

Auf dem Wege zur Gasturbine

Von Jakob Ackeret

Die Gasturbine, früher ein bevorzugtes Objekt der sogenannten "Lehrbucher", ist heute so weit entwickelt, daß schon Resultate von industrieller Bedeutung erreicht sind und weitere Verbesserungen mit guten Gründen erhofft werden können. Der Vortragende berichtet über neuere Entwicklungsarbeiten in der Schweiz. Diese beziehen sich ausschließlich auf das Gleichdruckverfahren. Durch Verzicht auf die Berichterstattung über andere Verfahren (Holzwarth usw.) soll kein Werturteil abgegeben werden.

Kreiselmotoren haben im Flugzeug schon eine beachtliche Anwendung gefunden als Lader und Abgasturbinen. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß Fortschritte in Richtung eines allmählichen Ersatzes der Kolbenmaschine in einiger Zeit gemacht werden (Pescara-Flugkolben-Generator zur Erzeugung heißen, hochgespannten Abgases, das in Turbinen ausgenutzt wird). Die reine Gasturbine wird wohl erst als Land- und Schiffsmaschine sich bewähren müssen, bis an eine Anwendung im Flugzeug gedacht werden kann.

Die thermodynamischen Grundlagen des Gleichdruckverfahrens sind denkbar einfach. Der Carnotprozeß mit zwei Isothermen und zwei Adiabaten führt auf zu große Verdichtungsverhältnisse. Es läßt sich aber ein völlig gleichwertiger Prozeß angeben, zwei Isothermen und zwei Isopyknen mit Wärmeaustausch zwischen diesen, der mit mäßigen Drücken und technisch erträglichen Temperaturen arbeitet. Die Aufgabe ist dann, innerhalb der so festgesetzten Grenzen Maschinen und Apparate mit möglichst geringen Verlusten arbeiten zu lassen.

Eine Übersicht der Gesamtwirkungsgrade bei variierten Temperaturen und Turbinen- bzw. Verdichterwirkungsgraden ergibt, daß ohne Wärmeaustausch ziemlich große Verdichtungsverhältnisse nötig sind, also zahlreiche Stufen, während bei Wärmeaustausch umgekehrt mäßige Verdichtungen besser sind. Die günstigsten Verhältnisse ergeben sich bei 2- bis 4-facher Druckerhöhung.

In der Verbesserung der Baustoffe hinsichtlich Warmfestigkeit sind in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht worden. Deren Prüfung hat unter möglichst betriebsähnlichen Bedingungen sowohl hin-

ichtlich der Zeitdauer als auch des räumlichen Spannungszustand zu erfolgen. Temperaturen zwischen 600 und 700° C lassen sich bei geringen Beanspruchungen (ungefähr 1 kg/mm²) noch anwenden.

Heute sind von Betz Verdichterwirkungsgrade von über 75 v. H. erreicht worden. Ebenso kann man bei Turbinen diese Zahl erreichen und überschreiten, wenn man nicht zu großes Stufengefälle verwendet. Die gewöhnliche Schaufelung, wie sie bei Dampfturbinen häufig verwendet wird, ist diesbezüglich noch verbesserungsfähig. Man muß auf Tragflügelschaufelung mit geringer Krümmung und relativ großer Schaufeltiefe übergehen. Die Reynolds-Zahlen der Turbinenschaufeln sind so niedrig, daß eine Vergrößerung der Tiefe Vorteile bringt. Es wird eine Vorrichtung beschrieben, die die Impulsmessung hinter den umlaufenden Schaufeln und damit eine Lokalisierung der Verluste ermöglicht. Es gelingt, die Turbinenwirkungsgrade auf 90 v. H. zu treiben. Da in Gasturbinen nur geringe Wärmegefälle (verglichen mit Dampfturbinen) zu bewältigen sind, ist die Stufenzahl, die bei solchen Rädern größer wird, in Fällen, wo es auf das Gewicht zu sehr ankommt, noch erträglich. Auch in Schaufelgittern beobachtet man die bekannten Umschlagsgrenzen von laminarer in turbulente Grenzschicht. Es ist eine wichtige Aufgabe, bei den erhöhten Reynolds-Zahlen die Grenzschichten laminar zu halten, was nur möglich ist bei Schaufelformen mit mäßigen Druckanstiegen und sehr ruhigem Zulauf.

Im Grunde sind die wichtigsten Bauelemente schon in der Anlage von Stolze (um 1900) in den heutigen sehr nahe kommenden Formen enthalten. Es ist fast tragisch zu nennen, daß nur quantitative Unzulänglichkeiten damals einen durchschlagenden Erfolg verhinderten. Die Firma Brown-Boveri in Baden (Schweiz) hat zunächst die einfachste Form der Gasturbine verwirklicht. Die Anordnung: Verdichter — Brennkammer (für Innenverbrennung) — Turbine ergibt infolge Fehlens des Wärmeaustauschers nur mäßige Wirkungsgrade von rund 18 v. H.

Die erlangte Betriebssicherheit bei rund 550° C Höchsttemperatur ist aber als wesentlicher Fortschritt zu nennen und hat die Firma ermutigt, eine Gasturbinenlokomotive zu bauen, bei der schon ein mäßiger Wärmeaustausch angewendet wird. Infolge gedrängter Bauart ist zwar auch hier der Gesamtwirkungsgrad (rund 19 v. H.) noch tief unter demjenigen der Dieselmotoren, aber beträchtlich höher als bei den Dampflokomotiven. Auch hier hat die Betriebsbereitschaft und -sicherheit befriedigt.

Geht man vom Gedanken einer möglichst folgerichtigen Verminderung aller Verluste aus, so muß vor allem der Austausch bedeutend verbessert werden. Die heute vorliegenden Kenntnisse über den Wärmeübergang in Rohren, die wesentlich auf Prandtl und Nusselt zurückgehen,

gestatten, die günstigsten Rohrlängen und durchlässe in einer Weise zu finden. Es ergeben sich verhältnismäßig große Apparate, wenn man mit Luft aus der Atmosphäre und innerer Verbrennung arbeitet. Der Verfasser hat mit Herrn Keller zusammen bei Escher, Wyss in Zürich eine Anlage entwickelt, die gekennzeichnet ist durch geschlossenen Kreislauf mit variabler, je nach der Last einstellbarer Dichte und äußerer Befuerung. Man erreicht damit, da gleichzeitig infolge Wegfalls jeder Verschmutzung sehr dünne Rohre verwendet werden können, die erwünschten kleinen Abmessungen und eine außerordentlich günstige Lastregelung, indem bei variabler Last die Temperaturen und Geschwindigkeiten unverändert bleiben und nur die Dichten geändert werden. Es ist gelungen, die Anlage betriebssicher bei Temperaturen bis 650 C laufen zu lassen und Wirkungsgrade zu erreichen, die diejenigen der Dampfanlagen übertreffen. Da prinzipiell nichts im Wege steht, auch andere als flüssige Brennstoffe zu verwenden, ist es möglich, eine hohe Ökonomie zu erreichen.

Der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung
vorgebracht am 4. Dezember 1942

Präsident: Wir sind Herrn Ackeret für diese Mitteilung, die eine ganz erstaunliche Entwicklung dieser Spezialmaschine in der Schweiz uns vor Augen führt, äußerst dankbar. Es ist ja doch wohl so, daß, wenn man sich fragt, warum das alles sich gerade in der Schweiz ereignet, da wohl ein guter Teil davon auf den alten Professor Stodola zurückzuführen ist, der schon in seinem großen Buch über Dampfturbinen, das ja von den Dampfturbinenbauern so als eine Art Bibel angesehen wird, von Anfang an immer schon auch auf die Gasturbine hingewiesen hat. Und was dann weiter die Entwicklung gefördert hat, das sind natürlich dann die eigenen Studien von Herrn Ackeret, der — vielleicht dürfen wir das auch von Göttingen aus als ein Plus buchen — in diese Gedankengänge noch die der flugtechnischen Aerodynamik mit hereingebracht hat. Jedenfalls dürfen wir die Schweizer Herren sehr beglückwünschen zu diesen ganz erstaunlichen großen Fortschritten. Sehr interessant ist auch, was Sie sagten, daß man sich früher immer vor der Gasturbine gefürchtet hat, und daß jetzt alles, was man zum erstenmal richtig solid mit Anwendung aller Vorsicht und allen Wissens der Thermodynamik und der Strömungslehre angepackt hat, auf den ersten Schlag ging.

Ich erteile nun zunächst Herrn Schmidt das Wort.