonnen, und gelegentlich durch Zwischenbemerkungen die praktischen Vortheile und Nachtheile, welche den einzelnen Anordnungen zukommen, angedeutet. Wir wenden uns nun zur Theorie dieser Maschinen, um diejenigen Bedingungen kennen zu lernen, welche erfüllt sein müssen, damit