

Der heutige Stand der Verbrennungsturbine und ihre wirtschaftlichen Aussichten

Autor(en): **Pfenninger, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **123/124 (1944)**

Heft 26

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53973>

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.

INHALT: Der heutige Stand der Verbrennungsturbine und ihre wirtschaftlichen Aussichten. — Vom Bau französischer Wasserkraftanlagen seit Kriegsbeginn. — Mitteilungen: Personentransport-Autoanhänger mit Vierradlenkung. Cours de géotechnique à l'Ecole d'Ingénieurs (E. I. L.)

à Lausanne. — Wettbewerbe: Turnhalle in Au (St. Gallen). Verbindung der Rhoneschiffahrt aus der Stauhaltung Verbois mit dem Genfersee. Ortsplanungs-Wettbewerb Frauenfeld. — Nekrologe: Wilhelm Frey. — Mitteilungen der Vereine.

Band 123

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 26

Der heutige Stand der Verbrennungsturbine und ihre wirtschaftlichen Aussichten

Von Dipl. Ing. HANS PFENNINGER, A. G. Brown, Boveri & Cie, Baden
(Schluss von Seite 286)

4. Die Verbrennungsturbine für Windzentralen

Die Verbrennungsturbine eignet sich besonders gut für Windzentralen (Abb. 20 schematisch). Wegen ihres kleinen Platzbedarfes kann sie in der Nähe der Hochofen aufgestellt werden. Da sie kein Wasser benötigt, muss auch auf die Wasserfassung keine Rücksicht genommen werden. Die für Gasturbine und Hochofen benötigten Luftmengen werden in ein und demselben Gebläse verdichtet. Als Druckverhältnis im Gebläse wird das für den Verbrennungsturbinen-Prozess günstigste gewählt und die Nutzlufte für den Hochofen an derjenigen Stelle des Gebläses entnommen, die den entsprechenden Druck hat. Das Windgebläse fällt weg, was eine erhebliche Verbilligung der Anlage mit sich bringt. Da die nutzbare Energie Druckluft ist, so beziehen wir, um allgemein gültig zu bleiben, den thermischen Wirkungsgrad auf die adiabatische Nutzlufteleistung. Man könnte ihn auch auf die isotherme Nutzlufteleistung beziehen. Da die in der Nutzlufte enthaltene Wärme aber teilweise verwertbar ist, haben wir die adiabatische Verdichterleistung als Bezugsgrösse angenommen. Würden wir ihn auf die wirkliche Nutzlufteleistung beziehen, so wäre er in hohem Masse vom thermodynamischen Wirkungsgrad des Windgebläses abhängig und deshalb nicht ohne weiteres mit Dampfzentralen vergleichbar.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist der Umstand, dass die vom Gebläse total verdichtete Luftmenge im Verhältnis zur Windmenge gross ist, sodass diese in weiten Grenzen verändert werden kann, ohne dass das Gebläse zum Pumpen kommt.

Die Rechnung gibt die in Abb. 21, Kurve 1 angegebenen spezifischen Wärmeaustauschflächen in Abhängigkeit des adiabatischen thermischen Wirkungsgrades. Die Kurve 2 dieser Abbildung zeigt den Wärmeaustauscherpreis in Abhängigkeit dieses Wirkungsgrades.

Die jährlichen Brennstoffkosten, bezogen auf 1 kW der erzeugten adiabatischen Nutzlufteleistung bei 6000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Brennstoffpreis von 4,4 Cts/10 000 kcal, zeigt Kurve 1 der Abb. 22. Die Kurve 2 dieser Abbildung zeigt die Brennstoffersparnis gegenüber der Anlage ohne Wärmeaustauscher. Kurve 3 stellt die jährlichen Kosten für Verzinsung, Amortisation und Unterhalt des Wärmeaustauschers dar. Die

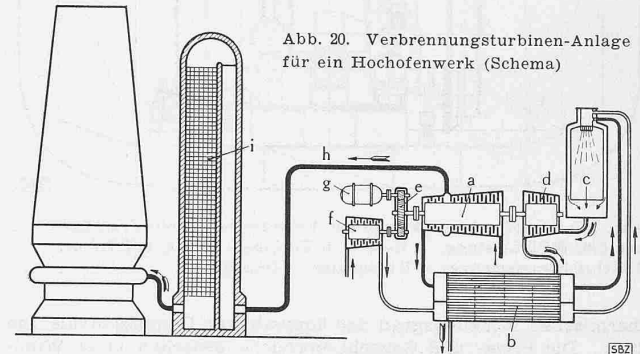


Abb. 20. Verbrennungsturbinen-Anlage für ein Hochofenwerk (Schema)

a Axialverdichter, b WA, c Brennkammer, d Gasturbine, e Getriebe, f Gasverdichter, g Anwurfmotor, h Windleitung, i Cowper

jährliche Ersparnis an Unkosten pro kW Leistung, d. h. die Differenz der Kurven 2 u. 3, ist aus Abb. 23 ersichtlich. Die grösste Ersparnis tritt, wie man sieht, bei einem adiabatischen thermischen Wirkungsgrad von 22% auf. Will man diesen mit dem effektiven Wirkungsgrad einer Dampfzentrale an der Kupplung der Dampfturbine vergleichen, so muss man ihn durch den thermodynamischen Wirkungsgrad des Windgebläses dividieren. Nimmt man diesen z. B. mit 78% an, so erhält man einen notwendigen

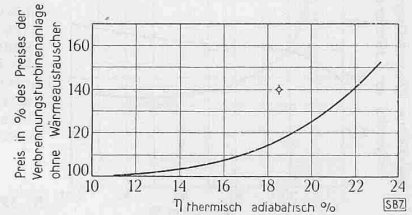
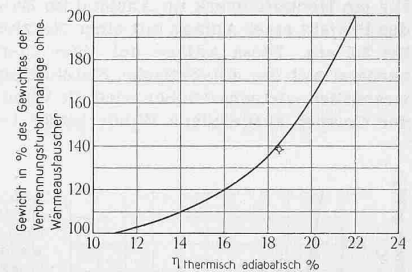


Abb. 24. Preis- und Gewichte-Vergleich mit einer Dampfturbine zur Winderzeugung. Windmenge 100 000 kg/h, Winddruck 2,2 ata. Verbrennungsturb. —, Dampfturbine =

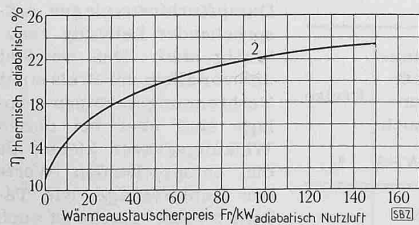
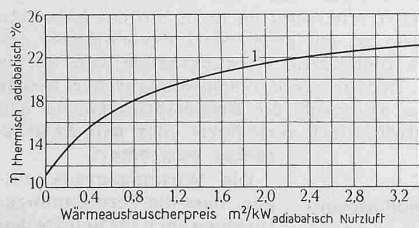


Abb. 21. Therm. Wirkungsgrad einer einstufigen Verbrennungsturb.-Anlage z. Winderzeugung in Abhängigkeit von der WA-Fläche (1) und vom WA-Preis pro kW adiab. Nutzlufteleistung. Für den WA wurde ein Vorkriegspreis von 40 Fr./m² eingesetzt

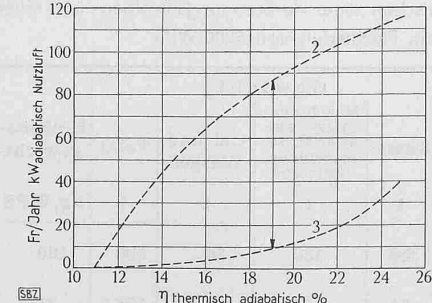
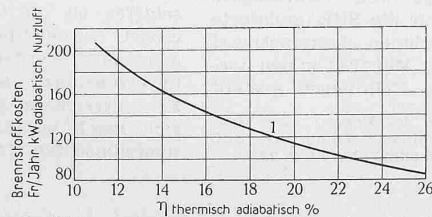


Abb. 22. Brennstoffkosten pro Jahr und kW adiab. Nutzlufteleistung (1), Brennstoff-Ersparnis gegenüber Anlage ohne WA (2) und WA-Unkosten (3) pro Jahr und kW adiab. Nutzlufteleistung in Abhängigkeit vom adiab. therm. Wirkungsgrad Brennstoff: Gichtgas, Brennstoffpreis 4,4 Rp./10 000 kcal, Betriebsstunden 6000 im Jahr

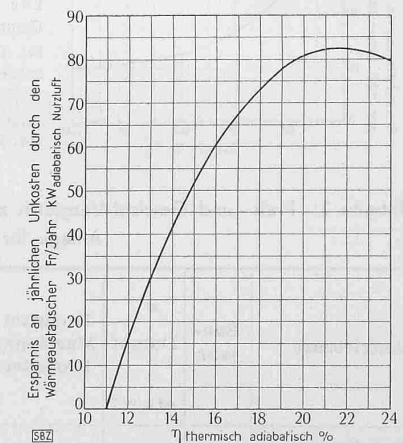


Abb. 23. Ersparnis an jährlichen Unkosten durch den WA, der nötig ist, um die Wirkungsgrade auf der Abszisse zu erreichen (Differenz von Kurven 2 u. 3 in Abb. 22)

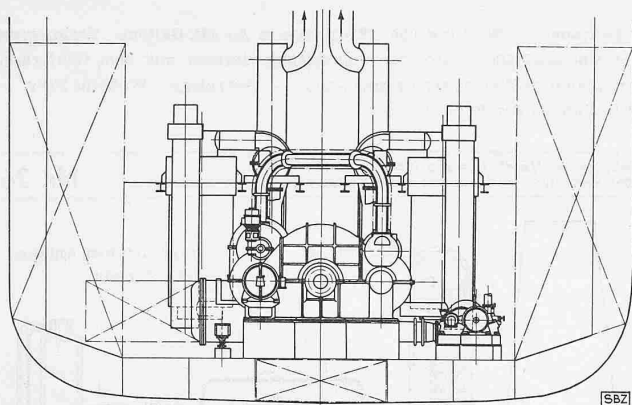
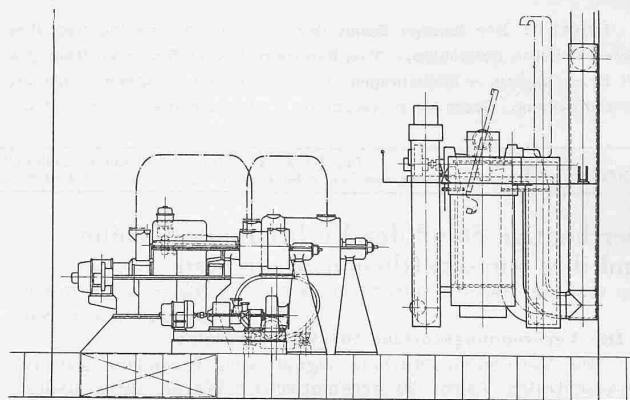


Abb. 23. Dampfturbinen-Anlage mit Veloxkessel für ein Frachtschiff von 5000 WPS-Leistung. a Kessel, b Turbinen-Anlage, c Getriebe, d Helux-Stromerzeuger, e Hilfsgruppe, f Oelkühler



thermischen Wirkungsgrad der äquivalenten Dampfzentrale von 28%. Die Preis- und Gewichtvergleiche zwischen einer Windzentrale mit Verbrennungsturbinen- und einer solchen mit Dampfturbinen-antrieb zeigt Abb. 24. Die Verbrennungsturbinen-Anlage ist wesentlich günstiger. Zwei Anlagen für eine Nutzluftmenge von je 118500 kg/h bei einem Förderdruck von 2,2 ata sind z. Zt. für ein Hochofenwerk im Ausland im Bau. Abb. 25 (S. 310) zeigt das Projekt einer Anlage mit einer Nutzluftmenge von 60000 kg/h bei 2,2 ata. Diese Anlage hat einen thermischen Wirkungsgrad, bezogen auf die adiabatische Nutzluftleistung, von 20%. Noch wesentlich wirtschaftlicher wird die Windzentrale, wenn an Stelle der Cowper aufgeladene Winderhitzer treten.

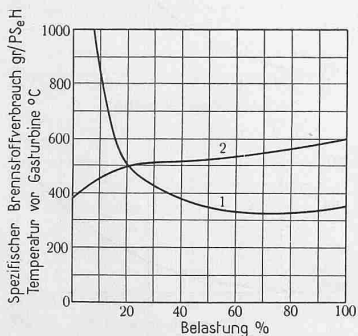
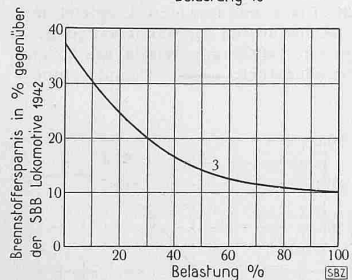


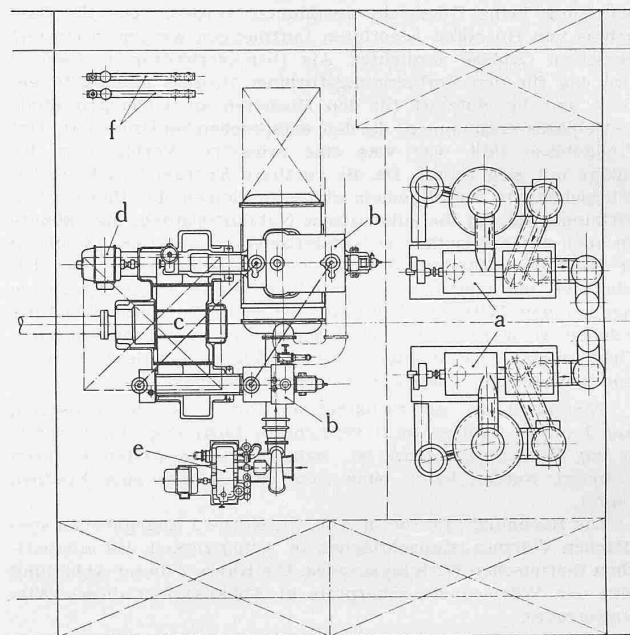
Abb. 26 (links). Spez. Brennstoffverbrauch (1) und Temperatur (2) vor der Gasturbine in Abhängigkeit von der Belastung einer Verbrennungsturbine für Lokomotiven von 2500 PS. Brennstoffersparnis (3) einer neuen Verbrennungsturbine von 2500 PS gegenüber der SBB-Lokomotive. (Durch verhältnismässig kleine Aenderungen kann diese Ersparnis schon heute erreicht werden)



5. Die Verbrennungsturbine für den Antrieb von Fahrzeugen

Die Verbrennungsturbine eignet sich auch für den Antrieb von Fahrzeugen. Die für die SBB gelieferte Gasturbinen-Lokomotive⁴⁾ ist seit Mai 1943 in den normalen Fahrdienst gestellt

⁴⁾ Dr. Ad. Meyer: «Die erste Gasturbinen-Lokomotive». SBZ Bd. 119 (1942), Nr. 20, S. 229*.



und hat sich bewährt. Die Weiterentwicklung der Verbrennungsturbine ermöglicht bereits heute den Bau einer neuen Lokomotive mit denselben Abmessungen und fast demselben Gewicht wie die Lokomotive der SBB, jedoch für eine Dauerleistung von 2500 PS. Der spezifische Brennstoffverbrauch dieser Gruppe ist aus Abb. 26 zu ersehen. Auch für den Antrieb von Handelsschiffen ist die Verbrennungsturbine mit Luftvorwärmer geeignet. Da der Platz bei Handelsschiffen nicht auf das äusserste ausgenützt werden muss, ist ein grösserer Luftvorwärmer gut unterzubringen, sodass thermische Wirkungsgrade von 24 bis 27% erreichbar sind. Der grössere Wärmeaustauscher macht sich rasch bezahlt, da er durch die Brennstoffersparnis den unerwünschten Brennstoffballast verkleinert oder den Aktionsradius vergrössert.

Tabelle 2: Preis- und Gewicht-Vergleich zwischen einer Verbrennungsturbinen- und einer Dampfturbinen-Anlage für ein Frachtschiff von 5000 WPS

Antriebsart	Baujahr	Dampf ata/°C	Drehzahl Maschine/ Propeller	Gewichte				Einheitsgewicht kg/WPS	Brennstoffverbrauch gr/WPS	Preise %
				Kessel t	Maschinenanlage inkl. aller Hilfsmaschinen, Getriebe u. s. w. t	Oel und Wasser t	Total t			
Zyl.-Kessel-Turbinen	1927	16/320	2200/90	350	130	20	500	100	400	—
Veloxkessel-Turbinen	1942	45/450	5500/ 3500/90	57	88	13,5	158,5	31,7	253	100
Verbrennungsturbine	1942	—	3400/90	—	144	7,5	151,5	30,3	253	~90
„	1942	—	3400/90	—	105	9,5	114,5	22,9	315	~75

Die Wirkungsgrade zeigen, dass die Verbrennungsturbinen auch für Schiffe den Dampfturbinenanlagen entsprechender Leistung ebenbürtig sind. Das Gewicht und vor allem der Preis einer Verbrennungsturbinen-Anlage sind aber bei diesen Wirkungsgraden kleiner als die entsprechenden Werte der Dampfanlage, wie Tabelle 2 zeigt. Darin ist auch eine Anlage mit einem Brennstoffverbrauch von 315 gr/WPS angeführt. Wie wir in Abschnitt 2 gesehen haben (Abb. 12), hängen Preis und Gewicht einer

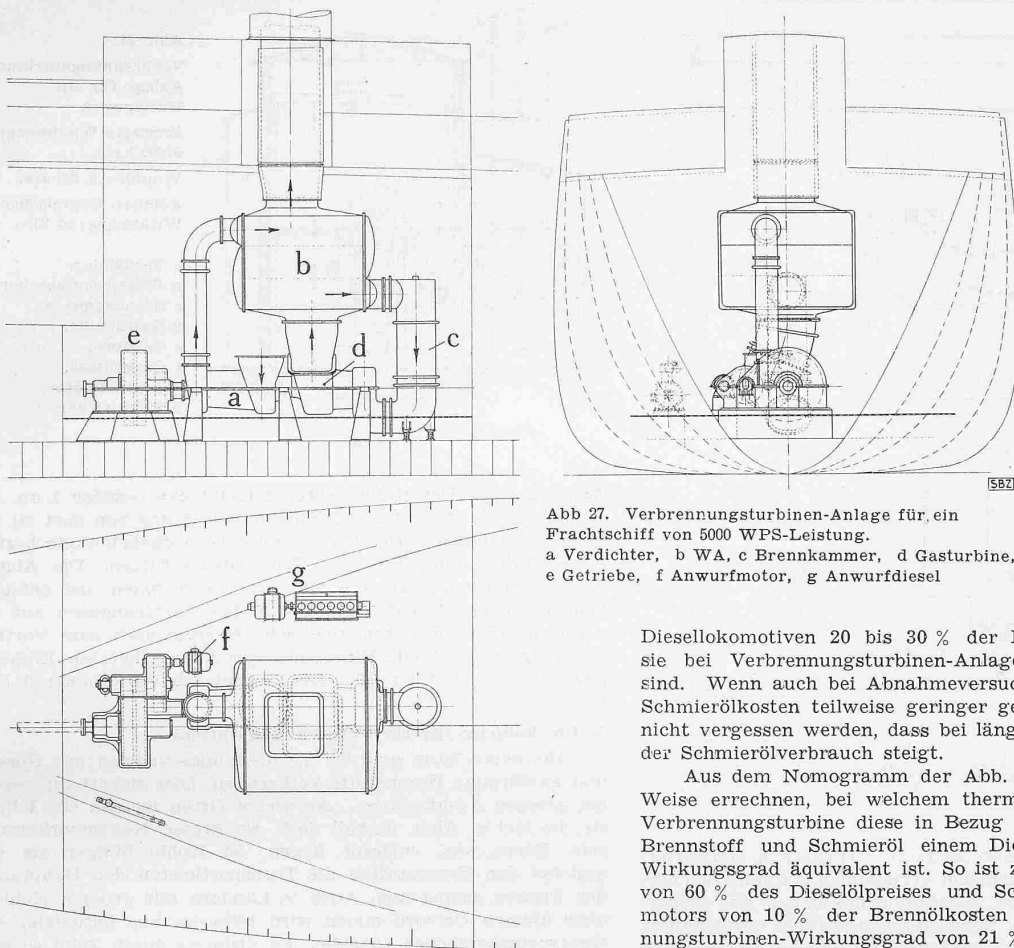


Abb 27. Verbrennungsturbinen-Anlage für ein Frachtschiff von 5000 WPS-Leistung. a Verdichter, b WA, c Brennkammer, d Gasturbine, e Getriebe, f Anwurfmotor, g Anwurfdiesel

Verbrennungsturbinen-Anlage in hohem Masse von der Grösse des Wärmeaustauschers, d. h. von der Höhe des thermischen Wirkungsgrades ab. Bei der in dieser Tabelle angeführten Anlage mit einem Brennstoffverbrauch von 315 gr/WPSH sinkt der Preis auf etwa 75% und das Gewicht auf etwa 70% gegenüber der Dampfmaschine mit einem Verbrauch von 253 gr/WPSH.

Eigentlich sollte man für Schiffsanlagen die gleichen Ueberlegungen machen, wie sie in Abschnitt 2 für Landanlagen durchgeführt wurden. Es würde dies aber über den Rahmen dieses Aufsatzes hinausgehen, da der günstigste thermische Wirkungsgrad einer Schiffsanlage nicht nur vom Brennstoffpreis, sondern auch noch von der zu befahrenden Schiffsroute abhängt, und zwar vor allem wegen Anzahl und Lage der Bunkerplätze. Da aber auch der Platzbedarf, die Bedienung und die Unterhaltskosten wesentlich geringer sind, als bei einer Dampfmaschine, so ist die Wettbewerbsfähigkeit der Verbrennungsturbine auf diesem Gebiete bei Leistungen zwischen 1000 und rd. 15000 PSe pro Welle heute schon gesichert. Der günstigste Wirkungsgrad muss von Fall zu Fall bestimmt werden. Die Einfachheit zeigt sich nicht zuletzt im Fehlen der ganzen Kesselanlage mit ihren Hilfsmaschinen und der kostspieligen Wasseraufbereitung. In Abb. 27 wird ein Handelsschiff mit einer Verbrennungsturbinen-Anlage von 5000 WPS gezeigt, in Abb. 28 die entsprechende Dampfmaschinenanlage mit Veloxkessel, der gegenüber einem Wasserrohrkessel bereits einen erheblichen Raumgewinn erzielt.

Infolge des kleinen Platzbedarfes der Verbrennungsturbinen-Anlage kann diese gut in den hinteren Teil des Schiffes verlegt werden, der als Laderaum nicht wertvoll ist. Dies bringt eine wesentliche Verkürzung des Wellentunnels und damit eine weitere Platzersparnis und Vereinfachung des Laderaums mit sich.

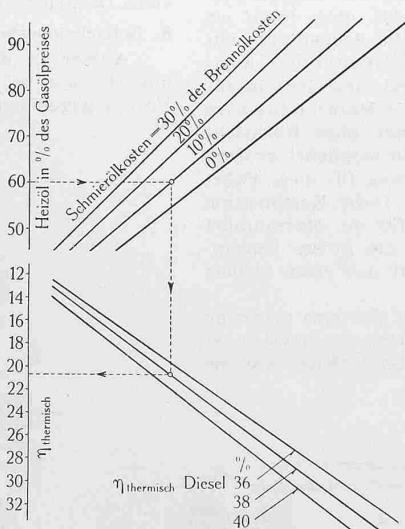


Abb. 29. Nomogramm zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Dieselmotor und Verbrennungsturbine. Es lässt sich damit der einem bestimmten therm. Wirkungsgrad eines Dieselmotors wirtschaftl. gleichwertige Wirkungsgrad der Verbrennungsturbine in einfacher Weise ermitteln

Die Verbrennungsturbine ist auf diesem Gebiet aber auch dem Dieselmotor überlegen, obgleich dieser einen thermischen Wirkungsgrad bis etwa 38% hat, da der Dieselmotor das teurere Gas- oder Dieselöl benötigt. Wie Tabelle 1 (Seite 281) zeigt, beträgt der Preisunterschied in verschiedenen Häfen des Weltmarktes zwischen Diesel- bzw. Gasöl und Heizöl ungefähr 2 : 1, sodass bereits bei einem thermischen Wirkungsgrad von 19% die

Brennstoffkosten gleich wären. Hierzu kommen noch die höheren Schmierölkosten des Dieselmotors. Diese betragen nach E. E. Chapman⁵⁾ bei

Diesellokomotiven 20 bis 30% der Brennstoffkosten, während sie bei Verbrennungsturbinen-Anlagen vernachlässigbar klein sind. Wenn auch bei Abnahmeversuchen an Dieselmotoren die Schmierölkosten teilweise geringer gefunden wurden, darf doch nicht vergessen werden, dass bei längerem Betrieb der Motoren der Schmierölverbrauch steigt.

Aus dem Nomogramm der Abb. 29 lässt sich auf einfache Weise errechnen, bei welchem thermischen Wirkungsgrad der Verbrennungsturbine diese in Bezug auf die Gesamtkosten von Brennstoff und Schmieröl einem Dieselmotor von bekanntem Wirkungsgrad äquivalent ist. So ist z. B. bei einem Heizölpreis von 60% des Dieselölpreises und Schmierölkosten des Dieselmotors von 10% der Brennstoffkosten ein thermischer Verbrennungsturbinen-Wirkungsgrad von 21% dem Wirkungsgrad eines Dieselmotors von 38% äquivalent.

Der Vorteil der Verbrennungsturbine liegt aber nicht nur in den kleineren Brennstoffkosten, sondern auch im geringeren Verschleiss, der Vermeidung hin- und hergehender Massen und einem dementsprechend besseren Massenausgleich.

Sehr vorteilhaft wird die Verbrennungsturbine, wenn sie mit einem Verstellpropeller gekuppelt wird. Dies erlaubt, die Drehzahl des Propellers bei allen Belastungen der günstigsten Turbinen-Drehzahl anzupassen, sodass gute Teillastwirkungsgrade

⁵⁾ Siehe Steam vs. Diesel-Electric Power by E. E. Chapman, «Railway Age» Vol. 1941, Nr. 4, July 1925.

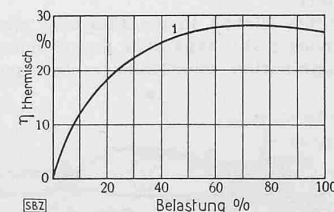
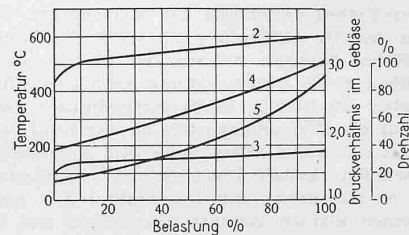


Abb. 30. Therm. Wirkungsgrad einer Verbrennungsturbinen-Anlage bei veränderlicher Drehzahl der Gasturbinen-Gebläsegruppe in Funktion der Belastung. 1 Therm. Wirkungsgrad, 2 Temperatur vor Gasturbine, 3 Abgastemperatur, 4 Drehzahl, 5 Druckverhältnis im Gebläse

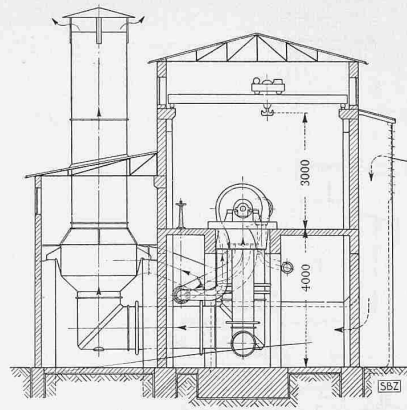
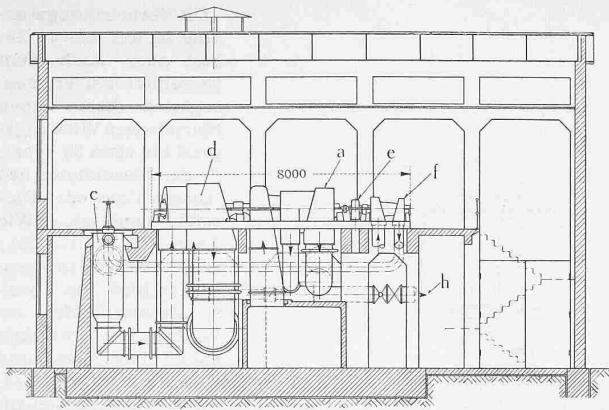
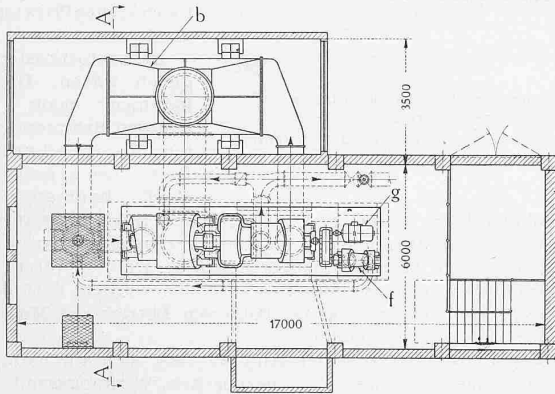


Abb. 25.
Verbrennungsturbinen-Anlage für ein
Hüttenwerk
Erzeugte Windmenge
60000 kg/h,
Winddruck 2,2 ata,
Adiabat. thermischer
Wirkungsgrad 20%.

- a Verdichter,
- b Wärmeaustauscher,
- c Brennkammer,
- d Gasturbine,
- e Getriebe,
- f Gasgebläse,
- g Anwurfmotor,
- h Windleitung



A-A

Abb. 32 zeigt. Der Kolbenmotor 2 treibt das Gebläse 1 an. Die verdichtete Luft geht zur Brennkammer 3 und von dort zu den Propellerturbinen 4. Der Kolbenmotor ist aufgeladen und bezieht seine Verbrennungsluft vom Gebläsedruckstutzen. Die Abgase des Kolbenmotors gehen in die Propellerturbinen und entspannen sich unter Arbeitsleistung mit den Turbinengasen auf den Aussendruck, wobei ihre kinetische Energie noch zum Vortrieb des Flugzeuges dient. Eine derartige Anlage hat ein Einheitsgewicht von rd. 1 kg/PS. Der thermische Wirkungsgrad liegt bei 28 %.

7. Die kohlengefeuerte Verbrennungsturbine

Bis heute kann man bei Verbrennungsturbinen nur flüssige und gasförmige Brennstoffe verbrennen. Dies sichert ihr bereits ein grosses Absatzgebiet. An vielen Orten ist das Oel billiger als die Kohle. Aber überall dort, wo grosse Kohlenvorkommen vom Meere weit entfernt liegen, ist Kohle billiger als Oel, weil bei den Brennstoffen die Transportkosten den Hauptanteil des Preises ausmachen. Auch in Ländern mit grossen Kohlen-, aber kleinen Oelvorkommen wird teilweise aus nationalen und wehrwirtschaftlichen Gründen der Oelpreis durch Zölle so hoch gehalten, dass die Kohle wirtschaftlicher ist. — Um auch diese der Gasturbine zu erschliessen, hat Brown Boveri eine kohlenstaubgefeuerte Anlage gebaut, die z. Zt. im Versuchsbetrieb steht. Durch das Mahlen der Kohle zu Kohlenstaub kann diese in einer Brennkammer wie flüssiger Brennstoff eingeblassen und verbrannt werden. Ausser der direkten Verbrennung der Kohle kann man diese auch zuerst in einem Gasgenerator vergasen, um dann das Gas in einer Brennkammer zu verbrennen. Die Verwendung eines Gasgenerators hat den Vorteil, dass dabei das Aschenproblem viel leichter gelöst werden kann. Da der Preis der Verbrennungsturbine niedrig ist, lohnt sich die Anwendung eines Gasgenerators hier noch am ehesten.

8. Betriebsicherheit von Verbrennungsturbinen-Anlagen

Ausser in den kleineren Gesteungskosten der Verbrennungsturbine bei gleichem thermischen Wirkungsgrad liegt ihr Vorteil gegenüber den anderen Kraftanlagen in der Einfachheit

erreicht werden, wie dies Abb. 30 zeigt. Bei raschen Manövriervorgängen, wie sie im Hafengebiet vorkommen, kann hierbei eine höhere Drehzahl der Turbine konstant gehalten und das Steueranöver lediglich mit dem Verstellpropeller allein durchgeführt werden, was eine überaus einfache und rasche Handhabung ergibt.

6. Die Leichtbauweise der Verbrennungsturbine für Fahrzeuge

Auch auf dem Gebiete der Leichtbauweise wurden bedeutende Fortschritte gemacht. Wenn die im Begriff stehenden Versuche ihre Erwartungen erfüllen, so dürfte es möglich sein, in nicht allzu ferner Zeit Verbrennungsturbinen-Anlagen mit einem Einheitsgewicht von 3 bis 4 kg/PS bauen zu können. Der Platzbedarf einer solchen Anlage beträgt etwa 30 m³/1000 PS. Eine derartige Anlage für eine Leistung von 5000 PS zeigt Abb. 31. Sie eignet sich für bestimmte Kategorien von Kriegsschiffen sehr gut zur Leistungserhöhung für die Schnellfahrt. Bei diesen Schiffen beträgt die Leistung für diese Fahrt ein vielfaches derjenigen der Marschfahrt. Da die Schnellfahrt nur kurzzeitig gefahren wird, spielt der Brennstoffverbrauch keine Rolle, dagegen müssen der Platzbedarf und das Gewicht für diese große Einbauleistung klein sein. Für die Marschfahrt wird aber ein kleiner Brennstoffverbrauch verlangt, ohne Rücksicht auf die Brennstoffkosten, da das Schiff einen möglichst grossen Aktionsradius haben muss. Als Antriebsleistung für diese Fahrt werden deshalb Dieselmotoren verwendet. Diese Kombination von Gasturbine mit Dieselmotor gibt also für die Marschfahrt einen kleinen Brennstoffverbrauch und für die grosse Einbauleistung der Schnellfahrt ein kleines Gewicht und einen kleinen Platzbedarf.

Für den Einbau in ein Flugzeug eignet sich eine derartige Anlage noch nicht. Was aber heute schon versuchsreif wäre, ist eine Kombination von Kolbenmotor und Gasturbine, wie sie

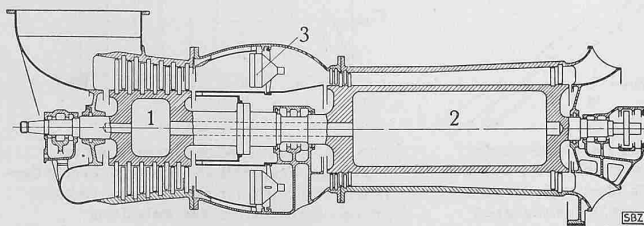


Abb. 31. Leichtbauweise einer Verbrennungsturbinen-Anlage
1 Gasturbine, 2 Verdichter, 3 Brennkammer

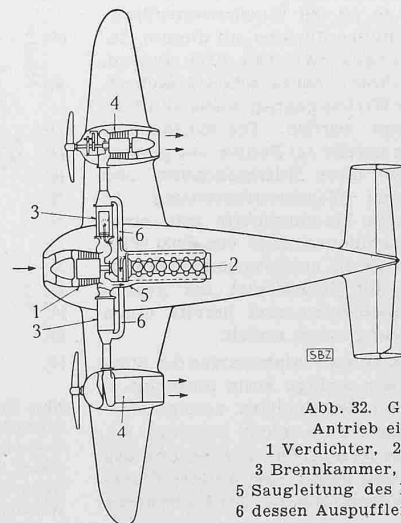


Abb. 32. Gasturbine zum Antrieb eines Flugzeuges
1 Verdichter, 2 Kolbenmotor,
3 Brennkammer, 4 Gasturbine,
5 Saugleitung des Kolbenmotors,
6 dessen Auspuffleitung

und dementsprechend auch in der Betriebsicherheit. Wie wir bereits gesehen haben, ist der Aufbau einer Verbrennungsturbinen-Anlage, sei es mit oder ohne Wärmeaustauscher, einfach. Die Maschine besitzt im Gegensatz zum Kolbenmotor keine dem Verschleiss unterworfenen Elemente, wie z. B. Ventile, Kolbenringe und Zylinderbüchsen. Sie hat aber auch keine hin- und hergehenden Massen und deshalb einen ruhigen, erschütterungsfreien Gang. Da das Treibmittel wegen dem hohen Luftüberschuss vorwiegend aus Luft besteht, ist auch keine Korrosion oder Erosion der Gasturbinenschaufeln zu befürchten. Die Luftüberschusszahl beträgt bei einem Verbrennungsmotor etwa 1,5, während sie bei einer Gasturbine mit einem thermischen Wirkungsgrad von 28 % etwa 16 beträgt.

Gegenüber der Dampfanlage liegt der Vorteil im Fehlen des Wasserkreislaufes mit der Wasseraufbereitung und der Kühlwasserfassung. Im Leistungsbereich zwischen 1000 und 15 000 kW auch in der einfacheren Bedienung, den geringeren Unterhaltskosten und im kleineren Preis. Für ganz grosse Leistungen ist heute die Dampfzentrale wegen ihres kleineren Anschaffungspreises, besonders bei Höchstdruckdampf und höchster Temperatur, immer noch die wirtschaftlichste Anlage⁶⁾.

Die Betriebserfahrungen haben die in die Gasturbine gesetzten Erwartungen erfüllt. Die ersten Anlagen für die Oelraffinerien nach dem Houdry-Verfahren laufen seit 1938 im Dauerbetrieb. Bis zum Jahre 1942 wurden total 21 derartige Gruppen geliefert, von denen 19 in den Vereinigten Staaten von Amerika laufen, eine in Frankreich und eine in Italien. Die normale Betriebsdauer ohne Unterbruch beträgt bei diesen Anlagen 5000 bis 6000 Stunden. Nach dieser Zeit werden regelmässig Stillstände von einigen Tagen wegen von der Turbinenanlage unabhängigen Arbeiten in der Oelraffinerie notwendig. Ausser den bereits erwähnten Anlagen seien noch die für Velokessel gelieferten Gasturbinen-Gebläse-Gruppen genannt, von denen über 80 dem Betrieb übergeben sind. Einige von diesen laufen bereits seit mehr als acht Jahren im Dauerbetrieb.

Man kann behaupten, dass die Verbrennungsturbine bereits bei ihrem heutigen Stand der Entwicklung eine vollkommen betriebssichere Maschine ist, deren vier Elemente, Gasturbine, Axialgebläse, Wärmeaustauscher und Brennkammer, sich im Dauerbetrieb bestens bewährt haben.

[Berichtigung. In Nr. 24 ist folgendes zu korrigieren: In der Unterschrift zu Abb. 4 soll es heissen: Turbinen- und Gebläse-Oberteil abgedeckt. — Bei Abb. 13: d Gebläseturbine (Drehzahl veränderlich). — Auf Seite 286, 4. Zeile l.: Gebläseendtemperatur. Wir bitten Autor und Leser um Entschuldigung.]

⁶⁾ Dr. Ad. Meyer: «Die Dampfkraftmaschine der Nachkriegszeit». SBZ Bd. 121 (1943), Nr. 13 und 15.

Vom Bau französischer Wasserkraftanlagen seit Kriegsbeginn

Im Jahre 1917 schon wurde in Frankreich ein weitsichtiges Programm aufgestellt, um die Versorgung des Landes mit hydroelektrischer Energie zu sichern. Diesem Programm entsprechend wurden die Zentralen Kembs¹⁾, La Tuyère, Marèges²⁾ usw. errichtet. Die hierauf eintretende Wirtschaftskrise brachte es mit sich, dass dann rund 20 % der produzierbaren elektrischen Energie keinen Absatz mehr fanden; demzufolge konnten keine neuen Projekte zur Verwirklichung kommen. Jedoch genügte der normale jährliche Zuwachs des Konsums um 5 %, um innerhalb von vier Jahren den Ausgleich zwischen Verbrauch und Erzeugung wieder herzustellen. Trotzdem wurde erst im Jahre 1938 ein neues Arbeitsprogramm aufgestellt, wonach rd. 3 Milliarden kWh dem Markt neu zugeführt werden sollten. Der hierauf eintretende Krieg hat einerseits die Energieknappheit stark verschärft, andererseits den Bau neuer Werke ausserordentlich erschwert. Unter den grösseren Bauten, die in der Kriegszeit errichtet wurden³⁾, erwähnen wir die Staumauer von Pannesièrre-Chaumard, die Staumauer von Saint-Etienne-Cantalès, die Anlage von Génissiat und diejenige von l'Aigle an der Dordogne.

Die Staumauer von Pannesièrre-Chaumard⁴⁾ in den Morvan-Bergen an der Yonne, in aufgelöster Bauweise, hat 48 m Höhe und 340 m Kronenlänge. Sie setzt sich zusammen aus neun Gewölben von 17,50 m Spannweite und 47 m Höhe, so-

wie je zwei Gewölben gleicher Spannweite, aber geringerer Höhe auf beiden Talseiten. Die Pfeilerbreite nimmt von 3 m (wasserseitig) auf 2 m (luftseitig) ab. Von der Unterwasserseite aus gesehen macht die aufgelöste Mauer den Eindruck eines Viaduktes. Die Pfeiler-Sockel sind 4 m breit und greifen bis 2 m tief in den Boden. Die Gewölbedicke nimmt von 1,60 m am Mauerfuss bis auf 0,40 m an der Krone ab. Der Beton wurde armiert und vibriert. Eine 3 m breite Strasse mit zwei Gehwegen ist auf Kronenhöhe angeordnet worden. — Hauptzweck dieser durch die «Services techniques du Port de Paris» unter Mitwirkung von Ing. Coyne gebauten Staumauer ist die Regulierung der Yonne, eines Nebenflusses der Seine, oberhalb Paris und die Speisung des Nivernais-Kanals. Zusätzlich wird auch elektrische Energie erzeugt; der Stauseeinhalt beträgt 82,5 Mio m³.

Die Staumauer von Saint-Etienne-Cantalès⁵⁾ an der Cère (Abb. 1), einem Nebenfluss der Dordogne, ist eine Gewichtsmauer von 70 m Höhe, 270 m Kronenlänge und 130 000 m³ Betonvolumen, Stauseeinhalt 130 Mio m³. Drei Maschinengruppen zu je 40 000 PS sind für eine Gesamterzeugung von 250 Mio kWh pro Jahr vorgesehen. Zusätzlich werden noch 125 bis 150 Mio kWh pro Jahr durch Verbesserung des Wasserhaushaltes von zwei flussabwärts liegenden Zentralen gewonnen. Bemerkenswert ist bei der Zentrale von Saint-Etienne-Cantalès der Hochwasser-Ueberfall in der Form einer Ski-Sprungschanze (französisch: «déversoir en saut de ski»), eine neue Bauform System Coyne, die wir auch bei der Staumauer l'Aigle finden werden.

Ueber das Kraftwerk Génissiat⁶⁾, das ebenfalls in die Reihe der grossen französischen Neubauten aus der Kriegszeit gehört, wurde hier mehrfach berichtet⁷⁾. Staumauerhöhe 104 m, Stausee 53 Mio m³, davon 12 Mio m³ nutzbar⁸⁾. Als erste Bauetappe sind vier Einheiten zu je 70 000 KVA vorgesehen, die zusammen 1530 Mio kWh jährlich erzeugen werden. Für die zweite Bauetappe werden sechs Einheiten zu insgesamt 430 000 kW (1800 Mio kWh) angegeben. Für Hochwasser ist rechtsufrig ein mit automatischen Klappen versehener Betonkanal von 550 m Länge und 18 m Breite, linksufrig ein Entlastungsstollen, der unter max. 45 m Druck steht, vorgesehen. Dieser Druckstollen mündet dann in den linken Umlaufstollen, wo das Wasser mit freiem Spiegel abläuft. Zwischen Druck- und Umlaufstollen sind drei Gleitschützen vorgesehen. Zusammen können der Hochwasserkanal und der Entlastungsstollen ein Hochwasser von max. 4000 m³/s abführen, wobei das max. beobachtete Hochwasser 2000 m³/s beträgt.

Die schwach bogenförmig gekrümmte Gewicht-Staumauer hat 104 m grösste Höhe, 100 m Basislänge und 140 m Kronenlänge, bei einem Anzug von 5 % wasserseitig und 78 % luftseitig. Der Abstand der Dehnungsfugen beträgt 24 m, das Mauervolumen 440 000 m³, wozu 126 000 m³ für das unmittelbar angebaute Kraftwerk kommen. Das Kraftwerk, dessen 3 m dickes Dach auch das Wasser aus dem Staumauer-Ueberlauf abführt, weicht in seiner Anordnung von früheren Vorprojekten ab, namentlich durch seinen leicht hufeisenförmigen Grundriss.

Die Rhone führt eine Geschiebefracht von nur 2 150 000 t pro Jahr. Das Volumen der suspendierten feinen Materialteilchen ist dagegen sehr gross. Es wird damit gerechnet, dass sich die grösseren Geschiebe am oberen Ende des 23 km langen Stausees absetzen werden, wo sie unter Umständen gebaggert werden. Die feinen Teilchen dagegen sollen während der Spülungen des Stausees fortgeschwemmt werden.

Das Kraftwerk l'Aigle⁹⁾ (Abb. 1 bis 6) der «Energie Electrique de la Moyenne Dordogne» liegt, wie die sich etwas flussaufwärts befindenden Kraftwerke Bort und Marèges der «Société Nationale des Chemins de Fer Français» und wie die etwas flussabwärts liegende Zentrale Chastang der «Union d'Electricité» an der Dordogne. Insgesamt werden diese vier



Abb. 1. Uebersichtsskizze

¹⁾ SBZ Bd. 96, S. 177* ff (1930); Bd. 100, S. 339* (1932).

²⁾ SBZ Bd. 104, S. 282 (1934).

³⁾ Der Vollständigkeit halber seien hier noch folgende Bauten erwähnt, die zur Schiffarmachung von Flüssen dienen: das Stauwehr von Sansandring im Nigerfluss («Travaux», Sept. 1941 und Februar 1942) und das Stauwehr von Courlon-sur-Yonne («Travaux», Sept. 1943, Auszug in «SBZ» Bd. 122, S. 293).

⁴⁾ «Travaux», August 1941, S. 263*.

⁵⁾ «Travaux», Februar 1942, S. 41*.

⁶⁾ «Le Génie Civil», 1. Sept. 1942 und «Travaux», Juli 1942.

⁷⁾ SBZ Bd. 110, S. 326*; Bd. 116, S. 125*; Bd. 117, S. 23.

⁸⁾ Bei 5 m Absenkung.

⁹⁾ «Le Génie Civil», 1. und 15. Dez. 1943; 1. und 15. März 1944.