

Untersuchung des Druck- und Strömungsverlaufs in Schaufeln für Gleichdruckturbinen bei Ueberschallgeschwindigkeit

Von der
Eidgenössischen Technischen Hochschule
in Zürich
zur Erlangung der
Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
genehmigte
Promotionsarbeit

vorgelegt von
Robert Löliger, dipl. Masch.-Ingenieur
aus **Mönchenstein** (Kt. Baselland)

Referent: Herr Prof. Dr. **A. Stodola**
Korreferent: Herr Prof. Dr. **P. Weiss**

ZÜRICH 1913
Jean Frey, Buch- und Kunstdruckerei

Zusammenfassung.

Ueber die Bewegungszustände des Dampfes im Innern von Turbinenschaufeln, speziell von Gleichdruckschaufeln, ist bis jetzt wenig bekannt. In der Patentliteratur ¹⁾ wurde bereits verschiedentlich Gewicht gelegt auf eine nach bestimmtem Gesetz sich ändernde Krümmung der Schaufel, ohne Anhaltspunkte über die Wirkung derartiger Massnahmen. Zur Aufklärung dieser Punkte sollten die vorliegenden Untersuchungen beitragen.

Die Versuche umfassen folgende Einzelfragen:

1. wurde festgestellt der Druckverlauf im Innern einer überall gleich weiten, nach einem Kreisbogen gekrümmten und durch parallele bzw. schräge Ebenen begrenzten Schaufel. Dabei wurde nicht bloss die von Stodola ²⁾ bereits dargestellte nur einmalige Verdichtung in der Krümmung gefunden, sondern eine zweimalige, was als Schwingungszustand des Dampfes noch im Innern der Schaufel gedeutet werden muss.

Das Auftreten dieser doppelten Schwingung hängt ab

a) Vor allem vom Verhältnis der Länge zur Weite des Kanales. Wird an diesem Verhältnis nichts geändert, so bleibt die doppelte Schwingung auch für kürzere Kanäle bestehen, wie die Versuche Figuren 32 und 33 lehren. Wird jedoch die Kanalweite vergrössert, so verschwindet die doppelte Verdichtung, wie man aus den Versuchen Figuren 34—42 erkennt.

b) Ferner von der Eintrittsgeschwindigkeit, wie aus den Versuchen 9, 10 und 13 zu ersehen ist. Bei kleinerer Eintrittsgeschwindigkeit verliert sich die Schwingung oder tritt zum mindesten in stark gedämpfter Form auf.

c) Von der Grösse der Erweiterung des Kanales (durch Schrägstellung der unteren Begrenzungsebene). Sie verschwindet bei wachsender Erweiterung, wie die Versuche Figuren 18—20 zeigen, nicht vollständig; jedoch erscheint die Wellenlänge bedeutend verkürzt; während umgekehrt uns Figur 44 lehrt, dass bei einer wenn auch kleinen Kanalverengerung (durch zu weit vortretenden Schaufelrücken) sich die Schwingung verschärft und die Wellenlänge vergrössert.

d) Von der Art der Krümmung selbst, wie man aus Figuren 23—31 erkennt. Da zeigt sich, dass die doppelte Schwingung eliminiert wird dadurch, dass die Krümmung nicht durch einen Kreisbogen, sondern durch einen Bogen mit allmählich abnehmendem Krümmungsradius bestimmt ist.

Bei den von uns benützten Schaufeln mit konstanter Schaufelstärke, Figur 40 bis 42, zeigte sich entsprechend dem kleinen Verhältnis von Länge zu Weite keine doppelte Verdichtung; statt jener zeigt sich auffallenderweise eine an der Rückenseite der Schaufeln beim Austritt auftretende Verdichtung, und diese lässt uns schliessen, dass die Schwingung allerdings vorhanden ist, sich jedoch erst beim Austritt aus der Schaufel durch „Anstossen“ am Rand bemerkbar macht, wie auch aus dem weitem Verlauf des Dampfstroms, Figur 41, zu bemerken ist.

2. Es wurde die Umfangskraft an drei verschiedenen Schaufelformen durch Wägung ermittelt, wobei sich herausstellte, dass sich die günstigsten Werte ergeben für eine Dampfführung, bei der die Krümmung allmählich beginnt, so dass also in Uebereinstimmung mit dem Schwingungszustand diese Schaufelform als die günstigere bezeichnet werden kann. Jedoch sind die Unterschiede in den Umfangskräften verhältnismässig unbedeutend.

¹⁾ Z. B. Amerikanisches Patent 924852.

²⁾ Stodola, die Dampfturbinen. 4. Auflage, S. 102.

3. Es wurde untersucht, ob und wie die Pitotröhren zur Bestimmung der Dampfgeschwindigkeit verwendet werden können, wenn diese die Schallgrenze überschreitet. Hierbei stellte sich heraus, dass der Druck im Pitotrohr, falls die Mündungsnormale mit der Geschwindigkeitsrichtung übereinstimmt, mit sehr guter Annäherung an die Wirklichkeit gefunden werden kann unter der Annahme, dass der Dampf an der Mündung des Pitotrohres den geraden Verdichtungsstoss erleidet mit darauf folgender adiabatischer Kompression bis zur vollständigen Aufzehrung der Geschwindigkeit. Bei schiefer Stellung des Pitotrohres gegen die Stromrichtung entspricht seine Druckanzeige der Annahme, dass ein schiefer Verdichtungsstoss vor der Mündung stattfindet, so verstanden, dass nur die in die Mündungsnormale fallende Komponente der Geschwindigkeit als zum Stoss gelangend angesehen wird und dann durch eine mit Verlusten vor sich gehende Kompression gänzlich vernichtet wird, während der Dampf mit der anderen Geschwindigkeitskomponente seitlich ausweicht.

4. Der auf diese Weise ermittelte Stromlinienverlauf lässt erkennen, dass die Dampffäden in der Krümmung seitlich ausweichen, wie das Isaachsen bei Wasserströmungen beobachtet hat, und dass die Strömung von da ab eine Art Schraubung darstellt.

5. Die Anwendung der Kontinuitätsgleichung auf verschiedene Querschnitte durch die Krümmung der Schaufel führt in Uebereinstimmung mit den Ergebnissen der Pitotröhren zu dem Resultat, dass sich der Dampfstrahl von der Rückenseite der Schaufel stellenweise lostrennt und zwar seinem Schwingungszustand entsprechend mit veränderlicher Ablösungsstärke.
