

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 7/8 (1886)
Heft: 26

Artikel: Ueber zulässige Maximaltourenzahlen und Maximalgefälle für Turbinen
Autor: Reifer, J.J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-13649>

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: 17.05.2025

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

der rechten Seite: St. Anna mit dem Kind Maria, unterhalb den brennenden Dornbusch mit dem Monogramm Marias.

Der Hochaltar und die beiden Seitenaltäre, sowie die Kanzel, der Orgelprospect und die Beichtstühle, sind Werke der rühmlichst bekannten Firma Klem in Colmar, von welcher auch die Hauptkanzel unserer St. Elisabethenkirche seiner Zeit ausgeführt wurde.

Das Orgelwerk mit 34 Registern und drei Manualen wurde von den Herren Gebrüder Klingler in Rorschach geliefert.

Das Geläute von der Firma Causard in Colmar, vier Glocken F. G. A. C., ist ein melodisches und wiegt 14 400 kg.

Der Bauplatz kostete 132 500 Fr. oder 57 Fr. pro m². Der Rohbau incl. Canalisation, Zimmerarbeit und Thurmbau wurde zu ca. 230 000 Fr., alle übrigen Arbeiten nebst sämtlichem Mobiliar (Altäre, Kanzel, Beichtstühle, Be-

Collegen, R. Heinrichs, für Ausarbeitung der Pläne und Bauleitung, Herrn Baumeister Zehnder, den Uebernehmer der Erd-, Maurer-, Steinhauer- und Zimmerarbeiten, Herrn Müller, Bildhauerarbeit, HH. Creppi und Ritter, Uebernehmer der Gypserarbeit, der Stuccaturen, des Terrazzobodens, wobei ich hauptsächlich noch auf den Mosaikboden der Chorapsis aufmerksam mache, das Schiffelein Petri darstellend. Die Herren Gessler, Gassler und Böhler, Bestuhlung. Die Herren Gebrüder Gürtler, Portale. Herr Fröhle, Chorstühle und Opferstöcke. Die Herren Buss, Lambrecht und Lotz für Schlosserarbeiten.

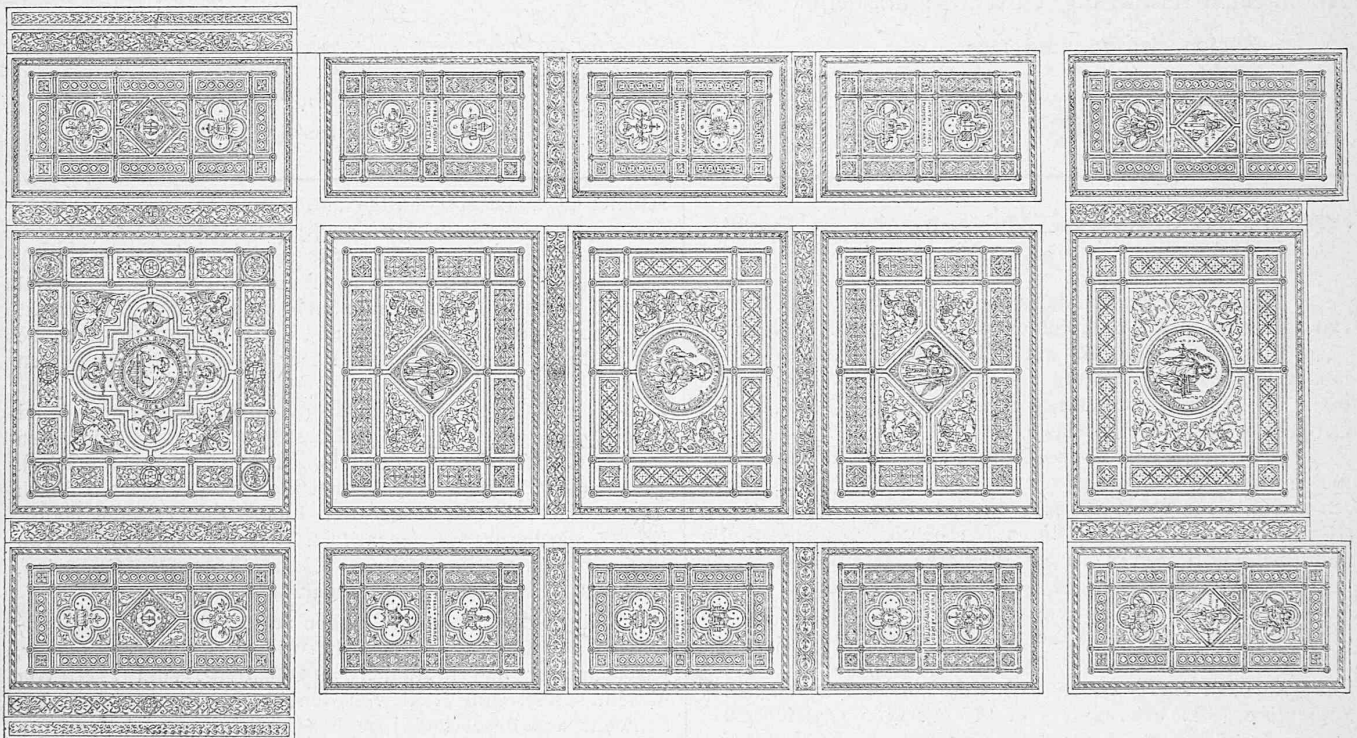
Die Herren Heinr. Tschopp, Kiefer, Ritter-Lehmann, Schnetzler, Holinger für Spengler-, Kupferschmiedarbeit und galvanische Vergoldung, Herrn Fröb, Schieferdeckerarbeit. Herren Vultier und Werdenberg, Gaseinrichtungen. Herren Schulthess und Sohn, diverse Tapezierarbeit.

Plafond.

Chorseite.

Linkes Seitenschiff.

Orgelseite.



Rechtes Seitenschiff.

Masstab 1 : 200.

stuhlung, Orgel, Glocken etc.) wurden zu ca. 122 600 Fr. vergeben.

Ich kann nicht schliessen, ohne einer Pflicht der Anerkennung und der Dankbarkeit nach zwei Seiten hin Genüge zu leisten. Nie mehr, als bei Ausführung solcher Bauten fühlt der Architect, wie sehr er mit seiner Arbeit und seinen Leistungen abhängig ist von der Arbeit und den Leistungen der ihm übergestellten und ihm untergestellten Kräfte. Als erstere nenne ich Herrn Pfarrer Jurt, welcher mit der ihm eigenen Energie gewonnen und gesammelt hat und werben und sammeln muss, bis auch der letzte Heller der Bau-schuld getilgt sein wird.

Und ihm zunächst steht an der Spitze der Commission ihr Präsident Herr J. J. Hauser, dessen Initiative wir die Durchführung der projectirten künstlerischen Ausstattung und hauptsächlich auch die Realisirung unserer Pläne in Bezug auf den polychromen Schmuck der Kirche zu verdanken haben.

Speciell aber denke ich derer und danke ich denjenigen, welche als Mitarbeiter bei diesem Bauwerke und als Ausführende desselben mir hülffreich zur Seite standen. Ausser den schon früher genannten Herren nenne ich: Unseren

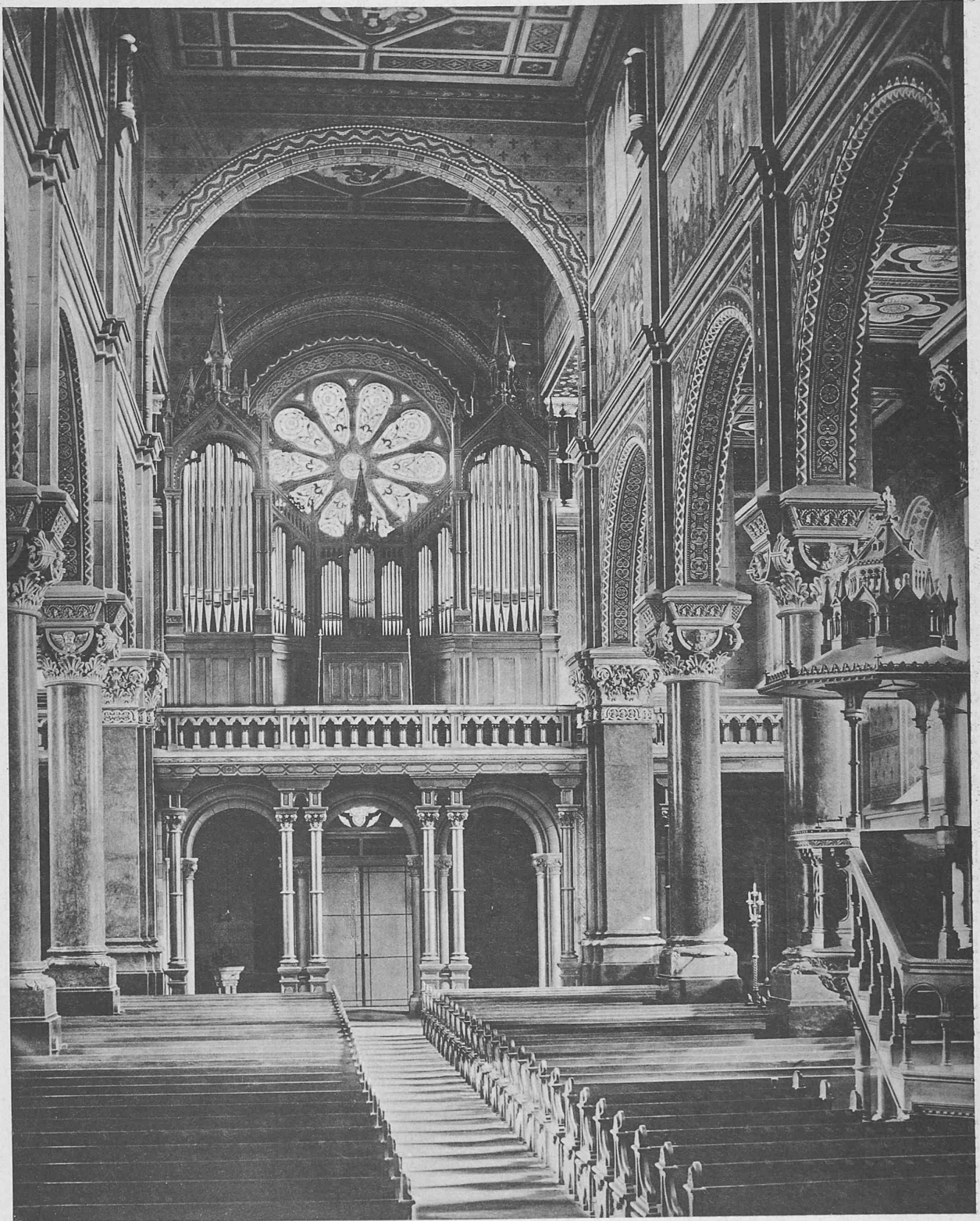
Die Bauarbeiten haben im Ganzen 1³/₄ Jahre in Anspruch genommen, Beginn der Erdarbeit 17. März 1884, Grundsteinlegung 22. Mai 1884, Aufrichtfeier 4. November 1884. Am 24. December 1885 wurde die Kirche durch den Herrn Stadtpfarrer Jurt benediziert und dem Gottesdienst übergeben und am 23. Mai 1886 vollzog der Bischof von Basel, Dr. Friedr. Fiala die feierliche Einweihung.

Paul Reber.

Ueber zulässige Maximaltoureanzahlen und Maximalgefälle für Turbinen.

Von Masch.-Ing. J. J. Reifer.

In meiner Praxis begegnete ich oft einem tiefgewurzelten Misstrauen gegen schnell laufende Turbinen und hörte selbst Mechaniker behaupten, es sei nicht zweckmässig, Turbinen mit mehr als etwa 300 Umdrehungen per Minute laufen zu lassen, da grössere Tourenzahlen einen schlechten Wirkungsgrad, Warmlaufen und sonstige Betriebsstörungen zur Folge hätten.



Photographie von J. Koch in Basel.

Lichtdruck von E. Bossert in Basel.

Marienkirche zu Basel.

Erbaut von Architect PAUL REBER in Basel.

Innere Ansicht gegen die Orgel.

Seite / page

164(3)

leer / vide /
blank

Das sind Vorurtheile, die wir um so eher bekämpfen müssen, als gerade in der Schweiz mit ihren hohen Gefällen sich sehr vortheilhaft Turbinen mit hohen Tourenzahlen verwenden lassen.

Vor Allem ist zu bemerken, dass die Umdrehungszahl als solche allein nicht in Betracht kommt, sondern nur in Verbindung mit dem grössten rotirenden Durchmesser der Turbine. Aus Durchmesser und Tourenzahl resultirt nämlich die Umfangsgeschwindigkeit und nur die Letztere ist es, die ein Maximum nicht überschreiten darf.

Dieses Maximum wird bestimmt durch die Festigkeit des Materials, welche der, in Folge der Centrifugalkraft in einem sich rasch drehenden Ringe auftretenden Spannung Widerstand zu leisten hat.

Unter der Voraussetzung, dass die Dicke des rotirenden Ringes klein sei gegenüber der Entfernung vom Centrum, erhalten wir:

$$\text{I. } \mathcal{E} = \frac{v^2 \cdot \gamma}{g} \text{ oder:}$$

$$\text{II. } v = \sqrt{\frac{g \cdot \mathcal{E}}{\gamma}}$$

wobei: $g = 9,81$.

$\mathcal{E}$ = die p. Querschnittseinheit auftretende Spannung,
 γ = Gewicht der Cubikeinheit des betreffenden Materials,

v = die der Spannung $\mathcal{E}$ entsprechende Umfangsgeschwindigkeit bedeutet.

Wenn nun $\mathcal{E}$ gleich der Bruchspannung des verwendeten Materials wird, so fliegt der Ring auseinander. Die Geschwindigkeit $v_{\max}$, bei der dies geschieht, ist nach Formel II abhängig vom Verhältniss der Bruchspannung zum specifischen Gewicht des betreffenden Materials.

Setzen wir für:

	Gusseisen	Bronze	Schmiedeseisen	Weicher Stahl
Bruchspannung p. cm^2	1300	2300	3800	4500 kg
Gewicht pro cm^3	$\frac{7,3}{10^3}$	$\frac{8,4}{10^3}$	$\frac{7,7}{10^3}$	$\frac{7,8}{10^3}$ kg

und rechnen wir die Geschwindigkeiten aus, bei denen ein Zerreißen stattfinden muss, so erhalten wir in runden Zahlen:

	Gusseisen	Bronze	Schmiedeseisen	Weicher Stahl
$v_{\max}$ (Zerreißen)	130	165	220	235 m p. Secunde
und v zulässig	26	33	44	47 " " "

bei Annahme einer 5 fachen Sicherheit.

Die Kränze der Turbinenräder sind fast ausnahmslos aus Gusseisen, dem man in der Praxis ohne zwingende Gründe keine grössere Umfangsgeschwindigkeit als 25 m per Secunde zumuthet. Die Tendenz, möglichst hohe Gefälle noch vortheilhaft auszunützen, veranlasste jedoch in letzten Jahren die Turbinenconstructeurs, mit der Maximalumfangsgeschwindigkeit noch höher zu gehen, bis auf 30 und 32 m per Secunde. Diese Geschwindigkeit ist nur bei prima Material und Arbeit erlaubt und soll beim normalen Gang um so weniger überschritten werden, als dieselbe bei eventuellem Leergang ja doppelt so gross und dadurch sehr gefährlich würde.

Wie wir oben gefunden haben, entspricht bei Schmiedeseisen und weichem Stahl dem Zerreißen eine Umfangsgeschwindigkeit von 220 resp. 235 m per Secunde gegenüber von 130 m bei Gusseisen. Es kann daher nützlich sein, wenn bei aussergewöhnlicher Umfangsgeschwindigkeit die Laufräder zur Erhöhung der Sicherheit mit warm aufgezogenen schmiedeeisernen Reifen gebunden werden. Dabei ist jedoch nöthig, dass die schwierige Arbeit des „Aufziehens“ durch zuverlässiges und geübtes Personal besorgt werde, sonst treten in den umgelegten Ringen schon beim Erkalten Spannungen auf, die das Schmiedeseisenband nahezu oder ganz zum Reißen bringen, bevor dasselbe durch die Wirkung der Centrifugalkraft in Anspruch genommen wurde. Besser ist, sich nicht zu sehr auf diese schmiedeeisernen Ringe zu verlassen und mit der Geschwindigkeit nicht über 30 m per Secunde zu gehen.

Da zwischen der Umfangsgeschwindigkeit v , dem Durchmesser d und der Tourenzahl n per Minute folgende Beziehung besteht:

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ woraus:}$$

$$n = \frac{v \cdot 60}{d \cdot \pi}, \text{ so erhalten wir}$$

bei Annahme einer Maximalumfangsgeschwindigkeit von 30 m per Secunde für verschiedene Durchmesser folgende Touren per Minute:

Durchmesser:	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75 m
Touren per m:	2300	1150	766	573	460	383	330

Bei sehr hohen Gefällen reicht schon eine kleine Wassermenge zur Leistung einer grösseren Kraft aus. So ist beispielsweise bei 100 m Gefälle per effective Pferdekraft nur 1 l per Secunde erforderlich. Da genügt dann meistens ein einziger oder wenig Einlaufcanäle, so dass der Durchmesser des Laufrades innert weiten Grenzen beliebig gewählt und der gewünschten Tourenzahl angepasst werden kann. Auf diese Weise können schnellgehende Maschinen und Apparate wie Dynamo's, Ventilatoren, Circularsägeu. s. w. zweckmässig ohne Zwischentransmission direct mit den Turbinen verbunden werden und wird gerade bei hohen Geschwindigkeiten durch Wegfall der Transmission die Betriebssicherheit bedeutend erhöht. Die Verhältnisse sind bei den hohen Gefällen gewöhnlich derart, dass am richtigsten Partial-Girardturbinen gewählt werden. Kommt es auf den Nutzeffect nicht besonders an, so kann der Durchmesser noch kleiner genommen und so noch grössere Tourenzahlen erhalten werden, als auf vorstehender Tabelle notirt sind. So steht bei Herrn Ingenieur Schmid-Sulzer in Winterthur ein Girardturbinchen, das bei 50 m Gefälle 5000 Revol. per Minute macht. Mit kleinen, in die Rohrleitung eingeschalteten Jonvalturbinechen können, je nach dem Gefälle 5000 bis 10000 Touren per Minute erzielt werden.

Die Furcht vor dem Warmlaufen der Lager oder Zapfen bei so grossen Tourenzahlen ist bei guter, auf Erfahrung basirender Ausführung unbegründet, ebenso sind die Bedenken gegen allzustarke Ventilationswirkung (Winderzeugung) durch die Praxis widerlegt.

So haben denn auch die schweizerischen Turbinenbauer seit mehreren Jahren unbedenklich Gefälle bis auf 200 bis 250 m mit den entsprechenden hohen Tourenzahlen erfolgreich angewendet. Von den durch die Firma J. J. Rieter & Cie. in Winterthur ausgeführten Turbinen dieser Kategorie will ich Folgende hervorheben:

Bestimmung	Leistung H. P.	Gefälle m	Touren p. Min.	Bemerkungen
Arlbergbahn	30—50	180	1600	8 Stück Gir. m. horiz. Achse für Ventilation und electriche Beleuchtung
"	12	80	1500	2 Stück Gir. m. horiz. Achse
Acquedotto di Ferrari-Galliera a Genova	2	120	1420	3 Stück Gir. mit horiz. Achse
	4	120	850	3 " " " " "
	1—4	100	1270	27 " " " " "
	4—8	100	780	7 " " " " "
Dynamitfabrik Isleten	2	4	440	1 " Jonval mit horiz. Achse
G. Odino, Genova	6	80	700	1 " Gir. mit horiz. Achse
Eschweiler Bergwerk	35	100	1300	1 " " " " "
	3—4	260	1600	2 " " " " "
Ing. Widmann, Weitnau	1	25	410	" " " " "
"	2	40	800	2 " " " " "
Walther Frey in Hürzel	18	120	1600	Gir. mit horiz. Achse (Dynamo)
Rebora, Sampierdarena	12	120	380	" " " " (Mühle)
Rieter, Ziegler & Cie., Neftenbach	1	40	800	" " " " "

Ich notire obige Motoren, weil mir deren Construction und Schicksal genau bekannt sind. Andere Constructeurs werden ähnliche Anlagen zu verzeichnen haben. So geben die HH. Ziegler und Bosshardt in Zürich für ihre kleinen Turbinen Touren von 180 bis 1600 per Minute für Gefälle von 20 bis 140 m.

Der Uebergang zu höhern Tourenzahlen wurde mit den, s. Z. durch die Firma Escher, Wyss & Cie. eingeführten Zuppinger'schen Tangentialrädern gemacht, die bekanntlich bei hohen Gefällen gute Dienste leisteten, bis sie durch die

richtiger construirten Partial-Girard-Turbinen verdrängt wurden.

Mit Unrecht wurden oft die grossen Tourenzahlen der Tangentialräder für den geringen Nutzeffect verantwortlich gemacht. Der Fehler lag in dem Arrangement mit äusserer, möglichst tangentieller Beaufschlagung, wobei der ungehinderte Austritt aus dem Laufrad fehlte und ein grosser Wasserverlust am Spalt unvermeidlich war. Die richtigste practische Anordnung für Turbinen mit hohem Gefäll und wenig Wasser ist unzweifelhaft die Girardturbine mit horizontaler Achse und innerer Beaufschlagung. (Canson- oder Schwammkrug-Turbine.)

Die gleiche Umfangsgeschwindigkeit auf der ganzen Breite des Laufrades erlaubt eine einfache Schaufelconstruction, und der grössere Umfang des Rades auf der Austrittsseite gibt auch bei kleinen Austrittswinkeln und mässiger Verbreiterung genügend Platz für den so nothwendigen, vollständig freien Austritt, während man bei äusserer Beaufschlagung schon bei der Berechnung Schwierigkeiten hat, das Wasser aus dem kleinern innern Umfang des Laufrades herauszubringen. Dazu kommt, dass den hohen Gefällen entsprechend, die absolute Austrittsgeschwindigkeit immer noch relativ gross wird. (Bei 100 m Gefäll etwa 6 m per Secunde.) So wird das austretende Wasser rasch auf den gegenüberliegenden Umfang des Laufrades treffen und sich peitschend hin und her geworfen werden, wie man das in natura deutlich beobachten kann. Ein solcher „Austritt mit Hindernissen“ muss natürlich den Nutzeffect beeinträchtigen.

Durch Festsetzung einer zulässigen Maximalumfangsgeschwindigkeit der Turbinenräder ist auch schon das anwendbare Maximalgefälle bestimmt, da bei guten Turbinen die Umdrehungsgeschwindigkeit in einem bestimmten Verhältniss zum Gefälle stehen muss.

Es sei wieder v = äussere Umfangsgeschwindigkeit in m

H = effectives Gefälle in m

$g = 9,81$

k = Coefficient

so ist: III. $v = k \sqrt{2gH}$ woraus:

$$\text{IV. } H = \frac{v^2}{k^2 \cdot 2g}$$

Setzen wir nun $v_{max} = 30 m$ per Secunde, so erhalten wir nach IV für verschiedene k folgende Maximalgefälle:

Action					Reaction				
$k = 0,3$	$0,35$	$0,4$	$0,45$	$0,5$	$0,55$	$0,6$	$0,65$	$0,7$	$0,75$
$H_{max} = 500$	375	286	228	183	152	128	109	94	82 m

Es entspricht nun $k = 0,5$ der Construction, die gewöhnlich als Druck=Actions=Girardturbine bezeichnet wird, während $k = 0,75$ dem meistens angewendeten Reactionsgrad der Ueberdruck = Reactions = Jonvalturbine entspricht. An diese beiden Grenzfälle ist man durchaus nicht gebunden. Die Natur kennt den Sprung von der reinen Druckturbine zur Ueberdruckturbine mit einzig richtigem Reactionsgrad nicht. Mit allen Umfangsgeschwindigkeiten von $v = 0,5 \sqrt{2gH}$ (Ueberdruck = 0) bis zu $v = 0,75 \sqrt{2gH}$ (Ueberdruck etwa $\frac{1}{2} H$) lassen sich gute Resultate erzielen, wenn nur die übrigen Hauptelemente richtig gewählt sind.

Da bei hohen Gefällen fast ausnahmslos partiell beaufschlagte und somit ohne Ueberdruck arbeitende Turbinen zur Verwendung kommen, so sind für die Frage des grössten zulässigen Gefalles die der Actionswirkung entsprechenden Coefficienten der Umfangsgeschwindigkeit massgebend. Den vortheilhaftesten Wirkungsgrad darf man von einer Druckturbine mit V ungefähr $0,5 \sqrt{2gH}$ erwarten, also $k = 0,5$. Mit kleinerem k nimmt der Wirkungsgrad η annähernd nach folgender Tabelle ab:

$k = 0,5$	$0,45$	$0,4$	$0,35$	$0,3$
$\eta = 0,75$	$0,67$	$0,6$	$0,51$	$0,43$

Es wäre somit nach unserer frühern Tabelle ein Gefälle von 183 m das höchste, was noch mit dem Maximal-effect von mindestens 75 % ausgenützt werden könnte, während man sich bei 280 m mit 60 % und bei 500 m mit nur etwa 43 % begnügen müsste.

Dass auch bei den hohen Gefällen von 180 m trotz einer Austrittsgeschwindigkeit aus dem Leitapparat von mehr als 50 m pro Secunde ein Wirkungsgrad von über 75 % noch erreicht werden kann, ist durch gewissenhaft ausgeführte Bremsproben erwiesen. Ich verweise hier auf Bd. XXVI Heft 6 der Zeitschrift d. Ver. deutsch. Ing., wo die Turbinen-Bremsversuche in der mechanischen Bindfadenfabrik Immenstadt ausführlich mitgetheilt sind. Nach denselben ergab die von der Firma J. J. Rieter & Cie. gebaute 400pferdige Turbine mit horizontaler Achse und innerer Beaufschlagung bei einem Gefälle von 174 m einen Wirkungsgrad von 76,4 %, wobei die Wassermenge mittelst Ueberfall so gemessen wurde, dass sich als Austrittsgeschwindigkeit aus dem Leitrad ergab:

$$c = 0,95 \cdot \sqrt{2gH}$$

somit eher zu hoch als zu niedrig berechnet wurde, da gewöhnlich $c = 0,85$ bis $0,9 \sqrt{2gH}$ genommen wird. In dem eben citirten Heft findet sich noch eine weitere interessante Abhandlung über Hochdruckturbinen von Ingenieur Krumper in Augsburg. Dieselbe enthält Daten über 9 durch Schweizerconstructeurs ausgeführte Anlagen für Gefälle von 51 bis 175 m.

In Bd. VII No. 18 der Schweiz. Bauzeitung sind durch Ingenieur Allemann zwei Turbinen für 500 und 440 m Druckhöhe erwähnt. Es wäre interessant zu erfahren, auf welche Wirkungsgrade hiebei gerechnet wurde.

Die Ausbeutung hoher Gefälle durch Turbinenanlagen wird um so ausgedehnter werden, als es Wissenschaft und Praxis mehr und mehr gelingt, die elementare mechanische Arbeit auf einfache Weite in ihre verschiedenen Erscheinungsformen, wie Licht, Wärme, Electricität etc. überzuführen.

Unsere schweizerischen Flüsse und Bächen könnten noch tausende von Pferdekraften abgewonnen werden. Gletscher und Schneeberge bilden ein unerschöpfliches, sich fortwährend wieder ergänzendes Kraftmagazin, dessen wirtschaftliche Bedeutung für unser liebes Schweizerland erst dann voll gewürdigt werden wird, wenn die Steinkohlen seltener werden oder ganz ausbleiben. Aber schon jetzt sollten die 600 000 t Steinkohlen, die wir jährlich aus Deutschland beziehen und für die wir mindestens 12 000 000 Fr. bezahlen zu vermehrter Ausnutzung unserer Wasserkräfte anspornen!

Erfindungsschutz.

Mit Ausnahme des vorgestrigen überraschenden Entscheides hat sich die Debatte über die Erfindungsschutzfrage ziemlich genau so abgespielt, wie wir s. Z. vorausgesetzt haben. In der Eintretensfrage fand der doctrinäre Standpunkt durch Herrn Dr. Sulzer von Winterthur seinen würdigen Vertreter, während Herr Geigy-Merian von Basel für die Interessen der Farbenindustrie, die ja auch seine eigenen sind, in die Schranken trat. Beide Redner wollten von dem Erfindungsschutz überhaupt nichts wissen. Herr Geigy bezeichnete das Patentwesen als ein Patentunwesen, das der in der Freiheit erblühten schweizerischen Industrie nur schädlich sein könne. Er machte dem Bundesrath den Vorwurf einseitigen Vorgehens und beantragte desshalb Verschiebung der Sache, um die Acten hierüber vervollständigen zu können. Mit dem schwersten philosophischen und staatsrechtlichen Rüstzeug hatte sich Dr. Sulzer gewappnet. Wir hatten Gelegenheit dessen Rede in einer hiesigen Zeitung in extenso zu lesen, müssen indessen gestehen, dass wir dieselbe weder so originell noch so geistreich gefunden haben, wie vielfach gerühmt wurde. Herr Sulzer vertrat den Standpunkt, dass der staatliche Schutz der Erfindungen auf die Gewährung eines Monopols hinauslaufe. Dies ist weder originell noch neu, sondern sogar sehr alt und antiquirt. Als König Jacob I. von England im Jahre 1623 genöthigt wurde einen Beschluss des Parlaments zu sanctioniren, der die Abschaffung aller Monopole und königlichen Privilegien zum Gegenstande hatte, da gab es auch Staatsmänner, welche ähnlich wie Herr Dr. Sulzer argumentirten. Das