

Der schweizerische Beitrag an die amerikanische Kerntechnik und -industrie

Autor(en): **Lüling, Heinrich C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 26: **SIA, Heft 4**

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74520>

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.

Der schweizerische Beitrag an die amerikanische Kerntechnik und -industrie

Von Heinrich C. Lüling, Schaffhausen

Es ist eher erstaunlich zu hören, dass die Schweiz in der Lage sein soll, einen Beitrag an die amerikanische Kerntechnik und -industrie zu leisten. Die Schweiz ist ein kleines Land im Herzen West-Europas, ungefähr 230mal kleiner als die Vereinigten Staaten und mit einer Bevölkerungszahl von nur etwa sechs Millionen. Ein grosser Teil des Landes besteht aus hohen Bergen und damit unfruchtbarem Boden; das Land verfügt über keine Mineralschätze wie Eisenerz, Kohle oder Öl.

Handel und Handwerk haben die Schweiz seit dem Mittelalter in unaufhörlicher Entwicklung in ein *hochindustrialisiertes* Land verwandelt, aus dem nur einige Industriezweige erwähnt sein mögen.

- Uhren,
- Maschinen zur Energieerzeugung (hydraulische, dampfgetriebene, Verbrennungskraftmaschinen),
- Chemische Industrie,
- Werkzeugmaschinen,
- Textilmaschinen und Textilien,
- Aluminium-Industrie (Elektrolyse nach Héroult, zum ersten Mal industriell erzeugt in Europa, gleichzeitig mit Hall/USA),
- Lebensmittel-Industrie (Milchprodukte und Schokoladen),
- Versicherungswesen,
- Bankwesen.

Das Bildungswesen in der Schweiz weist ein hohes Niveau auf. Es bestehen zwei Technische Hochschulen sowie etwa 15 Höhere Technische Lehranstalten HTL (Ingenieurschulen). Die meisten Industrie-Handwerker haben eine vierjährige Berufslehre absolviert.

Seit über 40 Jahren erfreut sich die Schweiz eines «Arbeitsfriedens», der auf einem Abkommen zwischen den Arbeitgeber-Organisationen und den Arbeiter-Gewerkschaften aus dem Jahr 1937 beruht, im Bestreben, Probleme und Konflikte gemeinsam zu diskutieren und ohne Streik zu bereinigen. Auf diese Weise konnte sich die Industrie unaufhörlich entwickeln. In der Schweiz gibt es auch fast keine Arbeitslosigkeit und die Anzahl offener Stellen überwiegt die der Arbeitslosen.

Bedingt durch den Kohlemangel während des Ersten Weltkrieges verstärkte die Schweiz ihre Anstrengungen in der

Elektrizitäts-Erzeugung. So sind z.B. heute alle Schweizer Eisenbahnen elektrifiziert. Die Reserven an Wasserenergie in den Alpenseen und Flüssen sind praktisch vollständig genutzt zur Erzeugung von Elektrizität; sie werden vielfach durch den saisonalen und täglichen Einsatz von Pump- und Speicherwerken. Da alles Heizöl eingeführt werden muss, hat die Schweiz in den letzten Jahren den direkten Schritt von der Wasserenergie- zur Kernenergie-Erzeugung unternommen. Zurzeit sind vier Kernkraftwerke mit total 2000 MW in Betrieb, die ungefähr 33 Prozent unseres Energiebedarfes sicherstellen.

Die Kleinheit des Landes und die zuvor erwähnte Entwicklung machen die Schweiz zu einem klassischen Exportland; die Ausfuhr macht bei bestimmten Produkten mehr als 90 Prozent aus.

Der schweizerische Beitrag an die Vereinigten Staaten auf dem hochentwickelten Gebiet der Kerntechnik erfordert anspruchsvolle Leistungen. Sie sollen anhand einiger Beispiele belegt und kurz umschrieben werden. Dabei wurden folgende Institutionen und Industrieunternehmen berücksichtigt:

- Das Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR) in Würenlingen,
- BBC Brown Boveri & Cie AG, Baden,
- Gebrüder Sulzer AG, Winterthur,
- Georg Fischer AG, Schaffhausen.

Das Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR)

Aufgrund privater Initiative wurde vor 25 Jahren die «Reaktor AG» als gemeinschaftliche Anstrengung der schweizerischen Wirtschaft zur Entwicklung der Kernenergie gegründet. Einige Jahre später, nachdem erkannt worden war, dass die Aufwendungen für ein solches Forschungsinstitut zur Entwicklung eines schweizerischen Reaktor-Typs immer mehr von der öffentlichen Hand erbracht werden müssen, wurde die Gesellschaft auf die Schweizerische Eidgenossenschaft übertragen und in das EIR umgewandelt. Seine drei Ziele sind auf *Forschung, Dienstleistungen* und *Ausbildung* ausgerichtet:

Kernenergie-Forschung

- Untersuchungen zu heutigen Leichtwasserreaktoren (vor allem Brennstoffausnutzung) und zu zukünftigen, fortgeschrittenen Reaktorkonzepten (Hochtemperaturreaktor);
- Alternativ-Energien (Sonnenenergie), Energieumwandlungsprozesse;
- Energie und Umwelt (z.B. meteorologische Auswirkungen von Kühltürmen).

Dienstleistungen

- Erzeugung von Isotopen für Medizin und Industrie,
- Strahlenschutz,
- Sicherheit von Kernkraftwerken (Ressortforschung).

Ausbildung und Weiterbildung

- Nachdiplomstudien in Reaktortechnik,
- Praktische Kurse für das Personal von Kernkraftwerken und für Medizin
- Vorlesungen an Technischen Hochschulen und Ingenieurschulen.

Das EIR arbeitet auf verschiedenen Gebieten mit einschlägigen internationalen und nationalen Organisationen zusammen. Als Beispiel soll die Zusammenarbeit mit den USA erwähnt werden (Tabelle 1).

Tabelle 1. Zusammenarbeit des EIR mit US-Organisationen

US-Organisationen	Tätigkeiten
Oak Ridge National Laboratory	Hochtemperaturreaktor (Reaktorphysik und Wärmeübergang) Gasgekühlter schneller Brüter (auslaufendes Programm)
Argonne National Laboratory	Reaktorphysik des schnellen Brüters
General Atomic Company, San Diego	Seit 1968: GCFR (Gasgekühlter schneller Brüter) Seit 1973: HTR im speziellen HHT Hochtemperaturreaktor (insbesondere mit Heliumturbine)
DOE (Energie-Departement) Projekt Management W-A R&D Dachabkommen (USA, BRD, F, CH)	Gemeinsames Bestrahlungsexperiment für den Karbid-Brüterbrennstoff Über gasgekühlte Reaktoren, vor allem allgemeine Probleme des Hochtemperaturreaktors

Beitrag von BBC Baden auf dem Gebiet grosser, geschweisster Rotoren für Kernkraftanlagen

Die allgemeine Leistungssteigerung bei Dampfturbinen hat zu einer *steilen Vergrösserung des Dampfstroms* geführt und fordert die Konstruktion von sehr grossen *Niederdruckteilturbinen*, insbesondere *Rotoren*. Seit 1929 stellt BBC Turbinenwellen aus einzelnen, verhältnismässig schmalen, geschmiedeten Scheiben her, die an ihrer Peripherie zusammengeschweisst sind (Bild 1). Der fertige Rotor ist ein integraler Rotor mit mehreren Hohlräumen.

Die *Vorteile der geschweissten Rotoren* sind offensichtlich:

- Es ist bedeutend einfacher, kleine Teile zu schmieden, da sie weniger zur Rissbildung neigen, nur einfache Gesenke erfordern und ein höheres Qualitätsniveau gewährleisten.
- Die Vergütung durch thermische Behandlung erfolgt viel regelmässiger zufolge der kleineren Dimensionen.
- Die *Ultraschallprüfung* von kleineren Schmiedeteilen, Scheiben und Wellenenden wird bis in den Kern hinein ermöglicht.

Bei Bedarf können Materialproben in der Nähe des Zentrums, wo die Spannungen am grössten sind, entnommen und im metallurgischen Labor geprüft werden. Diese Proben können ohne zusätzliche axiale oder radiale Bohrungen entnommen werden. Die Ultraschallprüfung der Schweissungen lässt sich durch eine spezielle Gestaltung der Schweissnaht leicht durchführen.

Ein weiterer Vorteil des geschweissten Turbinenrotors besteht darin, dass zufolge der kleinen Wandstärken keine grossen Wärmespannungen während des An- und Abfahrens im Rotor erzeugt werden. Das thermische Gleichgewicht ist gewährleistet ohne innere Beanspruchung in axialer Richtung. Es entsteht ein zweidimensionaler Beanspruchungszustand anstelle des gefährlichen dreidimensionalen. Dadurch weisen geschweisste Rotoren gute Betriebsvoraussetzungen für raschen Start und rasche Lastwechsel auf. Niederdruck-Rotoren für Satteldampfturbinen, wie sie heute in Kernkraftwerken eingesetzt werden, haben Einzelgewichte bis zu 300 Tonnen. Schmiede-Stücke für sogenannte Monoblock-Läufer würden im Rohgewicht beim Abgiessen weit über 500 Tonnen wiegen. Solche Blöcke liegen heute an der äussersten Grenze der Kapazität der Stahlwerke und können mit der notwendigen Materialgü-

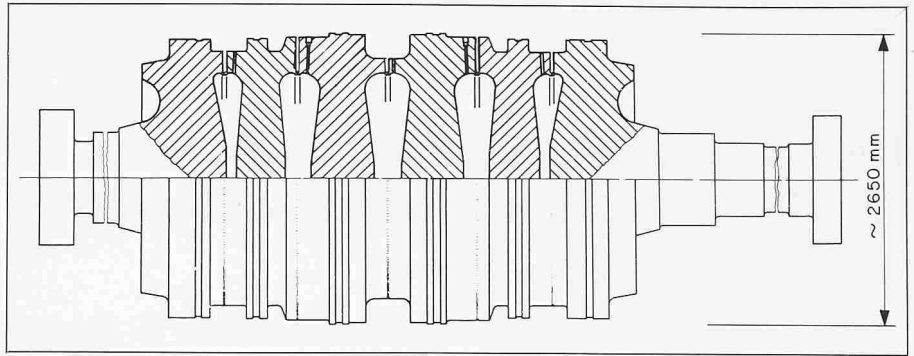


Bild 1. Schnitt und Ansicht durch einen geschweissten Turbinenrotor

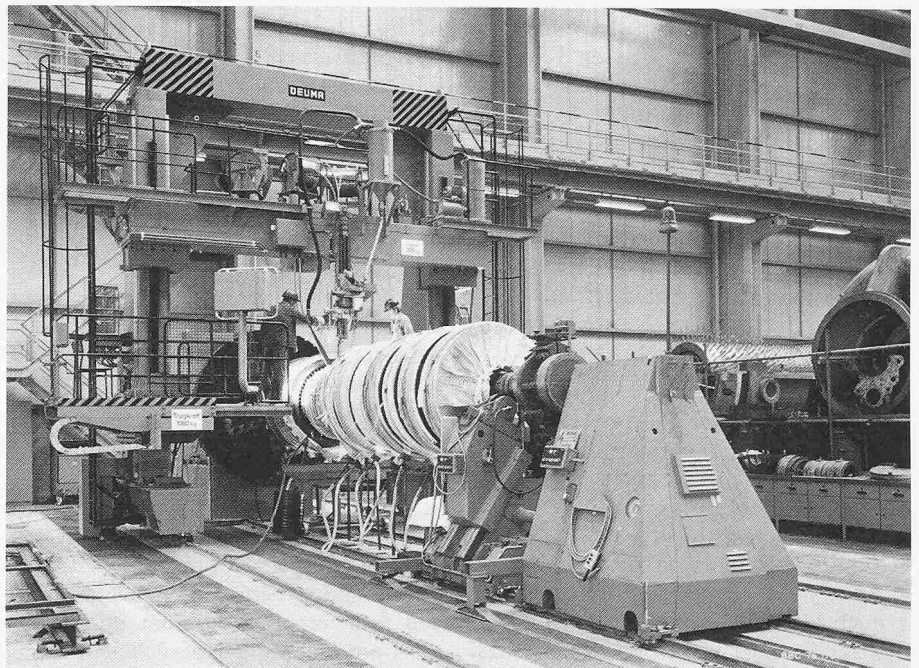


Bild 3. Automatische Schweissmaschine für Unter-Pulverschweissung (SAW). Horizontale Lage

te nicht für die hohen Sicherheitsanforderungen der Dampfturbinen hergestellt werden.

Aus diesem Grund werden die meisten Satteldampf-Niederdruckturbinen mit 1500 oder 1800 U/Min. in sogenannter geschrumpfter Bauweise ausgeführt. BBC ist der *einzigste* Turbinenlieferant auf dem amerikanischen Markt, der *integrale* Rotoren mit gut durchvergüteten Scheiben für nukleare Satteldampfturbinen anbieten kann. Die geschweisste Bauart bringt hier durch ihr niedriges Spannungsniveau sicherheitstechnisch grosse Vorteile.

Bei über tausend geschweissten Rotoren für Einheiten bis 1300 MW (Durchmesser 2640 mm) traten keine Pannen auf, da sie eine weite Sicherheitsmarge aufweisen zufolge einer hohen inherenten Dauerstandsfestigkeit.

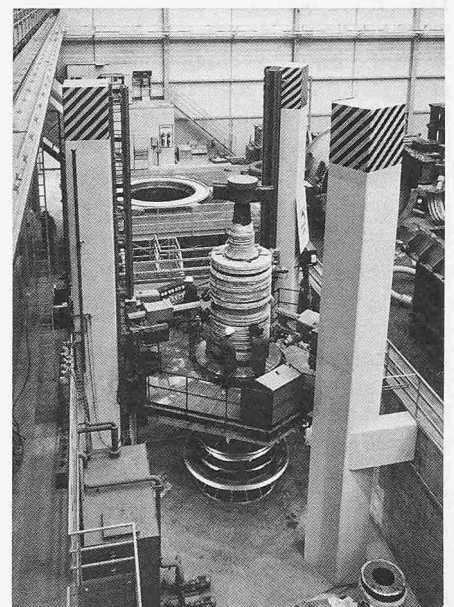


Bild 2. Automatische Schweissmaschine für das Argonarc-Verfahren (SMAW). Vertikale Lage

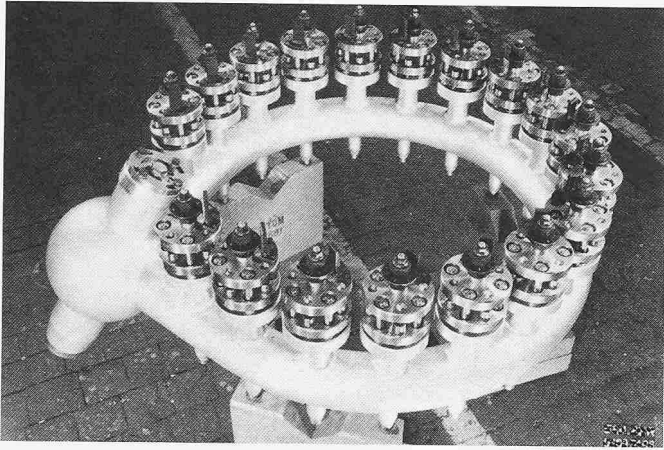


Bild 4. Speisewasser-Ringleitung

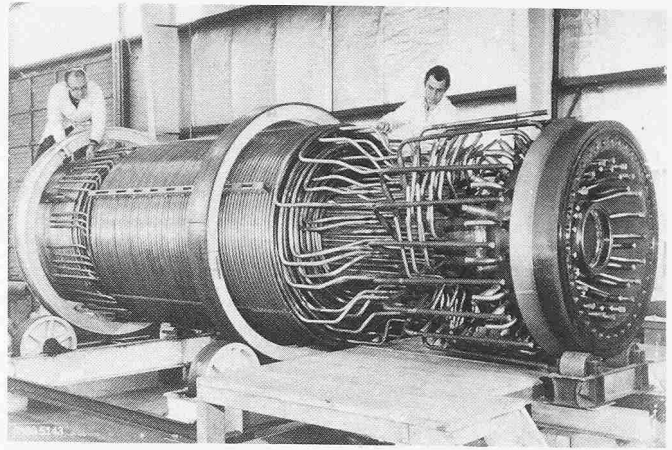


Bild 5. Einrohr-Zwangsdurchlauf-Dampferzeuger

Schweissmethoden für Rotoren

Das Schweißen einer Turbinenwelle zerfällt in verschiedene Operationen. Die bearbeiteten und geprüften Bestandteile werden vertikal auf der automatischen Schweißmaschine angeordnet (Bild 2). Sie werden induktiv erhitzt und die Wurzelschweißung erfolgt automatisch in vertikaler Lage nach dem «Argonarc-Verfahren» (Lichtbogenschweißung in Argon-Atmosphäre). Anschliessend werden die Fugen in horizontaler Lage durch Unter-Pulverschweißung in mehreren Schichten aufgefüllt (Bild 3). Vor dem Entspannungsglühen wird die Oberfläche der Welle mit Ultraschall geprüft.

Beitrag von Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

Sulzer, als qualifizierter Partner in der Kerntechnik, wurde 1974 von der ASME als Lieferant von Kernkraftwerkkomponenten für die USA und Kanada anerkannt und ermächtigt, die Produkte mit dem Qualitätsstempel «N» und «NPT» zu versehen. Nachfolgend einige bedeutende Referenzen:

Der gasgekühlte 330 MW Hochtemperatur-Reaktor (HTGR), gebaut von General Atomic für die Public Service Company of Colorado, ist mit zwölf *Einrohr-Zwangsdurchlauf-Dampferzeugern* ausgerüstet, die von Gebrüder Sulzer konstruiert und in Denver/Colorado gebaut wurden (Bilder 4, 5 und 6).

HTGR-Dampferzeuger erfordern ihrer hohen Betriebstemperaturen und der grossen thermischen und mechanischen Belastungen wegen äusserst sorgfältige Konstruktionen und detaillierte Festigkeitsanalysen. Gebrüder Sulzer lieferten auch Präzisionsbauteile und führten die Inbetriebsetzung der Dampferzeuger durch.

Surrey und North Anna

Als Unterlieferant von Westinghouse und RDM lieferten Gebrüder Sulzer *Baugruppen für Reaktor-Druckbehälter* an die Virginia Electric Power Co. mit Stutzenschweißungen bis 380 mm Dicke, speziell gesteuerter Plattierungsschweißung und Bearbeitung der Teile (Bild 7).

Gebrüder Sulzer entwickelten auch einen *TIG-Plattierungsautomaten* für

Stutzen an Reaktordruckgefässen (Bilder 7 und 8). Der Automat ermöglicht, die Stutzenplattierungen parallel zu anderen Arbeiten am selben Bauteil durchzuführen.

Montage von Druckkesseln auf der Baustelle

Bild 9 zeigt die Baustellenschweißung eines GE-BWR-Druckgefässes in Leibstadt/CH mit insgesamt vier Rundnäh-

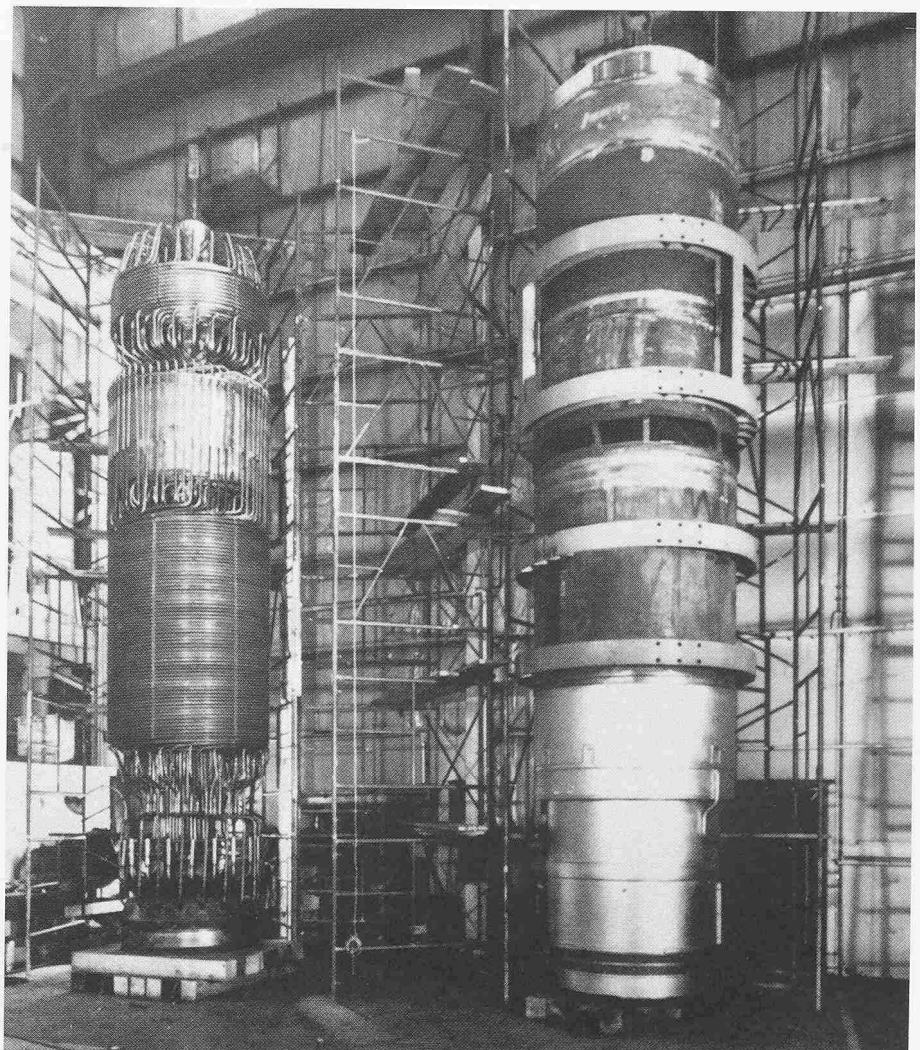


Bild 6. Links: Rohrbündel; Rechts: Dampferzeuger mit Mantel

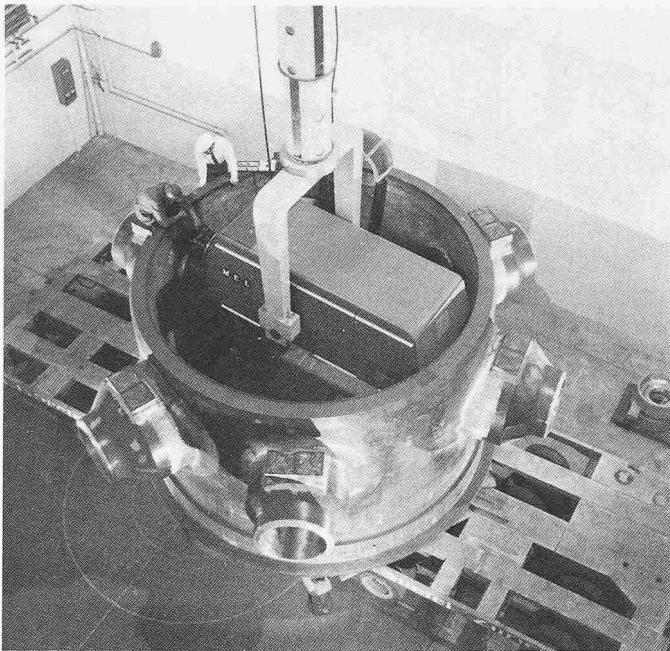


Bild 7. Reaktor-Druckgefäßoberteil während der Röntgenprüfung mit dem 8-MeV-Linearbeschleuniger

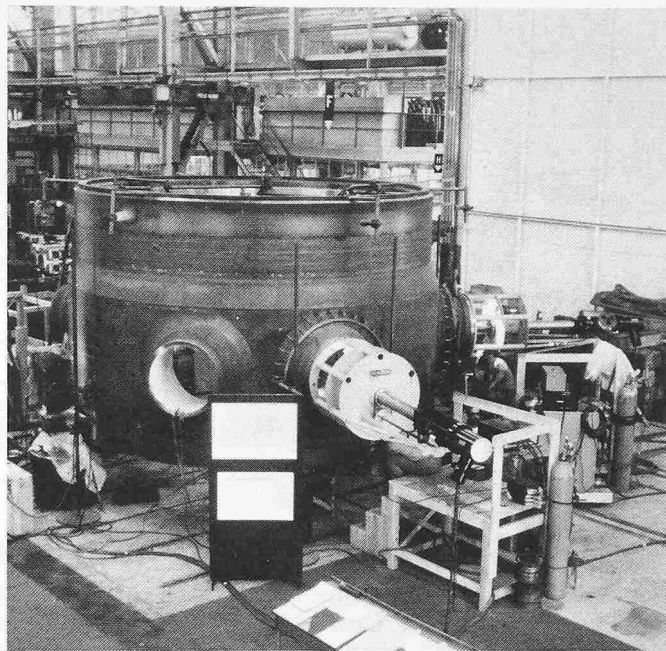


Bild 8. Neuer TIG-Plattierungsautomat für Stutzen an Reaktordruckgefässen

ten von 152 mm Dicke und 6100 mm Durchmesser (vgl. auch Bild 10).

Verträge mit Combustion Engineering

Duke Power Co. bauen ihre *Cherokee* Kraftwerke erstmals mit *Sicherheitshül-*

len in Kugelform (Bild 11). Da Sulzer auf diesem Gebiet über Erfahrung verfügen, erhielten sie einen Vertrag für technische Unterstützung von Combustion Engineering, die Kugelbleche und Durchdringungen liefern für die Hüllen von 59 m Durchmesser.

In Unterstützung des US-HTGR-Programms gewährten die Gebrüder Sulzer der Combustion Engineering eine Lizenz für die Konstruktion, Analyse und den Bau von Dampferzeugern und anderen Typen von Wärmetauschern.

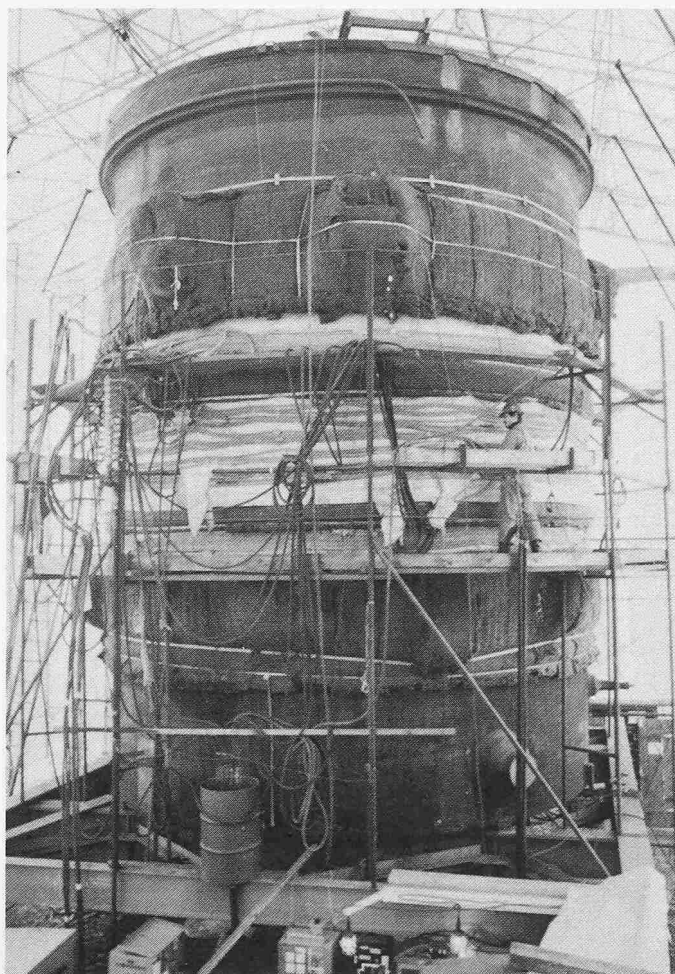


Bild 9. Baustellenschweißung eines GE-BWR-Druckgefässes in Leibstadt/CH mit vier Rundnähten von 152 mm Dicke und 6100 mm Durchmesser

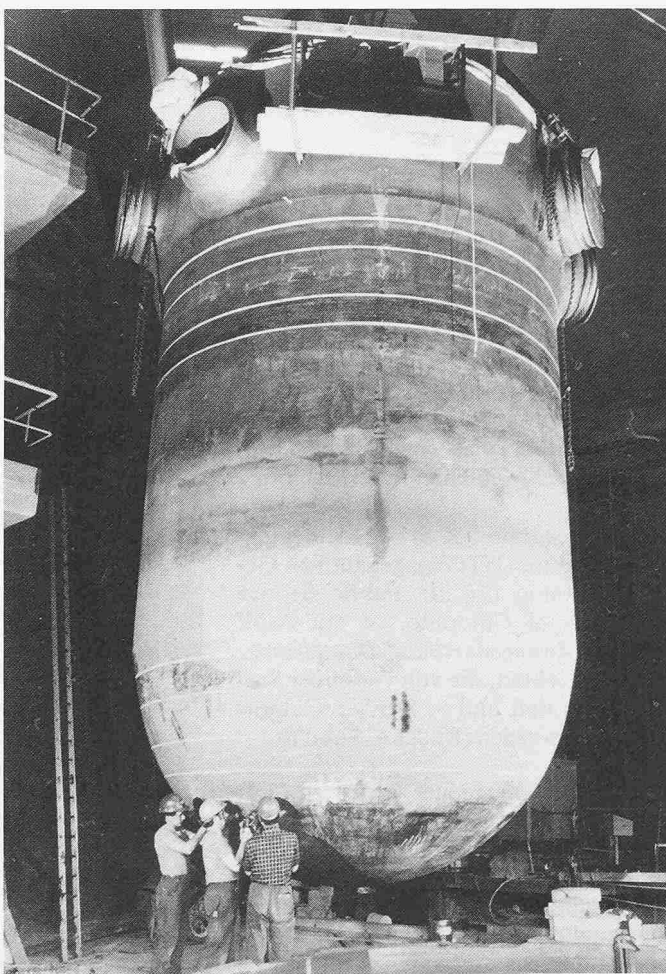


Bild 10. Druckgefäß mit Montage-Rundnaht von 250 mm Dicke und 4400 mm Durchmesser

Spezialarmaturen und Regelsysteme für Siede- und Druckwasser-Reaktoren

Zum Schluss sei hingewiesen auf die erfolgreiche Tätigkeit von Gebrüder Sulzer auf dem Gebiet der *eigenmediumbetriebenen Schnellschluss-Dampfsolventile* für das rasche und sichere Absperren der Frischdampfleitung, die zur Turbine führt (Bilder 12 und 13). Ventile dieses Typs lieferte Sulzer bereits für acht Siedewasser- und vier Druckwasserreaktoren von 800–1300 MWe, unter anderem auch für den Druckwasserreaktor Millstone III in den USA.

Georg Fischer Aktiengesellschaft (+ GF+), Schaffhausen

Einen Beitrag besonderer Art leistet das Stahlwerk der Georg Fischer AG. Seit Jahrzehnten verfügt diese Firma über Erfahrungen in der Herstellung von *Wasserturbinen-Laufrädern aus kavitationsbeständigem, rostfreiem Stahl für Kraftwerke mit den höchsten Gefällen und Leistungen* in der ganzen Welt, auch von Druckbehältern wie Pumpengehäuse, Hochdruck-Dampfturbinen-Zylinder und Schiebergehäuse. Sehr viele dieser hochbeanspruchten Bauteile sind von schweizerischen Turbinenbauern konstruiert worden. Auf einige Beispiele aus der «Vor-Nuklearen-Periode» wird in den Bildern 14 bis 18 hingewiesen.

Es war naheliegend, dass die Firma auch mit der Lieferung von hochwertigen Stahlgussstücken beauftragt wurde, als in den frühen Sechzigerjahren Prototypen und erste Reaktor-Leistungskraftwerke in Europa aufgestellt wurden.

Die moderne Stahlgießerei der Georg Fischer AG verfügte damals bereits über folgende Betriebs- und Prüfeinrichtungen:

- Eine Schmelzkapazität für Stückgewichte bis zu 45 t aus rostfreien, hochlegierten Stählen, insbesondere Lichtbogenöfen und Mittelfrequenz-Induktionsöfen;
- Modern eingerichtete chemische, physikalische und metallurgische Laboratorien;
- Alle Einrichtungen für die zerstörungsfreie Materialprüfung, wie z.B. seit 1956 das 31 MeV-Betatron von Brown, Boveri, Ultraschall, Oberflächeneindringprüfung, Ganzteil-Magnetisierung, Druck- und Spannungsmessung;
- Grosswerkzeugmaschinen für die Vor- und Fertigbearbeitung schwerer gegossener Bauteile.

Im Laufe der folgenden 15 Jahre wurden die Betriebs- und Prüfeinrichtungen

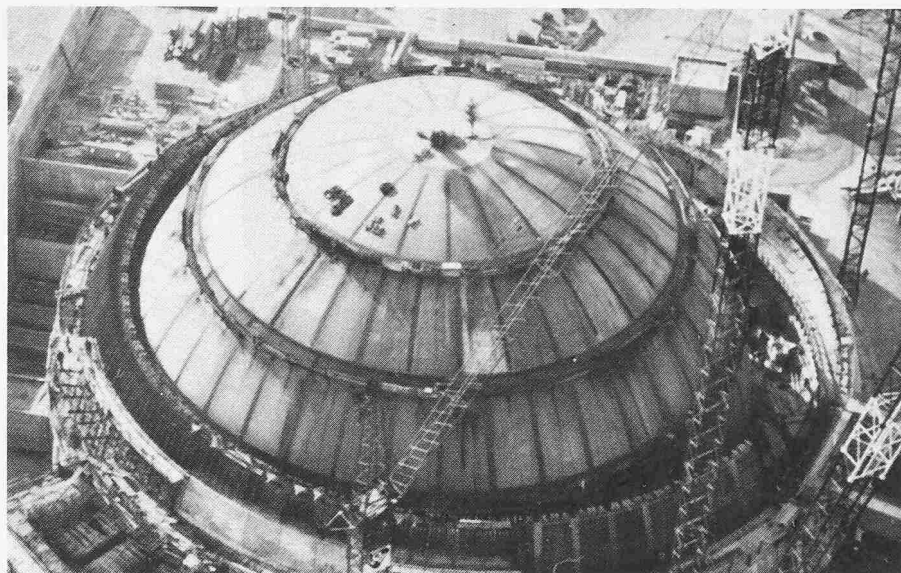


Bild 11. Sicherheitshülle von 52 m Durchmesser, konstruiert von Gebrüder Sulzer für das Kernkraftwerk Cherokee der Duke Power Co.

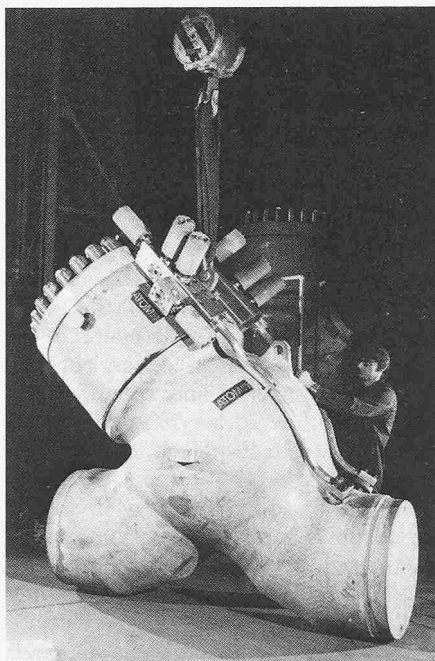


Bild 12. Eigenmediumgesteuertes Schnellschluss-Dampfsolventil, Typ DAS 630 B, für den PWR-Reaktor Millstone III

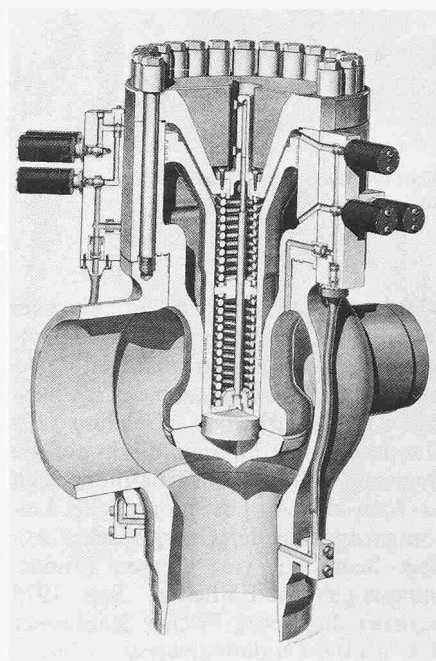


Bild 13. Querschnitt durch ein eigenmediumgesteuertes Schnellschluss-Dampfsolventil in Normalstellung (offen)

gen weiter modernisiert und vervollständigt, um den stets wachsenden Anforderungen an Bauteilgrösse und Qualität zu genügen wie z.B.

- Zwei AOD-Konverter (Argon-Oxygen-Decarburization) zur Veredelung hochlegierter, rostfreier Stähle während der Erschmelzung;
- Röntgen-Linear-Beschleuniger 8 MeV für die schnellere Durchstrahlung dickwandiger Bauteile;
- Elektroschlackenschweiss-Einrichtung für dickwandige Bauteile, eine der grössten in Europa.

Die erste Kontaktnahme mit den bedeutendsten, amerikanischen Reaktor- und Pumpenkonstruktoren erfolgte Mitte der sechziger Jahre, als die ersten

Kernreaktoren in der Grössenordnung von 300 bis 400 MWe in Europa bestellt wurden. Die Georg Fischer AG war damals in der Lage, fertig geprüfte und bearbeitete Pumpengehäuse und andere wichtige Nuklearkomponenten direkt auf die Baustelle zu liefern, wo sie mit Bauteilen aus den USA zusammengesetzt wurden. Die Erfahrungen waren durchaus positiv, erbrachten beträchtliche Einsparungen an Transportkosten und legten die Basis für weitere Aufträge für Kernkraftwerke mit Leistungen 900 bis 1300 MWe durch amerikanische Reaktorkonstrukteure und ihrer kanadischen und europäischen Lizenznehmer. Im Verlaufe der Jahre und mit wachsendem Vertrauen und wachsender Erfahrung wurden sogenannte

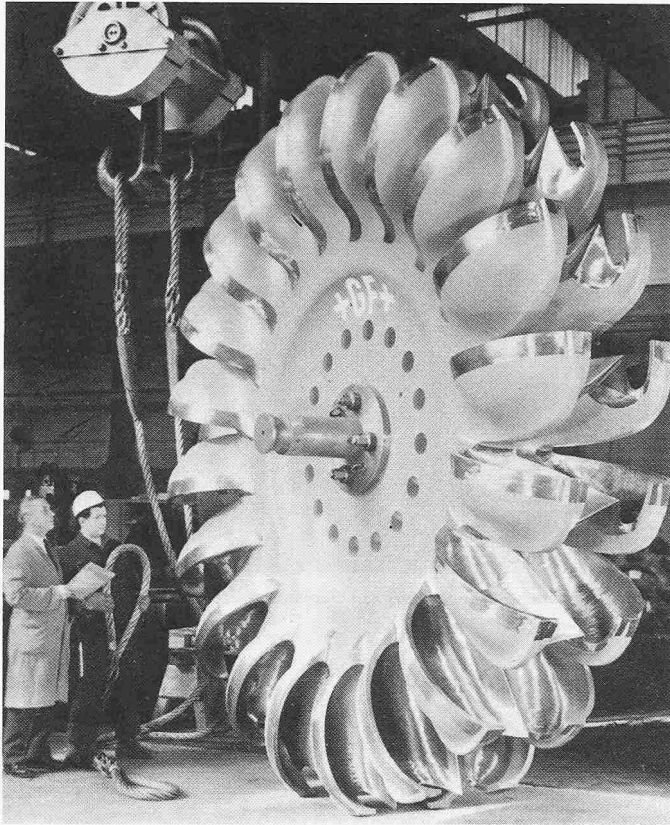


Bild 14. Peltonlaufrad «McCloud Pit», California. Rostfreier 13%iger Chromstahl. Gewicht 24 t, fertig bearbeitet

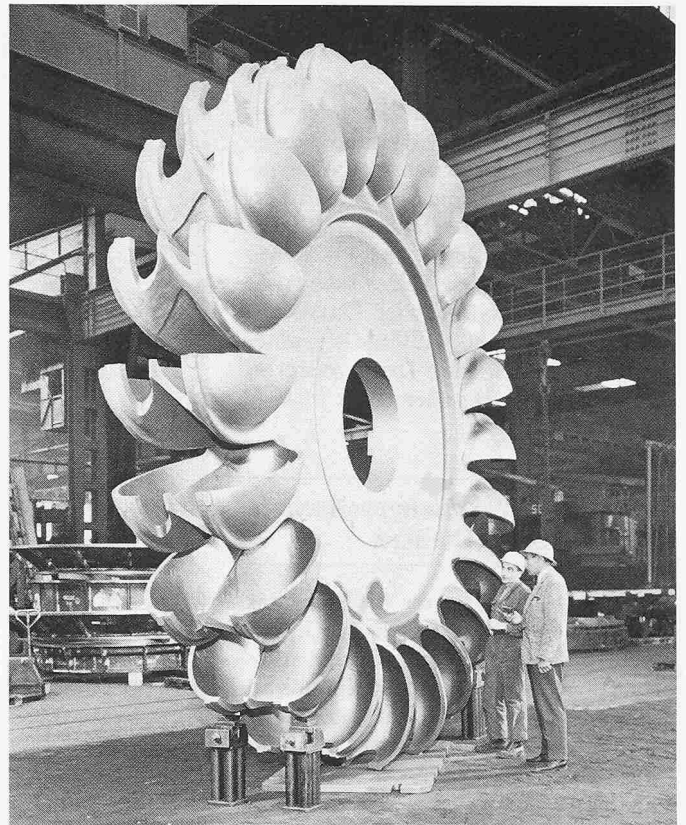


Bild 15. Peltonlaufrad «New Colgate», California. Rostfreier 13%iger Chromstahl. Gewicht 44,5 t, Durchmesser 5,4 m. Leistung pro Rad 227 000 PS (167 MW). Grösstes Peltonrad der Welt mit 22 Schaufeln für 6düsig Maschine

«Multiplant-Aufträge» erteilt, die eine rationelle Serienfabrikation ermöglichen. Für einen einzigen wichtigen Reaktorkonstrukteur wurden mehr als hundert fertiggearbeitete Gehäuse für Hauptkühlmittelpumpen direkt auf die Baustelle geliefert oder befinden sich in Fabrikation. Die monatliche Leistungskapazität der Georg Fischer AG liegt heute bei vier grossen Primärpumpengehäuse-Einheiten. Seit 1976 besitzen die Georg Fischer Stahlwerke das ASME-Qualitätssicherungs-Zertifikat für Material und für Konstruktions-

schweissungen (NPT-Stamp), die beide vor zwei Jahren (1979) erneuert wurden, sowie die verschiedenen europäischen, amtlichen Länderqualifikationen. Die Bilder 20 bis 29 sollen einen unvollständigen Eindruck über die Tätigkeiten von +GF+ für die USA vermitteln. In Bild 19 werden drei verschiedene Typen von Hauptkühlmittelpumpen zu Druckwasserreaktoren gezeigt. Die giesstechnische und metallurgische Entwicklung bis zur Serienreife dauerte im allgemeinen sechs bis neun Monate, je nach Konstruktionstyp.

Die Primärpumpengehäuse für Druckwasser-Reactoren sind in austenitischem Stahl mit 20 Prozent Chrom und 8,5 Prozent Nickel gegossen, die für Siedewasser-Reactoren mit 19 Prozent Chrom, 9,5 Prozent Nickel und 2,3 Prozent Molybdän. Die Pumpengehäuse für Schwerwasser-Reactoren bestehen aus einem unlegierten Stahl hohen Reinheitsgrades. Die Qualitätsanforderungen entsprechen den Bestimmungen für sogenannte Class 1-Komponenten nach dem ASME Pressure Vessel and Boiler Code, Abschnitt III.

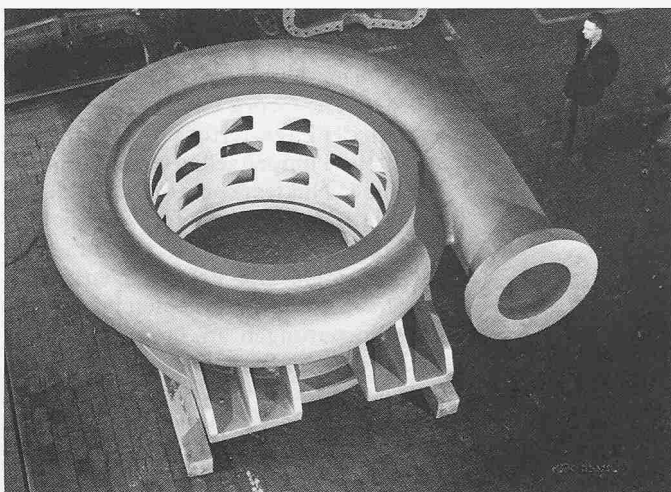


Bild 17. Zweistufiges Spiralgehäuse mit eingegossenen Rückflusskanälen für Pumpspeicheranlage «Lünernersee», Gefälle 900 m aus unlegiertem Stahl, Gewicht roh bearbeitet 33 t

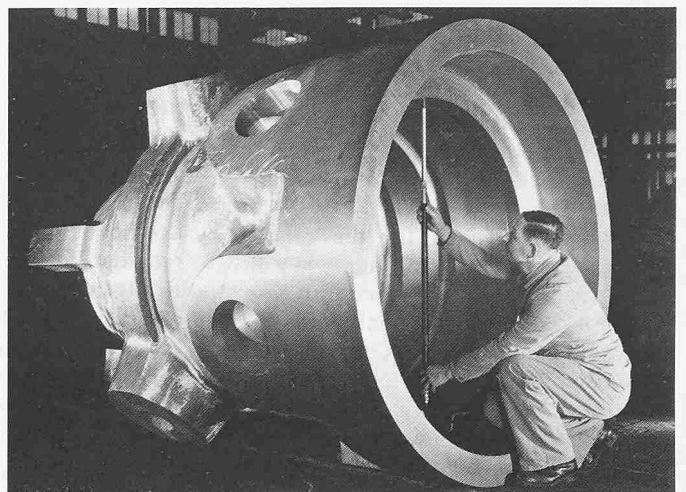


Bild 18. Topfförmiges Hochdruck-Gehäuse für Gegendruckturbine, seit 1957 in Betrieb, aus einem warmfesten 12%igen Chromstahl mit Molybdän, Vanadium und Wolfram legiert. Dampfeintritt: Druck 157/186 bar, Temperatur 600°C

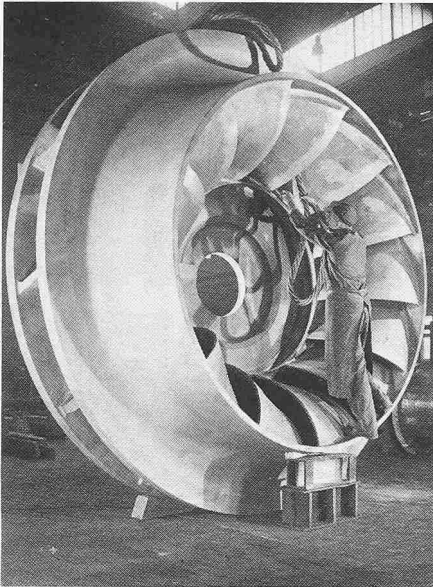


Bild 16. Francislauffrad «Bersimis», Canada. Rostfreier 13%iger Chromstahl. Leistung pro Rad 175 000 PS (130 MW). Gewicht 23 t, roh bearbeitet

Ausblick

Mit der Ölkrise, d.h. mit der Verknappung und der astronomischen Kostensteigerung für Öl, scheint die nukleare Kraft-Wärme-Koppelung immer mehr an Bedeutung zu gewinnen. Auf diesem Gebiet wird der Hochtemperatur-Helium-Reaktor (HHT), kombiniert mit der Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (Cogeneration) einen der interessantesten Beiträge leisten. Diese Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf – die AK-Turbine – wurde im Jahre 1936 von den Professoren Dr. Ackeret und Dr. Keller

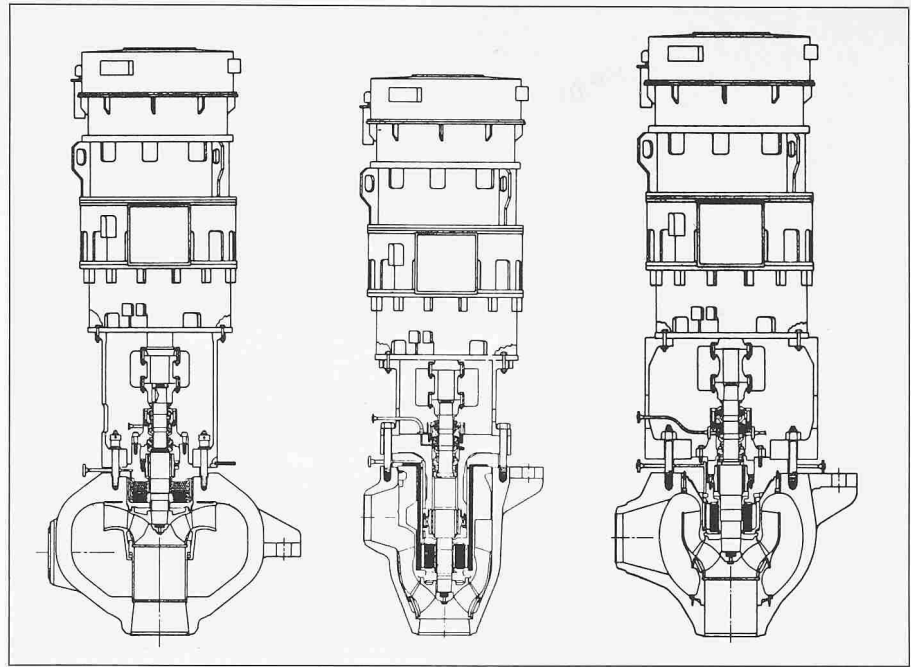


Bild 19. Drei verschiedene Typen von Hauptkühlmittelpumpen für Druckwasserreaktoren.

Links: Der 50-Hz-Typ hat einen eingeschweissten Diffusor, wurde deshalb in zwei Teilen gegossen und nach dem Elektroschlacken-Schweissverfahren zusammengefügt (Rundnaht), US-Praxis in drei Teilen gegossen. Gewicht: 34 t

Mitte: Der 60-Hz-Typ hat ein Monoblockgehäuse, wobei die Gehäuse mit grossen Füßen für Erdbebengebiete bestimmt sind. Gewicht: 21–27 t (je nach Füßen)

Rechts: Der neue 50/60-Hz-Typ hat ein Monoblockgehäuse. Gewicht: 30 t

Die Georg Fischer AG ist bei der Lieferung aller drei Konstruktionstypen beteiligt

von Escher Wyss AG, Zürich erfunden. Schon zu jener Zeit hatte Prof. Keller die Idee, die Krafterzeugung mit einer Wärmeproduktion zu kombinieren. Seit 1966, als die erste ASME-Gasturbinen-Konferenz ausserhalb der USA, in der Schweiz abgehalten wurde, haben zahlreiche Kontakte zwischen amerika-

nischen und schweizerischen Ingenieuren das sogenannte CCGT-Energiesystem (Closed Cycle Gasturbine Power System) zu einem hohen Bereitschaftsgrad für die wirtschaftliche Energienutzung und hohem Entwicklungspotential durch Verwendung von hohen Temperaturen gebracht. Die vielseitige Ver-



Bild 20. Reaktor-Hauptkühlmittelpumpen aller drei Typen

Hinterre Reihe: 60 Hz mit kleinen Füßen, 50/60 Hz mit grossen Füßen, 60 Hz mit grossen Füßen

Mittlere Reihe: 50 Hz mit grossen Füßen

Vorne: Spiralgehäuse für Hauptkühlmittelpumpe zu Siedewasserreaktor Leibstadt

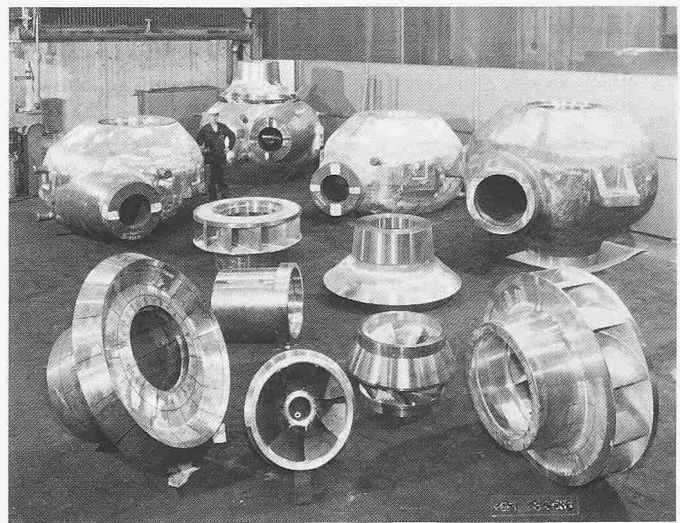


Bild 21. Hauptkühlmittel-Pumpengehäuse für Druckwasser-Reaktoren, wie sie in französischen Kernkraftwerken verwendet werden. Gehäuse, Diffusoren, Pumpenräder, Einlaufstücke, Gehäuse- und Diffusor-Adapter. Gewicht fertig bearbeitet total 34 t

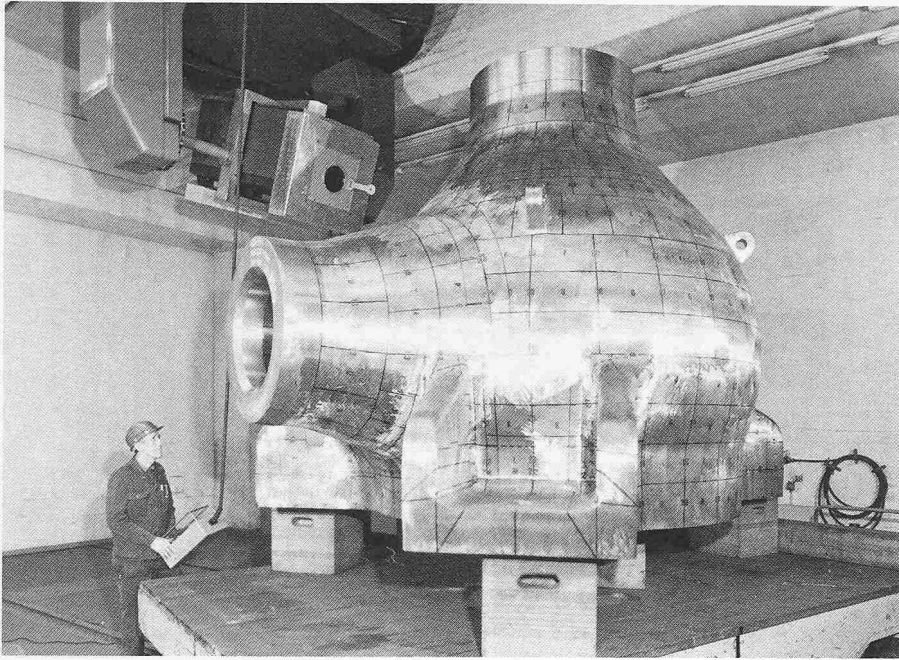


Bild 22. Hauptkühlmittel-Pumpengehäuse des 50/60-Hz-Types mit grossen Füßen bei der Röntgenprüfung mit einem 8-MeV-Linearbeschleuniger. Mittlere zu durchstrahlende Wanddicke 180 mm, grösste Wanddicke 635 mm

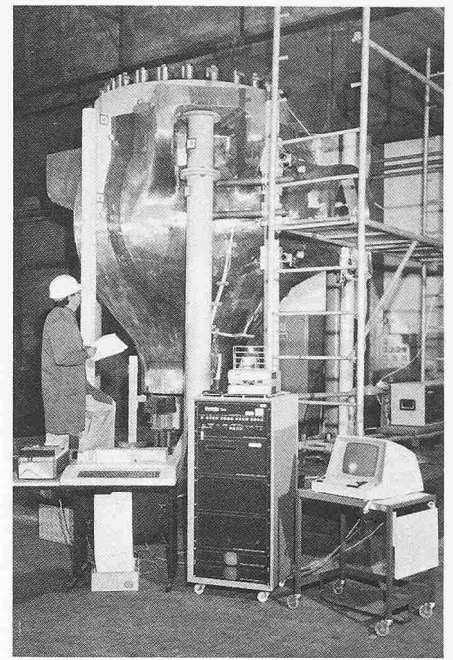


Bild 23. Hauptkühlmittel-Pumpengehäuse des 50/60-Hz-Types bei der Spannungs-Dehnungsprüfung mit aussen und innen angelegten Dehnmessstreifen. Prüfdruck 310 bar (4500 psig)

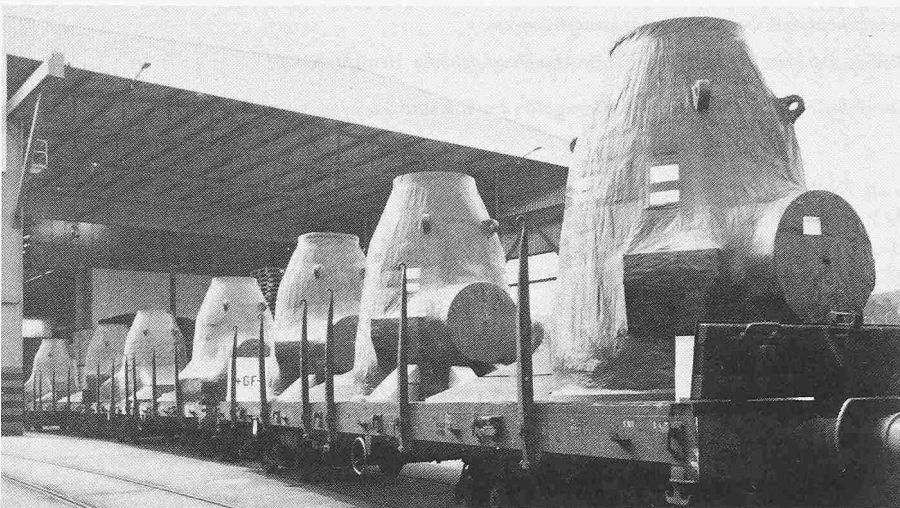


Bild 24. Sammeltransport von acht Hauptkühlmittel-Pumpengehäusen 50/60 Hz, fertig bearbeitet, seemässig verpackt, Gewicht 30 t je Gehäuse

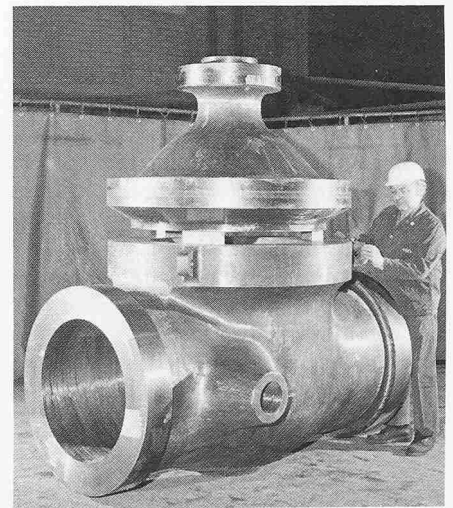


Bild 27. Schiebengehäuse mit Deckel (29 Zoll) für Primärkreislauf, Gewicht vorbearbeitet 10,0 t



Bild 25. Hauptkühlmittel-Pumpengehäuse zu Siedwasser-Reaktor mit eingegossener Trennwand. Gewicht fertig bearbeitet 7,0 t

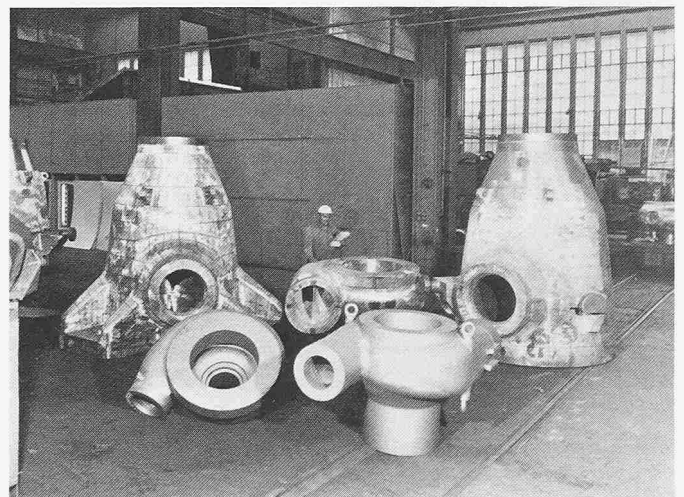


Bild 26. Hauptkühlmittel-Pumpengehäuse zu Druckwasser-Reaktoren mit grossen und kleinen Füßen sowie Pumpengehäuse zu Siedwasser-Reaktoren (Grand Gulf 1, Perry 1, Pickering)

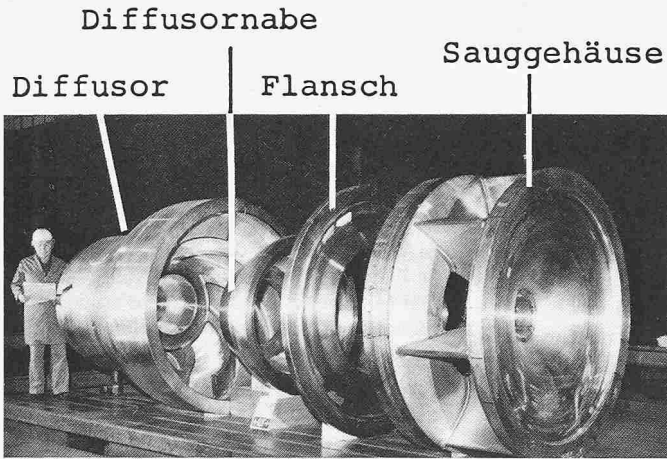


Bild 28. Komponenten zu einer Sekundärpumpe für einen schnellen Brüter (flüssiges Natrium), Leistung 1200 MWe. Von links: Diffusor 5,2 t, Diffusornabe 1,3 t, Flansch 1,0 t, Sauggehäuse 4,0 t. Drei solche Sätze gehören zu einer Kraftwerksausrüstung des Sekundärteils

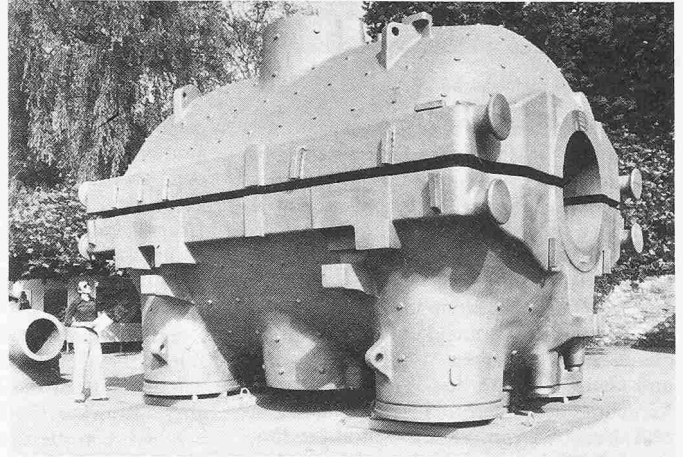


Bild 29. Hochdruck-Aussengehäuse zu einer Satteldampfturbine für eine Leistung von 1300 MWe (TVA). Korrosionsbeständiger 13%iger Chromstahl. Gewicht vorbearbeitet 180 t

wendung dieses Energie-Systems ist in Bild 30 zu erkennen. Eine grössere Anzahl von AK-Anlagen laufen in Deutschland (Tabelle 2).

Ungeachtet der Tatsache, dass das HHT-Projekt zurzeit in den USA «auf Sparflamme kocht», wird diesem System der Kraft-Wärmekoppelung in absehbarer Zukunft eine grosse Chance einer grosstechnischen Realisierung in der Grössenordnung von 300 bis 500 MWe vorausgesagt, kann es doch einen Gesamtwirkungsgrad (Brennstoffnutzung) von mehr als 80 Prozent der Primärenergie erbringen.

* * *

Nachwort

Der Autor dankt folgenden Herren und ihren Mitarbeitern für die Unterstützung mit Rat und Tat: W. Finger, Schaffhausen, F. W. Kamber, Schaffhausen, J. Bienz, Winterthur, H. Gränicher, Würenlingen, A. Goldstein, Baden, C. Keller, Küsnacht.

Deutsche Fassung des Vortrages, gehalten an der Hundertjahrfeier der American Society of Mechanical Engineers (ASME) in San Francisco (7.-22. August 1980) im Rahmen der Special Swiss Session unter dem Titel «An Appraisal of Technology by Swiss Engineers». Vgl. dazu auch den Beitrag, den wir in Heft 13, 253-257, dieser Zeitschrift veröffentlicht haben (J. Hänni: «Grenzflächen. Betrachtungen zum Zustandekommen guter Ingenieurleistungen»)

Adresse des Verfassers: H. C. Lüling, dipl. Ing. ETH, Chef-Metallurge, Georg Fischer AG, 8201 Schaffhausen.

Tabelle 2. Wichtigste Gasturbinenanlagen mit geschlossenem Kreislauf in Europa

Anlage	Land	Inbetriebnahme	Brennstoff	Leistung [MWe]	Temp. Gas-eintritt [°C]	Betriebszeit bis März 1977 [h]
Pionieranlage	CH	1939	Öl	2,0	650	6 000
Ravensburg	BRD	1956	Kohle	2,3	660	120 000
Oberhausen 1	BRD	1960	Kohle/Koks-ofengas	13,7	710	102 000
Coburg	BRD	1961	Kohle	6,6	680	107 000
Haus Aden	BRD	1963	Kohle/Grubengas	6,4	680	101 000
Gelsenkirchen	BRD	1967	Hochofengas	17,2	711	75 000
Oberhausen 2 ①	BRD	1975	Koksofengas	50 ②	750	> 10 000

① Alle Anlagen verwenden Luft als Arbeitsmedium mit Ausnahme von «Oberhausen 2», welche Helium verwendet

② Physikalische Daten entsprechen einer nuklearen Helium-Gasturbine von 300 MWe

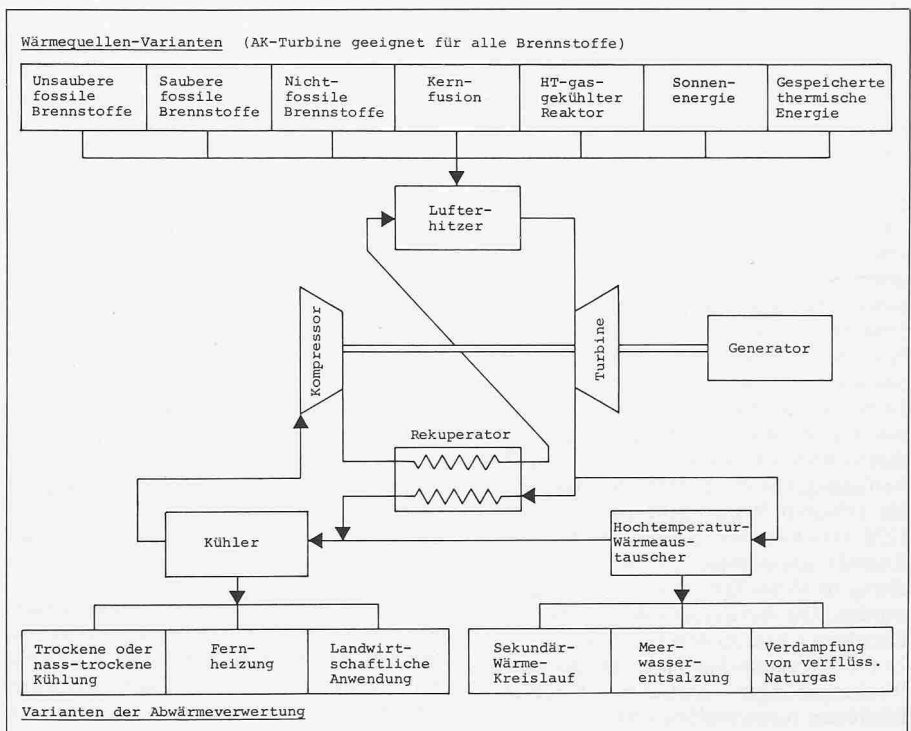


Bild 30. Gasturbinensysteme mit geschlossenem Kreislauf. Wärmequellen und mögliche Wärmerückführung