Über den gegenwärtigen Stand der Feinkolbentechnik

Autor(en): **Huber, Robert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 36

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-66224

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

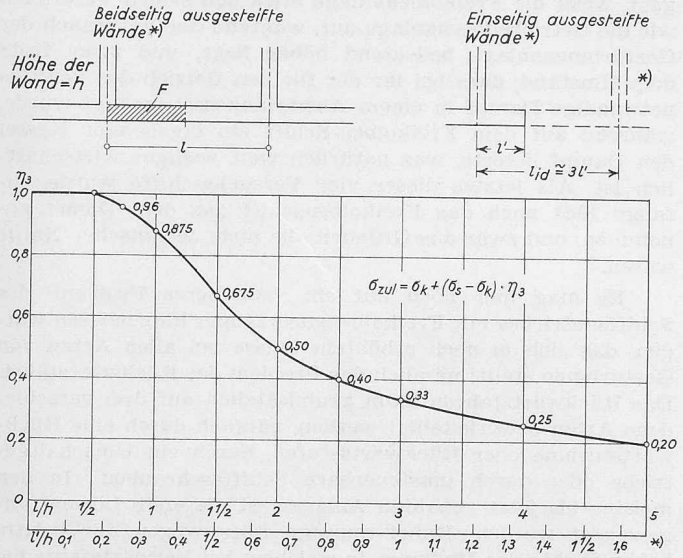


Bild 5. Tafel 5 aus «Hochhausbau in Backstein» mit vorgeschlagenen Ergänzungen *) für einseitig ausgesteifte Wände. Die Wirkung der Aussteifung von öffnungslosen Wänden berechnet sich nach folgender Formel:

$\sigma_{zul.} = \sigma_k + (\sigma_s - \sigma_k) \cdot \eta_3$

$\sigma_{zul.}$ = Zulässige Spannung in kg/cm² unter Berücksichtigung der Aussteifung
σ_k = Zulässige Spannung im Knickbereich (h/d > 5)
σ_s = Zulässige Spannung ausserhalb des Knickbereichs (h/d < 5)
η_3 = siehe obige Tafel
l = Abstand der Aussteifung
l' = Abstand von Aussteifung zu freiem Mauerrand *)

Da nun das Mauerwerk bei weitem kein homogener Baustoff ist und die Wände nicht wie in Bild 4 gelenkig, sondern irgendwie elastisch oder starr in den Decken und Querwänden eingespannt sind, stellt das errechnete Verhältnis λ nur eine Annäherung an die Wirklichkeit dar, so dass vernünftigerweise für λ für alle Seitenverhältnisse ein konstanter Wert angenommen wird. Um nach Möglichkeit stets auf der sicheren Seite zu sein, empfiehlt es sich, für λ den Wert 3 einzusetzen. Dies bedeutet, dass alle einseitig ausgesteiften Wände mit der Länge l' als zweiseitig ausgesteifte Wände mit der Länge $l_{id} = 3 \cdot l'$ nach P. Haller berechnet werden können. Man braucht also lediglich Tafel 5 von «Hochhausbau in Backstein» mit einer auf 1/3 reduzierten Skala l'/h (siehe Bild 5) zu ergänzen, um jederzeit alle einseitig ausgesteiften Wände rasch und genügend sicher berechnen zu können. Selbstverständlich hat die vorgeschlagene Berechnungsmethode nur solange einen Sinn, bis einmal genügend Grossversuche vorliegen, um die ein- und beidseitig ausgesteiften Wände entsprechend den Versuchsresultaten wirklichkeitsgetreuer berechnen zu können. Es wäre m. E. zu begrüssen, wenn die an der EMPA geplanten Grossversuche sich vor allem auch auf einseitig ausgesteifte Wände erstrecken würden, da, wie schon angeführt, diese Wände im Wohnbau von sehr grosser Bedeutung sind.

Adresse des Verfassers: *W. Brunner,* dipl. Ing. ETH, Gartenstrasse 9, Dietikon ZH.

Literaturnachweis:

[1] *F. Czerny,* Tafeln für gleichmässig vorbelastete Rechteckplatten. «Bautechnik-Archiv» 1955, Heft 11, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
[2] *S. Timoshenko,* Theory of Plates and Shells, New York und London, McGraw-Hill Book Comp., 1940.
[3] *G. Fischer,* Beitrag zur Berechnung kreuzweise gespannter Fahrbahnplatten im Stahlbrückenbau. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, 1952.
[4] *W. Brunner,* Momentenausgleichsverfahren zur Berechnung durchlaufender Platten für gleichmässig verteilte Belastungen. «Schweiz. Bauzeitung» 10. Dez. 1955.
[5] *P. Haller,* Physik des Backsteins 1. Teil: Festigkeitseigenschaften. Verband Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten.
[6] *P. Haller,* Hochhausbau in Backstein, Verband Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten.
[7] 600/57. — BV-Ausführungsbestimmungen für Tragwerke in Backsteinmauerwerk bei Hochhäusern, Bausektion II des Stadtrates Zürich, 5. April 1957.
[8] *H. J. Eichstaedt,* Die Stützkräfte gleichmässig belasteter Rechteckplatten in Anlehnung an DIN 1045 § 23,3, «Beton und Stahlbeton», September 1961.

Über den gegenwärtigen Stand der Freikolbentechnik

DK 621.512:621.438

Von **Robert Huber,** dipl. Ing. ETH, Paris

Schluss von Seite 608

4. Die Kraftzentrale von Tours

Die Möglichkeit einer Leistungssteigerung der Turbine durch eine zusätzliche Verbrennung zwischen Gaserzeuger und Turbine ist schon oft erwähnt worden. Die Kraftzentrale der «Electricité de France» in Tours ist eine erste Verwirklichung dieses Gedankes. In ihr speisen sechs Gaserzeuger eine Brennkammer, in der die Temperatur der Gase von 450° auf 650° C erhöht wird, bevor sie in die Turbine strömen. Brennkammer und Turbine wurden von der C. E. M. in Le Bourget gebaut. Infolge der Temperaturerhöhung kann die Leistung von 4500 kW auf 5600 kW gesteigert werden. Da aber der Wirkungsgrad der Verbrennung in der Brennkammer bedeutend tiefer liegt als derjenige des Umsatzes im Motorzylinder, muss eine Verminderung des Wirkungsgrades in Kauf genommen werden. Bild 10 zeigt die Beziehungen zwischen Leistung, Wirkungsgrad und Temperaturzunahme durch Nachverbrennen. Anlagen mit Nachverbrennungskammern sind also ausgesprochene Spitzenkraftwerke mit beschränkter jährlicher Betriebsdauer.

5. Schiffsantriebe

Bis jetzt sind 14 Handelsschiffe mit Freikolbenanlagen versehen worden und fünf weitere Anlagen sind zur Zeit in der Montage. Die Leistungen dieser Anlagen, welche sich auf 8 Frachter, 2 Bananenschiffe, 1 Walfänger, 1 Fischereiboot, 1 Schlepper und 1 Passagierschiff verteilen, liegen zwischen 1600 und 6000 PS.

Das grösste bis jetzt gebaute Frachtschiff hat sechs Gaserzeuger und zwei gemeinsam über ein Getriebe die Welle antreibende Turbinen von je 3000 PS. Diese Anlage wurde im Rahmen eines Versuchsprogrammes für neuartige Schiffsantriebe im Auftrag der «Maritime Administration» in Washington gebaut. Das betreffende Programm sah den Umbau von vier «Liberty»-Schiffen vor, und zwar wurde je ein Schiff mit einer Freikolbenanlage, einer offenen Gasturbine, einer Dieselgetriebeanlage und einer Dampfturbinenanlage ausgerüstet. Die von der Alsthom in Belfort gebauten Turbinen der Freikolbenanlage weisen sechs Vorwärtsstufen und zwei Rückwärtsstufen auf und laufen bei Vollast mit 5500 U/min.

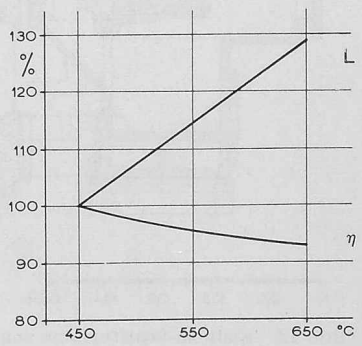


Bild 10. Prozentuale Leistungssteigerung und Wirkungsgradabnahme in Abhängigkeit der Temperatur vor der Turbine bei Nachverbrennung.
η = Wirkungsgrad
L = Leistung

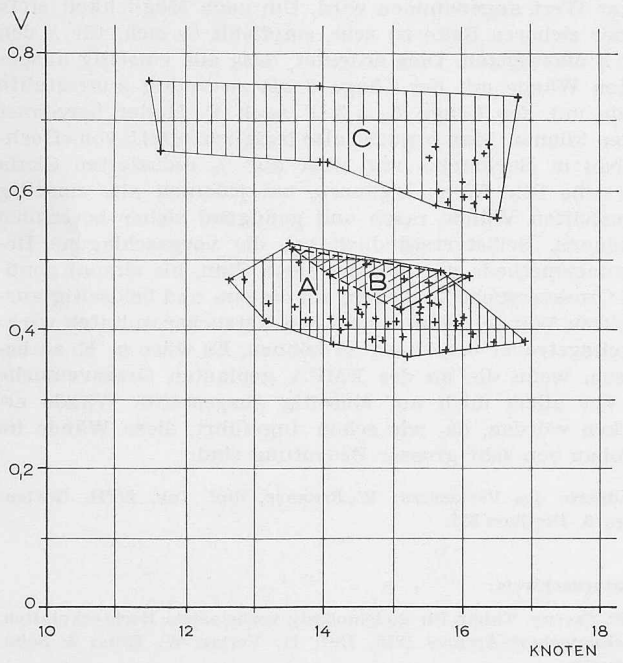


Bild 11. Verbrauchsziffern von drei umgebauten Libertyschiffen
V Brennstoffverbrauch in «barrels per mile»
der Schiffe: A mit Freikolbenanlage
B mit Getriebe-Diesel
C mit Gasturbine

Das Liberty-Schiff «William Patterson» hat insgesamt in ungefähr 10 000 Betriebsstunden der Gaserzeuger eine Strecke von 170 000 Seemeilen zurückgelegt. Als Brennstoff diente Schweröl von 2000 bis 3000 sec Redwood. Die Verbrauchsmessungen ermöglichten einen Vergleich zu ziehen zwischen den verschiedenen Antriebsarten, da es sich bei den drei Motor- und Gasturbinenschiffen um genau gleiche Schiffskörper und ähnliche Betriebsbedingungen handelte. Auf Bild 11 sind die Verbrauchsziffern in «Barrels» pro Seemeile in Abhängigkeit von der mittleren Geschwindigkeit in Knoten aufgetragen. Wie aus diesem Diagramm hervorgeht, weist die Freikolbenanlage etwa den selben Verbrauch wie die Getriebedieselanlage auf, während der Verbrauch der Gasturbinenanlage bedeutend höher liegt, und zwar trotz dem Umstand, dass bei ihr der für den Betrieb des Schiffes notwendige Dampf in einem Abwärmekessel erzeugt wurde, während auf dem Freikolben-Schiff ein ölgeheizter Kessel den Dampf lieferte, was natürlich weit weniger wirtschaftlich ist. Als letztes dieser vier Versuchsschiffe wurde anfangs 1961 auch das Freikolbenschiff aus dem Dienst genommen, und zwar aus Gründen, die nicht technischer Natur waren.

Es mag hier noch auf ein besonderes Problem des Schiffsantriebes mit Freikolbengaserzeuger hingewiesen werden, das sich in noch erhöhtem Masse bei allen Arten von Gasturbinen stellt: nämlich das Problem der Rückwärtsfahrt. Das Rückwärtsfahren kann grundsätzlich auf drei verschiedene Arten bewerkstelligt werden, nämlich durch eine Rückwärtsturbine oder Rückwärtsstufen, durch ein Umschaltgetriebe oder durch umsteuerbare Schiffsschrauben. In den meisten bis jetzt gebauten Anlagen ist die erste Lösung angewendet worden. Dabei mussten aber wegen der relativ hohen Dichte des Mediums, in welchem bei Vorwärtsfahrt die Rückwärtsstufen drehen, besondere Mittel angewendet werden, um die Ventilationsverluste in erträglichen Grenzen zu halten. Wie aus Bild 12 hervorgeht, ist die Turbine mit einem schwenkbaren Deckel versehen, welcher während der Vorwärtsfahrt gegen die Rückwärtsturbine gelegt wird und diese abschliesst. Sobald man die Gaszufuhr zur Rückwärtsturbine öffnet, schwenkt dieser Deckel in die Mittellage zurück. Auf andern Turbinen ist am Austritt der Rückwärtsturbine ein Umlenkblech eingebaut, welches die austretenden Gase gegen die Turbinenmitte lenkt, so dass bei Vorwärtsfahrt die infolge der Zentrifugalwirkung der Schaufeln weggeschleuderten Gase nicht entweichen, sondern im Raum zwischen Rad und Ablenkblech rotieren. Diese Massnahme genügt, um die Ventilationsverluste der Rückwärtsstufe auf etwa 2 % der vollen Leistung zu vermindern.

Da die Rückwärtsstufen einen bedeutend schlechteren Wirkungsgrad aufweisen als die Stufen der Vorwärtsturbine und weil die Ventilationsverluste der Vorwärtsturbine hoch sind, beträgt die erreichbare Rückwärtsleistung nur einen Bruchteil der Vorwärtsleistung; so wurden mit der in Bild 12

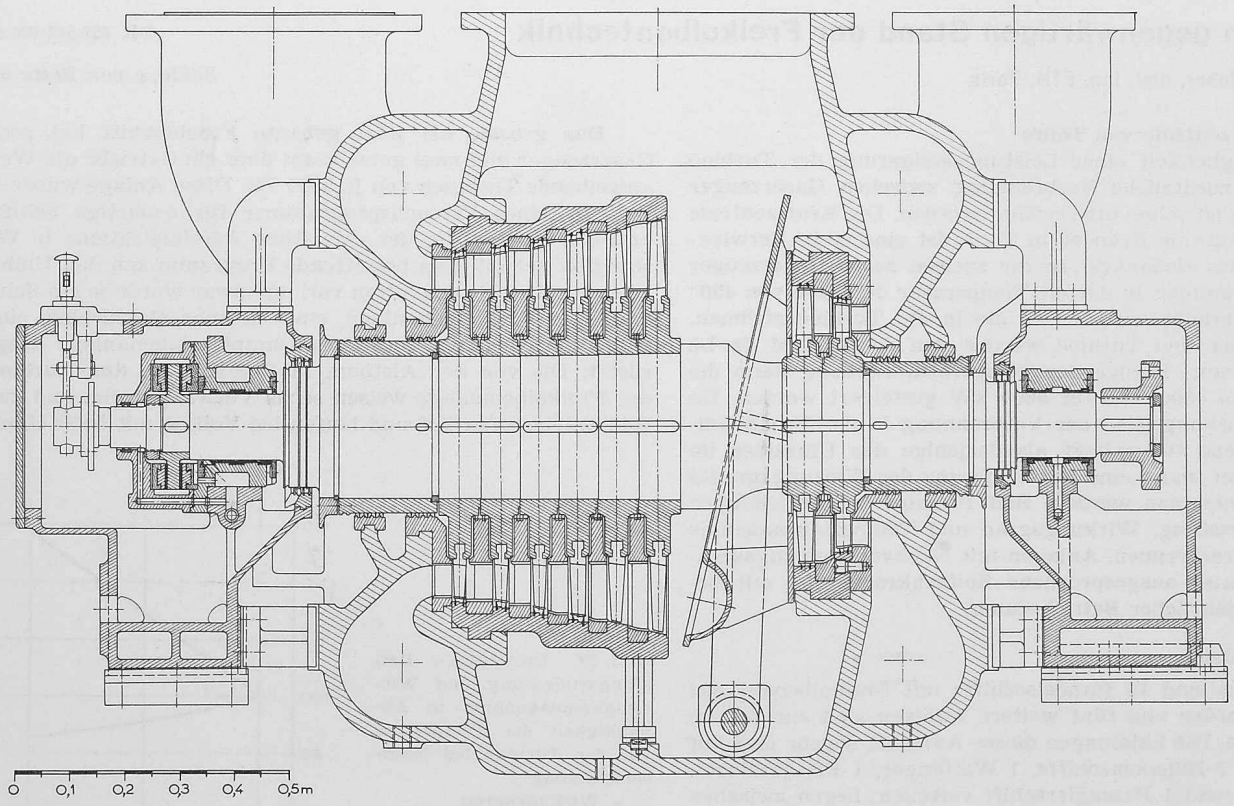
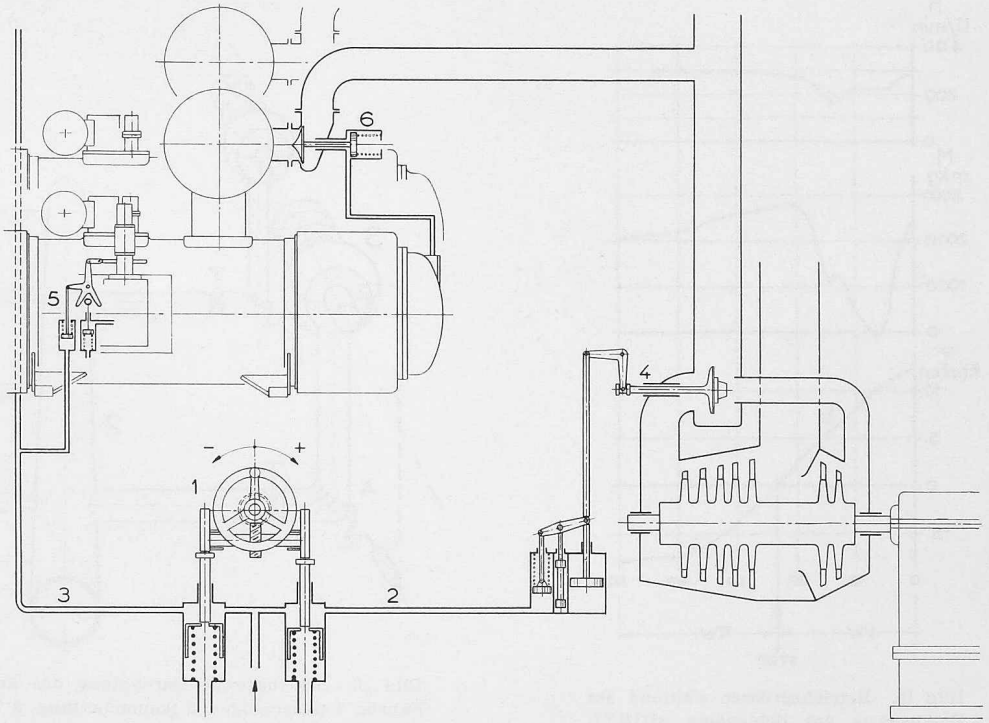


Bild 12. Alsthom-Schiffturbine von 3000 PS mit Rückwärtsstufen

Bild 13. Steuerschema einer Schiffsanlage mit Rückwärtsturbine.
1 Steuerapparat, 2 Steuerölleitung für das Umsteuern, 3 Steuerölleitung zu den Brennstoffpumpen, 4 Umsteuerventil, 5 Brennstoffregler, 6 automatisches Rückschlagventil



dargestellten Anordnung bei Rückwärtsfahrt nur 70 % der vollen Drehzahl bei Vorwärtsbetrieb und eine Leistung von 2250 PS, gegenüber 3000 PS bei Vorwärtsbetrieb erreicht.

Das Steuerschema einer solchen Anlage ist auf Bild 13 dargestellt. Mittels eines zentralen Steuerapparates 1 wird der Druck in zwei Steuerölleitungen 2 und 3 beeinflusst. Der eine dieser Steuerimpulse bestimmt die Lage des Gasumsteuerventils 4, der andere die Stellung des Brennstoffreglers 5 der Gaserzeuger. Beim Anfahren oder bei ganz geringer Leistung befindet sich das Ventil in einer Mittellage, bei der beide Turbinen beaufschlagt sind. Durch Verstellen des Ventils kann das resultierende Drehmoment beliebig verändert werden, so dass die Schraube langsam vorwärts oder rückwärts dreht. Sobald bei steigender Leistung das Ventil den Zufluss zu einer der Turbinen schliesst, so erfolgt die weitere Leistungssteigerung durch Erhöhen der Brennstoffzufuhr, indem der zweite Steuerimpuls die Regelorgane der Brennstoffpumpen aller Gaserzeuger verstellt.

Bei Verwendung von verstellbaren Schrauben können die Ventilationsverluste vermieden werden. Es ist dabei möglich, die Leistungsänderung entweder bei konstanter Drehzahl und veränderter Schraubenstellung, oder bei fester Schraubenstellung und variabler Drehzahl vorzunehmen. Die zweite Lösung ergibt einen besseren Teillastverbrauch, weil für die verschiedenen Drehzahlen die Wirkungsgrade sowohl der Schraube als auch der Turbine (infolge veränderlichen Gasdruckes) über den ganzen Betriebsbereich in der Nähe ihrer Höchstwerte bleiben.

Unter den mit Verstellschrauben betriebenen Schiffen sei das von der «DEMAG», Darmstadt, mit einer Freikolbenanlage ausgerüstete Fischereiboot «Sagitta» erwähnt, das anfangs 1958 in Dienst gestellt wurde. Bei dieser Anlage speisen zwei Gaserzeuger GS-34 eine Reaktionsturbine der Hamburger Turbinenfabrik von 2000 PS. Diese treibt über ein zweistufiges Getriebe die Schraubenwelle. Mit der Zwischenwelle des Getriebes sind überdies ein Wellengenerator und eine Pumpe für den Antrieb der hydraulischen Fischnetzwinde gekuppelt. Wegen dieser zusätzlichen Antriebe wurde die Anlage mit einem Drehzahlregler versehen, welcher die Umdrehzahl ständig innerhalb bestimmter Grenzwerte hält. Bis Mitte 1961 stand jeder Gaserzeuger während mehr als 25 000 Stunden in Betrieb, was unter Einrechnung der für das Ausladen der Fische benötigten Zeit einem fast ununterbrochenen Einsatz während dreieinhalb Jahren entspricht.

Im Jahre 1960 wurden zwei Bananentransporter in Dienst gestellt [7], jeder mit einer Freikolbenanlage von 4000 PS, die im Heck des Schiffes eingebaut ist. Sie besteht aus vier von «Werkspoor», Amsterdam, gebauten Einheiten GS-34 und einer Turbine von Brown, Boveri, welche die Verstellschraube antreibt (Bild 14). Dazu wurde zum ersten Mal

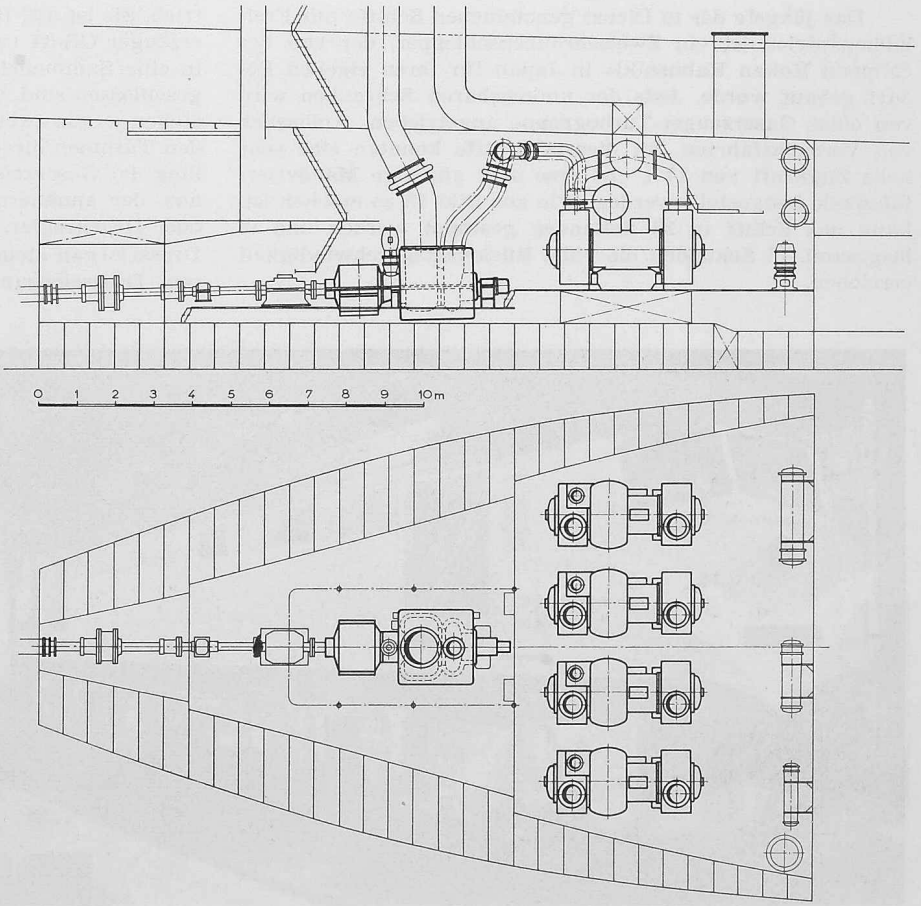


Bild 14. Anlage von 4000 PS der Firma Werkspoor auf einem Bananentransportschiff

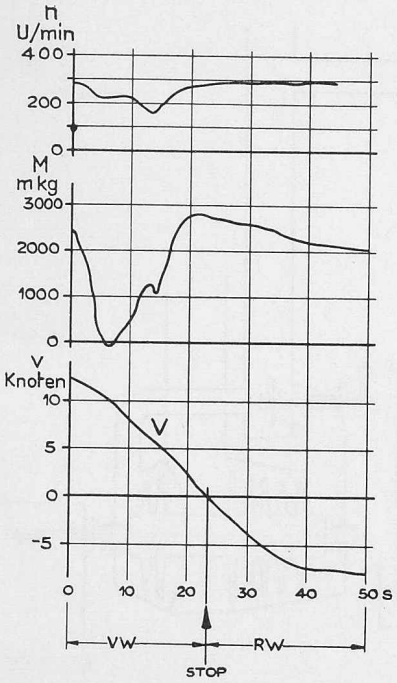


Bild 15. Betriebsgrössen während des Umsteuerns des Schleppers «HIRYU MARU» von 2000 PS. n Drehzahl der Schraube, M Drehmoment auf der Welle in mkg, V Schiffsgeschwindigkeit, VW Vorwärts, RW Rückwärts

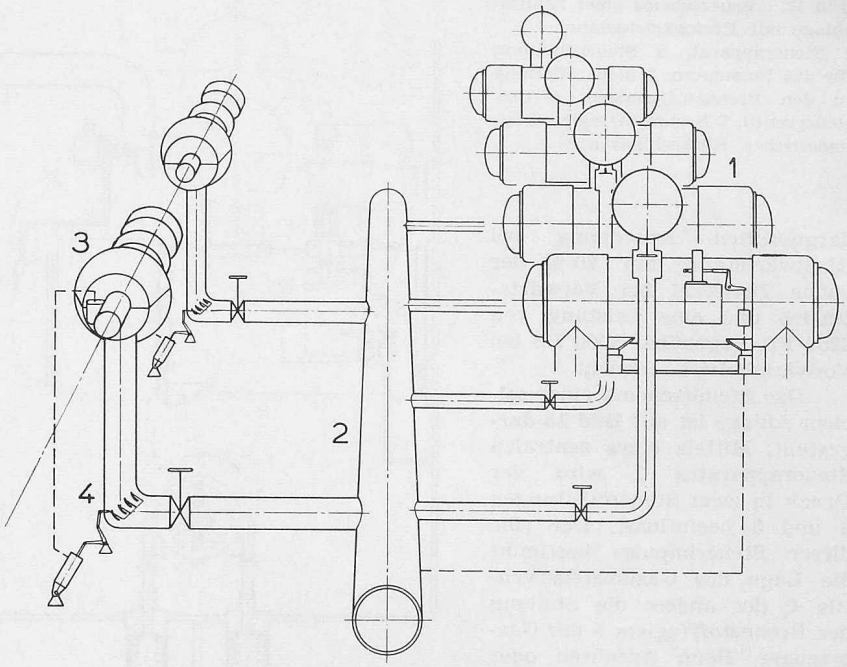


Bild 16. Schematische Darstellung der Anlage von 15 000 PS in einer chemischen Fabrik. 1 Gaserzeuger, 2 Sammelleitung, 3 Turbinen/Kompressoren-Gruppen, 4 Drosselregler

auf einem Handelsschiff ein Planetengetriebe angewendet. Im Laufe des bis jetzt durchgeführten Betriebes von etwa 12 000 Stunden haben sich keinerlei Nachteile gezeigt. Die gesamte Anlage wiegt 55 t oder 13,8 kg/PS; die Einzelgewichte verteilen sich wie folgt: Gaserzeuger mit Gasleitungen und Ventilen 42 t, Turbine 8 t, Getriebe 5,2 t.

Das jüngste der in Dienst genommenen Schiffe mit Freikolbenantrieb ist ein Zweischraubenschlepper, der von der «Nippon Kokan Kabushiki» in Japan für ihren eigenen Bedarf gebaut wurde. Jede der umkehrbaren Schrauben wird von einer Gaserzeuger-Turbogruppe angetrieben. Anlässlich von Versuchsfahrten mit diesem Schiffe konnten eine sehr hohe Zugkraft von 17 t und eine sehr günstige Manövrierfähigkeit festgestellt werden. Wie aus Bild 15 zu ersehen ist, kann das Schiff in 23 Sekunden gestoppt werden und in insgesamt 40 Sekunden die volle Rückwärtsgeschwindigkeit erreichen.



Bild 17. Lokomotive von 2400 PS mit zwei Freikolben-Gruppen

6. Kompressoren- und Pumpenantrieb

Infolge ihrer hohen Drehzahl eignen sich Freikolben-Gasturbinen besonders gut für den Antrieb von Kompressoren und Pumpen, da sich in vielen Fällen das Getriebe einsparen lässt. Eine solche Anlage ist in einer chemischen Fabrik in Mittel-England seit mehr als zwei Jahren in Betrieb. Sie ist auf Bild 16 schematisch dargestellt. Die 15 Gaserzeuger GS-34 (wovon 3 in Reserve) liefern die Druckgase in eine Sammelleitung, an welcher sechs Turbogruppen angeschlossen sind, wovon eine als Reserve. Diese Gruppen bestehen je aus zwei mehrstufigen Clarkkompressoren, die von den Turbinen direkt angetrieben werden. Die Leistungsregelung der Gaserzeuger erfolgt vom Druck der Sammelleitung aus, der annähernd konstant gehalten wird. Ein Drehzahl- oder Druckregler, welcher ein jeder Turbine vorgeschaltetes Drosselorgan steuert, regelt die Drehzahl der Turbinen. Diesem Drosselorgan, bestehend aus fünf drehbar gelagerten Leitschaufeln, ist ein Absperrventil vorgeschaltet, welches gleichzeitig zum Anfahren benützt wird. Damit die Reserveturbine sofort in Betrieb genommen werden kann, wird sie durch eine kleine Menge Gas ständig auf Temperatur gehalten, und um ein Durchbiegen des Rotors zu vermeiden, fortwährend gedreht.

Der chemische Prozess, zu dem diese Anlage gehört, verlangt einen ununterbrochenen Betrieb; jeglicher Betriebsunterbruch muss unter allen Umständen vermieden werden. Aus diesem Grunde sind drei Reservegaserzeuger vorgesehen, wovon einer oder zwei immer bereitstehen, um einen allfällig ausfallenden Gaserzeuger zu ersetzen.

Lokomotivantrieb

Im Jahre 1953 wurde die erste von der «Régie Nationale des Usines Renault» gebaute Freikolbenlokomotive in Dienst gestellt. Sie hat

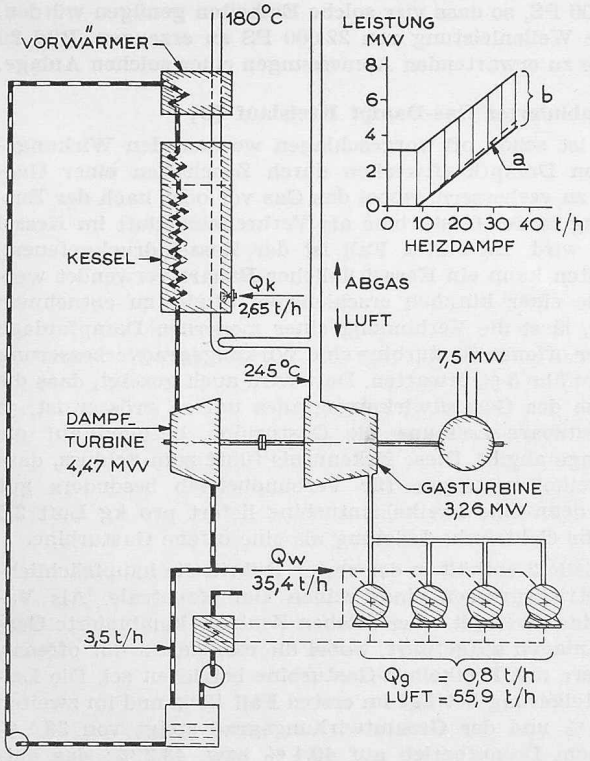


Bild 18 (links). Verbund-Anlage für 7500 kW und 23,5.10⁶ kcal/h Heizdampf.
Q_g Brennstoff für Gaserzeuger
Q_K Brennstoff für Kessel
Q_W Wärme im Heizdampf (35,4 t/h bei 4,5 atü)
Das Diagramm zeigt die Beziehung zwischen Kraft und Wärmeleistung:
a bei Gegendruck-Dampfturbinenanlagen
b bei Freikolben-Verbundanlagen

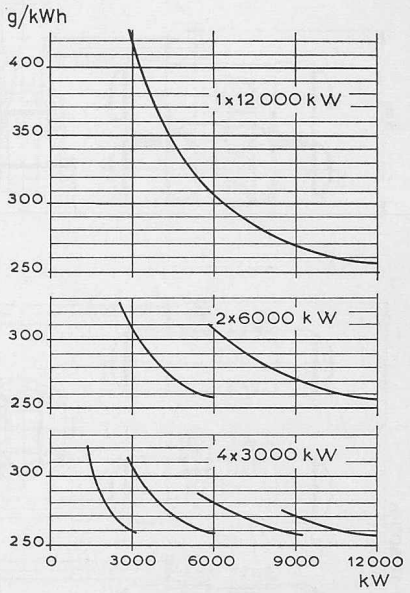


Bild 19 (rechts). Verbrauchskurven einer Anlage von 12 000 kW mit verschiedener Unterteilung der Leistung

im Fracht- und Passagierdienst insgesamt 360 000 km zurückgelegt. Die mit ihr gemachten guten Erfahrungen haben ihren Erbauer veranlasst, zwei weitere, jedoch doppelt so starke Lokomotiven zu bauen. Jede dieser Lokomotiven hat zwei getrennte, aus Gaserzeuger, Turbine und Getriebe bestehende Anlagen, welche je eines der zwei dreiachsigen Drehgestelle antreiben. Die verschiedenen Hilfaggregate werden von einer Dieselelektrogruppe von 120 PS mit Strom versorgt. Diese beiden Lokomotiven (Bild 17) sind im Laufe des Jahres 1961 in Dienst gestellt worden. Der Betrieb mit Schweröl, für welchen sämtliche Einrichtungen vorhanden sind, wird erst in einem späteren Zeitpunkt aufgenommen werden.

7. Ausnützung der Abgaswärme

Die Abgase der Turbine haben eine Temperatur von 250° C und enthalten noch 80 % des ursprünglichen Sauerstoffes. Werden diese Gase einem Dampfkessel zugeführt, so kann die Abgaswärme ausgenützt und der verbleibende Sauerstoff noch verbrannt werden. Der erzeugte Dampf dient dann als Fabrikationsdampf oder zum Antrieb einer Dampfturbine. Bis jetzt sind zwei Anlagen mit Abgasverwertung gebaut worden. Die erste besteht aus einer Kraftzentrale von 1500 kW mit drei Einheiten GS-34, wovon eine in Reserve ist. Die Abgase werden einem Kessel zugeführt, der 15 t/h Dampf von 47 atü und 475° C erzeugt. In der zweiten Anlage, welche ebenfalls eine Gruppe von 3 GS-34 für 1500 kW umfasst, wird der im gefeuerten Abgaskessel erzeugte Dampf zum Antrieb einer Dampfturbine verwendet. Wie aus Bild 18 hervorgeht, kann in der Leitung zwischen Turbine und Kessel ein Kamin eingeschaltet werden, so dass ein etwaiger Abgasüberschuss in die Atmosphäre entweichen kann, während bei Abgasmangel zusätzlich Frischluft für die Kessel durch das Kamin angesogen wird. Kraft und Dampferzeugung sind somit voneinander vollkommen unabhängig, was für die stets wechselnden Betriebsbedingungen solcher Anlagen von grossem Vorteil ist. Bild 18 zeigt das Verhältnis der elektrischen Leistung zur Dampferzeugung in einer Anlage mit vier Gaserzeugern, und zwar gilt das schraffierte Feld für eine Freikolbenanlage und die gestrichelte Linie für eine Gegendruckdampfanlage.

8. Betriebserfahrungen

Die im industriellen Betrieb gemessenen Verbrauchsziffern sind von der Grösse der Anlage, der Unterteilung der Leistung auf die Turbinen, der mittleren Belastung usw. abhängig. Soll zum Beispiel für eine Gesamtleistung einer Zentrale von 12 000 kW ein wirtschaftliches Teillastverhalten erreicht werden, so ist es vorteilhaft, für eine Anlage von z. B. 16 Gaserzeugern zwei oder mehrere Turbinen vorzusehen. Die Verbrauchskurven haben dann den auf Bild 19 gezeigten Verlauf.

Der Wirkungsgrad der Gaserzeuger bei Betrieb mit Schweröl erreicht 41 %. Rechnet man mit 2 % Verlust in der Gasleitung, einem Wirkungsgrad der Turbine von 88 % und des Stromerzeugers von 98 %, so ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 34,6 %, was bei einem Heizwert von 9700 kcal/kg einen Verbrauch bezogen auf die Klemmenleistung von 256 g/kWh entspricht. Da aber im allgemeinen nicht ständig auf Vollast gefahren wird und die Anlass- und Abstellperioden zusätzlich Brennstoff benötigen, ergibt sich im Mittel im industriellen Betrieb ein Verbrauch von etwa 270 g/kWh. Dazu kommt ein Verbrauch an Schmieröl von ungefähr 2 g/kWh.

Die langjährigen Betriebserfahrungen unter sehr verschiedenen Bedingungen bei Betrieb mit Schweröl zeigen folgende Abnützungsziffern

	radiale Abnützung pro 1000 Std.
Erster Motorkolbenring	0,03 bis 0,1 mm
Die weiteren Kolbenringe	0,02 bis 0,05 mm
Motorzylinder	0,02 bis 0,05 mm
Tragbänder der Motorkolben	0,05 bis 0,1 mm

Die übrigen der Reibung unterworfenen Teile wie die Kompressorkolbenringe, Kompressorkolben und Zylinder, Gleichlaufgestänge, usw. zeigen keine messbaren Abnützungen.

Die Standzeit der Einspritzdüsen hängt zu einem grossen Teil von der guten Filtrierung des Brennstoffes ab, sie kann bis zu 5000 Stunden betragen, währenddem die Elemente der Brennstoffpumpe nach 10 bis 20 000 Stunden zu ersetzen sind. Die Gasturbinen benötigen wegen der beschränkten Temperatur der Gase praktisch keinen Unterhalt.

Die Kosten der Stromerzeugung einer Freikolbenanlage mittlerer Grösse verteilen sich ungefähr wie folgt:

Schweröl (zu 100 Fr. pro t)	= 0,027	Fr./kWh
Gasöl (während den Anlass- und Abstellperioden)	= 0,001	Fr./kWh
Schmieröl	= 0,0031	Fr./kWh
Ersatzstücke und Unterhalt	= 0,0032	Fr./kWh
Lohnkosten	= 0,0024	Fr./kWh
Abschreibung (auf 15 Jahre zu 7 %)	= 0,011	Fr./kWh
Gesamte Produktionskosten	= 0,0477	Fr./kWh

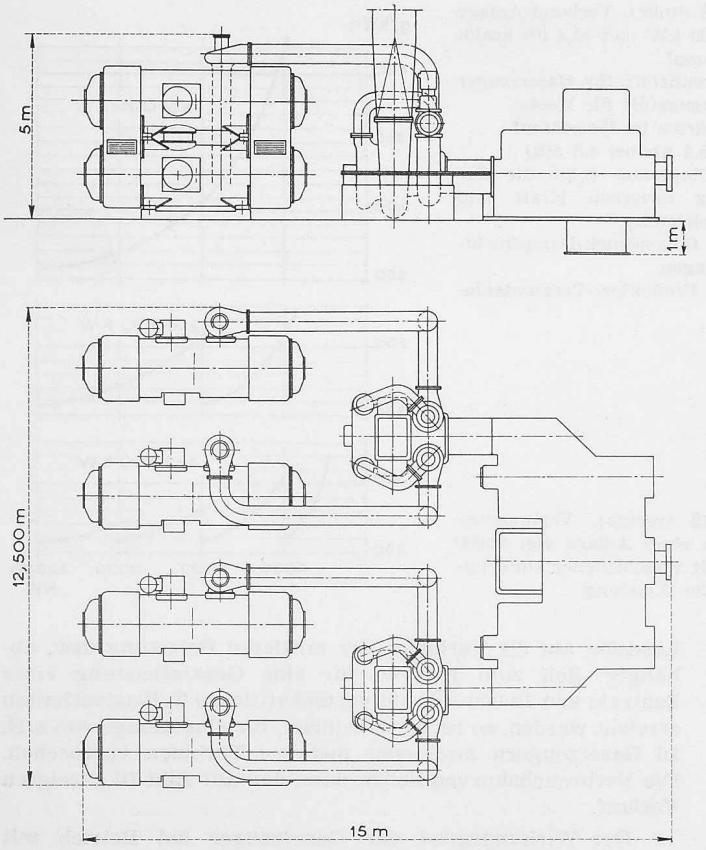


Bild 20. Schiffsanlage für 22 000 PS mit vier Zwillingsgaserzeugern von 540 mm Motordurchmesser

Zu dieser Aufstellung muss gesagt werden, dass die gesammelten Erfahrungen und die laufenden Versuche bei den zukünftigen Anlagen eine wesentliche Verminderung der Ersatzteil- und der Schmierölkosten erwarten lassen. Der Grossteil der Anlagen wird mit Schweröl mit einer zwischen 500 und 1500 sec Redwood liegenden Viskosität betrieben. Einzelne Anlagen jedoch laufen mit Bunkeröl von über 3000 sec Redwood. Die Gaserzeuger, welche bis heute die längste Laufzeit erreichten, stehen seit über 40 000 Stunden in Betrieb.

9. Freikolbengaserzeuger grösserer Leistung

Es erscheint möglich, die Leistung des Gaserzeugers vom Typ GS-34 durch Ausnützung der Aufladung mittels Druckstoss und durch Vergrössern des Motorzylinders bei gleichbleibenden Aussenabmessungen und ohne die thermische Belastung zu erhöhen, noch wesentlich zu steigern. Ausserdem bildet der Motorzylinder mit den jetzigen Abmessungen keinesfalls eine obere Grenze für den Bau von Freikolbengaserzeugern. Studien eines grösseren Typs mit einem Durchmesser des Motorzylinders von 540 mm haben gezeigt, dass sich bei einer solchen Maschine die thermischen und mechanischen Beanspruchungen durchaus in zulässigen Grenzen halten lassen. Man kommt dabei auf eine adiabatische Gasleistung bei 420 Schwingungen pro Minute von 3200 PS, was einer mittleren Kolbengeschwindigkeit von 10,3 m/s entspricht. Die Abmessungen der Maschine betragen: Länge 6 m; äusserer Durchmesser 1,7 m, Gewicht ungefähr 20 t [8].

Eine andere Möglichkeit, die Leistung pro Maschineneinheit zu erhöhen, besteht im Zusammenfassen zweier Gaserzeuger zu einer Zwillingseinheit, bei welcher die Kolbenbewegungen der beiden Gaserzeuger um 180° phasenverschoben sind. Durch diese Anordnung ergibt sich ein etwas besserer Wirkungsgrad, da die Druckluft des einen Gaserzeugers im Moment der Förderung durch den offenen Motorzylinder des andern strömen kann, wodurch Druckverluste vermieden werden. Solche Zwillingseinheiten können mit neben- oder übereinanderliegenden Gaserzeugern gebaut werden. Falls zwei Einheiten vom Typ GS-54 auf diese Art zusammengefasst werden, ergibt sich eine Wellenleistung von über 5500 PS, so dass vier solche Einheiten genügen würden, um eine Wellenleistung von 22 000 PS zu erzeugen. Bild 20 zeigt die zu erwartenden Abmessungen einer solchen Anlage.

10. Kombinierter Gas-Dampf Kreislauf [9]

Es ist schon oft vorgeschlagen worden, den Wirkungsgrad von Dampfkraftwerken durch Zuschalten einer Gasturbine zu verbessern, wobei das Gas vor oder nach der Entspannung in der Gasturbine als Verbrennungsluft im Kessel benützt wird. Im ersten Fall ist der Kessel druckgefeuert, im zweiten kann ein Kessel üblicher Bauart verwendet werden. Wie einer kürzlich erschienenen Studie zu entnehmen ist [10], lässt die Verbindung einer modernen Dampfanlage mit einer offenen Gasturbine eine Wirkungsgradverbesserung von ungefähr 5 % erwarten. Dort wird auch gezeigt, dass die Zunahme des Gesamtwirkungsgrades um so grösser ist, je mehr nutzbare Leistung die Gasturbine, bezogen auf die Luftmenge abgibt. Diese Erkenntnis führt zum Schluss, dass sich Freikolbenanlagen für Verbundbetrieb besonders gut eignen, denn eine Freikolbenturbine liefert pro kg Luft 2,5 mal mehr elektrische Leistung als eine offene Gasturbine.

Tabelle 2 enthält in der ersten Rubrik die hauptsächlichsten Betriebsgrössen einer reinen Dampfzentrale. Als Variante sind zwei mit einer solchen Zentrale kombinierte Gas-Dampfanlagen aufgeführt, wobei die eine davon mit offener, die andere mit Freikolben-Gasturbine betrieben sei. Die Leistungssteigerung beträgt im ersten Fall 12 % und im zweiten Fall 35 % und der Gesamtwirkungsgrad steigt von 38,1 % bei reinem Dampfberieb auf 40,4 % bzw. 43,2 %; das entspricht einer Steigerung bei Verbundbetrieb mit offener Gasturbine um 5,0 % bzw. 12,2 % bei Verbundbetrieb mit Freikolbenturbine. Die Tabelle zeigt, dass bei Verbundbetrieb mit Freikolbengaserzeugern der höchste jemals in Dampf-

Tabelle 2. Vergleich verschiedener thermischer Kraftwerksanlagen

			Verbundanlage	
		Dampf-Anlage	mit offener Gasturbine	mit Freikolben Gaserzeuger
Dampfdruck vor Turbine	ata	130	130	130
Dampftemperatur vor Turbine	° C	530	530	530
Dampftemperatur nach Zwischenüberhitzung	° C	525	525	525
Kondensatordruck	ata	0,0265	0,0265	0,0265
Kühlwassertemperatur	° C	10	10	10
Speisewassertemperatur	° C	212	246	272
Anzahl der Dampfentnahmen		7	7	5
Dampfmenge	kg/s	54,6	52,2	50,8
Leistung der Dampfturbine	kW	68 300	68 300	68 300
Gasdruck vor Turbine	ata	—	6	4,2
Gastemperatur nach Gaserzeuger	° C	—	—	450
Gastemperatur vor Turbine	° C	—	600	600
Frischluftmenge	kg/s	—	80	90,5
Leistung der Gasturbine	kW	0	8400	24 460
Gesamtleistung der Turbinen	kW	68 300	76 700	92 760
Leistungsverbrauch der Hilfsmaschinen für Kessel	kW	380	—	—
für Turbine und Gaserzeuger	kW	—	200	460
Leistungsverlust infolge Druckabfall in Kessel	kW	—	340	400
Nettoleistung	kW	67 920	76 200	91 900
Eingeführte Wärme in Kessel	kW	179 000	188 000	157 200
in den Gaserzeugern	kW	—	—	55 500
Kesselwirkungsgrad	%	97	98	98
Gesamte eingeführte Wärme	kW	179 000	188 000	212 700
Gesamt-Wirkungsgrad	%	38,1	40,4	43,2

kraftwerken erreichte Wirkungsgrad wesentlich überschritten werden kann. Ein weiterer Vorteil der Verbundanlage mit Freikolbenturbine gegenüber einer solchen mit rein rotierender Gasturbine besteht in der Vereinfachung der Regulierung, denn im ersten Fall wird die Gasmenge durch die Verbrennung in den Freikolbengaserzeugern, und die Dampfmenge durch diejenige im Kessel festgelegt, während im zweiten Fall nur eine einzige Verbrennung stattfindet, welche gleichzeitig den Betriebsanforderungen des Gaskreislaufes und des Dampfkreislaufes genügen muss.

Im vorliegenden Beispiel ist vorausgesetzt, dass der Kessel druckgefeuert ist; falls er der Turbine nachgeschaltet wird, sind die Wirkungsgrade etwas tiefer, doch liegen sie immer noch wesentlich über den höchsten jemals in Dampfzentralen erreichten Werten.

11. Betrieb mit Erdgas

Die rasche Zunahme der Erdgasverwertung in Frankreich liess es als wünschenswert erscheinen, diesen Brennstoff auch in Freikolben-Gaserzeugern zu verwerten. Versuche, die zur Zeit im Gange sind, haben schon zu beträchtlichen Erfolgen geführt. So ist vor kurzem ein Probebetrieb von 500 Stunden bei Vollast und nur geringem Zündölzusatz durchgeführt worden. Es ist zu erwarten, dass in Bälde auch mit Gas angetriebene Freikolbenanlagen in Dienst gestellt werden.

Die Gaserzeuger der meisten vorstehend beschriebenen Anlagen wurden von der Société SIGMA in Vénissieux bei Lyon nach den Plänen der SEME, Rueil-Malmaison, gebaut. Seit einigen Jahren haben namhafte Firmen in England, Deutschland, USA, Holland und Japan die Lizenzrechte übernommen, und die Anzahl der von diesen Lizenzfirmen gebauten Gaserzeuger ist schon beträchtlich.

Literaturnachweis

[1] SBZ 1948, Nr. 48 und 49
[2] SBZ 1950, Nr. 29
[3] SBZ 1954, Nr. 44 und 45
[4] SBZ 1957, Nr. 24
[5] «Gas & Oil Power» 1961 Nr. 673
[6] «Bulletin de la Société Française de Mécaniciens» 1960 No. 31
[7] «The Motor Ship» may 1960
[8] «ASME-Transaction» 1959
[9] SBZ 1958, Nr. 43
[10] «BBC-Mitteilungen» Dez. 1960

Gedanken zum System der Generalunternehmung

DK 338.831

Von **Walter Siebenmann**, Architekt, Zürich

Ueber das System der Generalunternehmung, das sich in den letzten Jahren bei uns sehr stark verbreitet hat — so stark, dass es das bisher übliche System zu verdrängen droht — ist schon viel diskutiert worden. Die verschiedensten Meinungen und Urteile werden geäussert. Aus diesem Grunde seien einmal die wichtigsten Unterschiede, die Vor- und Nachteile sowie in einer Schlussbetrachtung die Zukunftsaussichten der beiden Systeme etwas näher betrachtet.

Unterschiede

Obwohl die Unterschiede zwischen den beiden Systemen weitgehend bekannt sein dürften, wollen wir uns diese doch kurz vergegenwärtigen.

Beim herkömmlichen System, in welchem alle Unternehmer einzeln ein Vertragsverhältnis mit dem Bauherrn eingehen, und das wir kurz *Einzelunternehmersystem* nennen wollen, ist der Architekt sowohl für die Planung als auch für die Ausführung eines Bauvorhabens besorgt. Im Namen des Bauherrn vergibt er, als dessen Beauftragter, die Aufträge an die verschiedenen Unternehmer. Er überwacht deren Arbeiten in bezug auf Qualität wie auch auf termingemässe Fertigstellung. Er kontrolliert nach Bauvollendung die Rechnungen, die er dann zur Bauabrechnung zusammenstellt.

Das System der *Generalunternehmung* weist als grundsätzliches Merkmal auf, dass sich jemand — der Generalunternehmer — auf Grund eines einzigen Vertrages verpflichtet, das ganze Bauwerk gegen Barzahlung eines Werklohnes zu erstellen. Dies ist allerdings ein sehr weitreichender Begriff, und tatsächlich werden auch Generalunternehmungsverträge in den verschiedensten Varianten abgeschlossen. Von all diesen soll uns aber hier nur die eine, vielleicht am häufigsten vorkommende Art interessieren: Bei dieser beauftragt der Bauherr einen Architekten mit der Planung eines Bauwerkes, wobei dessen Ausführungseinzelheiten in Plänen und Beschrieb möglichst genau festgehalten werden. Auf Grund dieser Unterlagen offeriert dann der Generalunternehmer die Erstellung des Objektes zu einem bestimmten Pauschalpreis. Bis zur Bauvollendung tritt er nach aussen selbst als Bauherr auf und übergibt nachfolgend das Werk gegen Bezahlung der vereinbarten Summe, allenfalls mit plazierten Hypotheken gegen Entrichtung des Eigenkapitals.

Während in andern Ländern, z. B. in Schweden oder den USA, das Generalunternehmertum eine mehr oder weniger herkömliche Berufsgattung, ein «gewachsenes Gewerbe» darstellt, ist dies bei uns nicht der Fall, und Leute aus allen Zweigen der Baubranche, wie Architekten, Unternehmer der verschiedensten Arbeitsgattungen, sowie Verwaltungsgesellschaften versuchen sich in der gewinnversprechenden Tätigkeit der Erstellung von Bauten als Generalunternehmer. Je nach beruflicher Herkunft des Generalunternehmers wird dieser gewisse Arbeiten am zu erstellenden Bauobjekt selbst ausführen, die andern aber an verschiedene andere Unternehmer weitervergeben.

Sowohl beim Einzelunternehmer- wie auch beim Generalunternehmersystem kann die Vergebung der Arbeiten an die Handwerker auf zwei verschiedene Arten geschehen. Bei der herkömmlichen Art erhält der Unternehmer ein Offertformular mit der Beschreibung der Arbeiten und deren approximativen Quantitäten. Letztere ergeben mit den eingesetzten Einheitspreisen multpliziert die Eingabesumme, mit welcher er an der Preiskonkurrenz teilnimmt. Die Abrechnung erfolgt positionenweise durch Feststellen der genauen Quantitäten am vollendeten Objekt. Die andere Vergebungsart besteht in der Festsetzung eines Pauschalpreises für einzelne Arbeiten oder für den ganzen Auftrag, nach genauen Unterlagen. Sie ist für die diversen Arbeitsgattungen verschieden gut geeignet und wird vom Generalunternehmer eher bevorzugt, da sie mit seiner vom Pauschalübernehmer der ganzen Baute vieles gemeinsam hat und ihm einen Teil seines Risikos abnimmt.

Vor- und Nachteile

Entsprechend den verschiedenen an einem Bauobjekt beteiligten Parteien gibt es verschiedene Gesichtspunkte, von denen aus die Vor- und Nachteile der beiden Systeme der Bauausführung gegeneinander abgewogen werden können: Einmal der Standpunkt der Bauherrn, dann der des Architekten und schliesslich auch der des Handwerkers (Einzelunternehmers). Der Generalunternehmer vertritt in dieser Sache eine eigene Meinung, doch ist sein Urteil über die Existenzberechtigung seiner Tätigkeit ein Urteil in eigener Sache. Wenn wir das gute, preiswerte Gelingen des Bauwerkes — und das sollte schliesslich das höchste Ziel aller im Baugewerbe Wirkenden sein — als objektiven Massstab für die Beurteilung des uns interessierenden Problems nehmen, dann kommt wohl der Standpunkt des Bauherrn diesem objektiven Massstab am nächsten. Zudem erhält der Bauherr mit seinem Standpunkt ein besonderes Gewicht, weil schliesslich er es ist, der in der Wahl des zur Anwendung gelangenden Systems das letzte Wort spricht. Deshalb wollen wir die uns beschäftigenden Fragen vor allem einmal von seiner Seite aus betrachten.

Hier sei zunächst die in Laienkreisen weit verbreitete Auffassung, dass mit Generalunternehmern billiger, d. h. preiswerter gebaut werden könne, etwas näher beleuchtet.