

# Die Heizkraft-Luftturbine für Windlieferung

Autor(en): **Ruegg, R. / Stein, Th.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **127/128 (1946)**

Heft 9

PDF erstellt am: **23.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83806>

## **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.

gleichmässig verteilten Last ist in Bild 11 dargestellt. Wie man daraus ersieht, ergibt die Leichtmetallfahrbahn ausser dem Vorteil einer geringeren Elementenzahl eine merkliche Steigerung der zulässigen Nutzlast.

### Die Heizkraft-Luftturbine für Windlieferung

Von Dr. sc. techn. R. RUEGG und Dipl. Ing. TH. STEIN,  
Escher Wyss A.-G., Zürich (Schluss von Seite 93)

**Tabelle I. Windanlage mit Grossgasmotor, Kolbengebläse und Cowper**  
A ohne Abwärmerwertung  
B die Auspuffgase heizen einen Dampfkessel; der Dampf treibt ein Turbogebälde, das einen Teil des Windes fördert  
C wie B, ein Teil der Kühlwasserwärme des Dampfturbinen-Kondensators wird für Heizzwecke ausgenutzt

Anordnung		A	B	C
<b>Winderzeugung</b>				
Luftmenge	kg/h	100 000	100 000	100 000
Druckverhältnis	—	2,23	2,23	2,23
Adiabatische Verdichtungsarbeit	kcal/kg	17,9	17,9	17,9
Theoretischer Leistungsbedarf des Kompressors	kW	2 080	2 080	2 080
Kompressor-Wirkungsgrad	—	0,70	0,70	0,70
Erforderliche Leistung des Gasmotors	kW	2 970	2 970	2 970
Thermischer Wirkungsgrad des Gasmotors <sup>*)</sup>	—	0,25	0,32	0,36
Wärmeverbrauch des Gasmotors	Mio kcal/h	10,2	8,0	7,1
<b>Winderhitzung</b>				
Luftmenge	kg/h	100 000	100 000	100 000
Eintritts-Temperatur des Windes	° C	95	95	95
Wirkungsgrad der Cowper	—	0,78	0,78	0,78
Wärmeverbrauch für Winderhitzung	Mio kcal/h	21,5	21,5	21,5
Totaler Wärmeverbrauch	Mio kcal/h	31,7	29,5	28,6
Wärmeverbrauch pro Nm <sup>3</sup>	kcal/Nm <sup>3</sup>	411	382	371

<sup>\*)</sup> Vgl. F. Thönnessen: Das Turbogebälde oder Gasgebläse für die Hochofenwindversorgung. «Stahl und Eisen». 63. Jahrg., Heft 34, 26. Aug. 1943.

Tabelle II. Heizkraft-Luftturbinenanlage für Windlieferung

		Mit heute realisierbaren Wirkungsgraden	Mit bald zu erwartenden Wirkungsgraden
<b>Verdichter</b>			
Adiabatischer Wirkungsgrad	—	0,85	0,90
Enddruck	ata	5	5
Adiabatisches Wärmegefälle	kcal/kg	40,9	40,9
Luftmenge	kg/h	155 000	130 000
Leistungsbedarf (inkl. 2% für Lagerverluste)	kW	8 850	7 010
<b>Hochdruck-Turbine</b>			
Adiabatischer Wirkungsgrad	—	0,88	0,92
Druckverlust $\epsilon_1$	—	0,05	0,05
Druck vor Hochdruck-Turbine	ata	4,75	4,75
Druckverlust $\epsilon_2$	—	0,05	0,05
Druck nach Turbine	ata	2,31	2,31
Expansionsverhältnis	—	2,055	2,055
Temperatur vor der Turbine	° C	650	650
Adiabatisches Wärmegefälle	kcal/kg	41,7	41,7
Turbinenleistung (abzögl. 2% für Lagerverluste)	kW	6 500	5 680
<b>Niederdruck-Turbine</b>			
Druck vor Turbine	ata	2,2	2,2
Druckverlust $\epsilon_3$	—	0,05	0,05
Druck nach Turbine	ata	1,05	1,05
Expansionsverhältnis	—	2,1	2,1
Temperatur vor Turbine	° C	650	650
Adiabatisches Wärmegefälle	kcal/kg	42,4	42,4
Turbinenleistung (abzögl. 2% für Lagerverluste)	kW	2 350	1 330
<b>Lufterhitzer</b>			
Unterer Heizwert des Brennstoffes (Gichtgas)	kcal/Nm <sup>3</sup>	1 000	1 000
Luftüberschusszahl in der Feuerung	—	1,15	1,15
Luftüberschusszahl im Gaswärmer (inkl. Zusatzluft)	—	1,93	1,15
Wirkungsgrad des Lufterhitzers	—	0,78	0,85
Wärmeverbrauch pro Nm <sup>3</sup> Wind	kcal/Nm <sup>3</sup>	326	298

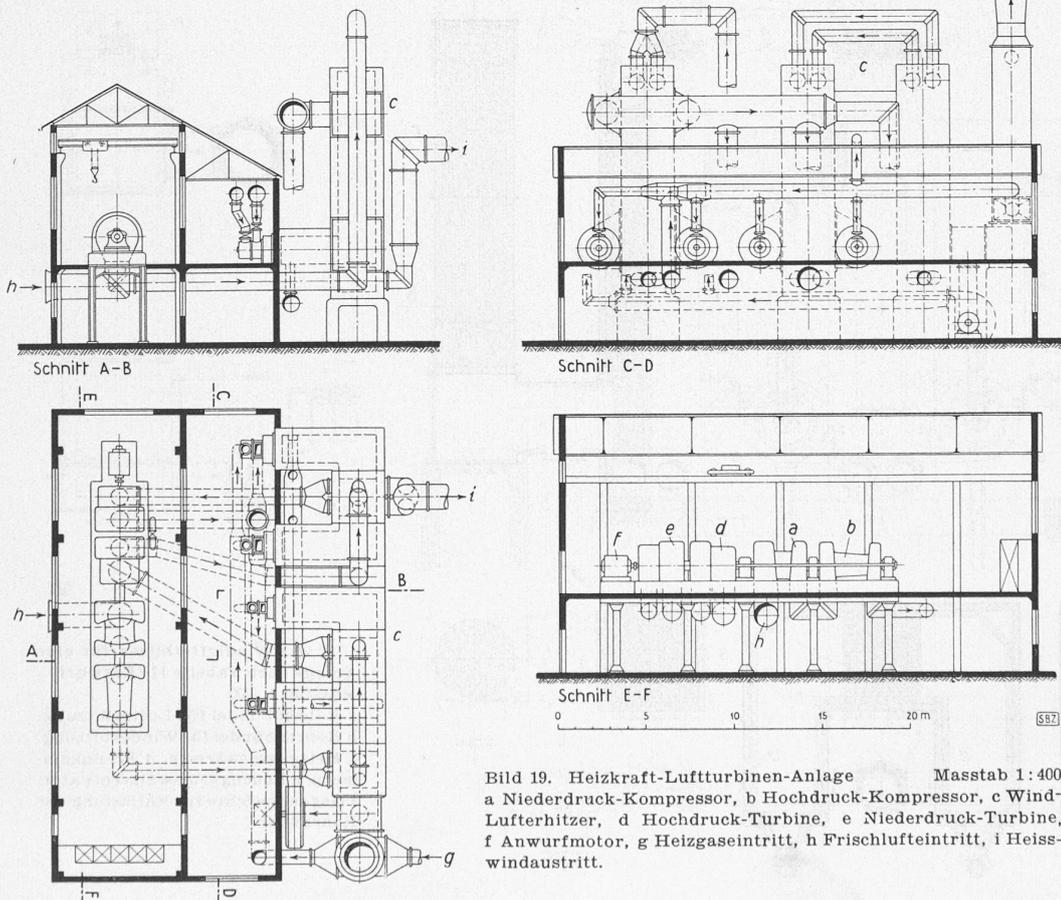


Bild 19. Heizkraft-Luftturbinen-Anlage Masstab 1:400  
a Niederdruck-Kompressor, b Hochdruck-Kompressor, c Wind-Lufterhitzer, d Hochdruck-Turbine, e Niederdruck-Turbine, f Anwurfmotor, g Heizgaseintritt, h Frischlufteintritt, i Heisswindaustritt.

### 5. Erzielbare Wirkungsgrade des Luftturbinenprozesses

Zum Vergleich verschiedener Systeme für Windlieferung führen wir, wie bereits in der Einleitung erwähnt, den Wärmewirkungsgrad und den Wirkungsgrad der Energieerzeugung ein. Der Wärmewirkungsgrad ist das Verhältnis der theoretisch erforderlichen zur tatsächlich benötigten Wärmemenge; er liegt zwischen 75 und 85%, also im gleichen Gebiet, wie bei reinen Gegendruck-Dampfturbinenanlagen<sup>7)</sup>. Für die Berechnung des Wirkungsgrades der Energieerzeugung gehen wir zunächst von der bisher üblichen Arbeitsweise mit Kolben-Gasmotor, Gebläse und Winderhitzer aus. Der Gesamtwärmeverbrauch  $W_N$  setzt sich hier zusammen aus der dem Motor zugeführten Brennstoffwärme  $W_E$ , die der Energieerzeugung dient, und dem Wärmeverbrauch  $W_W$  des Winderhitzers; diese Wärmemengen

<sup>7)</sup> R. Ruegg: Kräfteerzeugung in Fernheizwerken, «Escher Wyss-Mitteilungen» Nr. 2, S. 52 (1933).

gen verstehen sich für eine Windlieferung von 1 Nm<sup>3</sup>. Bezeichnet  $n$  die Kompressionsarbeit für 1 Nm<sup>3</sup> Wind in kWh/Nm<sup>3</sup>, so beträgt der Wirkungsgrad der Energieerzeugung

$$\eta_E = \frac{n_{860}}{W_E} = \frac{n_{860}}{W_N - W_W} \dots \dots (13)$$

Beim Luftturbinenprozess für gleiche Windlieferung sei der Wärmebedarf insgesamt  $W_L$  und es wird nun festgesetzt, dass die Wirkungsgrade der Energieerzeugung in beiden Fällen gleich gross sein sollen, wenn  $W_L = W_N$  und wenn die Wind- bzw. Lufterhitzung bei beiden Prozessen mit dem selben Wirkungsgrad erfolgt. Der auf diese Weise zu ermittelnde Wirkungsgrad der Energieerzeugung durch Vergleich mit einer gegebenen und genau bekannten Windlieferungsanlage der bisherigen Ausführung ist im Einzelfalle eindeutig und lässt den durch die hier vorgeschlagene Anordnung mit Luftturbine erzielbaren Fortschritt klar erkennen. Die für übliche adiabatische Wirkungsgrade von Kompressoren (70 bis 90 %) gültige Formel (13) für den Wirkungsgrad der Energieerzeugung kennzeichnet die durch die Wärmekraft-Kupplung erreichbare Verbesserung.

Um nun für die vorliegenden Berechnungen eine Vergleichsbasis zu schaffen, sind auf Tabelle I die hauptsächlichsten Werte einer heute üblichen Windanlage mit Gasmaschine, Kolbengebläse und Cowper für die gleichen Annahmen wie früher angegeben.

6. Beispiel

Nachdem die Grundlagen der vorgeschlagenen Heizkraft-Luftturbine erläutert worden sind, soll nachstehend ein Beispiel mit folgenden Ausgangsdaten betrachtet werden:

Windmenge	100 000 kg/h
Windzustand am Hochofen	750°, 2,2 ata
Luftzustand vor Verdichter	20° C, 1 ata

Eine überschlägige Berechnung zeigt, dass unter Berücksichtigung heute üblicher Turbinen- und Verdichter-Wirkungsgrade, der Lagerverluste und heute anwendbarer Höchsttemperaturen vor der Turbine, ein Leistungsausgleich nicht ohne weiteres erreicht werden kann, sondern es müssen partielle Zwischenkühlung oder eine Erhöhung des Luftgehaltes im Verbren-

<sup>2)</sup> Die Ueberschlagrechnung in Abschnitt 2d führte zum gleichen Ergebnis.

nungsluftvorwärmer angewendet werden. Die genaue Berechnung ergibt die in Tabelle II zusammengestellten Werte; die erste Rubrik gilt für heute ausführbare, die zweite für in naher Zukunft zu erwartende Wirkungsgrade. Man erkennt, dass der Wärmeverbrauch sich im zweiten Fall auf 298 kcal/Nm<sup>3</sup> senken lässt<sup>2)</sup>, und zwar einzig dank dem Umstand, dass bei höheren Einzel-Wirkungsgraden von Turbine und Verdichter die Zusatzluftmenge kleiner gewählt, ja sogar ganz weggelassen werden kann und sich dementsprechend kleinere Abgasverluste ergeben.

Bild 19 zeigt eine zweckmässige Anordnung einer Heizkraft-Luftturbinenanlage für Windlieferung, die nach den in Tabelle II aufgeführten Betriebsverhältnissen und mit heute erreichbaren Wirkungsgraden arbeiten soll. Die gewählte Anordnung ergibt wie man sieht, kurze Verbindungsleitungen zwischen Turbogruppe und Wind-Lufterhitzer. Die Brenner sind vom Maschinenhaus aus bedienbar, sodass hierfür kein besonderes Gebäude errichtet werden muss. Der eigentliche Lufterhitzer steht im Freien. Er besteht aus einem Rohrbündel (Bild 20, links aussen) mit Wärmeübertragung im Gegenstrom, dem zwei unten liegende und daher bequem bedienbare Brennkammern zugeordnet sind. Die heissen Verbrennungsgase treten von zwei einander gegenüberliegenden Seiten in das Rohrbündel ein, sodass dieses gleichmässig umspült wird. Da sowohl die Verbrennungsluft, als auch die Heizgas stark vorgewärmt in den Brenner gelangen, sind die Verbrennungsgase sehr heiss und könnten das Rohrbündel gefährden. Um diese Gefahr auszuschliessen, werden ihnen abgekühlte Rauchgase durch tangential an die Brennkammer anschliessende Stutzen beigemischt, die dem Rauchgasstrom vor seinem Eintritt in den Heizgas-Vorwärmer entnommen werden. Für die Erwärmung der verdichteten Luft auf die Eintrittstemperatur vor der Turbine dient ein zweites Doppelbündel (Bild 20, Mitte), das von den Rauchgasen des ersten Bündels für die Winderhitzung ebenfalls im Gegenstrom umspült wird. Diese Rauchgase werden vorher in zwei weiteren Brennkammern auf höhere Temperaturen gebracht. Diese in Bild 16 erkennbare Zwischenerhitzung der Rauchgase ergibt folgende Vorteile: Erstens kommt man so mit einer verhältnismässig geringen umzuwälzenden Rauchgasmenge aus. Zweitens ergeben sich bei gebogener Höchsttemperatur vor den Heizbündeln (von z. B. 1100° C) in den Lufterhitzern grössere mittlere Temperaturdifferenzen und

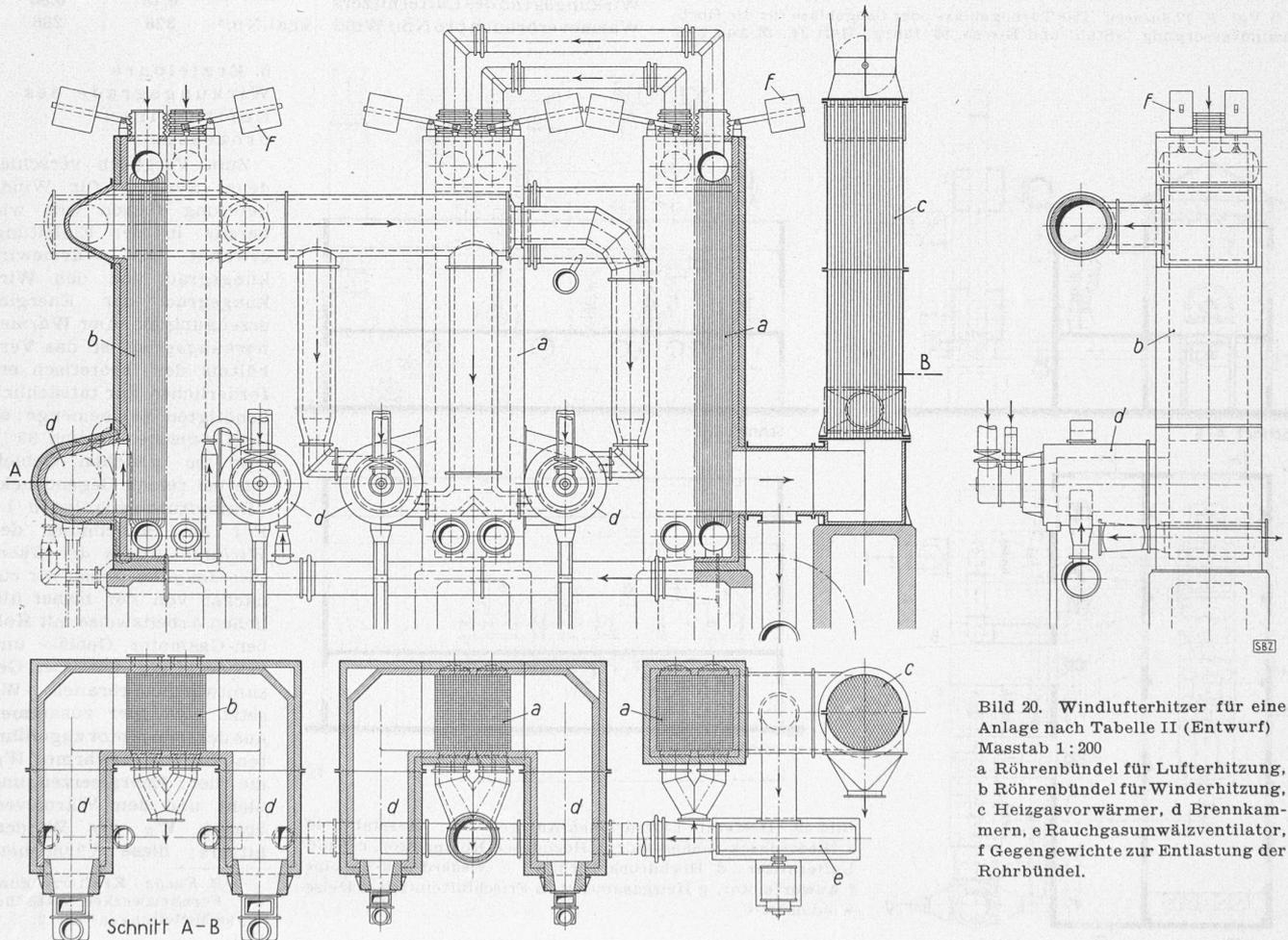


Bild 20. Windlufterhitzer für eine Anlage nach Tabelle II (Entwurf) Masstab 1:200  
 a Röhrenbündel für Lufterhitzung, b Röhrenbündel für Winderhitzung, c Heizgasvorwärmer, d Brennkammern, e Rauchgasumwälzventilator, f Gegengewichte zur Entlastung der Rohrbündel.

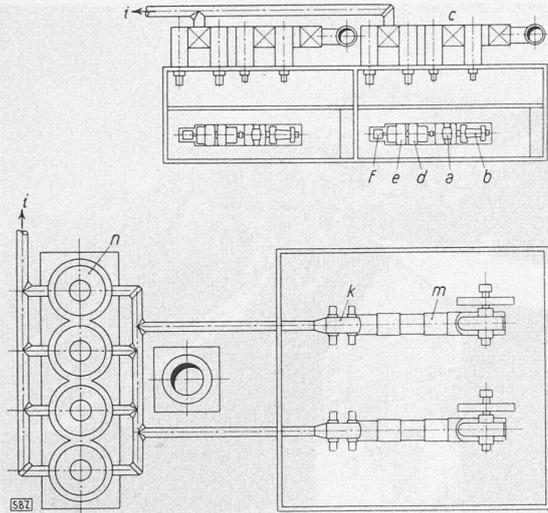


Bild 21. Platzbedarf der Heizkraft-Luftturbine (oben) im Verhältnis zu dem einer Anlage mit Gasmotor, Kolbengebläse und Cowpern. m Gasmotor-Zylinder, k Kolbengebläse, n Cowper, übrige Bezeichnungen siehe Bild 19. Masstab 1:1000

Tabelle III. Thermische Wirkungsgrade der Energieversorgung in %

Dampfturbine Mitteldruck . . . . .	24
Dampfturbine Hochdruck . . . . .	28
Gasmaschine allein . . . . .	25
Gasmaschine mit Abhitze-Dampf-Turbine . . . . .	32
Gasmaschine mit Abhitze-Dampf-Turbine und mit Kühlwasser-Abwärme-Ausnutzung . . . . .	36
Heizkraft-Luftturbine, gegenwärtig realisierbar . . . . .	73
Heizkraft-Luftturbine in naher Zukunft zu erwarten . . . . .	79

<sup>9)</sup> Diese Werte sind der unter Fussnote<sup>8)</sup> angeführten Veröffentlichung entnommen.  
<sup>10)</sup> Berechnet gemäss Formel (13), wobei die in Tabellen I und II angegebenen Werte eingesetzt wurden.

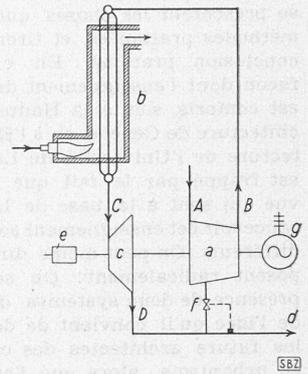


Bild 22. Schema einer Heizkraft-Luftturbine mit gleichzeitiger Stromerzeugung. a Kompressor, b Lufterhitzer, c Turbine, d Zu den Heissluftverbrauchern, e Anwurfmotor, f Beimischventil, g Generator

damit kleinere Heizflächen. Drittens können Windtemperatur und Lufttemperatur vor Turbineneintritt unabhängig von einander eingestellt werden. Schliesslich werden in einem dritten Rohrbündel (Bild 20, rechts aussen) die Heizgase vorgewärmt.

Die Röhren des Winderhitzers bestehen aus hochhitzebeständigem Material, die des Lufterhitzers teils ebenfalls aus hochhitzebeständigem und teils aus schwach legiertem Werkstoff. Der Heizgasvorwärmer kann aus gewöhnlichen Stahlröhren hergestellt werden. Im Betrieb ergeben sich infolge der Wärmedehnungen bedeutende Längenänderungen der Rohre, weshalb die oberen Kollektoren in vertikaler Richtung verschiebbar anzuordnen sind. Die an den oberen Kollektoren angreifenden Gegenkräfte spannen die Rohre auf Zug und verhindern so ein Ausknicken. Die heissen Austrittskollektoren liegen unten und können als Fixpunkte angeordnet werden. Die von diesen Kollektoren zu den Maschinen und Apparaten führenden Leitungen werden zweckmässigerweise mit Innenisolation ausgeführt, so dass das Mantelrohr kalt bleibt, sich wenig dehnt und teure Kompensatoren vermieden werden können.

Bild 21 orientiert über den Platzbedarf einer Heizkraft-Luft-Turbinenanlage im Vergleich zu einer Anlage mit Grossgasmotoren, Kolbengebläsen und Cowpern. Die beanspruchte Grundfläche schrumpft, wie man sieht, auf weniger als die Hälfte zusammen.

Auf Tabelle III sind die thermischen Wirkungsgrade verschiedener Ausführungsarten einander gegenüber gestellt. Man erkennt daraus, dass die hier vorgeschlagene Heizkraft-Luftturbine bezüglich des zu erreichenden thermischen Wirkungsgrades einen bedeutenden Fortschritt gegenüber dem Dampfturbinen- oder dem Gasmotorenantrieb darstellt. Wenn sich der Grossgasmotor während langer Zeit trotz höheren Anlagekosten, höherem Eisenaufwand und grösserem Platzbedarf gegenüber Dampf-Turbinen behaupten konnte, so verdankt er das hauptsächlich seinem höheren Wirkungsgrad. Die Heizkraft-Luftturbine stellt eine Turboanlage dar, die die grössten Wärmeersparnisse ergibt und auch die Gasmotorenanlage weit übertrifft. Sie kommt praktisch ohne Kühlwasser aus, wenn ein Verfahren ohne Zwischenkühlung des Kompressors gewählt wird. Sie weist alle Vorteile einer Turboanlage auf.

Die vorstehenden Untersuchungen beziehen sich auf die Anwendung der Heizkraft-Luftturbine im Hüttenwerk. Diese lässt sich sinngemäss auch in anderen Betrieben anwenden, in denen grosse Mengen heisser Druckluft benötigt werden. Ist der verlangte Ueberdruck an der Verbrauchsstelle sehr gering, z. B. 500 mm WS, so lässt sich nicht nur der Selbstfahrpunkt ohne besondere Mittel erreichen, sondern es kann auch noch Energie erzeugt und nach aussen abgegeben werden. In diesem Falle herrscht vollkommene Analogie zur Gegendruck-Dampfturbine. Der Vollständigkeit halber ist in Bild 22 das Schema einer solchen Anlage dargestellt. Die verlangte Endtemperatur wird dabei durch Entnahme einer kleinen Teilluftmenge am Verdichter und durch Beimischen derselben vor der Verbrauchsstelle konstant gehalten.

7. Zusammenfassung

Die vorstehenden Ausführungen zeigen, dass die Verwirklichung einer Heizkraft-Luftturbine für die Lieferung des für Hochöfen benötigten Windes möglich und aussichtsreich ist. Aus

ihnen ergeben sich namentlich folgende grundsätzliche Erkenntnisse:

- a) Die Wärmekraftkupplung beim Erzeugen und Erhitzen des Windes ergibt sehr tiefe Wärmeverbrauchszahlen.
- b) Der effektive Wärmeverbrauch wird wesentlich durch den Wirkungsgrad des Lufterhitzers beeinflusst, der seinerseits vom Enddruck im Verdichter und vom Luftgehalt der Verbrennungsgase im Gasvorwärmer als Folge der verschiedenen hohen Zusatzluftmenge abhängt.
- c) Die Verluste des wirklichen, heute ausführbaren Prozesses wirken sich in dem Sinne aus, dass der Selbstfahrbetrieb nur durch zusätzlich den Wärmeverbrauch erhöhende Mittel (Anwendung von Zusatzluft, Zwischenkühlung) erreicht werden kann, dass aber trotzdem infolge der Wärmekraftkupplung sehr hohe Wirkungsgrade, also geringe Wärmeverbrauchszahlen erzielt werden.

Die vorgeschlagene Heizkraft-Luftturbine weist namentlich folgende Vorteile auf:

- a) Geringer Wärmeverbrauch infolge Wärmekraftkupplung ;
- b) Konstante Windtemperatur;
- c) Turbomaschine mit geringem Platzbedarf;
- d) Unabhängigkeit von Kühlwasser.

A propos de l'enseignement de l'urbanisme

Par MARCEL D. MUELLER-ROSSELET, architecte S. I. A., Lausanne-Bruxelles

En 1941, nous avons eu l'occasion de montrer ici même<sup>1)</sup>, comment on envisageait la formation de l'urbaniste dans les pays étrangers s'étant attachés à l'étude des problèmes que soulève le planisme. Nous avons conclu en exprimant le vœu de voir les hautes écoles de notre pays s'intéresser à leur tour à la discipline que représente l'urbanisme. Depuis lors, une solution a été donnée à cette question, puisque les écoles d'architecture de Genève et de Lausanne ont inscrit l'étude de ces problèmes à leur programme.

Il est une opinion fort répandue parmi les architectes, ingénieurs-constructeurs, voire géomètres, que l'étude des questions relevant du planisme ne demande aucune spécialisation, étant sans autre de leur ressort. C'est ainsi qu'il est même fréquent de voir des praticiens s'adonner à l'étude de plans d'aménagement, faisant acte d'urbaniste, et cela sans la moindre préparation. Cette pratique ne va pas sans de sérieux inconvénients, car ils s'engagent sur un terrain dont ils ne soupçonnent pas tous les aspects et pouvant leur réserver bien des surprises, dont la collectivité fera par la suite les frais. Le malheur est que les bévues dans ce domaine ne se révèlent pas toujours de suite! La F. M. H. ne manque pas de demander des garanties au médecin qui devient spécialiste dans un domaine, or il doit en être de même pour la question qui nous occupe, semble-t-il!

Consciente de ces choses, la section de Bâle de la S. I. A. a émis le vœu de voir l'Ecole Polytechnique Fédérale entrer à ce sujet dans la voie suivie par les écoles de la Suisse romande, comme le rappelle encore dans son rapport annuel, le Président en charge, M. Lodewig.

<sup>1)</sup> Vgl. SEZ Bd. 118, S. 104 (1941).