

KAIS. KÖNIGL.



PATENTAMT.

Österreichische

PATENTSCHRIFT N^r. 74244.

DR. TECHN. VICTOR KAPLAN IN BRÜNN.

**Laufschaufelregelung für schnelllaufende Kreiselmaschinen mit Leitvorrichtung
(Wasser-, Dampf- oder Gasturbinen, Kreiselpumpen oder -gebläse).**

Angemeldet am 7. August 1913. — Beginn der Patentdauer: 15. Februar 1917.

Es ist bekannt, daß der Wirkungsgrad der Kreiselmaschinen bei einem bestimmten Gefälle H von der durchfließenden Wassermenge Q und der vorhandenen Drehzahl n abhängig ist. Für einen bestimmten Wert von Q und n erreicht der Wirkungsgrad seinen Höchstwert und hat jede Veränderung dieses günstigsten Wertes von Q und n eine Abnahme des Wirkungsgrades zur Folge. Theoretisch ist zwar ein solcher idealer Mechanismus denkbar, der es ermöglicht, auch bei beliebigen Werten von Q und n einen gleich guten Wirkungsgrad zu erzielen, doch scheitert die vollständige praktische Verwirklichung einesteils an der Unmöglichkeit der Herstellung einer mit Q und n gesetzmäßig deformierbaren Leit- und Laufschaufelfläche, andererseits an der Verschiedenheit der im allgemeinen mit Q und n veränderlichen Flüssigkeitsreibungsverluste. Aus diesem Grunde können nur Näherungswege besprochen werden, von denen zunächst die bisher bekannten kurz geschildert werden sollen.

Am einfachsten wird die Regelung der Menge des durch die Turbine oder die Kreiselpumpe fließenden Arbeitsmittels entweder durch Drosselung mit Hilfe von Schiebern, Drosselklappen, Ventilen, Hähnen oder dgl. erzielt oder man verwendet drehbare Leitschaufeln (Finksche Drehschaufeln), die die lichte Durchgangsweite zwischen zwei Nachbarleitschaufeln von einem bestimmten Höchstwert bis auf Null herabzubringen gestatten. Obwohl die letztere Regelungsart der ersteren überlegen ist, so hat doch die Regelung mit drehbaren Leitschaufeln besonders bei hochwertigen Schnellläufern den Nachteil, daß der Wirkungsgrad mit abnehmender Beaufschlagung rasch sinkt. Der rasche Abfall des Wirkungsgrades ist durch den Umstand begründet, daß durch eine Verdrehung der Leitrad-schaufeln zwar eine Veränderung der Leitradquerschnitte und der Leitradwinkel stattfindet, die Laufradquerschnitte und die Laufradwinkel jedoch ungeändert bleiben. Wird daher der Wasserzufluß zum Laufrad verringert, so muß sich auch die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers durch das Laufrad verkleinern, weil an den Zellenquerschnitten des Laufrades nichts geändert wurde. Durch diesen Umstand ist jedoch die geordnete (stoßfreie) Strömung des Wassers durch das Laufrad gestört, weshalb im Laufrad und im Saugrohr Wirbel auftreten müssen, die den erwähnten Abfall des Wirkungsgrades verursachen.

Es lag daher die Anwendung solcher Vorrichtungen nahe, die eine teilweise oder vollständige Absperrung des freien Laufradzellenquerschnittes gestatten, um auch bei veränderlicher Beaufschlagung die Beibehaltung der gleichen Durchflußgeschwindigkeit durch das Laufrad zu ermöglichen. Soll eine solche Vorrichtung wirklich den gewünschten Zweck erfüllen, so müßte z. B. bei halber Beaufschlagung auch die Hälfte des freien Durchgangsquerschnittes der Laufradzellen abgesperrt werden. Es müßte daher die Wandstärke der Laufradschaufeln bis zum halben freien Zellenquerschnitt reichen. Es ist selbstverständlich, daß bei derartig verdickten Schaufelkanten eine geordnete Strömung nicht möglich ist und die auftretenden Stoß- und Wirbelverluste einen erheblichen Wirkungsgradabfall bedingen. Wird jedoch die Schaufelverdickung (Querschnittsversperrung) nur in die Mitte der Laufradzellen verlegt, so läßt sich der gewünschte Zweck einer bei allen Beaufschlagungen gleichen Durchflußgeschwindigkeit nur an der verengten Stelle der Laufradzelle erreichen, wogegen in den übrigen Zellenquerschnitten die eingangs erwähnten Wirbelbildungen im gleichen Maße auftreten, als ob von einer Querschnittsversperrung im Laufrad überhaupt abgesehen worden wäre.

Es sind auch Laufräder mit festen Laufradschaufeln bekannt, an denen zungenförmige Klappen derart drehbar gelagert sind, daß durch deren Verdrehung eine Versperrung des Lauf-

radaustrittsquerschnittes erzielt werden kann. Da jedoch die eigentlichen Laufradschaufeln unbeweglich sind, so bleibt auch der Eintrittsquerschnitt der Laufradzelle bei jeder beliebigen Lage der Klappe unverändert. Aus diesem Grunde muß auch hier der mit abnehmender Beaufschlagung auftretende Geschwindigkeitsabfall die erwähnten Wirbel- und Stoßverluste hervorbringen.

Nach der Erfindung wird im vorhinein auf die Beibehaltung gleicher Durchflußgeschwindigkeiten bei veränderlicher Beaufschlagung verzichtet und eine Änderung des Laufradzellenquerschnittes nicht durch dessen Versperrung, sondern durch eine Verdrehung der ganzen Laufradschaufel ermöglicht.

10 In der Zeichnung ist der den Gegenstand der Erfindung bildende Regelungsvorgang klar-
gestellt und sind einige Ausführungsformen von Laufrädern für Wasserturbinen mit drehbaren
Laufradschaufeln beispielsweise veranschaulicht. Fig. 1 zeigt die Geschwindigkeits- und Winkel-
änderungen bei veränderlicher Beaufschlagung, Fig. 2 den Aufriß eines Laufrades, wobei die
Nabe im Schnitte und die zwei Laufradschaufeln in der Ansicht gezeichnet sind, Fig. 3 eine Schaufel
15 im Kreuzriß und die Laufradnabe in der Ansicht, Fig. 4 stellt schaubildlich eine Schaufel samt
Drehachse und zugehöriger Nabe dar. Die in den Fig. 2, 3 und 4 dargestellten Laufräder zeigen
im Wesen axiale Beaufschlagung der Laufradschaufeln. Die Fig. 5 und 6 lassen die Anwendungs-
möglichkeit der Laufradschaufelregelung nach der Erfindung auf Radial- und Francisturbinen
erkennen.

20 Um den Gegenstand der Erfindung scharf herauszuheben, wurde durch Fig. 1 die Ge-
schwindigkeitsverteilung des Wassers schematisch angedeutet, wie sie sich beim Durchströmen
des Wassers längs eines durch 1—0—2 dargestellten Schaufelrisses ohne Rücksichtnahme auf
den Widerstand ergeben würde. Dabei ist für den Laufradeintrittspunkt 1 die absolute Eintritts-
geschwindigkeit des Wassers in das Laufrad mit c_1 , die Umfangsgeschwindigkeit des Rades mit u_1
25 und die Relativgeschwindigkeit des Wassers mit w_1 bezeichnet, wogegen mit c_2 , u_2 und w_2 die
entsprechenden Größen für den Austritt des Wassers im Punkte 2 bezeichnet sind. Schließlich
ist in Fig. 1 der Leitrad- bzw. Laufradaustrittswinkel mit α bzw. δ und der Laufradeintritts-
winkel mit β bezeichnet.

Bei regelrechtem Betriebe und regelrechter Beaufschlagung stellt sich bekanntlich das
30 durch u_1 und w_1 bzw. u_2 und w_2 gebildete Geschwindigkeitsparallelogramm ein, das in Fig. 1 mit
vollen Linien eingezeichnet ist und bestimmte Schaufelwinkel α , β , und δ verlangt. Ändert sich
nun bei gleichem Gefälle und gleicher Drehzahl bzw. Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades die
durch dieses fließende Wassermenge, so müssen die in Fig. 1 und 2 mit c_{m1} , c_{m2} und c_m bezeichneten
Meridiangeschwindigkeiten eine Änderung erfahren haben, wenn, wie nach der Erfindung voraus-
35 gesetzt, von jeder den Wirkungsgrad schädigenden Versperrung des freien Durchflußquerschnittes
abgesehen wird. Soll daher der Wirkungsgrad auch bei Teilbeaufschlagung gut sein, so muß dem
Wasser die Möglichkeit geboten werden, die neuen Geschwindigkeiten (c_{m1}), (w_1), (c_{m2}) und (w_2)
auch wirklich zu erreichen oder, mit anderen Worten, es muß die in Fig. 1 angedeutete Aus-
bildung der aus u_1 und (w_1) bzw. u_2 und (w_2) gebildeten Geschwindigkeitsparallelogramme
40 möglich sein, was, wie aus Fig. 1 ersichtlich, eine Änderung der Winkel α , β und δ auf (α), (β)
und (δ) erfordert.

Zu diesem Zwecke sind nach der Erfindung die Laufradschaufeln um Achsen derart drehbar
angeordnet, daß die geforderte Winkeländerung von β auf (β) bzw. δ auf (δ) mit der für praktische
Zwecke genügend genauen Annäherung erreicht werden kann. In Fig. 1 ist durch 0 der Drehpunkt
45 angedeutet und der um den Winkel φ verdrehte Schaufelriß (1)—0—(2) eingezeichnet, dessen
neue Schaufelwinkel (β) und (δ) ungefähr den gewünschten Bedingungen entsprechen. Die Wahl
des Drehpunktes richtet sich nach den geforderten Winkeländerungen und den Festigkeits-
rücksichten des Laufrades. Er kann daher in der Schaufelfläche oder außerhalb dieser liegen.

Wie aus dem kleinen Laufradeintrittswinkel (β) hervorgeht, besitzt der gezeichnete Schaufel-
50 riß (Fig. 1) ein Schnellläuferprofil. Ebenso folgt aus den eingezeichneten Geschwindigkeits-
parallelogrammen, daß bei abnehmender Beaufschlagung nicht nur die Eintrittswinkel, sondern
auch die Austrittswinkel des Laufrades verkleinert werden müssen. Diese bei Schnellläuferprofilen
geforderte gleichzeitige Verkleinerung beider Laufradwinkel läßt sich, wie ebenfalls aus Fig. 1
hervorgeht, unter allen Umständen durch die geschilderte Verdrehung der ganzen Schaufel-
55 fläche erzielen.

Diese hydraulische Forderung einer gleichzeitigen Verkleinerung der beiden Schaufelwinkel
bei abnehmender Beaufschlagung wird jedoch bei den gebräuchlichen Regelungsvorrichtungen
von schnellaufenden Kreiselmaschinen nicht erfüllt, was die bisher erhaltenen schlechten Be-
triebsergebnisse bei Wassermangel leicht erklärlich macht. So ist nicht selten bei Verwendung
60 derartiger schnellaufender Räder mit den üblichen Regelungsvorrichtungen bei abnehmender
Beaufschlagung ein derartig großer Wirkungsgradabfall vorhanden, daß der Einbau solcher
Räder aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist. Es wird sich demnach eine nach der
Erfindung ausgebildete Laufschaufelregelung besonders vorteilhaft für schnellaufende Kreisel-

maschinen eignen, wenn auf die Erreichung eines guten Wirkungsgrades bei veränderlicher Wassermenge oder schwankendem Kraftbedarf Gewicht gelegt wird. Derartige mit hohen spezifischen Drehzahlen arbeitende Laufräder können bei axialer Beaufschlagung an den der Laufradachse benachbarten Schaufelprofilen behufs geordneter Zuführung des Arbeitsmittels auch ein Normal-
5 läufer- oder ein Langsamläuferprofil aufweisen. Durch die Verdrehung derartiger Schaufeln leidet zwar die geordnete Strömung an den erwähnten Stellen des Laufrades, doch ist dies mit Rücksicht auf den kleinen Verdrehungswinkel φ (Fig. 1) und auf den verhältnismäßig geringen Teil der Gesamtwassermenge, die diese Laufradstellen durchströmt, von keiner praktischen Bedeutung.

10 Bei dem in Fig. 2 dargestellten Laufrad einer Wasserturbine mit axialem Wasserdurchfluß sind zwei Ausführungsformen der Lagerung der Laufradschaufeln beispielsweise veranschaulicht. Die links gezeichnete Schaufel S besitzt nur an ihrer inneren Stirnfläche einen Lagerzapfen A , der in der Nabe N des Rades drehbar gelagert ist, wogegen die rechte Hälfte der Fig. 2 eine doppel-
15 seitige Lagerung der Schaufel S durch die Zapfen A und Z zeigt. Der Nabe kann eine kugelförmige Gestalt gegeben werden, um in jeder Drehlage der Schaufel S einen guten Anschluß an die Nabe N zu erzielen.

Die Verdrehung der Schaufel kann durch alle dazu geeigneten Maschinenelemente, Hebel, Zahnräder und dgl. erfolgen. In der Seitenansicht (Fig. 3) und in der schaubildlichen Darstellung (Fig. 4) ist auf dem in der Nabe N gelagerten Drehzapfen A ein Hebelarm K angeordnet, an den
20 eine Zugstange B angreift. Bei Betätigung dieser Stange wird der Hebelarm K samt Zapfen A und Schaufel S verdreht.

Es empfiehlt sich, die Drehzapfenmittel der Laufradschaufeln so zu lagern, daß eine unerwünschte Spaltvergrößerung zwischen den Stirnflächen der Laufradschaufeln und den diese umgebenden Begrenzungswänden (Nabe bzw. innerer Laufradkranz, äußerer Laufradkranz
25 bzw. Saugrohrwand) bei der Verdrehung der Laufradschaufeln nach Möglichkeit vermieden wird. Dies kann am einfachsten dadurch geschehen, daß die Drehzapfenmittel der Laufradschaufeln auf den angegebenen Begrenzungswänden möglichst senkrecht stehen, wie dies die Ausführungsbeispiele nach den Fig. 2, 3, 4 und 5 zeigen.

Die für Achsialturbinen geschilderte Regelbarkeit der Laufradschaufeln läßt sich auch für
30 Radial- und Francisturbinen sowie auch für vereinigte Achsial- und Francisturbinen verwenden, wie dies für die beiden erstgenannten Arten durch die Fig. 5 und 6 beispielsweise dargestellt ist. Hier bedeutet wieder A die Drehachse der Schaufeln, die entweder in der oberen und unteren Laufradbegrenzung L_1 und L_2 oder nur in der oberen (L_1) oder nur in der unteren (L_2) gelagert ist.

35 Bei den in den Fig. 2, 3 und 4 dargestellten Ausführungsbeispielen von axial beaufschlagten Laufrädern kann die durch die Leitvorrichtung bewirkte Zuführung des Arbeitsmittels in jeder beliebigen Richtung geschehen. Erfolgt diese Zuführung z. B. in axialer Richtung, so ist dem Laufrad eine solche Leitvorrichtung zuzuordnen, wie sie in ähnlicher Ausführung bei den bekannten Achsialturbinen Verwendung findet. Es läßt sich jedoch auch die erforderliche axiale Beauf-
40 schlagung des Laufrades bei radialem Eintritt des Wassers in die Leitvorrichtung erzielen, wenn das Arbeitsmittel in der Leitvorrichtung aus der radialen Richtung in die axiale abgelenkt wird. In einem solchen Falle erfolgt die Beaufschlagung des Laufrades durch eine Leitvorrichtung, die sich nicht wesentlich von jener der bekannten Francisturbinen unterscheidet. Die Verwendung einer derartigen Leitvorrichtung bietet erhebliche Vorteile, weil im Falle der Drehbarkeit der
45 Leitrad-schaufeln eine gemeinsame Verstellung der Leit- und Laufradschaufeln leicht durchführbar ist, wogegen bei den Achsialturbinen eine Verdrehung der Leitschaufeln auf große bauliche Schwierigkeiten stößt.

Bei Achsiallaufrädern unterliegt es aber auch keinen Schwierigkeiten, die Austrittskanten der Leitrad-schaufeln einer bei Francisturbinen verwendeten Leitvorrichtung der Laufradwelle
50 beliebig zu nähern, wodurch das Wasser auch längs eines Teiles der Stirnkanten dieser Schaufeln abfließen kann. Werden derartige Leitschaufeln verdreht, so erfolgt die Winkeländerung längs der Stirnkante nicht gleichmäßig. Sie ist in der Nähe der Leitschaufelaustrittskante erheblich größer als in der Nähe des Drehbolzens der Leitschaufel. Es werden sich daher bei der mit abnehmender Beaufschlagung erforderlichen Verdrehung der Leitschaufeln die in der Nähe der
55 Leitschaufelaustrittskante an der Stirnkante vorhandenen Austrittsquerschnitte stärker verengen als jene Querschnitte, die dem Drehbolzen benachbart sind. Das mit festen Schaufeln ausgestattetete Laufrad wird durch diesen Umstand unrichtig beaufschlagt, weil das Arbeitsmittel durch die Leitrad-schaufeln gezwungen wird, vorwiegend in der Nähe der Saugrohrwand zu strömen. Es treten daher in der Umgebung der Laufradwelle Wirbelströmungen auf, die den Wirkungsgrad
60 ungünstig beeinflussen. Werden jedoch derartige Laufräder mit drehbaren Laufradschaufeln nach der Erfindung ausgeführt, so wird deren Verdrehung im axialen Schaufelraum die entgegengesetzte Wirkung hervorbringen, weil die Laufradeintrittswinkel zum Zwecke der Erzielung eines geordneten (stoßfreien) Strömungsvorganges gegen die Saugrohrwand hin abnehmen müssen.

Ihr Nullwert und daher der kleinste Durchflußquerschnitt tritt bei einer Verdrehung der Schaufeln zuerst am Saugrohrtrand auf. Die Hauptströmung wird daher ohne Leitvorrichtung gegen die Laufradwelle hin abgelenkt. Eine Vereinigung der beiden erwähnten entgegengesetzten Wirkungen, also das Zusammenwirken der drehbaren Leitschaufeln mit den drehbaren Laufradschaufeln, bringt wieder die gewünschte geordnete Strömung im Saugrohr und damit die Erreichung guter Wirkungsgrade auch bei Teilbeaufschlagung zustande.

Da einerseits der in den Fig. 3 und 4 angedeutete Hebel *K* und die Lagerung der Schaufel aus Festigkeitsrücksichten viel Raum benötigt, andererseits der Nabendurchmesser wegen der Gefahr einer Querschnittsversperrung nicht groß sein darf, so ist es beim Erfindungsgegenstande erwünscht, sowohl die Schaufelzahl als auch die Schaufellänge nach Möglichkeit zu verkleinern, um den zur Unterbringung der Drehvorrichtung erforderlichen Platz zu schaffen. Es werden demnach schmale Schaufeln von flügelartiger Form besonders vorteilhaft sein, weil durch solche Formen auch die einfache Herstellbarkeit der Schaufelfläche und des Laufrades und eine zweckmäßige Verbindung des Schaufeldrehzapfens mit der Schaufelfläche gesichert ist.

Die Regelung der Laufradschaufeln kann entweder selbsttätig ausgebildet werden, indem z. B. die durch die Änderung der Beaufschlagung hervorgerufene Änderung des Strömungszustandes des Arbeitsmittels oder die Drehzahl- bzw. Drehmomentänderung dazu benutzt oder indem die Laufschaufelregelung mit der Leitschaufelregelung derart vereinigt wird, daß durch eine gemeinsame Führung eine Verdrehung der Leitschaufeln auch eine solche der Laufschaufeln zur Folge hat. Schließlich kann die Laufschaufelregelung durch unmittelbare Betätigung von Hand aus erfolgen.

Die hier für Wasserturbinen beschriebene Laufschaufelregelung ist auch für jedes andere Arbeitsmittel (Dämpfe, Gase und dgl.) in Dampf- und Gasturbinen und dgl. geeignet und läßt sich auch zur Förderung von tropfbar oder gasförmig flüssigen Körpern in Kreiselpumpen, Turbo-

kompressoren und dgl. verwenden.

PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Laufschaufelregelung für schnelllaufende Kreiselmaschinen mit Leitvorrichtung (Wasser-, Dampf- oder Gasturbinen, Kreiselpumpen oder -gebläse), dadurch gekennzeichnet, daß die Laufradschaufeln derart drehbar gelagert sind, daß durch die bei abnehmender Beaufschlagung erforderliche Verdrehung der Laufradschaufeln nicht nur die Austrittsquerschnitte bzw. die Austrittswinkel sondern auch die Eintrittsquerschnitte bzw. die Eintrittswinkel des Laufrades verkleinert werden.
2. Laufschaufelregelung für Kreiselmaschinen nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laufradschaufeln (*S*) entweder in der Nabe (*N*) bzw. im inneren Kranze (*L₁*) oder im äußeren Kranze (*L₂*) oder sowohl im äußeren als auch im inneren Kranze (*L₁*, *L₂*) bzw. in der Nabe (*N*) in der Weise drehbar gelagert sind, daß die Drehzapfenmittel auf den Laufradbegrenzungswänden möglichst senkrecht stehen, um beim Verdrehen der Laufradschaufeln eine unerwünschte Spaltvergrößerung zwischen den Stirnflächen der Laufradschaufeln und diesen Begrenzungswänden nach Möglichkeit zu vermeiden.
3. Laufschaufelregelung für Kreiselmaschinen nach Anspruch 1 mit Leitradanordnung, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdrehung der Laufradschaufeln gemeinsam mit der Verdrehung der Leitrad-schaufeln erfolgt.

