

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 68 (1950)  
**Heft:** 44

**Artikel:** Die Rolle der Werkstoffe in der neueren Entwicklung der kalorischen Maschinen  
**Autor:** Siegfried, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-58105>

### **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:** 28.01.2026

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

Produkte dient, und das ausserdem zwei Bureaux enthält; ein Werkstattgebäude mit Malerei für Unterhalt und Reparatur von Ausschank-Apparaturen aus der ganzen Schweiz. In einem besonderen Prüfraum werden diese Geräte kontrolliert, amtlich geeicht und plombiert. Im gleichen Gebäude ist auch das Laboratorium untergebracht, das die Apparatur für die praktische Ermittlung der Oktanzahl von Vergasertreibstoffen enthält. Ihr wichtigster Teil ist ein Einzylinder-Prüfmotor, der mit 600 bis 900 U/min umläuft und bei dem das Kompressionsverhältnis während des Betriebes verändert werden kann (CFR-Motor).

Im Obergeschoss sind weitere Laboratorien zur laufenden Untersuchung der Esso-Produkte (Bestimmung von Viskosität, Stockpunkt, Flammpunkt, Verkokungszahl, Aschegehalt usw.) untergebracht. Ein drittes Gebäude enthält die Spedition und das Ersatzteillager für die Werkstätte.

Besondere Aufmerksamkeit ist der Brandverhütung und Brandbekämpfung geschenkt worden. So sind die grossen Benzintanks, abgesehen von den erwähnten Druck-Vakuum-

Ventilen, auch mit neuartigen automatischen Ueberdruckklappen ausgerüstet, bei denen bei Auftreten eines inneren Ueberdruckes von etwa 0,35 atü ein Reissbolzen bricht, worauf die Klappe aufspringt und dabei eine Doppelfeder von mehreren Tonnen Zugkraft spannt. Nachdem der Ueberschuss an Benzindämpfen ins Freie entwichen ist, zieht die Doppelfeder die Klappe wieder nach unten und verschliesst dadurch den Tank. Ringförmig um das ganze Depotareal verläuft eine Druckwasserleitung, an der vier Hydranten in der Nähe der Tanks und zwei weitere beim Werkstattgebäude und Ersatzteillager angeordnet sind. Ausserdem ist eine grosse Anzahl Kohlen-säure-Löcher auf alle wichtigen Punkte des Geländes verteilt. In ständiger Bereitschaft stehen ferner eine fahrbare Motorspritze mit dem notwendigen Schlauchmaterial und zwei Luftschäumergeräte mit einer ausreichenden Menge Schaumextrakt als Reserve. Aus dem Depot- und Werkstätte-Personal wurde eine Werkfeuerwehr rekrutiert. Auf Grund einer besonderen Vereinbarung kann notfalls die Brandwache der Stadt Zürich direkt alarmiert werden.

## Die Rolle der Werkstoffe in der neueren Entwicklung der kalorischen Maschinen

DK 621.438.0023

Von Ing. Dr. W. SIEGFRIED, Winterthur

Schluss von Seite 594

Weitere Schwierigkeiten bereiten die bei hochwarmfesten Stählen bei hohen Temperaturen im Laufe der Zeit auftretenden metallographischen Veränderungen. So kann ein Werkstoff beispielsweise nach 10 000 oder 100 000 h ganz andere Festigkeitseigenschaften aufweisen als zu Beginn des Betriebs. Wie stark diese Veränderungen sein können, mag am Beispiel eines Stahles mit 16% Cr, 8% Ni, sowie Zusätzen an W und Ti gezeigt werden, der verschieden lange bei 650° gegläht und dessen Festigkeitseigenschaften nachher bei Raumtemperatur untersucht wurden. Dabei konnten folgende Veränderungen beobachtet werden: Die Brinellhärte betrug im Anlieferungszustand 195 Einheiten. Nach einem 6000stündigen Glühen bei 650° C stieg sie auf 260 Einheiten. Die Streckgrenze stieg von 30 kg/mm<sup>2</sup> auf 84,9 kg/mm<sup>2</sup> und die Zugfestigkeit von 81 kg/mm<sup>2</sup> auf 92 kg/mm<sup>2</sup>, während die Dehnung von 51,5% auf 16,2% abfiel. Die Kerbzähigkeit des Anlieferungszustandes war 27,6 mkg/cm<sup>2</sup> und betrug am Ende nur noch 10 mkg/cm<sup>2</sup>. Es ist wohl nicht übertrieben, wenn wir behaupten, durch das Glühen während langer Zeit sei ein ganz anderer Werkstoff entstanden.

Weitere Gefügeveränderungen, die im Laufe von langzeitiger Beanspruchung bei hohen Temperaturen auftreten können, sind sogenannte Ausscheidungseffekte. Gefügebestandteile, welche in übersättigter Lösung vorhanden waren, können sich infolge der Temperaturbewegungen und der damit verbundenen Erhöhung der Diffusionsvorgänge langsam ausscheiden. Diese Ausscheidung kann zeitweise die Verschiebung der einzelnen, translatorisch bewegten Teile blockieren, und so zu einer Verbesserung der Kriechfestigkeit führen. Nach einer gewissen Zeit jedoch hört mit fortschreitender Koagulation der ausgeschiedenen Partikelchen die die Gleitung hemmende Wirkung wieder auf, und die Kriechgeschwindigkeit steigt wieder an. Es ist nun die Aufgabe des Material-Ingenieurs, die Stähle so auszuwählen, dass die in ihnen vor-

handenen Ausscheidungen der Betriebszeit der entsprechenden Maschine angepasst sind. Im besondern soll sich die die Festigkeit steigernde Wirkung der Ausscheidungsvorgänge über einen Zeitraum erstrecken, welcher grösser ist als die voraussichtliche Betriebsdauer. Achtet man nicht auf diese Tatsache, so läuft man Gefahr, dem Werkstoff auf Grund von Kurzzeitversuchen viel zu günstige Festigkeitseigenschaften zuzuschreiben.

Oft sind diese Ausscheidungen auch noch mit einer Volumkontraktion verbunden, die zeitweise grösser sein kann, als die Verlängerung infolge des normalen Kriechvorganges. Bild 15 zeigt einen Dehnversuch an einem derartigen Stahl bei 730° für zwei verschiedene konstante Belastungen, während in Bild 16 die Zeit-Dehnungskurven für einen andern Stahl, der dieses abnormale Verhalten nicht zeigt, aufgetragen sind.

Bei stationären Gasturbinen erschweren die bedeutend grösseren Schmiedestücke die Anwendung der neuen warmfesten Werkstoffe. Bild 17 zeigt den Rotor eines Turbo-Aufladegebläses für einen Flugmotor, während Bild 18 den Rotor einer Gasturbine für stationäre Anlagen von nicht allzugrosser Leistung darstellt.

Die Scheibe der Abgasturbine nach Bild 17 wiegt nur wenige Kilogramm, während die Rotoren stationärer Gasturbinen bei grösseren Einheiten mehrere Tonnen schwer sind. Beim Schmieden von grossen Stücken aus hochhitzebeständigen Legierungen treten erfahrungsgemäss ausserordentliche Schwierigkeiten auf, da solche Werkstoffe einer Deformation im Gebiete der Schmiedetemperatur einen erhöhten Widerstand entgegensetzen und ausserdem Vorgänge sich störend auswirken können, die sich bei der Abkühlung grosser Blöcke in der Kokille abspielen, Bild 19.

Beim Abkühlen beginnt nämlich die Kristallbildung am Rande der Kokille, wobei die einzelnen Kristalle in Form von

langgestreckten, in Richtung des Wärmeflusses liegenden Pyramiden gegen das Innere des Blockes wachsen und dabei noch Verunreinigungen ins Innere des Blockes treiben. Am Schluss ist im Innern des Blockes zu wenig flüssiger Stahl vorhanden, so dass Hohlräume entstehen. Es ist nun die Kunst des Stahlwerkes, die Form des Blockes so zu wählen, dass diese Hohlräume sich an einer Stelle im Kopf des Blockes zu einem

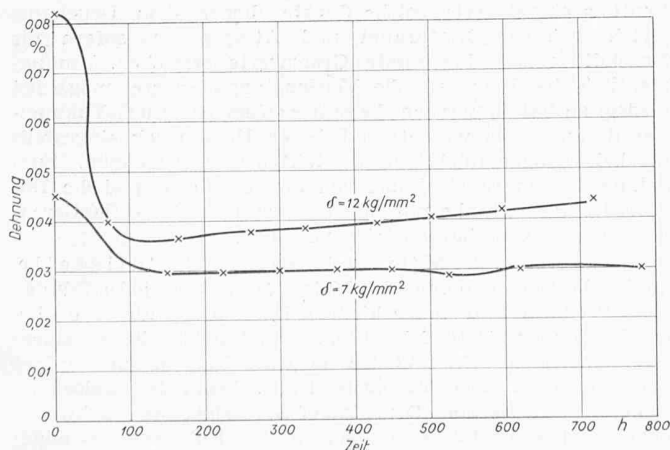


Bild 15. Dehnversuch mit konstanter Belastung bei 700° C an einem Werkstoff, bei dem die während der Kriechbeanspruchung stattfindenden Ausscheidungsvorgänge mit einer Kontraktion verbunden sind

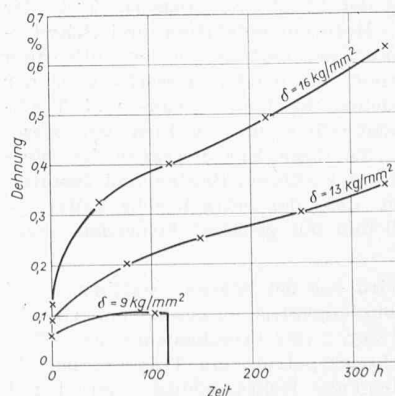


Bild 16. Dehnversuch mit konstanter Belastung bei 700° C an einem Stahl mit normalem Verhalten

grossen Lunker vereinigen können, wie dies aus Bild 19 ersichtlich ist. Wird nun ein Block, der in der Mitte nicht ganz kompakt ist und dort verunreinigtes Material aufweist, verschmiedet, so besteht die Gefahr, dass er im Innern aufreisst und unbrauchbar wird. Diese Gefahr ist bei niedrig legierten Stählen bedeutend geringer, da infolge der besseren Verschmiedbarkeit derartige innere Poren und Risschen wieder zusammengeschmiedet werden können, während bei den hochwarmfesten Stählen das Deformationsvermögen so gering ist, dass im Innern ein Aufreissen der Lunkerstellen befürchtet werden muss. Es bedarf ausserordentlich grosser Erfahrung, um grössere Schmiedestücke aus hochwarmfesten Stählen fehlerfrei herstellen zu können. Mit was für aussergewöhnlichen Massnahmen versucht wird, die geschilderten Schwierigkeiten zu meistern, erkennt man z. B. aus Bild 20. Es zeigt die Querschnittsform einer Kokille, die für die Herstellung von Schmiedeblocken aus warmfesten Stählen entwickelt wurde. Das zu verschmiedende Stück wird aus dem grössten Flügel des Blockes hergestellt, während die andern beiden Flügel nur den Zweck haben, die zuletzt erstarrte Zone ausserhalb des eigentlichen Schmiedestückes zu bringen. Dass dieses Verfahren eine sehr bedeutende Verteuerung mit sich bringt, ist ohne weiteres klar.

Zur Ueberwindung der geschilderten Schwierigkeiten ist man dazu übergegangen, grössere Rotoren durch Zusammenschweissen von einzelnen Scheiben aufzubauen. Bild 21 zeigt den Querschnitt durch eine Gasturbine mit einem aus einzelnen Scheiben durch Schweissung aufgebauten Rotor.

Derartige Konstruktionen ermöglichen heute den Bau von Gasturbinen grosser Leistungen mit Arbeitstemperaturen in der Grössenordnung von 650 bis 700° in wirtschaftlich vorteilhafter Weise. Dabei können die Werkstoffe der einzelnen Scheiben den mit fortschreitender Expansion sinkenden Gastemperaturen angepasst werden, und die teuren hochwarmfesten Werkstoffe sind nur bei den ersten Rädern anzuwenden, wo die höchsten Temperaturen auftreten.

Diese wenigen Beispiele dürften genügen, um zu zeigen, dass bei der modernen Entwicklung der Wärmekraftmaschinen die Werkstoffseite eine viel grössere Rolle spielt, als dies früher der Fall war. Während man bei einem Benzinmotor oder einem Dieselmotor ohne weiteres mit den handelsüblichen Stählen auskam, und höchstens für wenige Einzelteile warmfeste Werkstoffe benutzte, ist der Konstrukteur von Gasturbinen ausserordentlich stark auf die für diesen Zweck entwickelten Speziallegierungen angewiesen. Diesem Umstand kommt aber auch bei kommerziellen Betrachtungen erhöhte Bedeutung zu. Wenn wir bedenken, dass die neuen Gasturbinen-Werkstoffe aus sehr teuren Legierungsbestandteilen bestehen (es gibt Legierungen, die überhaupt nur noch wenige Prozente Eisen enthalten), dass die Herstellung von Schmiedestücken äusserst grosse Schwierigkeiten bereitet und dass die Ermittlung der zulässigen Spannungen sehr teure Laboratoriumsversuche erforderlich macht, so wird ohne weiteres klar, dass die Werkstoffkosten die Gesamtkosten einer Anlage in hohem

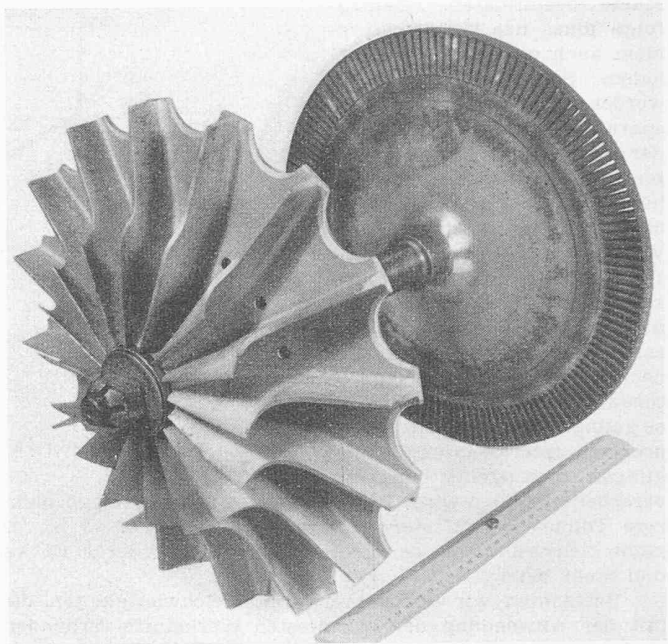


Bild 17. Abgasturbine mit Gebläse für ein Flugzeug

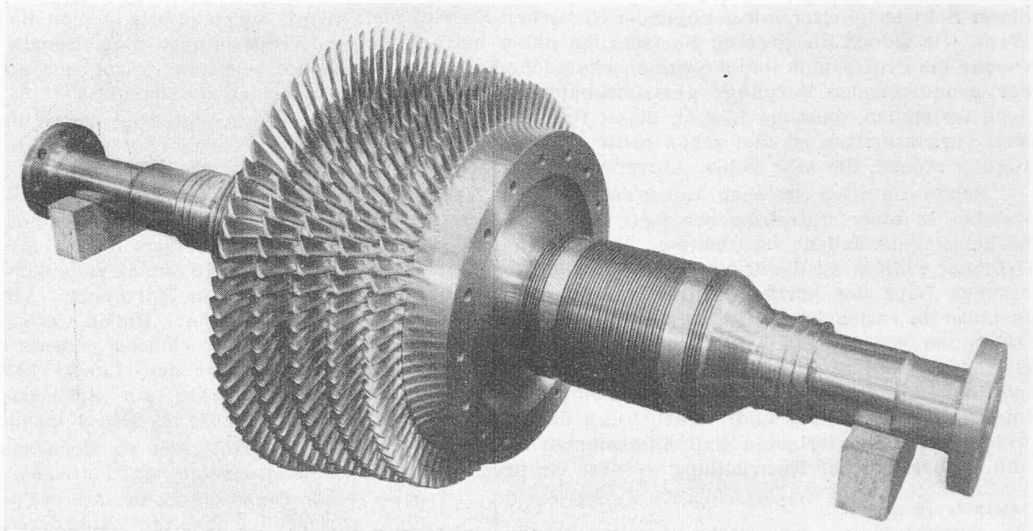


Bild 18. Rotor für eine stationäre Gasturbine von relativ kleiner Leistung

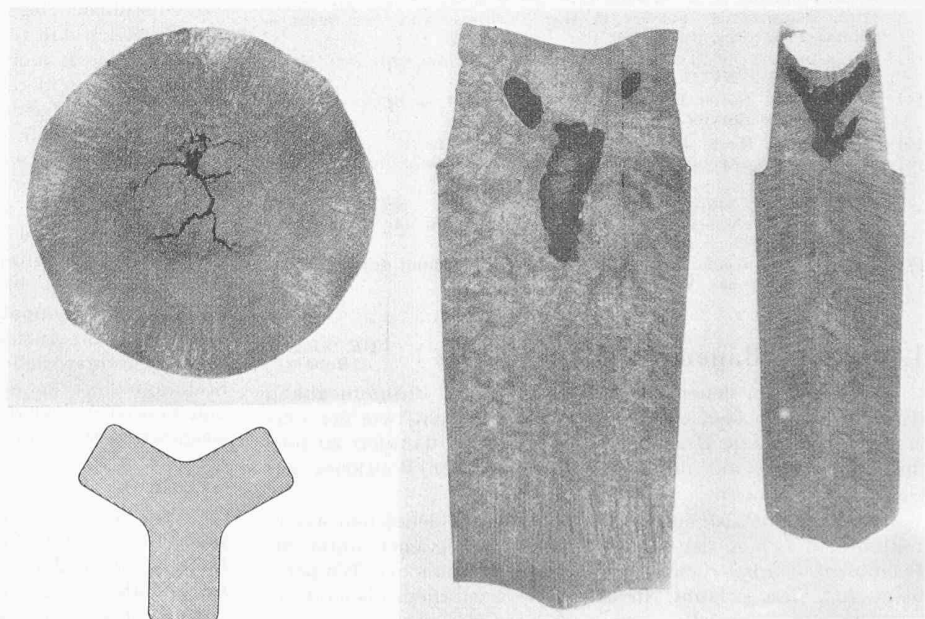


Bild 20. Kokille mit Seigerungszone ausserhalb des Schmiedestückes [7]

Bild 19. Erstarrungsvorgang des Stahles. In Kokillen erstarrte Stahlblöcke mit Seigerungen und Lunkern [7]



Masse beeinflussen. Demzufolge muss das Werkstoffproblem auch von der wirtschaftlichen Seite her betrachtet werden. Den Betriebskostensparnissen, die durch Steigern der Gasttemperatur vor der Turbine erzielt werden, stehen erhöhte Kosten für den Kapitaldienst infolge kostspieligerer Werkstoffe gegenüber. Die weitere Entwicklung der kalorischen Maschinen ist deshalb nicht nur davon abhängig, ob es möglich ist, Werkstoffe für noch höhere Arbeitstemperaturen herzustellen, sondern ob es gelingt, diese Werkstoffe zu preislich interessanten Bedingungen herzustellen und zu verarbeiten. Wenn wir z. B. für eine Gasturbinenanlage mehrere Tonnen warmfester Legierungen benötigen, so ist es nicht gleichgültig, ob der Preis 5 bis 10 Fr./kg oder 30 Fr./kg und mehr beträgt.

Betrachten wir alle die erwähnten Schwierigkeiten, die mit der Anwendung der warmfesten Werkstoffe verbunden sind, so mag dieses ganze Gebiet auf den ersten Blick äusserst kompliziert erscheinen. Man fragt sich, ob hier nicht die Vorteile zu teuer bezahlt werden müssen und ob man je aller dieser Schwierigkeiten mit genügender Sicherheit Herr werde. Wenn wir jedoch die grossen Fortschritte näher betrachten, welche die Prüftechnik und die wissenschaftliche Erforschung der grundlegenden Vorgänge gemacht haben, so dürfen wir doch feststellen, dass die Lösung dieser Probleme schon sehr weit vorgeschritten ist und schon heute Werkstoffe zur Verfügung stehen, die sehr hohen Anforderungen genügen.

Schon die alten Griechen haben sich den Gott Hephästos, welcher in einer unterirdischen Esse die Werkstoffe zu Gebrauchsgegenständen verarbeitete, als hinkend vorgestellt. Offenbar wollten sie damit ausdrücken, Hephästos könne dem raschen Lauf der übrigen Götter nur langsam nachfolgen. In unserem rationellen Zeitalter, in dem mythologischen Vorstellungen wenig Raum gewährt wird und die olympische Götterwelt nur noch wie ein schönes Lied aus alten Zeiten leise nachklingt, ist doch diese Wahrheit geblieben, dass es immer die Herstellung und Verarbeitung der Werkstoffe ist, welche die langwierigsten und mühsamsten Probleme stellt und schliesslich der Entwicklung gewisse Grenzen setzt.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Reniger: Moyens d'augmenter la résistance aux températures élevées des éléments de turbines à gaz. «Mécanique», octobre 1949.
- [2] F. S. Badger, H. C. Cross, C. T. Evans, Jr., Russell Franks, R. B. Johnson, N. L. Mochel Gunther Mohling: Superalloys for High Temperature Service in Gas Turbines and Jet Engines. «Metal Progress», July 1946.
- [3] Notes on the de Havilland Goblin Jet Engine. «Aircraft Engineering», Vol. XVIII (1946), S. 126—128.
- [4] The Timken Roller Bearing Company. Digest of Steels for high Temperature Service.
- [5] «Proc. Inst. Mech. Engrs» 1945, Vol. 153, S. 508.
- [6] K. Richard: «Archiv für das Eisenhüttenwesen», 13. Jg. 1940, S. 392.
- [7] C. Sykes: Second Hatfield Memorial Lecture: Steels for Use at elevated Temperatures. «Journal of the Iron and Steel Institute», July 1947.
- [8] John F. Cunningham, Jr.: Welded Gas Turbine Rotors. «The Welding Journal», Vol. 25, 1946, S. 237.

## Leben und Bauen von Paul Bonatz<sup>1)</sup>

DK 72.071.1  
(Bonatz)

In Zeiten, in denen das Bewusstsein vom Zusammenhang des Morgen mit dem Gestern abzureissen droht, wie der unsrigen, hat man alle Ursache, für Biographien dankbar zu sein, die eine Brücke aus der Zeit vor dem ersten Weltkrieg zur Gegenwart schlagen.

Hier erzählt also einer der bedeutendsten deutschen Architekten sein Leben, der vor dem ersten Krieg eben unter die Prominenten aufgerückt war, und sein glückliches Temperament hat ihm erlaubt, in allen Wechselfällen obenauf zu

<sup>1)</sup> Leben und Bauen. Von Paul Bonatz. 296 S. mit 45 Zeichnungen des Verfassers und 12 Tafeln. Stuttgart 1950, Engelhornverlag Ad. Spemann. Preis geb. DM 18.80.

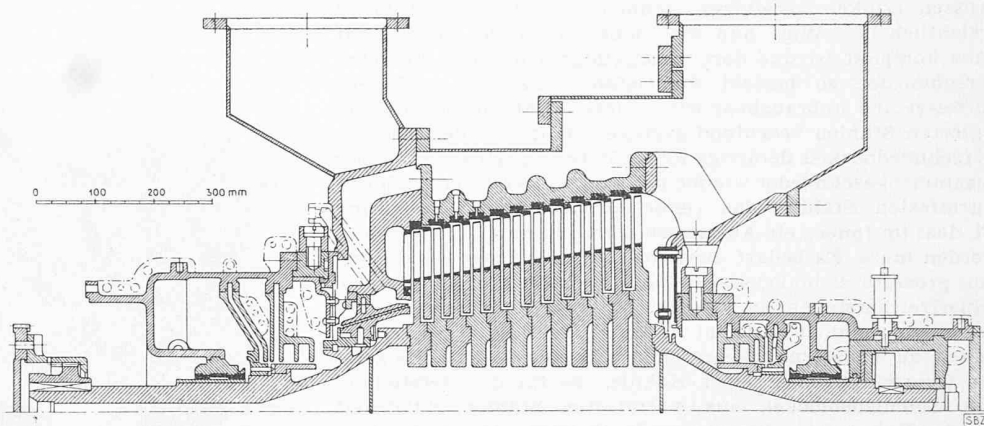


Bild 21. Geschweisste Rotorkonstruktion einer amerikanischen Gasturbine, Masstab 1:12,5 [8]

bleiben, nicht unberührt, aber auch nicht gebrochen von Schicksalsschlägen wie die meisten andern. Dieses im Ganzen beneidenswert erfolgreiche und glückliche Leben wird munter und behaglich geschildert, nicht ohne leise Koketterie mit der eigenen Tüchtigkeit.

Der Besprechende weiss sich mit dem Verfasser einig in der Hochschätzung von Theodor Fischer, der sich aus historischer Distanz gesehen doch wohl als die grösste deutsche Architektenpersönlichkeit des Jahrhundertanfangs bewähren wird — gleichgültig ob man die Richtung seiner Bauten billigen oder missbilligen mag. Bonatz bekennt, dass er ihm Wesentliches verdankt — zugleich auch einen gelegentlich gefährlichen Hang zur Romantik.

Die Architektur der Schweiz ist ohne den Einfluss der Lehrer Fischer und Bonatz nicht zu denken: wesentlich ihnen ist zu verdanken, dass sie sich in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts über das provinzielle Niveau erhob, in dem sie zu Ende des 19. Jahrhunderts versackt war.

Und so erscheinen in diesem Buch unter der Zahl der Schüler und Freunde viele Schweizer Namen, wie Ernst Fiechter, Nicolaus Hartmann, Alfred Gradmann (versehentlich Eugen genannt), Rudolf Christ, und Maler wie Brühlmann und Pellegrini. Auch sonst gedenkt der Verfasser gern der Schweiz, im besondern der «Landi» 1939, und natürlich seines prominenten Werkes auf Schweizer Boden: des Basler Kunstmuseums 1931 bis 1936 — hievon später.

Lehrstätigkeit an Hochschulen, Bahnhof Stuttgart, Wettbewerbserfolge am laufenden Band, ehrenvolle Berufungen als Preisrichter an internationale Wettbewerbe, dazwischen reizvoll eingestreut Anekdoten, Familienerinnerungen, Feste, Buden- und Bürozauber, allgemeine Erwägungen über Architektur aus der Fülle der Erfahrung — ein volles, reiches Leben.

Ausführlich legt der Verfasser sein Alibi gegenüber dem Dritten Reich dar — es ist nicht unsere Sache, darüber zu urteilen. So wie es hier steht, klingt es glaubhaft, und die Schurkerei des damaligen, aus Deutschland stammenden Basler Stadtplanungs-Architekten bildet eine starke Bestätigung. Dass ein von seiner Arbeit begeisterter Architekt grosse Aufgaben übernimmt, woher sie auch kommen mögen, ist gewiss verständlich, und so wird man Bonatz seine Mitarbeit an den Brückenbauten der Reichsautobahnen gewiss nicht zum Vorwurf machen, so wenig wie dem vorzüglichen Landschaftsgestalter Alwin Seifert.

Es folgen die Triumphe des Meisters in der Türkei, über die man viel Sympathisches erfährt. Die Rechtfertigung des Verbleibens im Ausland nach dem Zusammenbruch des Hitlerregimes richtet sich in erster Linie an deutsche Leser. Eine Stellungnahme zu den Letzten Dingen, eine Art Testament und Lebensrückschau von der Höhe des Alters schliesst dieses lesenswerte Buch, aus dem wir noch einige Abschnitte zitieren.

#### Brücken

«Die beiden edelsten Beispiele von Brücken, an denen ich selbst bis ins letzte Detail mitarbeitete, waren die Steinbrücken Limburg a. d. Lahn und die Stahlhängebrücke Köln-Rodenkirchen über den Rhein.

Die Limburger Brücke hatte dreizehn Bögen mit 29,50 Meter Lichtweite, echt in Stein gewölbt, der mittelste Pfeiler im Fluss hatte genau die Höhe des Stuttgarter Bahnhofs, der