

# Rotoren von Strömungsmaschinen: Kraft und Schönheit

Autor(en): **Müller, Ulrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 14

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74786>

## **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.

# Rotoren von Strömungsmaschinen: Kraft und Schönheit

Von Ulrich Müller, Winterthur

Strömungsmaschinen (Turbomaschinen) der verschiedenen Arten und für die verschiedensten Anwendungen haben viel Gemeinsames. Diese Zusammenstellung soll dazu einen interdisziplinären Beitrag bilden.

Seit einiger Zeit wird bei Sulzer, Winterthur, viel über das Design von Maschinen diskutiert. *Design* und *Ergonomie* sind dort, wo Mensch und Maschine zusammenkommen, heute wesentliche Elemente [1]. Wie verhält er sich aber dort, wo Maschinenelemente «unter sich» sind? Die Meinung vieler Ingenieure war: Die schönsten, zweckmässigsten und interessantesten Formen entstehen dort, wo die *Physik*, also die «Natur», einen Vorgang bestimmt. Besonders schöne Beispiele liefern dafür die *Turbomaschinen*, die meistens versteckt in geschlossenen Gehäusen und Anlagen dem Menschen wertvolle Dienste erweisen. Ohne sie wären für die heutige Gesellschaft Strom und Brauchwasser undenkbar. Der aktive Teil einer Turbomaschine ist der Rotor. Seine Aufgabe ist die Umsetzung von Energie (z. B. Elektrizität) in die eine oder andere Form (z. B. mechanische

Energie) oder umgekehrt; die Arbeitsmedien sind im wesentlichen Wasser oder Gase. Turbomaschinen können also Kraftmaschinen (Turbinen) oder Arbeitsmaschinen (Pumpen, Verdichter) sein. Pumpenturbinen dienen sogar beiden Zwecken.

## Gemeinsame Grundlagen

Gemeinsames bei allen Turbomaschinen zeigt sich im ähnlichen Aufbau aller entscheidenden Grundformeln auf kalorischem und hydraulischem Gebiet. Für diese Maschinen gelten summarisch nach wie vor die Grundgleichungen der Mechanik, Strömungslehre und Thermodynamik, wie sie von *Newton*, *Bernoulli*, *Carnot*, *Euler* schon vor langer Zeit aufgestellt worden sind. Das Kräftespiel in allen Maschinen

wird durch diese Grundformeln generell beschrieben. Darüber gelagert erlauben Erkenntnisse und Gesetze der modernen *Hydro- und Aerodynamik* sowie der *Grenzschichttheorie*, die Gestaltung der strömungsführenden Teile in ihren Einzelheiten heute numerisch so festzulegen, dass *Spitzenwirkungsgrade* sicher erreicht werden können. Moderne Theorien und ausgedehnte Experimente ergänzen sich somit gegenseitig.

Die Bearbeitung von neuen Problemen im hydraulischen und thermischen Maschinenbau sowie im Apparatebau auf weitgehend gemeinsamer Grundlage hat viele Vorteile. Die Übertragung von Erkenntnissen aus einem Teilgebiet auf das andere ist bei vielen Aufgaben möglich, wie die Praxis zeigt. So können z. B. Fragen des Einflusses der *Oberflächenrauigkeit* bei Beschaukelungen von Gas- und Dampfturbinen nach dem *Prinzip der Ähnlichkeitstheorie* rationell untersucht werden.

Der Sulzer-Konzern verfügt über eine nahezu vollständige Palette von Turbomaschinen. Der rege interdisziplinäre Austausch von Ideen bringt dabei immer wieder Pioniertaten hervor oder rationalisiert Konstruktion und Fertigung.

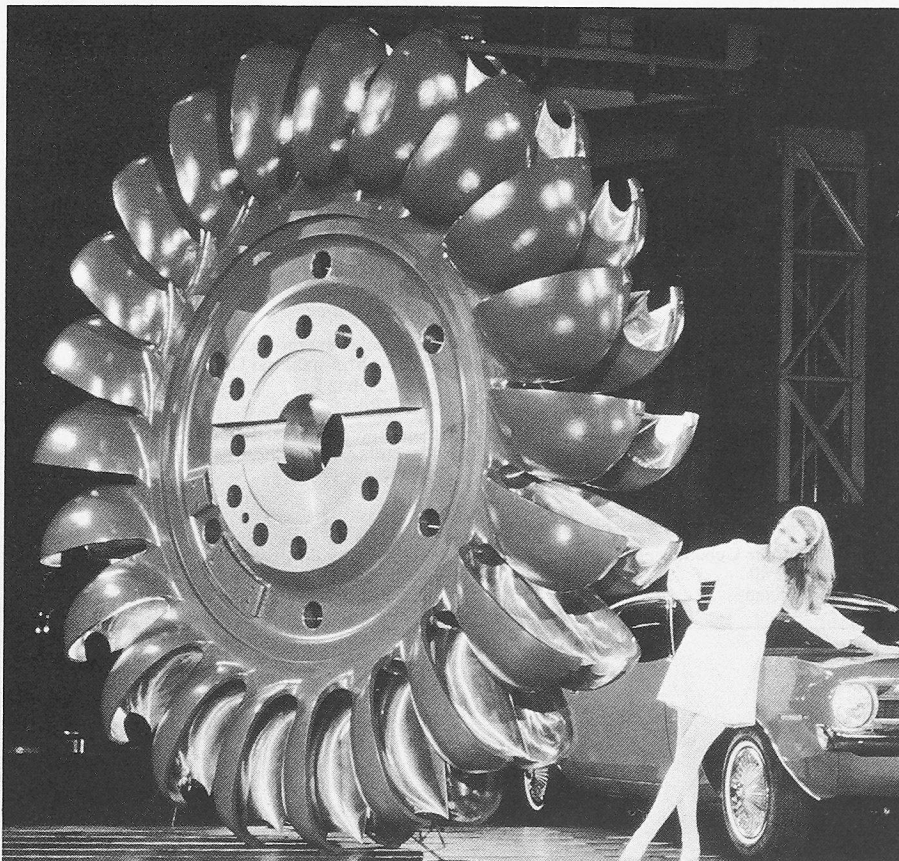
Kraft- und Arbeitsmaschinen haben ein gegenüber früher nur wenig verändertes Aussehen, denn die Bauformen für Radial- und Axialmaschinen haben sich, oberflächlich betrachtet, wenig geändert. Die Leistungsdichte hat sich jedoch durch höhere Drehzahlen stark erhöht. Dazu hat vor allem die *Werkstoffentwicklung* beigetragen. Raschlauende moderne Turbomaschinen können aber nur dann mit hohen Wirkungsgraden ausgeführt werden, wenn die strömungsführenden Teile peinlich genau entworfen und gefertigt sind. So führte die Strömungsforschung für Turbomaschinen, die stark von der Aerodynamik beeinflusst wurde, in den letzten Jahrzehnten nicht in erster Linie zu grundsätzlich neuen Entdeckungen, sondern zu einer *Verfeinerung* der Ausbildung aller von der Strömung berührten Maschinenteile [2].

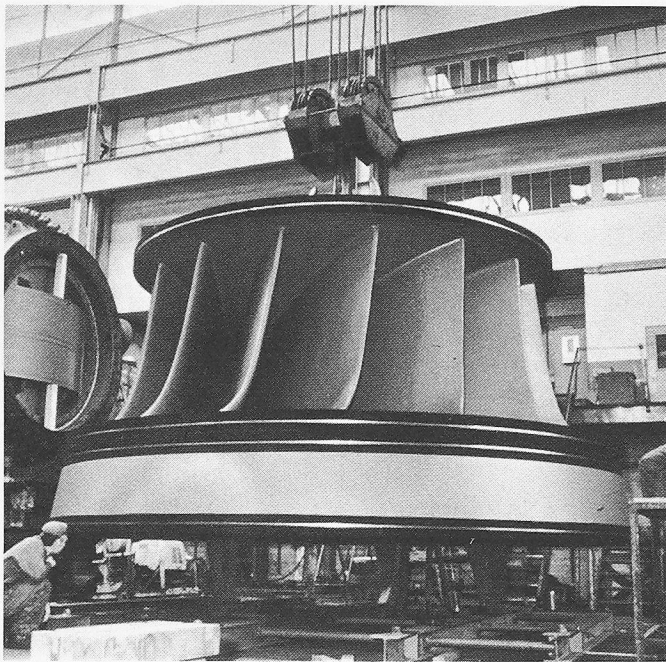
## Schaufeln

Strömungsmaschinen enthalten im allgemeinen zwei Schaufelsysteme, von denen das eine mit dem Rotor, das andere mit dem Gehäuse verbunden ist. Man unterscheidet somit die *bewegte Laufschaufel* und die *ruhende Leitschaufel* (Leitapparat, Leitkranz, Leitrad).

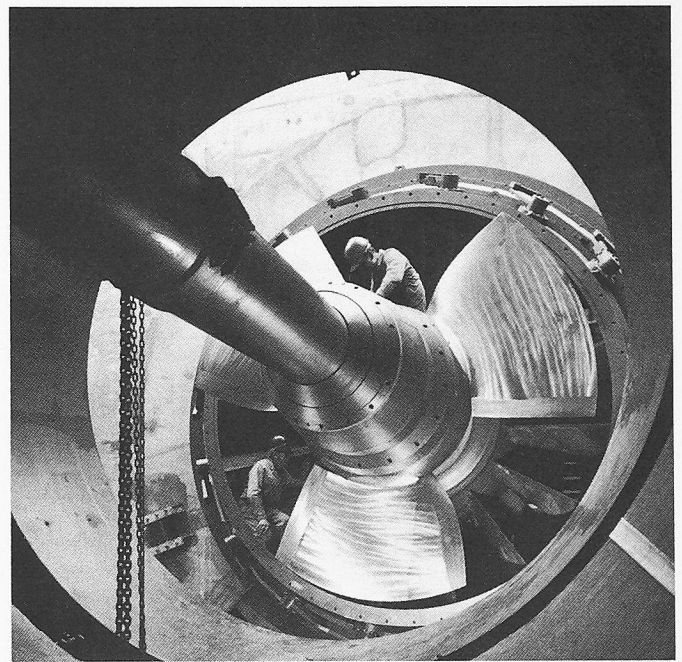
Die Schaufeln gehören zu den wichtigsten Bauelementen aller Strömungsmaschinen. Ihre Hauptaufgabe ist die Umlenkung der Strömung (Kraftlinien).

Peltonturbine mit tangentialer Beaufschlagung





Läufer einer Francisturbine



Kaplanturbine mit dreischaufeligem Laufrad

Meist sind mehrere gleichartige Schaufeln aneinandergereiht, und zwar in der Regel so, dass zwischen ihnen Kanäle entstehen. Tritt bei Strömung auf konstantem Radius keine Beschleunigung oder Verzögerung im Schaufelkanal auf, so handelt es sich um *Gleichdruck-schaufeln*, im anderen Fall um *Reaktions- bzw. Diffusorschaufeln*. Die Schaufelkanäle lassen sich in *axial* (also der Achse entlang), *halbaxial* (meist doppelt gekrümmt) und *radial* (dem Radius entlang) durchströmte einteilen. Bei radialer Durchströmung ist zwischen *Zentrifugal-* und *Zentri-*

*petalwirkung* zu unterscheiden, also Bei-aufschlagung von innen nach aussen oder umgekehrt.

Bei den Schaufelformen gibt es bei offenen sowie geschlossenen Rädern erstaunliche Variationen: Vom typischen *Doppellöffel* beim Peltonrad bis zu fast völlig *ebenen Flügeln* bei Ventilatoren.

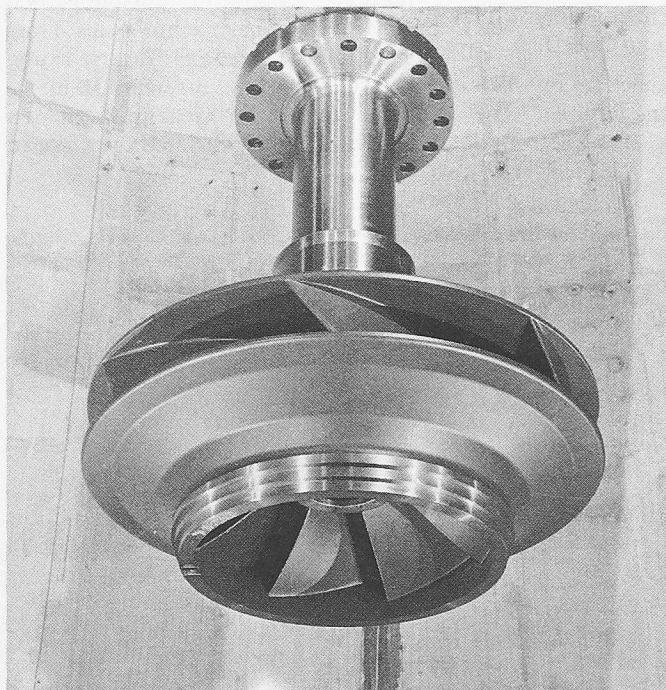
**Wasserturbinen**

Bei den Wasserturbinen unterscheidet man im wesentlichen drei Rotortypen benannt nach deren jeweiligen Erfindern *Pelton, Francis* und *Kaplan*.

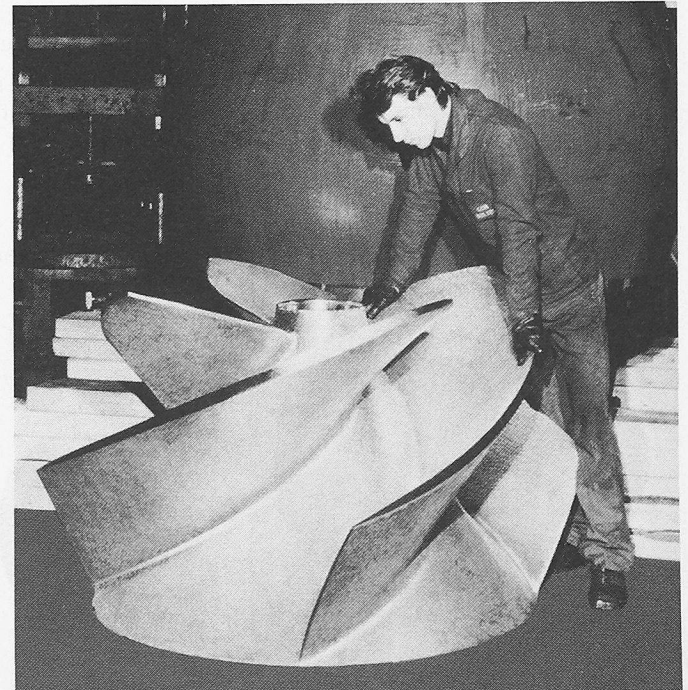
*Pelton*turbinen (Freistrahlturbinen) sind tangential teilbeaufschlagte Gleichdruckturbinen. Ihre Becher sorgen für die mechanische Kraftumsetzung durch bis zu 180°-Umlenkung des Wasserstrahls. Der Leitapparat besteht aus einer runden Düse; sie ist verschliessbar durch eine längsverschiebbare kegelige oder zwiebelartige Nadel.

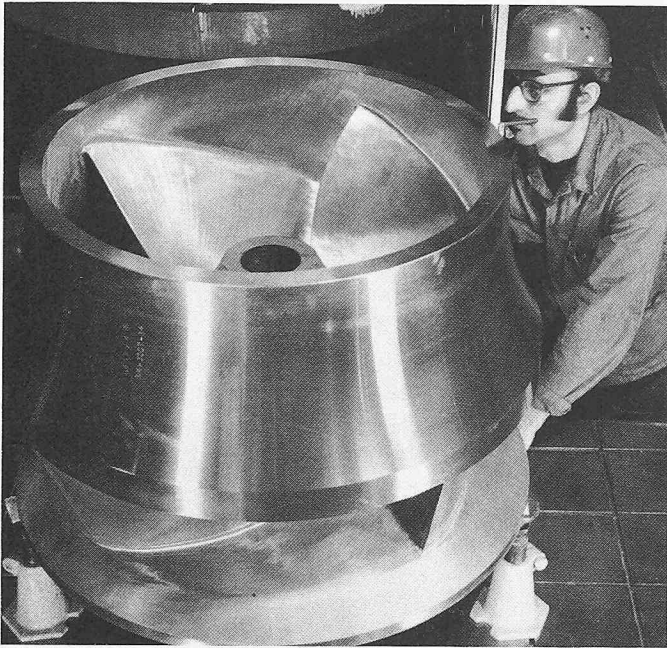
*Francis-* und *Kaplan*turbinen sind vollbeaufschlagte Überdruckturbinen. Das Wasser tritt ins Laufrad ein, bei langsamlaufenden Francisturbinen radial

Pumpenturbinen-Rotor (radial)

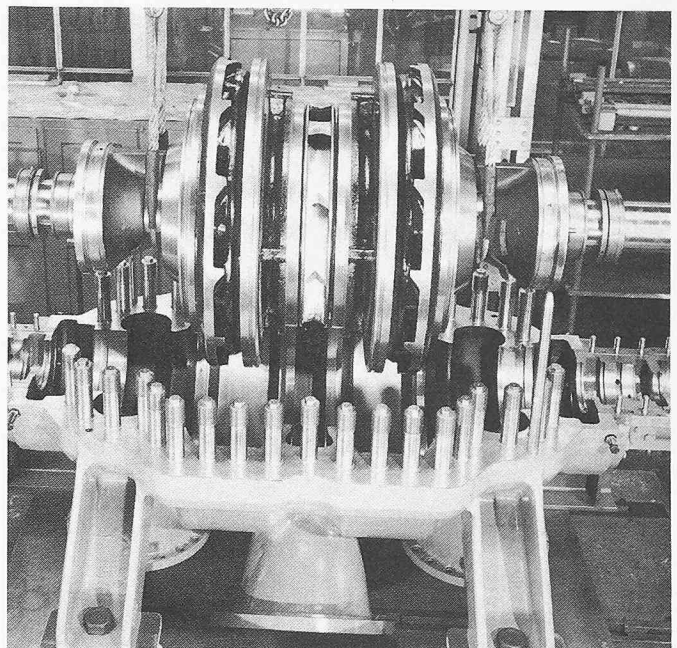


Pumpenrotor (axial)





Pumpenrotor (halbradial)



Pumpenrotor (radial)

von aussen nach innen, bei schnelllaufenden halbxial von aussen nach innen und bei Kaplan-turbinen (und bei Propellerturbinen) axial. Der Wasser-austritt ist bei beiden Bauarten axial. Das Leitrad wird mit schwenkbaren Schaufeln ausgeführt und dient als Regel- und auch Absperrorgan.

**Pumpen (Kreiselpumpen)**

Kreiselpumpen – ein- oder mehrstufig – nutzen die Fliehkraft. Das Laufrad erteilt der Förderflüssigkeit potentielle (Druck) und kinetische (Geschwindigkeit) Energie. Die Fliehkraft erzeugt die Druckenergie, während die Geschwindigkeitsdifferenz der angesaugten und fortgeschleuderten Flüssigkeit entspricht. Die aus dem Laufrad austretende Flüssigkeit wird entweder unmittelbar vom Pumpengehäuse aufgenommen oder sie durchströmt (bevor sie in das Gehäuse gelangt) einen feststehen-

den Leitapparat. Die Pumpenlaufräder gibt es in allen Formen, von radial über halbxial bis zu axial.

**Kompressoren (Verdichter)**

Die Verdichtung von Luft und Gasen hat in der Industrie immer mehr Bedeutung erlangt. Im Gegensatz zu den volumetrischen Kompressoren wie Kolben-, Drehkolben- und Schraubver-dichtern (deren Arbeitsprinzip auf der Verdrängerwirkung von hin- und hergehenden oder rotierenden Kolben beruht) erfolgt die Verdichtung bei den Turbokompressoren (Radial- oder Axialkompressoren) rein dynamisch durch die Nutzung der Beschleunigungs- und Trägheitskräfte der Gasströmung. Der Fördermenge ist bei den Turbokompressoren nach oben im Prinzip keine Begrenzung gesetzt.

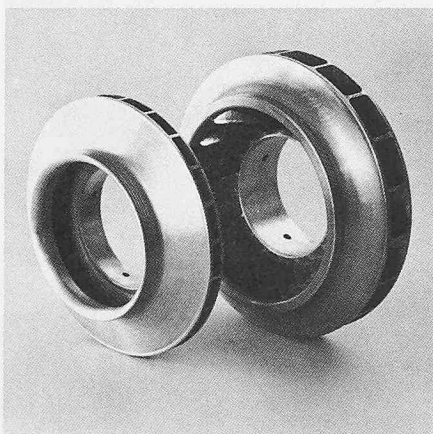
Radialkompressoren gleichen im Aufbau den mehrstufigen Pumpen. Die Stufen und damit die Laufräder und

ihre Beschauelungen werden mit zunehmendem Druck enger. Auch bei hohen Geschwindigkeiten zeichnen sich die Räder durch ruhigen Lauf und günstige Betriebseigenschaften aus. Am Austritt des Rades gelangt das gasförmige Medium ebenfalls in einen Diffusor und von hier aus durch besondere Rückführkanäle zur Eintrittsöffnung des nächstfolgenden Rades.

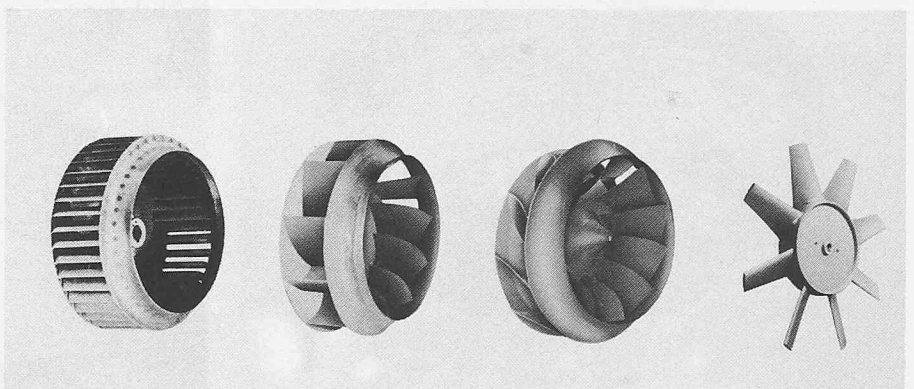
Die Axialkompressoren kamen wesentlich später als die Radialkompressoren auf den Markt. Ihre Entwicklung ist mit der Gasturbine eng verbunden, ihre Wirkungsgrade sind denen anderer Kompressoren überlegen.

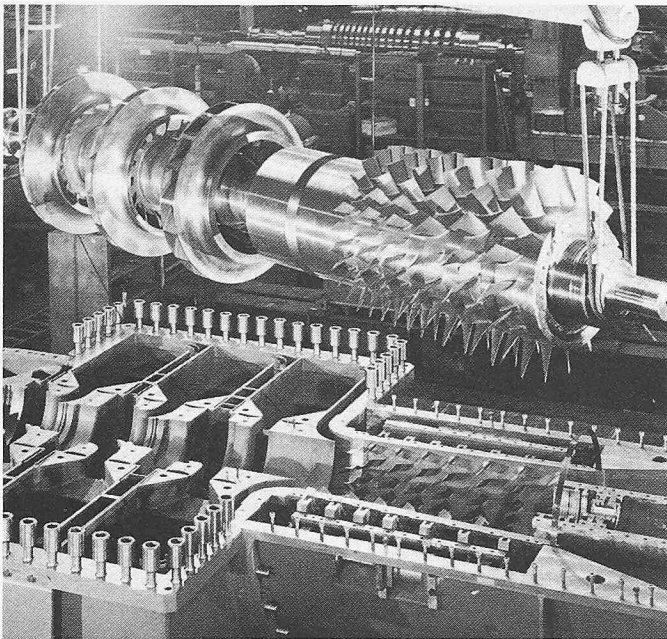
Bei den Axialverdichtern wird die Druckerhöhung nicht durch Zentrifugalkräfte, sondern ausschliesslich durch die Nutzarmachung des Tragflügeleffektes und die Diffusorwirkung der Schaufelkränze erreicht. Dementsprechend und im Gegensatz zu den Radialverdichtern strömen die Gase in

Kompressorlaufräder (radial)

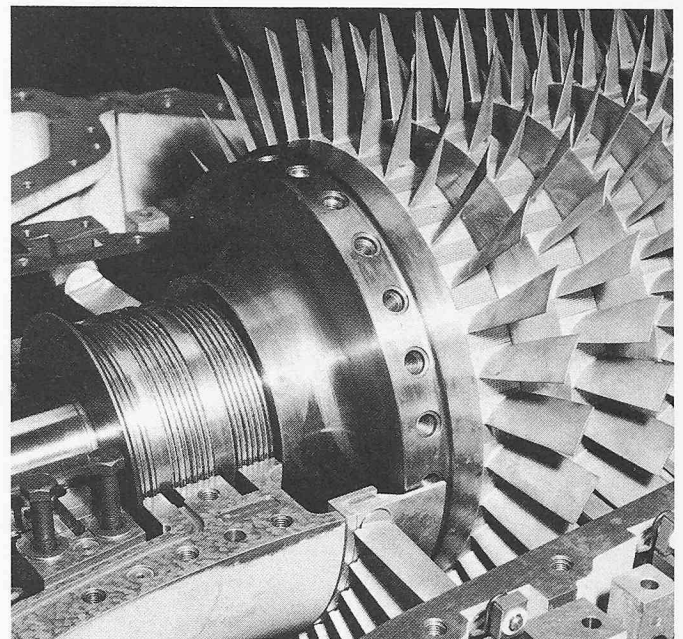


Laufräder verschiedener Ventilatoren (von links: zentrifugal mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln, zentrifugal mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln, diagonal mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln und Propellerlaufrad)





Axial-Radial-Kompressor. Auf dem Rotor sind sechs axiale und drei radiale Stufen erkennbar



Rotor eines Axialkompressors

der Hauptsache in Richtung Maschinenachse durch einen Kanal ringförmigen Querschnitts. In diesem Kanal sind abwechselnd Lauf- und Leiträder angeordnet, die je mit einem Kranz radial gerichteter Schaufeln mit tragflügelähnlichem Profil versehen sind. Die Laufschaufeln werden auf der inneren Seite von einem trommelförmigen Rotor getragen, die Leitschaufeln aussen im Gehäuse oder in einem eingesetzten Schaufelträger.

Die zum Fördern gas- und dampfförmiger Medien dienenden Maschinen fallen unter den Sammelbegriff *Kompressoren*. Die Bezeichnung bringt die Tatsache zum Ausdruck, dass die Förderung solcher Stoffe stets mit einer *Volumenkontraktion* verbunden ist. Je nach dem Druckverhältnis der Förderung werden die Kompressoren eingeteilt in:

- Ventilatoren,
- Gebläse,
- Kompressoren.

Die Ventilatoren arbeiten im Gebiet kleiner und kleinster Druckdifferenzen. Ihre Anwendung erstreckt sich jedoch bis zu grössten Fördervolumen. Den Kompressoren sind die grössten Druckverhältnisse vorbehalten, wogegen die Gebläse den mittleren Bereich abdecken.

**Gasturbinen**

Die Gasturbine ist im Rahmen dieser Betrachtungen nicht als einzelne Strömungsmaschine anzusehen, sondern als kompaktes Aggregat, das mindestens aus Kompressor, Brennkammer(n) und eigentlicher Turbine besteht. Der Gasturbinen-Kompressor ist

im wesentlichen ein Axialkompressor (wie beschrieben). Auch die Turbine ist ähnlich aufgebaut. In ihr laufen jedoch die Vorgänge umgekehrt ab. Die in der Brennkammer erhitzten Gase werden in den dicht stehenden Schaufelreihen entspannt. Eine besondere Ausführung der Gasturbine sind Heliumturbinen (Gaslagerturbinen) für die Tieftemperaturtechnik. Das einstufige halbaxiale Zentripetalrad erreicht für die Expansion 300 000 U/min.

**Dampfturbinen**

Die Dampfturbine besteht im wesentlichen aus dem Rotor, der sich innerhalb des (zylindrischen) Gehäuses dreht. Rund um die Turbinenwelle sind Lauf- und Leitschaufeln angebracht. Strömt Dampf mit hohem Druck durch die Turbine, treibt er die Lauf- und Leitschaufeln und damit die Turbinenwelle an. Innen

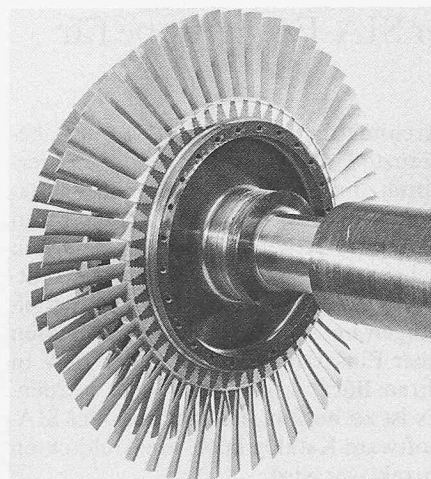
am Gehäuse befinden sich die Leitschaufeln. Die Beschaffenheit der Turbinenschaufeln variiert. Bei der Gleichdruckturbine sind die Schaufeln stark gekrümmt, bei der Überdruckturbine sind sie flacher.

Man teilt Dampfturbinen ein in teil- und vollbeaufschlagte Turbinen sowie - ähnlich wie Kompressoren - in Axial- und Radialturbinen. Die axialen Bauarten (Dampf strömt entlang der Welle) sind dabei weit häufiger anzutreffen als die radialen Bauarten (Dampf strömt im rechten Winkel zur Turbinenwelle).

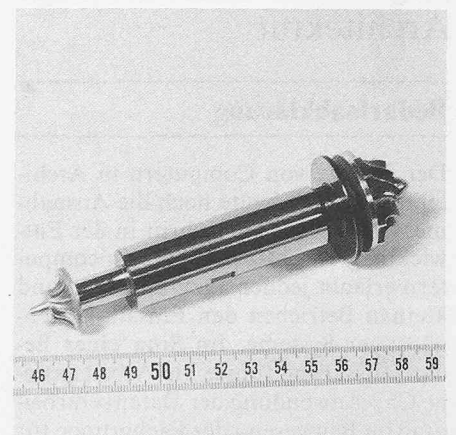
**Schiffspropeller**

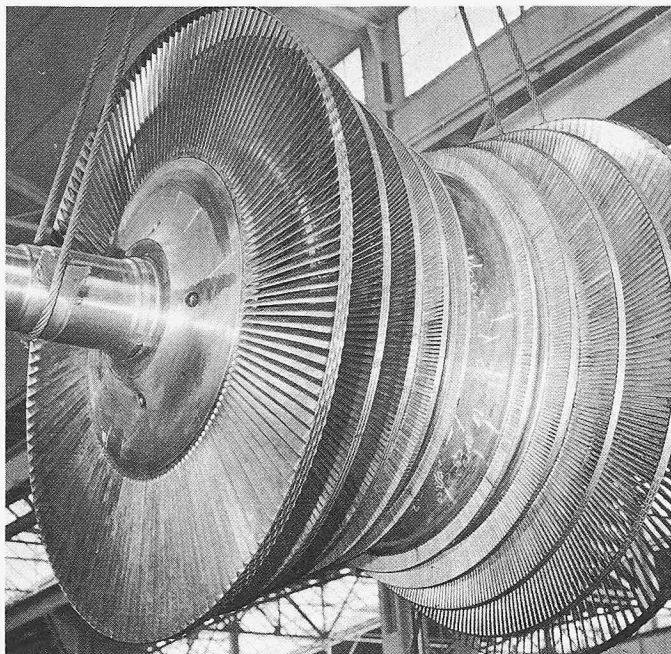
Der Propellerdurchmesser wird vor allem durch Grösse und Form des Hecks sowie durch den Tiefgang des Schiffes bestimmt. Ihre Form ähnelt Kaplan-Wasserturbinen. Die Schaufeln sind

Axialer Rotor einer Gasturbine

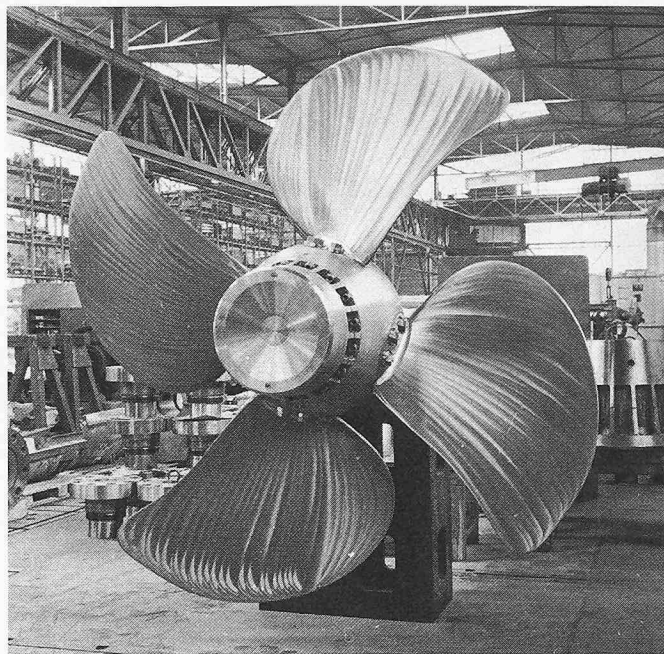


Rotor einer Heliumturbine (Drehzahl bis 300 000 U/min); links der Expanderotor, rechts der Bremskompressor





Dampfturbinenrotor



Schiffspropeller (verstellbar) mit sogenannten «Skew»-Schaufeln

zur Anpassung an den Schiffskörper und aus Fertigungsgründen häufig nach hinten gebogen (axiale Verschiebung). Zur Verbesserung der Kavitationseigenschaften sind die Propellerschaufeln zudem noch häufig asymmetrisch verzogen (radiale Verschiebung). Verstellbare Propeller erhöhen die Wendigkeit eines Schiffes und den Wirkungsgrad seines Antriebs.

**Flugzeugpropeller (Luftschaublen)**

Der Flugzeugpropeller ist im Gegensatz zum Schiffspropeller besonders

**Literatur**

- [1] Meyer-Hayoz, W. K.: «Industrial Design und Ergonomie im Investitionsgüterbereich», Technische Rundschau Sulzer, Winterthur, Bd. 63 (1981), H. 4
- [2] Forschung im Wandel der Zeit, 175 Jahre Escher Wyss, Escher Wyss Mitteilungen, Zürich, Bd. 53 (1980), H. 1/2

leicht (schmale Propellerflügel), um sein Gewicht zu begrenzen und dadurch Fliehkräfte beherrschen zu können. Wie beim Schiff werden Verstell-

propeller bevorzugt für bessere Start- und Landeeigenschaften des Flugzeugs und wirtschaftlichen Brennstoffverbrauch im Flug.

Bilder: Escher Wyss und Sulzer

Adresse des Verfassers: U. Müller, Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, 8401 Winterthur.

## Computereinsatz im Architekturbüro

### Ergebnisse einer Umfrage der SIA-Fachgruppe für Architektur

**Bedarfsabklärung**

Der Einsatz von Computern in Architekturbüros ist heute noch die Ausnahme. Der rasante Fortschritt in der Entwicklung von Mikro- und Minicomputern erlaubt jedoch auch mittleren und kleinen Betrieben den Einsatz kostengünstiger Systeme. Im Sinn einer Bedarfsabklärung führte die Arbeitsgruppe C5 «Anwendung der Datenverarbeitung im Bauwesen» der Fachgruppe für

Architektur im Jahre 1981 eine begrenzte Umfrage über den «Computereinsatz im Architekturbüro» durch. Basierend auf den Umfrageergebnissen plant die Arbeitsgruppe als nächsten Schritt eine Ausschreibung. Die Software-Anbieter sollen mit den Vorstellungen und Wünschen der Architekten über Einsatzmöglichkeiten der EDV in ihren Büros vertraut gemacht werden. Es ist zu hoffen, dass dadurch der SIA-Software-Katalog auch für Architekten attraktiver wird.

### Ergebnisse der Umfrage

Es wurden 420 Fragebogen verschickt, von denen 51 zurückkamen. Die Rücklaufquote von ungefähr 12% liegt im üblichen Rahmen. Die Umfrage kann wegen der geringen Anzahl Fragebogen nicht repräsentativ sein, doch lassen sich aus den Antworten gewisse Trends ablesen.

Die eingegangenen Antworten wurden getrennt nach Bürogrößen in 3 Gruppen ausgewertet:

A = Büros bis 5 Mitarbeiter	32%
B = Büros mit 6–20 Mitarbeitern	49%
C = Büros mit mehr als 20 Mitarb.	19%

Zunächst wurde gefragt, wie häufig jetzt schon EDV angewendet wird