Zeitschrift: Pestalozzi-Kalender
Herausgeber: Pro Juventute
Band: 54 (1961)
Heft: [1]: Schülerinnen

Artikel: Forschungsergebnisse im Turbomaschinenbau
Autor: Keller, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-989903

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

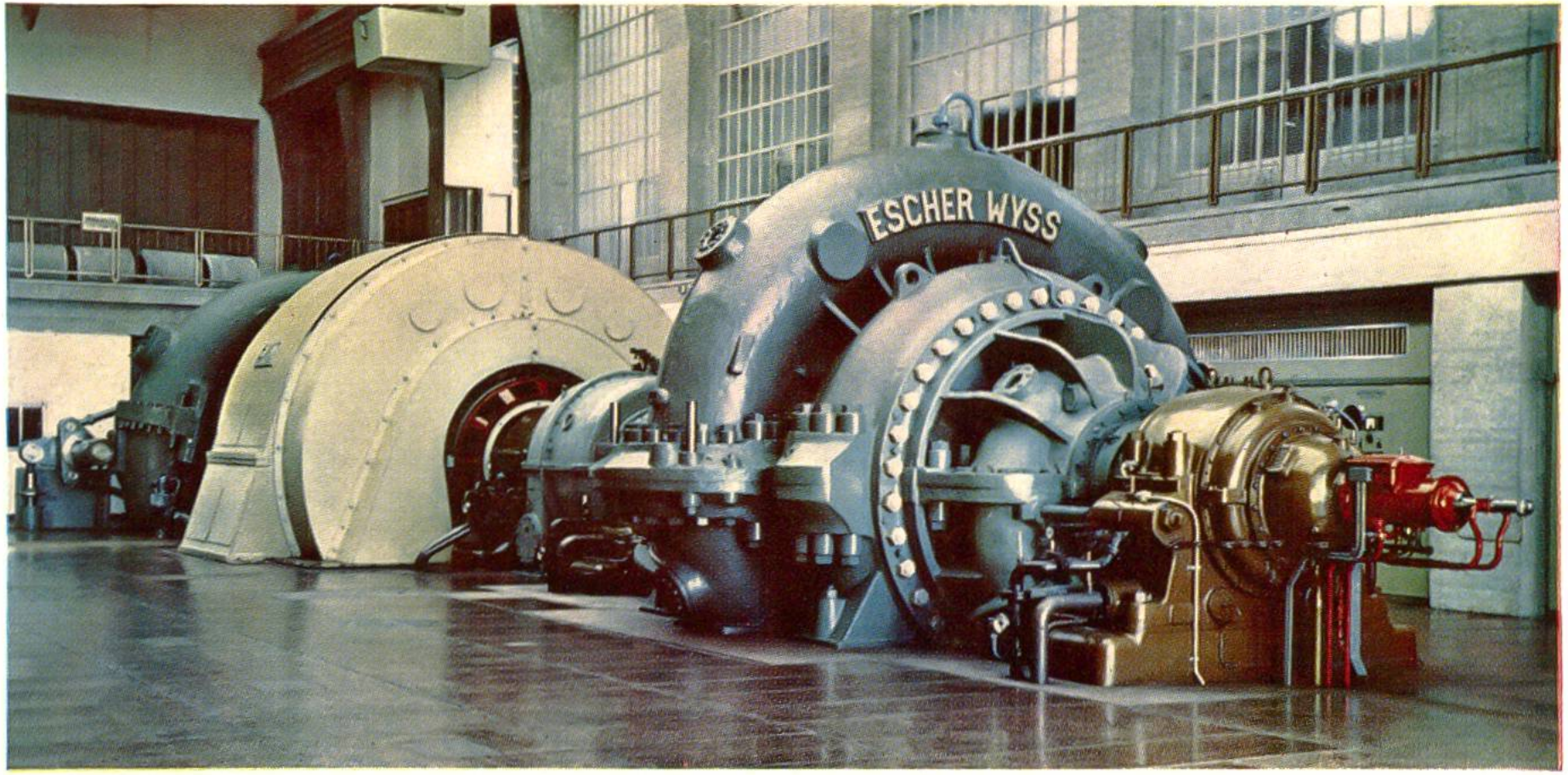
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

der pro Kopf der Bevölkerung weit mehr exportiert als die grossen Industriestaaten.
Auch die schweizerische *Maschinenindustrie* ist ausgesprochen auf den Export ausgerichtet, was ziffernmässig schon daraus hervorgeht, dass 70% ihrer Produktion ins Ausland geht. Für gewisse Gruppen der Maschinenindustrie liegt der Prozentsatz sogar noch höher, er erreicht z. B. 90% für Textilmaschinen.
Es versteht sich nun von selbst, dass für eine dermassen auf Qualität ausgerichtete Produktion – ganz speziell für die Herstellung von Maschinen – die Forschung eine hervorragende Rolle spielt. Neue Methoden der Energiegewinnung und neue Arbeitsweisen der Energieumwandlung, der Phasenübergänge, der Förderung von Medien müssen entwickelt werden; bereits bekannte sind eingehend zu studieren, um Verbesserungen zu ermöglichen. Die verschiedenen Wege zum Steigern des Wirkungsgrades sind zu prüfen. Dazu gehört auch das gründliche Studium der verschiedenen Teile eines fertigen Objektes, sowohl in ihrer Wirkungsweise als auch in der Haltbarkeit. Ebenso sind Mess- und Regelorgane zu entwickeln und betriebssicher zu gestalten.
Die Bearbeitung solcher Fragen ist Aufgabe der den grossen Fabriken angegliederten Laboratorien und theoretischen Forschungsstellen. Ihr vielfältiger Aufgabenbereich zerfällt in zwei Hauptgruppen: in die Kontrollfunktionen, welche bereits vorliegende Werkstoffe auf ihre Eignung sowie bereits gebaute Maschinen auf ihre Wirkungsweise hin prüfen müssen, und in die Arbeiten für das Studium und die Entwicklung neuer Werkstoffe, Verfahren, Maschinen und Anlagen wie auch für die fortwährende Vervollkommnung bereits bestehender Erzeugnisse.

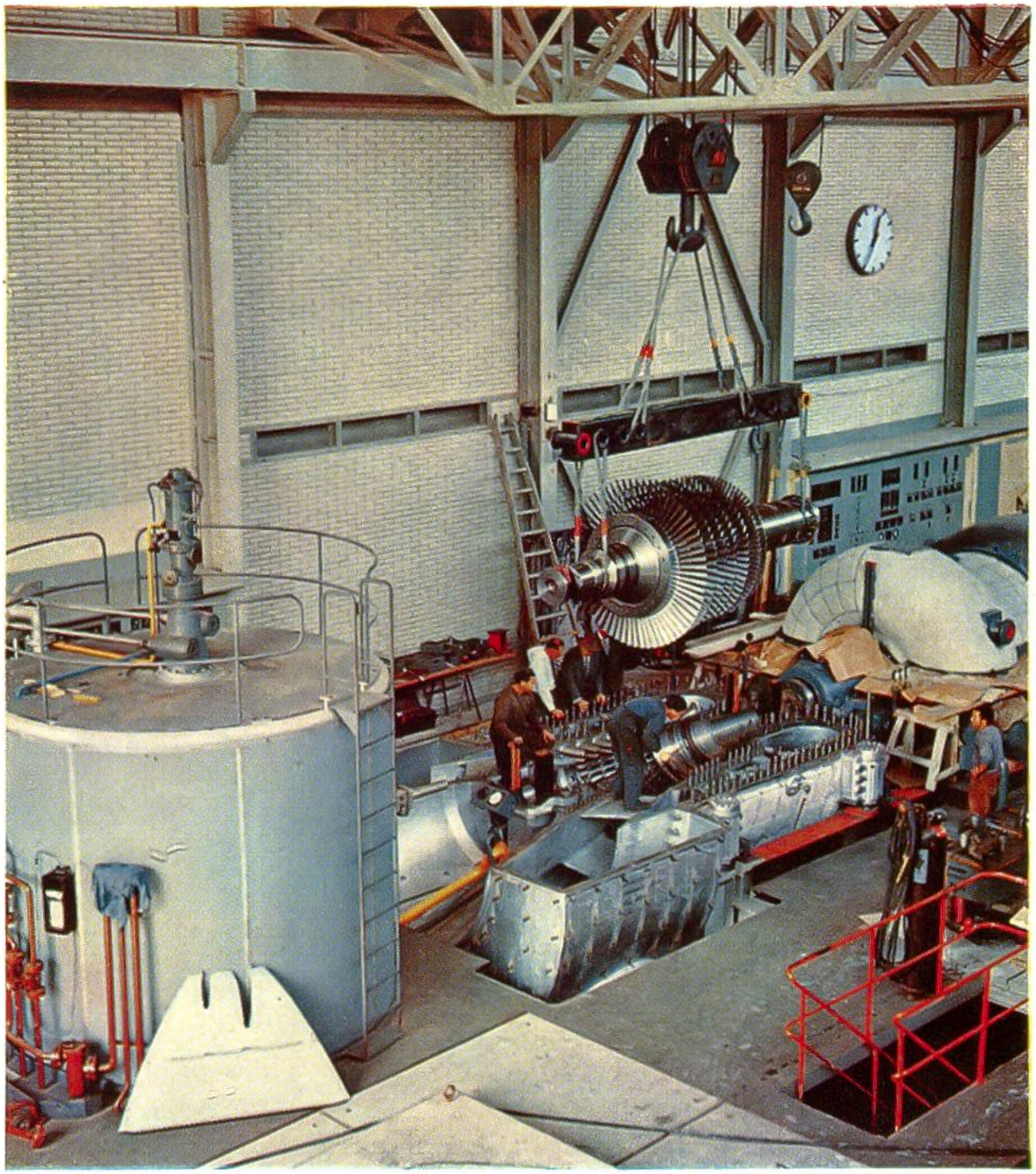
B. Humm, Dipl.-Ing. Gebr. Sulzer AG., Winterthur

FORSCHUNGSERGEBNISSE IM TURBOMASCHINENBAU

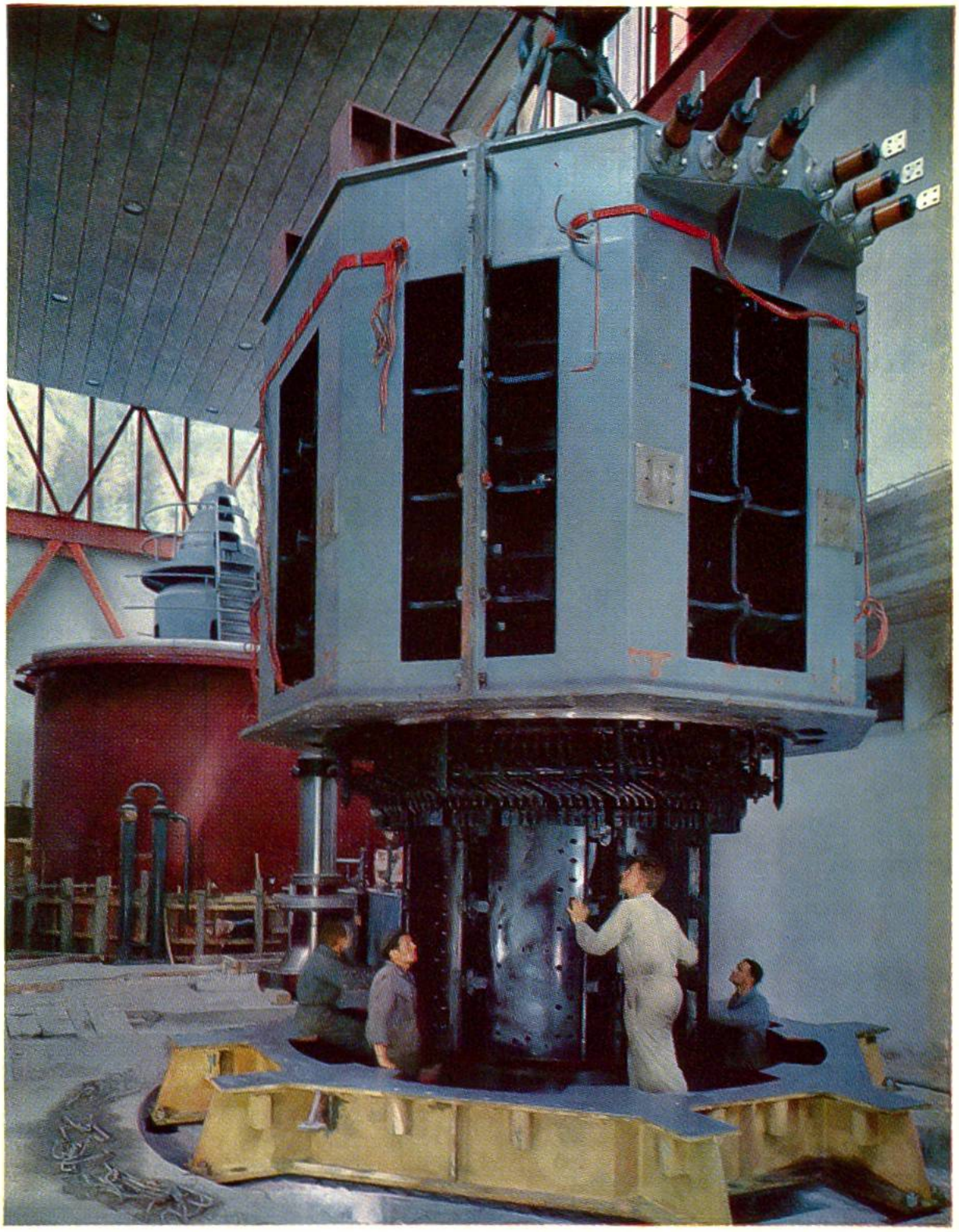
Die schnell rotierenden Turbomaschinen sind in diesem Jahrhundert zu den wichtigsten Kraft- und Arbeitsmaschinen geworden. Sie haben die früher vorherrschenden Kolbenmaschi-



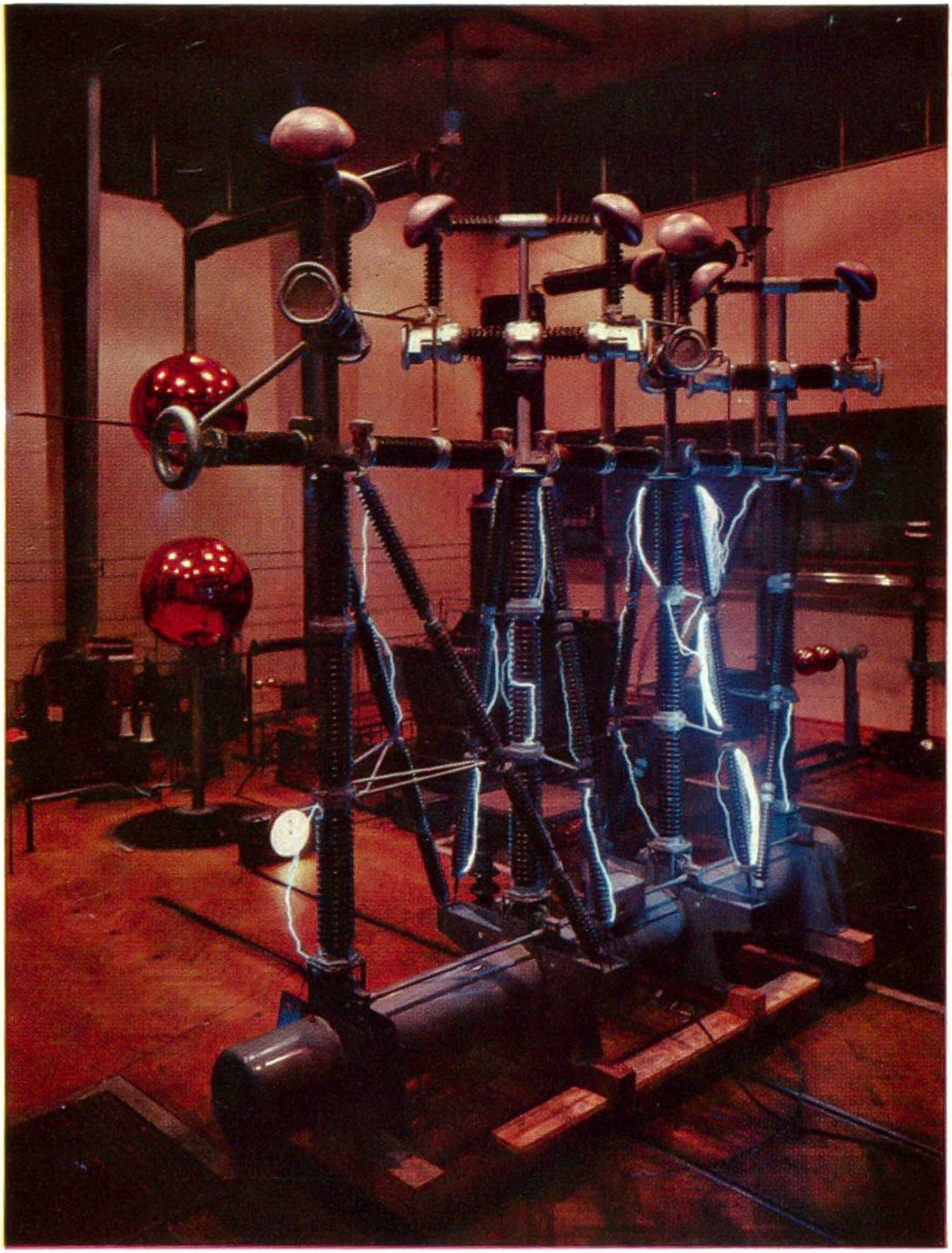
ESCHER WYSS-Speicherpumpe mit einer Antriebsleistung von 85000 PS, wie sie in den letzten Jahren aus Modellversuchen entwickelt wurde. Diese Speicherpumpe fördert 10800–16600 l/sec.



Montage einer Sulzer-Gasturbine von 10000 Kilowatt Leistung im Kraftwerk Weinfelden der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK). Die elektrische Energie dieser Gasturbinenzentrale dient im Winter und bei Verbrauchsspitzen zur Entlastung und Ergänzung der Wasserkraftwerke. Bildmitte: Letzte Kontrolle vor dem Einsetzen des Rotors in die Turbine. Links: Brennkammer, in der Schweröl mit Luft unter Druck verbrannt wird. Das dabei entstehende Gas treibt die Turbine an. Rechts am Bildrand: Luftkompressor, welcher die von der Brennkammer benötigte Luft aus der Umgebung ansaugt und auf den Betriebsdruck verdichtet.



Im Kraftwerk Safienplatz (Graubünden) wird der Stator des zweiten Dreiphasengenerators für 51000 kVA, 14000 V, 50 Hz, 750 U/min über den bereits mit der Wasserturbine gekuppelten Rotor mit grösster Vorsicht herabgelassen (Maschinenfabrik Oerlikon). Der Bau von Grossgeneratoren für in abgelegenen Orten gebaute Zentralen stellt besondere Konstruktionsprobleme, da die Zufahrtswege meistens zur Zerlegung der Maschinen in Teile von auf einige Tonnen beschränktem Gewicht zwingen.

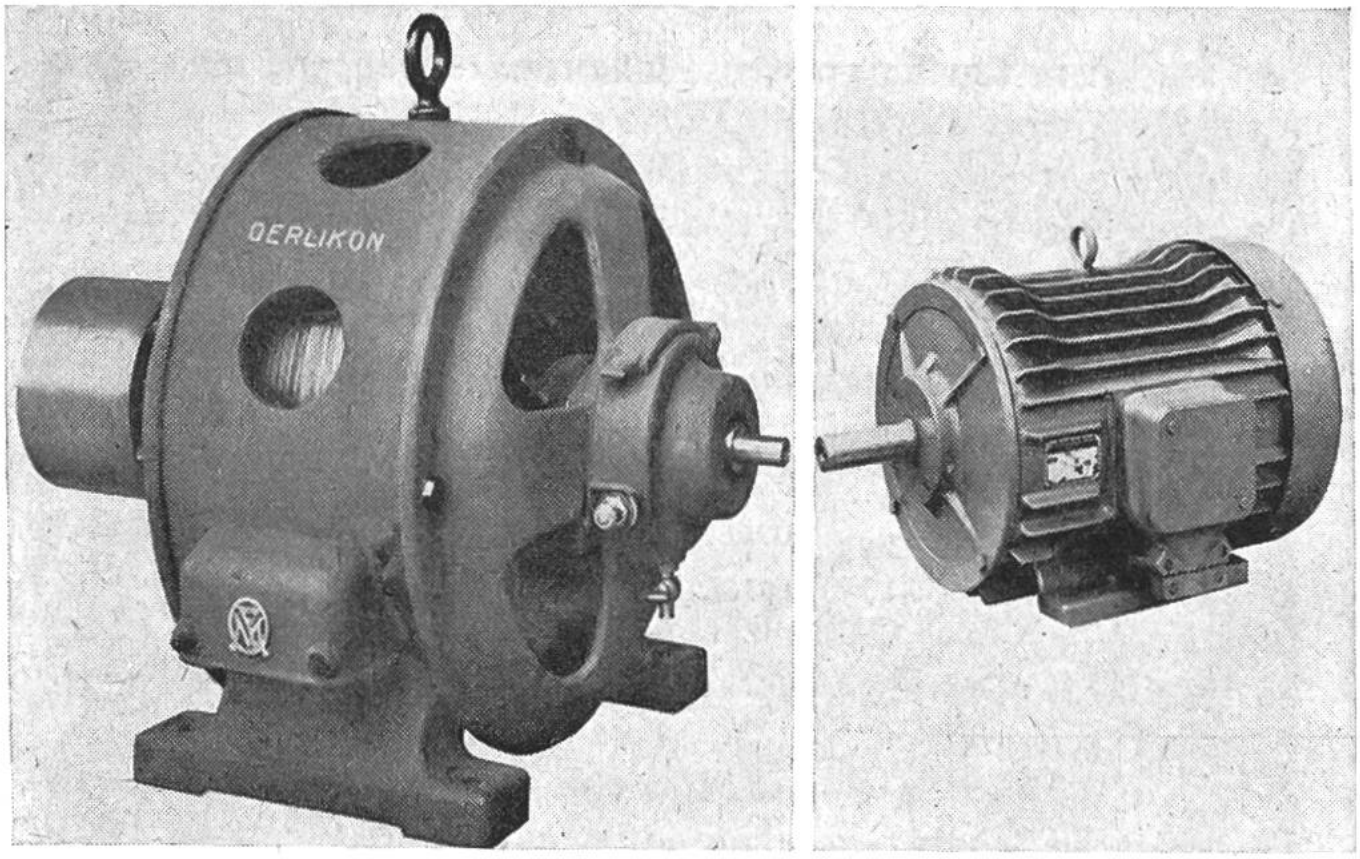


Überschläge gegen Erde an einem 345000-V-Druckluftschnellschalter bei der Prüfung mit Wechselspannung, Frequenz 50 Hz, im Laboratorium für Höchstspannung der AG. Brown, Boveri & Cie. Im Hintergrund die Kugelfunkenstrecke zum Messen der Prüfspannung.

nen vor allem für die grossen Einheitsleistungen, die heute gefordert werden, weitgehend verdrängt. Dampf-, Gas- und Wasserturbinen treiben in den Elektrizitätswerken Generatoren mit Leistungen von 100000 kW und mehr. Als Pumpe und Gebläse fördern sie Gase oder Flüssigkeiten auf höheren Druck für den mannigfaltigsten Gebrauch in der Industrie. Auch die Leistung der Pumpen ist in den letzten Jahrzehnten gewaltig angewachsen, und Maschinenleistungen über 100000 PS für Speicherwerke sind keine Seltenheit mehr. Heute kann in einer Maschine das Hundertfache an Leistung untergebracht werden als vor 50 Jahren. Diese enorme Konzentration der Leistungsdichte in kleinen Volumen ermöglicht es nicht nur, solche Maschinen wirtschaftlicher zu bauen, d. h. die erzeugte elektrische und mechanische Kraft billiger bereitzustellen, sondern Turbomaschinen auch in Fahrzeugen und Flugzeugen einzubauen, wo geringer Platzbedarf und kleines Gewicht unumgänglich nötig sind.

Auf den ersten Blick scheinen die obengenannten Maschinen recht verschieden zu sein. Vom physikalischen Standpunkt aus gesehen, liegt aber allen ein gemeinsames Arbeitsprinzip zugrunde. Während in der alten Kolbenmaschine ein statischer Druck im Zylinder Kraft erzeugt, wird diese in den Turbomaschinen durch das bewegte, rasch über die Schaufeln strömende Arbeitsmittel, sei es Gas, Luft, Dampf oder Wasser, erzeugt. Es ist die Kraft der Strömung, welche in diesen Maschinen wirkt. Mit Strömungsgeschwindigkeiten von Hunderten von Metern pro Sekunde umströmt die Flüssigkeit oder das Gas die Schaufelungen und setzt den Rotor in Drehung. Je höher man die Geschwindigkeit ansetzen kann, desto höher wird die wirksame Kraft. Sie nimmt ungefähr mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu.

Die neueste Entwicklung im Maschinenbau ist also durch den Übergang vom statischen zum dynamischen Arbeitsbetrieb gekennzeichnet. Obschon die Grundphänomene der Strömung schon seit mehr als 200 Jahren bekannt sind, hat es sehr lange gedauert, bis diese zweckmässig in Maschinen angewendet werden konnten. Erst die moderne Strömungslehre und Aerodynamik, wie sie in den letzten 50 Jahren ausgebaut wurde, schuf neue Erkenntnisse und erlaubte es, tiefer in die Einzelheiten der Strömungsvorgänge in den Turbomaschinen einzudringen. Es sind



Als Beispiel des seit 50 Jahren erzielten Fortschrittes dient hier die Gegenüberstellung eines offenen Elektromotors aus dem Jahr 1910 und einer geschlossenen, modernen Einheit gleicher Leistung. Obschon die Wärmeabfuhr bei der geschlossenen Bauart wesentlich schwierigere Probleme stellt, konnten die Abmessungen merklich vermindert werden, was sowohl Fortschritten in der Bearbeitung von Rohstoffen und Isoliermaterialien wie auch neuen Erkenntnissen konstruktiver Art zu verdanken ist. Bedenkt man ausserdem, dass der geschlossene Motor – im Gegensatz zur offenen Bauart – sogar in mit korrosiven Dämpfen gefüllten oder staubreichen Räumen zuverlässig und ungefährdet arbeitet, so tritt das Ergebnis jahrzehntelanger zielbewußter Anstrengungen klar in Erscheinung.

aber gerade diese Einzelheiten, auf die es ankommt. Viele Erkenntnisse der Flugtechnik und Aerodynamik wurden dann folgerichtig auch bei den Maschinen angewendet. Dies durchbrach eine gewisse Stagnation im Turbomaschinenbau um 1920 und wurde der Ausgang zu den oben geschilderten Entwicklungen. Der moderne Axialkompressor, der aus einer Aneinanderreihung von Rädern mit tragflügelförmigen Schaufeln besteht, wäre ohne Forschungserkenntnisse der letzten Jahrzehnte nicht möglich gewesen. Auf anderen Gebieten trat die gleiche Entwicklung ein, wie ein Vergleich eines modernen geschlossenen Elektromotors mit einer offenen Einheit gleicher Leistung aus dem Jahr 1910 beweist (Bild).

Mit der Verkleinerung der Maschinenabmessungen werden nun aber die Maschinen heikler. Sie erfordern sehr grosse Genauigkeit in der Bearbeitung und der Formgebung der strombestrichenen Teile. Der Materialaufwand ist viel kleiner, aber die Anforderung an Berechnung und die Fabrikation grösser. Das ist aber gerade das, worauf die Schweizer Industrie gut eingerichtet ist. Da wir keine Rohstoffe wie Eisen oder Kohle haben, sind wir auf dem Weltmarkt mit Maschinen, die eine hohe Qualität im technisch-physikalischen Sinne aufweisen und in welcher Ingenieurarbeit steckt, am besten konkurrenzfähig.

Die modernsten Forschungsmethoden in den Fabriklaboratorien erlauben es in erster Linie, Verbesserungen zu machen. Da neue Maschinen nicht mehr in allen Einzelheiten der Berechnung zugänglich sind, werden Modellversuche an verkleinerten oder vergrösserten Modellen von ganzen Maschinen oder von Einzelteilen derselben in besonderen Versuchsständen durchgeführt. Im modernen Strömungslaboratorium werden exakt nachgebildete kleine Modelle von Wasserturbinen von 200–500 mm Durchmesser genau ausgemessen. Es werden Wirkungsgrade auf 1 Promille genau gemessen. Die physikalischen Ähnlichkeitsgesetze erlauben es, Resultate der Modellausführung sehr exakt auf die zu bauende Grossausführung (Bild) zu übertragen. Die Entwicklung des Modellversuchswesens hat entscheidend dazu beigetragen, dass Spitzenleistungen im Turbomaschinenbau ohne grosse Risiken und Fehlschläge erreicht werden konnten. Es ist fast paradox, aber doch richtig, dass es gerade die Beschäftigung mit kleinen Strömungseinzelheiten war, die den Weg zum Grossmaschinenbau geöffnet hat. In dieser Hinsicht war und ist die Schweizer Maschinenindustrie führend. Obschon ja für viele Maschinen, wie z. B. Grosskompressoren für die Hüttenindustrie, Dampfturbinen für Kohlenkraftwerke, grosse Verstellpropeller für Schiffe, kein nennenswerter Markt im eigenen Lande besteht, ist es uns doch gelungen, unsere Produkte im internationalen Konkurrenzkampf zu verkaufen.

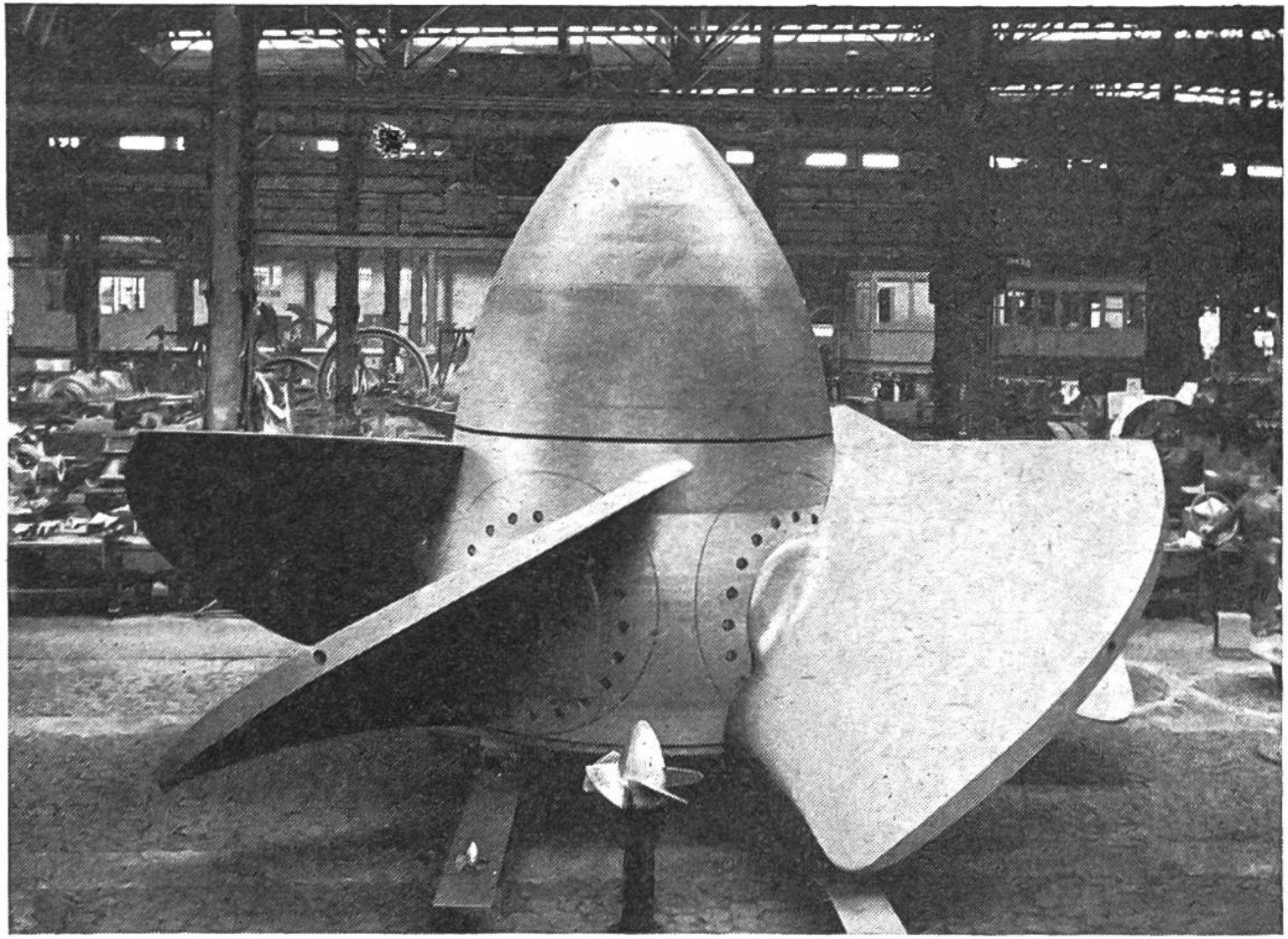
Diese Leistung wäre ohne die zähe und zielbewusste jahrelange Vorarbeit der Wissenschafter, Ingenieure und Konstrukteure in den Laboratorien nicht möglich gewesen. Sie hat dazu geführt, dass der Maschinen- und Apparateexport der Schweiz stetig an-

steigt und heute etwa ⅓ des Gesamtexportes der Schweiz von 7,2 Milliarden Franken ausmacht. Dies ist der grösste Anteil einer Branche und steht über dem Uhrenexport oder dem Export chemischer Produkte.

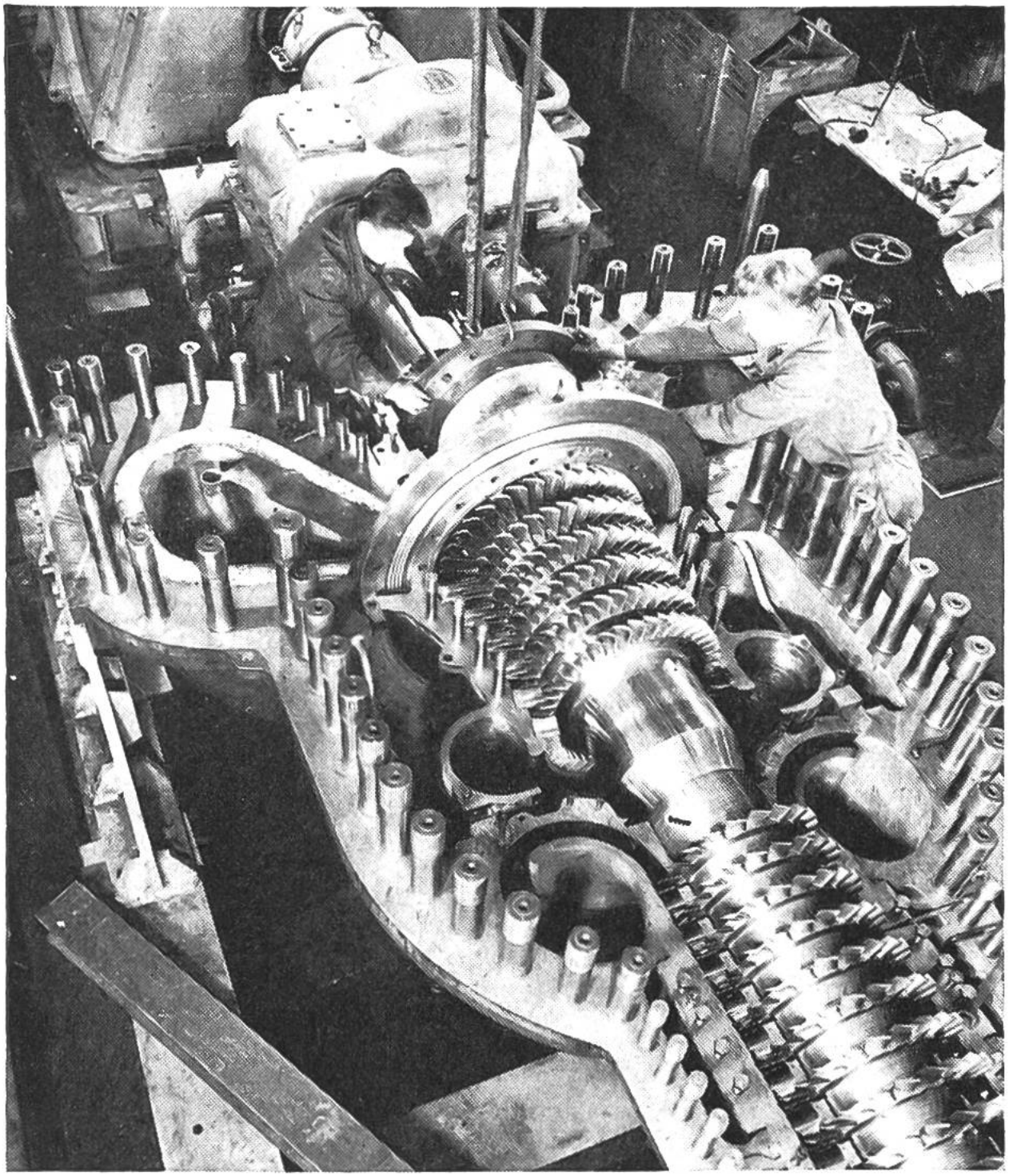
Turbomaschinen sind heute nur noch bei bestem Wirkungsgrad konkurrenzfähig, weil überall in der Welt danach getrachtet wird, aus den gegebenen Naturschätzen, wie Kohle, Öl oder Wasserkraft, ein Maximum an mechanischer Energie zu gewinnen.

Die schöpferische Kraft der schweizerischen Techniker basiert auf guter Schulung und ist auch heute noch sehr lebendig. Davon zeugen die mehr als 1500 Patent-Neuanmeldungen, die allein auf dem Gebiete des Maschinen- und Apparatebaues jährlich hinterlegt werden.

Ohne genaue Kenntnis der Strömungsphänomene ist der Bau hochwertiger Turbomaschinen ausgeschlossen. Der Aussenstehende hat zwar unter dem Eindruck sensationeller Meldungen in der Presse oft das Gefühl, dass die Entwicklung im Maschinenbau sehr stürmisch vor sich gehe. Dem ist aber nicht so. Die meisten der heutigen Bauformen von Turbinen, seien es solche von Pelton-, Kaplan- oder Francis-Bauart im hydraulischen Gebiet, Dampf- oder Gasturbinen im thermischen Gebiet, haben schon ihre Vorläufer im letzten Jahrhundert. Das Äussere der Maschinen hat sich gar nicht so sehr geändert, wohl aber die strombestrichenen aktiven Teile. Deren schrittweise Verbesserung durch zähe Arbeit in den Strömungslaboratorien haben es ermöglicht, Fortschritte zu erzielen. Beispielsweise zeigt die Kaplanturbinenentwicklung, wie hartnäckig und stetig diese Arbeit sein muss. Schon in den zwanziger Jahren, als die ersten Kaplanturbinen gebaut wurden, war es auf Grund von Berechnungen sowie empirischen Vorversuchen möglich, solche Maschinen mit einer Leistung von etwa 10000 PS mit Wirkungsgraden um 80 % zu bauen. Es hat 30 Jahre unverdrossener Arbeit gebraucht, um den Wirkungsgrad auf den heutigen Wert von 92 % zu heben und die Einheitsleistung auf das Zehnfache zu steigern. Dabei war es nötig, Hunderte von kompletten, exakt nachgebildeten Modellanlagen im Laboratorium durchzumessen und schrittweise Verbesserungen vorzunehmen. Wenn man bedenkt, dass schon eine einzige kleine Modellturbine etwa Fr. 100000.– kostet, so versteht man



Vergleich von Modellrädern (im Vordergrund) und Grossausführung einer Wasserturbine.
(Escher Wyss)



Moderne Gasturbine für Kohlenfeuerung von 17000 PS Leistung nach dem Ackeret-Keller Prinzip des geschlossenen Kreislaufes. Solche Gasturbinen werden auch in zukünftigen ATOM-Anlagen Verwendung finden (Escher Wyss).

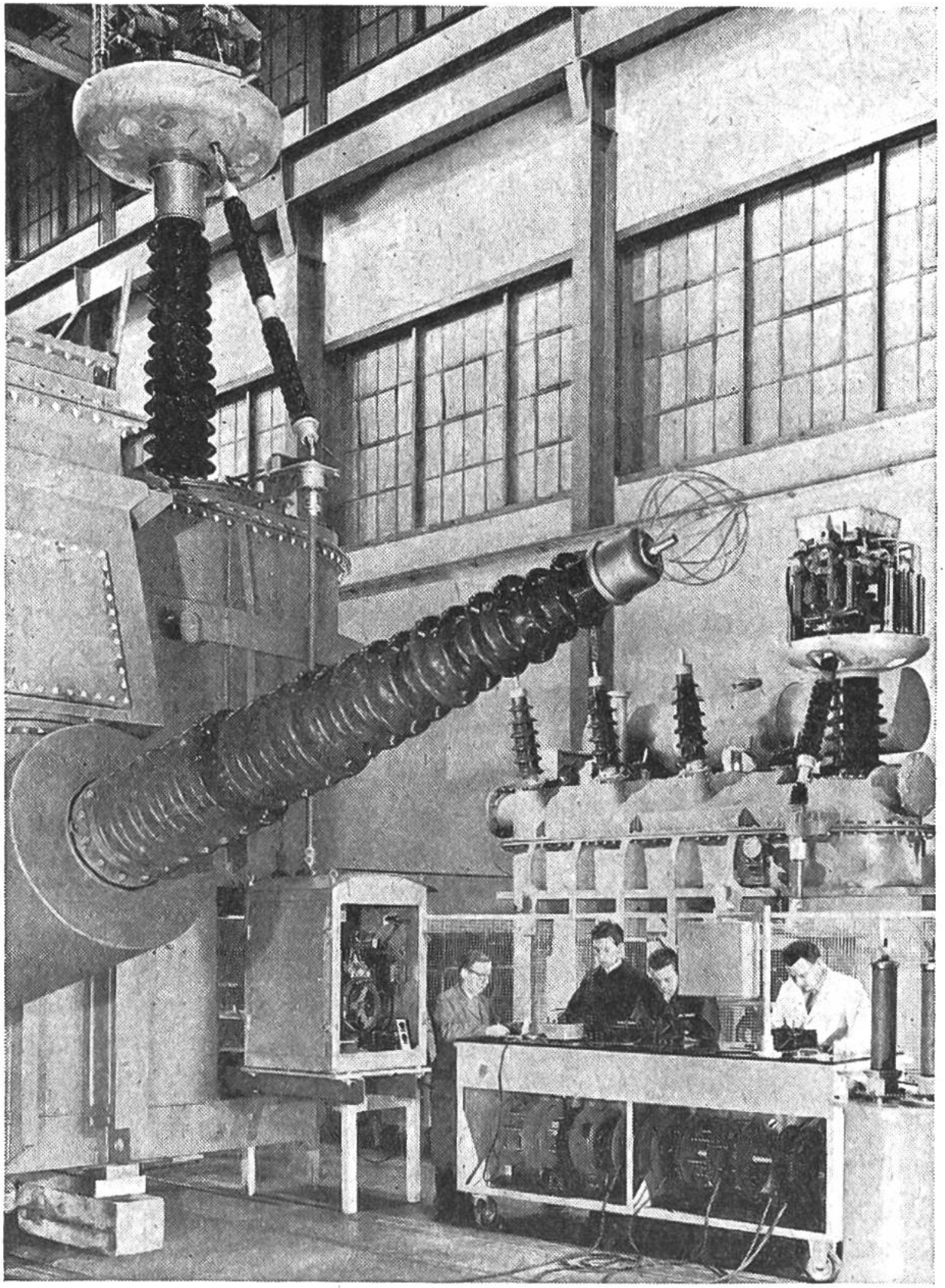
auch die grossen Auslagen, die Schweizer Firmen in ihren Labors für Forschung und Entwicklung ausgeben müssen. Die gesamten privaten Forschungsausgaben der schweizerischen Maschinenindustrie belaufen sich auf rund 100 Millionen Franken im Jahr.

Ein anderes Beispiel bildet die moderne Gasturbine, deren Konzeption ebenfalls bereits ins letzte Jahrhundert zurückgeht. Es hat auch hier ein Vierteljahrhundert gedauert, bis die Idee ökonomische Verwirklichung fand. In der Zwischenzeit waren in einer grossen Zahl von Versuchen materialtechnischer und strömungstechnischer Natur Rückschläge, Fehlkonstruktionen und Umwege häufiger als wirkliche Fortschritte. (Bild S. 282)

Der gute Ruf, den der Schweizer Maschinenbau in der Welt geniesst, beruht also nicht auf momentanen Anstrengungen, sondern auf langer, zäher, zielbewusster Arbeit in Laboratorien und Konstruktionsstätten. Die Arbeiten und Ideen des Forschers und Konstrukteurs gedeihen meist hinter geschlossenen Türen, dem Aussenstehenden wenig bekannt. Sie bilden aber die unumgängliche Grundlage für den Weiterbestand unserer Konkurrenzfähigkeit. Auch in den grossen Industrieländern arbeitet man heute viel mehr nach wissenschaftlichen Methoden, wie sie bei uns von jeher üblich waren. Die Behauptung unserer Maschinenindustrie wird also in Zukunft nicht leicht werden. Darum können wir auf die Forschungsarbeiten, so teuer sie auch sind, nicht verzichten. Die im Gange befindliche vermehrte Zusammenarbeit von Schweizer Firmen mit ähnlich gerichteter Produktion, mit Erfahrungsaustausch und Vermeidung von Parallelarbeiten setzt uns in die Lage, weiterhin im Weltmarkt an der Spitze zu bleiben.

Wir haben in der Schweiz die Chance des tüchtigen Kleinen. Die wertvollsten Naturschätze der Schweiz sind ihre guten Arbeitskräfte und Lehranstalten. Da man sich gegenseitig in den nicht allzu grossen Unternehmungen noch persönlich kennt und der Kontakt zwischen experimenteller Wissenschaft, Hochschule und Praxis natürlich und eng ist, können wir viele Fortschritte rascher und mit weniger Umtrieb erreichen als die oft überdimensionierten, zentralisierten staatlichen Forschungsanstalten anderer Industrieländer.

Dr. C. Keller, Escher Wyss AG, Zürich



Bevor Maschinen und Apparate die Werkstätten verlassen, werden sie eingehenden Prüfungen und sorgfältigen Messungen unterzogen. Hier sehen wir einen grossen Reguliertransformator für die Verbindung zwischen einem 220000-Volt- und einem 150000-Volt-Netz auf dem Prüfstand der Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich.