

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 121/122 (1943)
Heft: 1

Artikel: Die aerodynamische Turbine im Hüttenwerk
Autor: Keller, C. / Ruegg, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-53119>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

INHALT: Die Aerodynamische Turbine im Hüttenwerk. — Geschäfts- und Wohnhaus zur «Krone» der Allgemeinen Konsumgenossenschaft Schaffhausen. — Mitteilungen: Verbesserung der Einfahrtsverhältnisse in die Zahnstangenstrecken der Brünigbahn. Zehn Jahre Stahlbeton. Die Gesellschaft selbständig praktizierender Architekten und Bauingenieure Berns. Eine «Eisensteuer». Bohrung und Verlegung hölzerner Rohre zu Leitungen und Brunnen. Die Berner Bahnhoffrage. Verband für Fragen des Stadtbaus. Rekord-Laufdauer einer Dampfturbine. Eidgen. Technische Hochschule. Die Vereinigung Schweiz. Strassenfachmänner. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 122

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. 1

Die Aerodynamische Turbine im Hüttenwerk

Von Dr. sc. techn. C. KELLER und Dipl. Ing. R. RUEGG,
Escher Wyss Maschinenfabriken AG., Zürich

In den letzten Jahren vor dem zweiten Weltkrieg ist auf dem Gebiete der Winderzeugung und Winderhitzung im Hüttenwerkbetrieb eine Reihe neuer Vorschläge zur Verminderung des Gasverbrauches und des Raumbedarfes der Maschinen- und Apparate-Anlagen bekannt geworden. Diese Vorschläge befassen sich einerseits mit dem rationellen Antrieb der Hochofengebläse und der mit der Wärmeverwertung gekoppelten Energieerzeugung, andererseits mit der Weiterentwicklung der Wärmeaustausch-Apparate für den Hochofenwind.

[Für den Leser, dem die Aufgaben und Probleme der Winderzeugung und Winderhitzung im Hüttenwerk-Betrieb nicht gegenwärtig sind, seien anhand der Abbildungen 1 und 2 kurz die gebräuchlichen Verfahren in Erinnerung gerufen.

Die grossen Mengen von Luft, die zum Betrieb der Hochofen unter Ueberdruck von 1 bis 2 at und hohen Temperaturen von 700 bis 900° C gebraucht werden, wurden früher ausschliesslich durch mit Gasmotoren angetriebene Kolbengebläse erzeugt (Abb. 1). Der Nachteil dieser Antriebsaggregate besteht namentlich im grossen Platzbedarf.

In neuerer Zeit wird für die Erzeugung des Windes der durch Dampfturbinen oder Elektromotoren angetriebene Turboverdichter verwendet (Abb. 2). Die vom Windverdichter erzeugte Druckluft wird in nachgeschalteten Erhitzern auf die im Hochofen verlangte Temperatur gebracht. Für diese Erhitzung bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten.

Bis vor kurzem wurden fast ausschliesslich die sog. Cowper (Abb. 1) angewendet. Es sind dies mit einer Füllung von feuerfesten Steinen und einem Brennschacht versehene Apparate, die abwechselungsweise durch Gichtgasverbrennung erhitzt werden. Nach dem Umschalten der Apparate wird die gespeicherte Wärme an den zu erhitzenden Wind abgegeben. Mit Cowpern können sehr hohe Heisswindtemperaturen erreicht werden, andererseits ist infolge der intermittierenden Arbeitsweise kein gleichmässiger Betrieb, namentlich keine konstante Heisswindtemperatur zu erzielen. Für eine Hochofenanlage sind ferner immer mindestens zwei Cowper notwendig. Häufig werden jedoch mehr als zwei Cowper angewendet, da eine gleichmässige Heisswindtemperatur angestrebt wird. Damit ist dann allerdings der Nachteil eines noch grösseren Platzbedarfes verbunden. Die Cowper sind Türme von 30 bis 40 m Höhe und bilden mit ihren gewaltigen Abmessungen ein heute noch charakteristisches Wahrzeichen der Hüttenbetriebe.

Die andere Möglichkeit der Winderhitzung besteht in der Verwendung eines Stahlwinderhitzers¹⁾ mit kontinuierlichem Betrieb (Abb. 2). Die Aussenseite der Rohre wird von Gichtgasen geheizt, im Rohrrinnen fliesst in stetigem Gegenstrom der zu erhitzende Wind. Der Vorteil des neuzeitlichen Stahlwinderhitzers besteht vor allem im bedeutend geringeren Platzbedarf und in der kontinuierlichen Betriebsweise, wobei die Temperatur des Heisswindes konstant bleibt. Die Heisswindverluste werden verringert und es ergeben sich einfachere und kürzere Heisswindleitungen. Der Wärmewirkungsgrad bleibt zeitlich unverändert und der Betrieb lässt sich vollständig automatisieren.

Um ein Bild von der Grössenordnung der Antriebe zu geben, sei erwähnt, dass ein mittelgrosser Hochofen mit einer Tagesleistung von rd. 350 bis 500 t je nach den besondern

Verhältnissen einen Windbedarf von rd. 100 000 bis 150 000 kg/h aufweist. Die entsprechenden Gebläseleistungen betragen dabei rd. 3000 kW bis rd. 5000 kW. In neueren Hüttenwerken sind verschiedentlich schon Hochofenanlagen mit Einzeltagesleistungen von 1000 bis 1200 t erstellt worden. Entsprechend erhöht sich für solche Anlagen auch die Gebläseleistung. Beispielsweise sei angeführt, dass von Escher Wyss neben verschiedenen weiteren Ausführungen zwei Hochofen-Turbo-gebläse für 300 000 kg/h Winderzeugung und 1,8 atü Enddruck mit einer Antriebsleistung von je 10 000 kW für eine Hochofenanlage nach Indien geliefert wurden.]

An Stelle des Gasmotoren-, Dampf- oder elektrischen Antriebes der Hochofengebläse wurde die offene Verbrennungsgasturbine empfohlen, die ihr Treibmittel durch direkte Verbrennung verdichteter Gichtgase in einer Verbrennungskammer erzeugt. Von der Gasturbine erwartet man eine einfache, betriebssichere und kleine Maschinenanlage und in geeigneter Kupplung von Kraftherzeugung und Winderhitzung eine Senkung des Wärmeverbrauches pro Nm³ erzeugten Hochofenwindes^{2,3)}.

Der erneut aufgenommene Bau von Stahl-Winderhitzern zur Erhitzung der Hochofenluft in kontinuierlichem Betrieb an Stelle der periodisch arbeitenden Cowper-Apparate bringt schon bei normaler Befuerung neben betrieblichen Vorteilen eine wesentliche Verkleinerung der Gesamtwinderhitzer-Anlage und kleinere Wärmeverluste⁴⁾.

Die Wärmedurchgangszahlen von etwa 30 kcal/m² h °C bei neuzeitlichen ausgeführten Stahlerhitzern sind 6 bis 7 mal grösser als bei den steinernen Cowper-Apparaten und erlauben eine entsprechende Reduktion der Heizflächen. Es ist zu erwarten, dass die neuen Erkenntnisse der Strömungslehre und des eng damit verknüpften Mechanismus der Wärmeübertragung bei konsequenter Ausnützung auch hier in Zukunft noch weitere Fortschritte bringen werden. Wird der Cowper- oder Stahlwinderhitzer nach den Vorschlägen von Brown Boveri als aufgeladener Apparat in direkter Verbindung mit der Gasturbine erstellt, wobei sowohl auf der Gas- wie auf der Windseite Ueberdruck herrscht, so ist eine weitere Verkleinerung der Abmessungen zu erwarten.

Die Verwendung von Stahlrohr-Winderhitzern für Windtemperaturen bis etwa 750° C ist heute ermöglicht durch die jüngsten raschen Fortschritte der technischen Erzeugung hochhitzebeständiger, legierter Stähle, die ja auch die Vorbedingung für die praktische Verwirklichung der Gasturbine bilden.

Eine weitere aussichtsreiche Möglichkeit zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Vereinfachung des Hüttenwerkbetriebes bietet die Anwendung der von Escher Wyss entwickelten sog. «Aerodynamischen Turbine» nach Ackeret-Keller. Prinzip, Aufbau und praktische Verwirklichungsmöglichkeiten der Aerodynamischen Turbine sind in den unter ⁵⁾ erwähnten Veröffentlichungen eingehend behandelt. Es sollen daher im Folgenden vorerst lediglich die wesentlichen Eigenschaften dargestellt werden, wie sie im Hinblick auf die Verwendung im Hüttenbetrieb eine Rolle spielen. Es zeigt sich, dass für solche Anlagen hier ein interessantes Anwendungsgebiet besteht, weil sie sich den heutigen Entwicklungstendenzen im Hüttenbetrieb (Betriebsicherheit und Einfachheit, geringer Wärmeverbrauch und geringer Platzbedarf), die wohl nach dem Kriege in noch vermehrtem Masse verfolgt werden, in glücklicher Weise einreihen.

²⁾ Dr. W. G. Noack: Winderzeugung und Winderhitzung in Hüttenwerken. «Brown Boveri-Mitteilungen», 27. Jahrg., Aug./Sept. 1941, Nr. 8/9, Seite 240.

³⁾ M. Schattschneider: Die Gasturbine im Hüttenwerk. «Stahl und Eisen», 61. Jahrg., Heft 19, Mai 1941, Seite 465.

⁴⁾ Weissenberg: Betrachtungen zur Gasturbinenfrage. «Stahl und Eisen» 1941, Seite 305.

⁵⁾ W. Kuczewski: Die Stahlröhren-Winderhitzer auf der Pilsudskihütte in Chorzow (Königshütte). «Stahl und Eisen», 58. Jahrg., Heft 40, 1938, Seite 1086 (Auszug hiervon s. Fussnote 1).

Johannsen und Holschuh: Stahlwinderhitzer für Hochofen. «Rundschau Technischer Arbeit», Nr. 40, 6. Okt. 1937, Seite 3.

⁶⁾ Prof. Dr. J. Ackeret, Dr. C. Keller: Eine Aerodynamische Wärmekraftanlage. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 113, 1939, Seite 229.

Prof. Dr. J. Ackeret, Dr. C. Keller: Aerodynamische Wärmekraftmaschine mit geschlossenem Kreislauf. «Zeitschrift VDI» 1941, Band 85, Seite 491 und «Escher Wyss-Mitteilungen» 1942/43, Sonderheft: 100 Jahre Turbinenbau, Seite 5.

Dr. C. Keller: Die Aerodynamische Turbine im Vergleich zu Dampf- und Gasturbinen. Ebenda, Seite 20.

¹⁾ Vgl. Stahlröhren-Winderhitzer der Pilsudskihütte in Chorzow in Bd. 112, S. 272* (1938). Red.

Die Aerodynamische Turbine, die als Arbeitsmittel und Energieträger nur reine Luft und keine Verbrennungsgase verwendet, benötigt einen Lufterhitzer, der nach ähnlichen Gesichtspunkten wie die neuzeitlichen Stahlwinderhitzer gebaut ist. Die Kombination dieses Lufterhitzers für das Turbinenarbeitsmittel mit dem Winderhitzer für den Hochofenwind bringt Schaltungsmöglichkeiten, die sowohl in baulicher wie in wärmeökonomischer Hinsicht besondere Vorteile bieten, und von denen im Nachfolgenden als Auswahl verschiedener Möglichkeiten einige grundsätzliche und einfache Lösungen besprochen werden sollen.

Die Verwendung dieser neuen Wärmekraftmaschine im Hüttenwerk an Stelle des Dampftriebes bringt schon infolge der gleichen Medien für den Hochofenbedarf und die Antrieb-anlage betriebliche Vereinfachungen. Sie reiht sich daher als Luftanlage auf natürliche Weise in den ganzen Betrieb ein. Die komplizierten Speisewasseraufbereitungsanlagen für den wesensfremden Dampfkesselbetrieb fallen vollständig weg und die Zahl der Hilfsmaschinen und Hilfsapparate wird bedeutend kleiner.

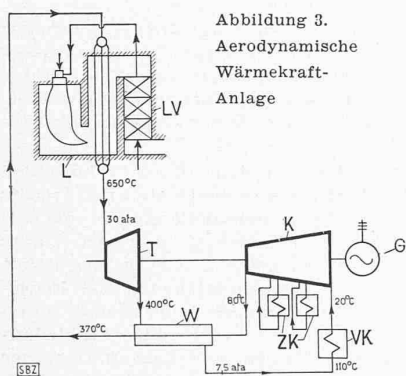
Die Aerodynamische Turbine ist eine neue besondere Gattung der Gasturbine, eine Heissluft-Turbine, bei der das Arbeitsmittel in geschlossenem Kreislauf unter erheblichem Überdruck arbeitet, gemäss dem Schema von Abb. 3. Die Wärme wird dem Kreislauf nicht unmittelbar, wie bei der Verbrennungs- oder Verpuffungs-Gasturbine durch Verbrennung flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe in einer Brennkammer zugeführt, sondern

durch feuergasbeheizte Flächen hindurch, ähnlich wie die Wärme im Dampfkessel an den Dampf, abgegeben wird. Dadurch ist es möglich, nicht nur flüssige oder gasförmige Brennstoffe, sondern auch Kohle zu verfeuern. Das Anwendungsgebiet und die Ökonomie für Gasturbinen wird damit bedeutend erweitert.

Die Zustandsänderungen des Kreisprozesses für die ideale Maschine ohne Verluste gehen aus Abb. 4, dem Entropiediagramm für Luft, hervor. Ein Kompressor verdichtet von Punkt C aus Luft vom Druck p_2 (z. B. 7,5 ata) möglichst isotherm mit der Temperatur T_3 (z. B. 20°C) durch Verwendung von Zwischenkühlung auf den Druck p_1 von z. B. 30 ata. Die verdichtete, noch kalte Luft wird nun durch einen Wärmeaustauscher geleitet, wo sie die Abwärme der aus der Luftturbine wieder mit p_2 austretenden Luft im Gegenstrom bei gleichbleibendem Druck p_2 aufnimmt. Infolge der vollständigen Regeneration wird im Wärmeaustauscher die aus der Luftturbine austretende Luft längs $B-C$ abgekühlt. Die auf p_1 verdichtete Luft tritt, durch den Wärmeaustausch auf die Temperatur T_2 vorgewärmt, bei E in den eigentlichen Lufterhitzer. In diesem wird sie nun durch äussere Wärmezufuhr weiter auf T_1 (z. B. 600°C , Punkt A) erhitzt. Die Expansion und Arbeitsleistung in der Turbine erfolgt längs $A-B$. Die Fläche $ABCD$ stellt die während des Kreislaufs gewonnene Arbeit dar; sie entsteht aus der Differenz der von der Turbine geleisteten und der vom Kompressor aufgebrauchten Arbeit. Die Turbinenleistung pro 1 kg ist im Idealfall gleich der von aussen im Lufterhitzer zugeführten Wärmemenge und stellt sich im Entropiediagramm als Fläche $EAJH$ dar. Die Kompressorleistung ist bei vollständig isothermer Verdichtung gleich der im Kühlwasser des Kompressors abgeführten Wärmemenge, dargestellt durch die Fläche $DCGF$.

Es zeigt sich, dass es mit dem beschriebenen Kreislauf mit praktisch einfachen, schon heute technisch beherrschbaren Mitteln möglich ist, sich dem Carnot-Prozess, der die höchstmögliche Wärmeausbeute zwischen den Temperaturen T_1 und T_3 liefert, weitgehend als mit dem Dampfprozess anzunähern. Bei Lufttemperaturen von 600 bis 700°C und bautechnisch günstig liegenden Drücken p_1 von 20 bis 30 ata sind thermische Wirkungsgrade der Gesamtanlage von über 30% zu erwarten. Die Anwendung von Zwischenerhitzung während der Expansion brächte eine additive Erhöhung um weitere 4 bis 5%. Dieser Wirkungsgrad ist mit der weiteren strömungstechnischen Verbesserung von Maschinen und Apparaten und den Fortschritten im Bau hochhitzebeständiger Stähle, die weitere Temperaturerhöhungen erlauben, in Zukunft noch steigerungsfähig, während dies bei den heutigen Dampf-

anlagen, auch bei Verwendung der unumgänglich notwendigen hohen Drücke und auch bei weiterer Temperatursteigerung nicht mehr im gleichen Masse der Fall ist. Der Dampfkreislauf hat seine natürlichen Grenzen weitgehend erreicht. Gasprozesse erlauben eine Steigerung der Wärmeausbeute, ohne dass zu komplizierenden Verfahren und Einrichtungen gegriffen werden muss. Es ist



Legende: L Lufterhitzer mit Verbrennungsluft-Vorwärmer LV (Gichtgasbeheizt), T Aerodynam. Antriebsturbine, K Kreisluftverdichter, ZK Zwischenkühler, VK Vorkühler, W Wärmeaustauscher, G Generator

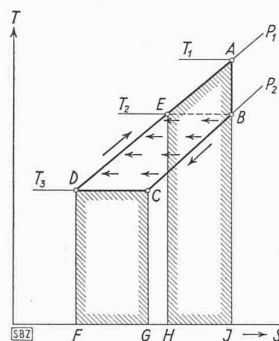


Abb. 4. Entropiediagramm des Idealprozesses des geschlossenen Kreislaufes mit vollständiger Regeneration

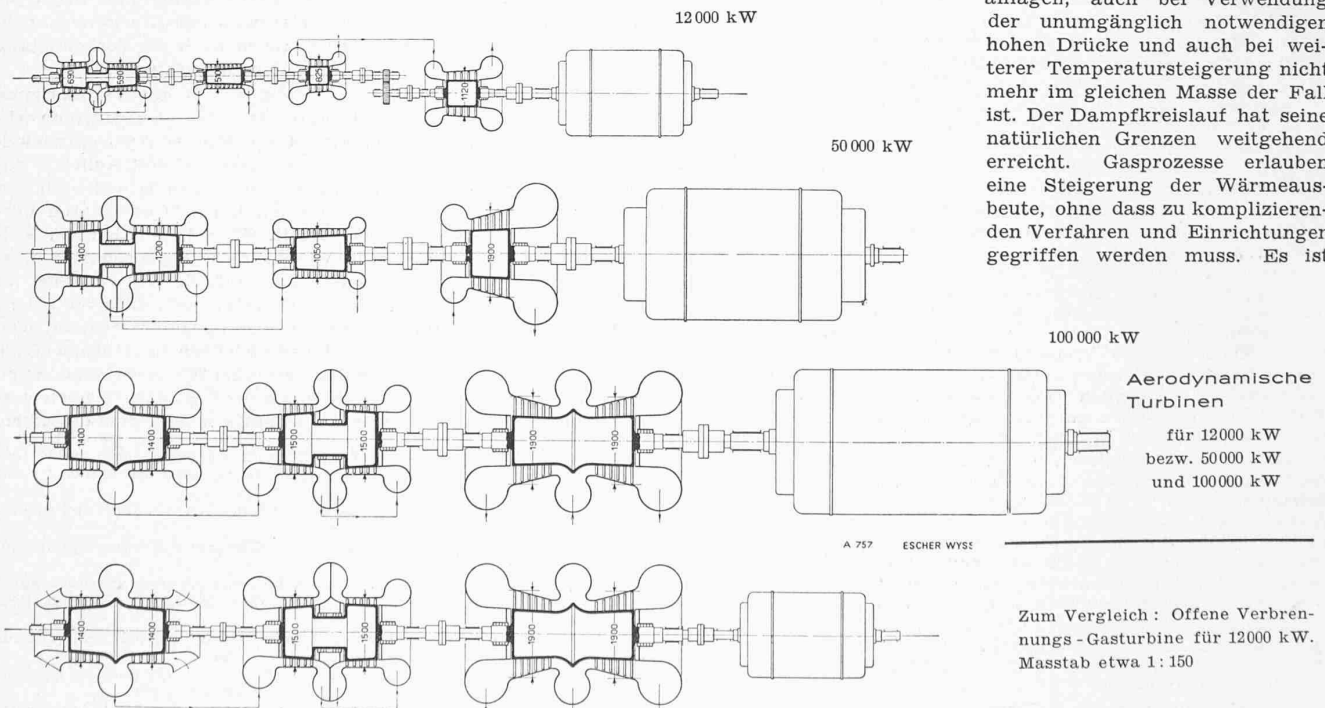


Abb. 5. Vergleich der Maschinenabmessungen. Bei gesteigerter Kreislaufdichte der Aerodynamischen Turbine lässt sich schon bei 30 at eine Grenzleistung von 100000 kW einwillig mit zweiflutigem Niederdruckteil ausführen mit Aussendurchmessern der grössten Räder von 1900 mm. Bei einem Druck von 60 at leistet die gleiche Maschine 200000 kW. Die offene zweiflutige Gasturbine bleibt bei gleichen Beanspruchungen und gleichen Abmessungen auf eine Grenzleistung von etwa 12000 kW beschränkt.

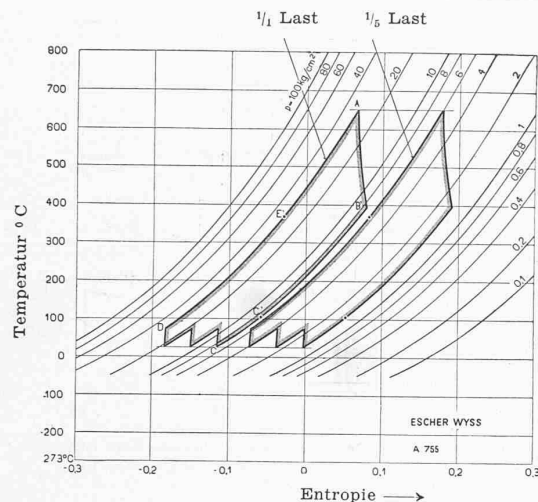


Abb. 6. Entropiediagramm für Luft, aufgestellt nach Werten von Jakob, Holborn, Otto und Justi. Die Aerodynam. Turbine arbeitet bei allen Belastungen in allen Anlagenteilen Punkt A bis E mit gleichen Temperaturen, wobei auch der Prozesswirkungsgrad unverändert bleibt. A B' = Expansion in der Turbine, B' C' = Abkühlung im Wärmeaustauscher, C' C = Vorkühler, C D = Kompression mit Zwischenkühlung, D E' Erwärmung im Wärmeaustauscher, E' A Erwärmung im Lufterhitzer

vor allem bemerkenswert, dass dabei im Gegensatz zum Dampfprozess grundsätzlich keine hohen Drücke erforderlich sind, was der Betriebsicherheit zu Gute kommt; der thermische Wirkungsgrad ist bei gegebenen Temperaturen T_1, T_3 nicht von den Absolutdrücken, sondern nur vom Druckverhältnis p_1/p_2 abhängig.

Wesentliche weitere Vorteile des Ueberdruckprinzips mit geschlossenem Kreislauf für alle Maschinen und Apparate, wobei à priori keine Verschmutzungsgefahr wie beim direkten Arbeiten mit Verbrennungsgasen besteht, sind: Kleine Abmessungen von Maschinen und Wärmeaustauschapparaturen infolge der hohen Luftdichte und der damit verbundenen guten Wärmeübergänge (Abb. 5, 7); praktisch unbegrenzte Steigerung der Grenzleistungen auf 50 bis 100 000 kW mit einwilligen Maschinengruppen; bei Frischwasserkühlung stark verringerter Kühlwasserbedarf von nur etwa 15% einer normalen, gleichstarken Dampfanlage; Möglichkeit direkter Luftkühlung ohne jeglichen Kühlwasserbedarf; Möglichkeit der Abwärmenutzung.

Wichtig ist ferner die ideal einfache Reguliermöglichkeit der Leistung durch alleinige Aenderung des Kreislaufdruckes bei gleichbleibender Temperatur und Drehzahl. Dabei bleibt der Wirkungsgrad bis zu sehr kleinen Teil- und Ueberbelastungen praktisch konstant, da nur die Dichte geändert wird, alle Geschwindigkeiten gleich bleiben und die Maschinen immer im gleichen Betriebspunkt arbeiten. Es ist daher möglich, für diesen hochwertigen Schaufelungen von Turbinen und Verdichtern zu züchten, ohne auf «Kompromiss-Schaufeln» mit flachem Wirkungsgradverlauf für neben dem Betriebspunkt liegende Fälle greifen zu müssen. Für moderne Axialverdichter öffnet sich ein günstiges Anwendungsfeld. Abb. 6 zeigt das Entropiediagramm für den wirklichen Zustandsverlauf. Bei Belastungsabnahme wird Luft aus dem Kreislauf entlassen, bei Belastungszunahme aus einem Speicher kalte Druckluft zugeführt. Die bisher durchgeführten Versuche zeigen, dass dieses Regulierverfahren, das keinerlei Ventile an den Maschinen und im übrigen Kreislauf benötigt, erstaunlich rasch den Lastschwankungen folgen kann.

Der Einwand, dass allgemein hochwertige Gasturbinenverfahren, bei denen hohe Wirkungsgrade erstrebt werden, eine Vielzahl von grossen und umfangreichen Wärmeaustausch-Apparaturen für die Regeneration der Turbinenabwärme bedingen, fällt bei der Aerodynamischen Turbine weitgehend dahin, weil als Folge des absolut und stets sauberen Arbeitsmittels und des erhöhten Druckniveaus die benötigten Flächen und Abmessungen um ein Vielfaches kleiner werden als bei den sog. offenen Verfahren, bei denen man für den unteren Wert des Ansaugdruckes p_2 immer an die Atmosphäre gebunden ist (Abb. 7).

Z. B. sind für den Antrieb eines 3000 kW-Hochofengebläses die Abmessungen etwa die folgenden:

Turbinen: Hochdruckteil 4 Stufen, mittlerer Durchm. 400 mm, Niederdruckteil 5 » » » 700 mm,

Kreislaufverdichter in axialer Bauart:

mittlerer Durchm. am Eintritt 380 mm, am Austritt 300 mm,

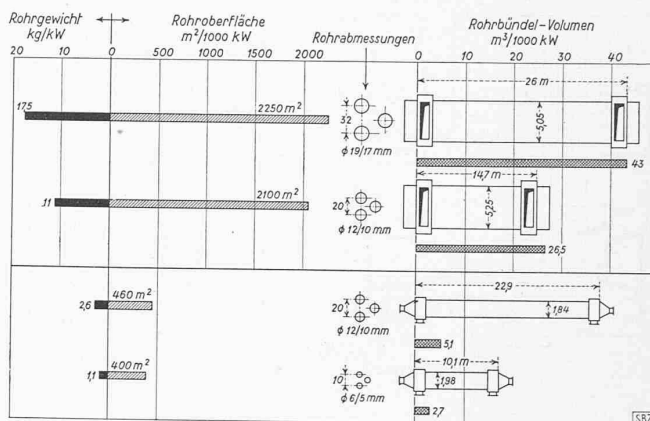


Abb. 7. Größenvergleich für die Wärmeaustauscher einer offenen Verbrennungs-Gasturbine für 41 kg/cm² Arbeitsdruck (oben) und einer Aerodynamischen Turbine für 28/7 kg/cm² Arbeitsdruck (unten).

Gegen die offene Gasturbine werden die Rohrbündel bei der gesteigerten Kreislaufdichte in Volumen und Gewicht 16mal kleiner. An dieser Wirkung sind die gesteigerte Dichte und die Tatsache, dass bei sauberer Luft statt Verbrennungsgas kleinere Rohrdurchmesser mit gleicher Betriebsicherheit anwendbar sind, in annähernd gleichem Mass beteiligt. So wird eine Regeneration durch Wärmeaustausch erst praktisch realisierbar. Beispiel für 12000 kW. In beiden Fällen gleiche Berechnungsgrundlagen, wie: gleiche Temperaturdifferenz, gleicher Druckverlust, gleiche zu übertragende Wärmemenge, gleiches Verdichtungsverhältnis $p_1/p_2 = 4$.

Wärmeaustauscher:

Oberfläche 1200 m², Durchmesser 1,2 m, Länge 10 m.

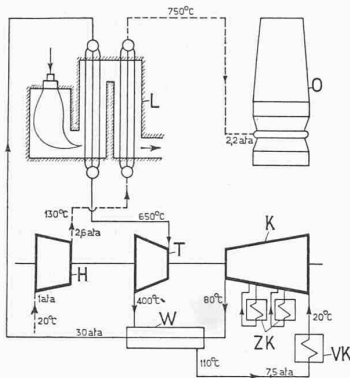
Der eigentliche Lufterhitzer hat nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse ungefähr die selben Abmessungen wie ein moderner Dampfkessel gleicher Anlageleistung. Es ist aber, wie eingangs bereits erwähnt wurde, besonders wichtig, dass hier die Möglichkeit besteht, den Winderhitzer mit dem Lufterhitzer, die ja beide die gleichen Aufgaben zu erfüllen haben, konstruktiv in einen Block zu vereinigen.

Auf welche Weise die Aerodynamische Turbine nun als Antriebmaschine für den Hochofenbetrieb Verwendung finden kann, zeigen die folgenden Studienbeispiele. Es sind bezüglich Schaltung, Winderzeugung und -Erhitzung und Kopplung mit zusätzlicher Energieerzeugung noch andere Varianten möglich, die den Inhalt von Schutzrechten von Escher Wyss bilden. Wir beschränken uns an dieser Stelle auf die Besprechung grundsätzlicher Fragen.

Abb. 8 gibt das Schaltbild einer Anlage, bei der das Hochofengebläse durch eine Aerodynamische Wärmekraftanlage angetrieben wird. Im kombinierten Lufterhitzer wird sowohl die für den Betrieb des Hochofens benötigte Luft als auch die Arbeitsluft der Aerodynamischen Wärmekraftanlage erhitzt. Die eingetragenen Werte für Drücke und Temperaturen stellen lediglich ungefähre Angaben für den besseren zahlenmässigen Ueberblick dar (Seite 4).

Die besondere Schaltung sorgt dafür, dass die Brennstoffwärme mit hohem Wirkungsgrad ausgenutzt wird. Im Lufterhitzer ist beispielsweise der Rauchgasweg in zwei Hauptteile unterteilt. Im Teil mit der tiefsten Temperatur wird die vom Gebläse kommende Hochofenluft erhitzt. Im vorangeschalteten Teil mit den höchsten Rauchgastemperaturen wird die Betriebsluft für die Aerodynamische Turbine auf die Endtemperatur gebracht. Dieser vorgeschaltete Teil kann entweder ein Heizbündel, das der eigentlichen Brennkammer nachgeschaltet ist, sein (wie Abb. 8 schematisch zeigt) oder im Falle der Ausnützung der Flammenstrahlung die Brennkammerauskleidung (vergleiche den Lufterhitzer in Bild 10) selbst.

Während bei den bisher bekanntgewordenen Stahlwind-erhitzern die Wärmeabfuhr im Rohrrinnern bei niedrigem Ueberdruck von 1 bis 2 at geschehen musste, was zur Erreichung der notwendigen Wärmeübergangszahlen bei gleichzeitig Niedrighaltung der Rohrwandtemperaturen verhältnismässig hohe Geschwindigkeiten und entsprechende hohe Druckverluste bedingte, erleichtert in der gezeigten Schaltung im Kreislauf-Lufterhitzer der hohe Rohrinneindruck von z. B. 20 bis 30 ata die Wärmeabfuhr im Gebiet der hohen Feuergastemperaturen. Die Erhöhung des Luftdruckes bringt nämlich eine analoge Verbesserung des Wärmeüberganges wie die entsprechende Geschwindigkeitssteigerung, da die Wärmeübergangszahlen für Gase mit dem Ausdruck $(cp)^{0,75}$ ändern, d. h. mit dem Produkt aus Geschwindigkeit c und Gasdruck p . Die Rohrwandtemperatur kann daher



[582]

Abb. 8. Hochofengebläse mit Antrieb durch Aerodynamische Kraftanlage mit komb. Wind-Lufterhitzer

Legende: O Hochofen, H Hochofengebläse, L Komb. Gichtgasbefeuerter Lufterhitzer für Hochofenwind und Kreislauf Luft, GT Gegen-druckturbine, T Aerodynamische Antriebsturbine, HT Aerodynamische Hochdruckturbine, NT Aerodynamische Niederdruckturbine, K Kreis-laufverdichter, ZK Zwischenkühler, VK Vorkühler, W Wärmeaustauscher, G Generator zur Aufnahme allfälliger Ueberschussenergie

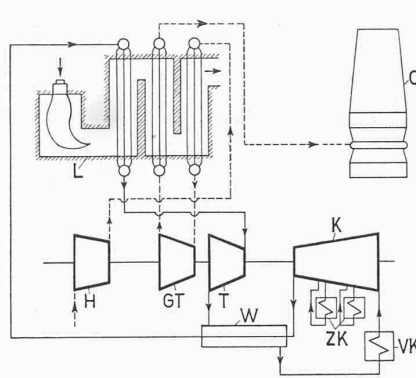


Abb. 9. Desgl. mit Antrieb durch Gegendruck-Luftturbine und durch Aerodynamische Kraftanlage

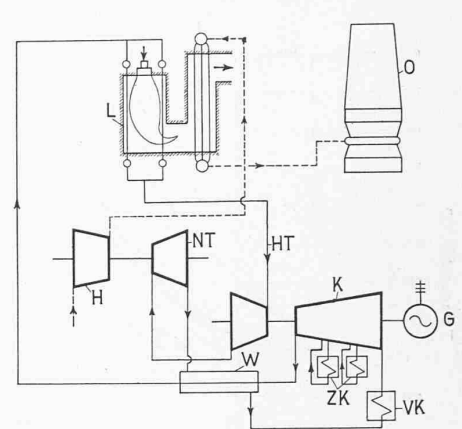


Abb. 10. Desgl. mit Aerodynamischem Antrieb mit getrennten Wellen und kombiniertem Wind-Lufterhitzer

Tabelle I: Hauptdaten einer Winderzeugungs- und Winderhitzungs-anlage mit Aerodynamischem Turbinenantrieb

1. Windverdichter H	Anlage nach Abb. 8	Anlage nach Abb. 9
Windmenge	100 000	100 000 kg/h
Wind-Endtemperatur	750	750 °C
Winddruck am Hochofen	2,2	2,2 ata
Druckverhältnis des Verdichters	2,6	4,3
Verdichtungsarbeit (adiabatisch)	22,1	36,5 kcal/kg
Verdichterwirkungsgrad	0,85	0,85
Lufttemperatur nach Verdichter	130	202 °C
Leistung des Verdichters	3020	4995 kW
2. Gegendruck-Luftturbine GT		
Luftmenge		100 000 kg/h
Druck vor der Turbine		4,0 ata
Temperatur vor der Turbine		650 °C
Druck nach der Turbine		2,4 ata
Temperatur nach der Turbine		537 °C
Druckverhältnis		1,67
Expansionsarbeit		30,2 kcal/kg
Wirkungsgrad der Turbine		0,88
Leistung der Luftturbine		3085 kW
3. Wärmeverbrauch für den Antrieb und die Winderhitzung		
Zusatzleistung netto	3020	1910 kW
Wärmeverbrauch	8,66	5,48 × 10 ⁶ kcal/h
id. für die Winderhitzung	18,75	20,25 × 10 ⁶ kcal/h
Total	27,41	25,73 × 10 ⁶ kcal/h
Wärmeverbrauch pro 1 Nm ³ Wind	354	332 kcal/Nm ³
4. Hauptdaten der Aerodynamischen Kraftanlage		
Temperatur vor Turbine T	650	650 °C
Kreislaufdruck bei max. Last		
Hochdruck p ₁	30	30 ata
Niederdruck p ₂	7,5	7,5 ata
Kreislauf-Luftmenge	109 000	69 000 kg/h
Brutto-Leistg. Aerodyn. Turbine T	7 550	4 770 kW
Leistung Kreislaufverdichter K	4 530	2 860 kW

leichter niedrig gehalten werden. Die Rohrpartien des Winderhitzers, die die höchsten Windtemperaturen erzeugen, liegen hier in einem Gebiet bereits erniedrigter Feuergastemperaturen, wo nach obigem die Verhältnisse für die Beherrschung der maximal zulässigen Rohrwandtemperatur bei den hohen Innenlufttemperaturen günstig liegen.

Diese Schaltung hat noch den Vorteil, dass die Rauchgase weitgehend abgekühlt werden können, weil sie gegen verhältnismässig kalte Frischluft strömen, sodass die Abgasverluste klein werden. Der Luftvorwärmer, der sonst bei allein arbeitenden Aerodynamischen Turbinen z. B. im reinen Kraftwerkbetrieb die hohen Abgastemperaturen im Lufterhitzer zur Vorwärmung der Verbrennungsluft ausnützt (Abb. 3), kann daher sehr verkleinert werden oder ganz wegfallen.

Die bisher gebauten Stahlwinderhitzer⁴⁾ sowie der Betrieb des Lufterhitzers in der Versuchsanlage⁵⁾ der Escher Wyss-Werke in Zürich zeigen, dass diese Probleme der Lufterhitzung auf hohe Temperaturen heute lösbar sind (Fussnoten S. 1).

Tabelle II: Hauptdaten des komb. Wind-Lufterhitzers nach Abb. 8

1. Heizwert des Gichtgases	1000 kcal/Nm ³
2. Wirkungsgrad des Wind-Lufterhitzers	0,85
Verluste: Abgas	11 %
Strahlung usw.	4 %
3. Luftmengen: Wind	100 000 kg/h
Arbeitsluft	109 000 kg/h
4. Wärmemengen (nach Tabelle I)	
Krafterzeugung	8,66 × 10 ⁶ kcal/h
Winderhitzung	18,75 × 10 ⁶ kcal/h
Total	27,41 × 10 ⁶ kcal/h
5. Durch die Heizfläche gehende Wärmemengen	
Kreislauf Luft	7,35 × 10 ⁶ kcal/h
Wind	15,95 × 10 ⁶ kcal/h
Total	23,30 × 10 ⁶ kcal/h
6. Heizgasmenge	27 410 Nm ³ /h
7. Luftmenge (bei 20% Luftüberschuss)	27 600 Nm ³ /h
8. Rauchgasmenge (bei 20% Luftüberschuss)	52 000 Nm ³ /h
9. Abgastemperatur	rd. 185 °C
10. Heizfläche	
a) für Kreislauf Luft	300 m ²
b) für Winderhitzung	2900 m ²
Total	3200 m ²

Die Anlage nach Bild 8 stellt die einfachste Anordnung dar. Ueberall dort, wo für industrielle Zwecke Wärme benötigt wird, erhebt sich jedoch immer die Frage, ob es möglich ist, diese Wärme in Form einer Abwärme der betreffenden Kraftanlage (Gegendruckbetrieb) zu erhalten und dadurch den thermischen Wirkungsgrad der Anlage zu verbessern. Bei einer Windtemperatur von 750 °C ist es nun nicht möglich, diese Wärme gesamt als Abwärme zu erzeugen. Dagegen ist es möglich, wenigstens einen Teil dieser Wärme als Abwärme von einer Kraftanlage auszunützen. Diese Ueberlegungen führen zu einem Schaltbild gemäss Abb. 9. Das von der Aerodynamischen Kraftanlage angetriebene Gebläse verdichtet auf einen bedeutend höheren Druck als der am Hochofen verlangte Wert. Die im Gebläse verdichtete Luft wird im Lufterhitzer in einer ersten Stufe erhitzt und expandiert hierauf in einer Luftturbine, die mit dem Gebläse gekuppelt ist. Die notwendige Zusatzleistung wird durch die Aerodynamische Wärmekraftanlage geliefert. Die in der Verbrauchsluftturbine expandierte Luft wird im Winderhitzer in einer zweiten Stufe auf die am Hochofen verlangte Endtemperatur erhitzt. Der Vorteil dieser Schaltung besteht darin, dass der Wärmeverbrauch pro Nm³ erzeugter Wind um etwa 6% geringer ist als bei einer Anlage gemäss Abb. 8.

Eine orientierende Berechnung der Wärmeverbrauchszahlen einer praktisch in Frage kommenden Anlage ergibt für die besprochenen Schaltungen nach Abb. 8 und 9 die Werte der Tabelle I. Für die Aerodynamische Kraftanlage ist ein thermischer Wirkungsgrad von 30% zu Grunde gelegt. Mit höheren Wirkungsgraden verbessern sich auch die Wärmeverbrauchszahlen. Diese Werte zeigen die Konkurrenzfähigkeit mit den besten Gasmotorenantrieben.

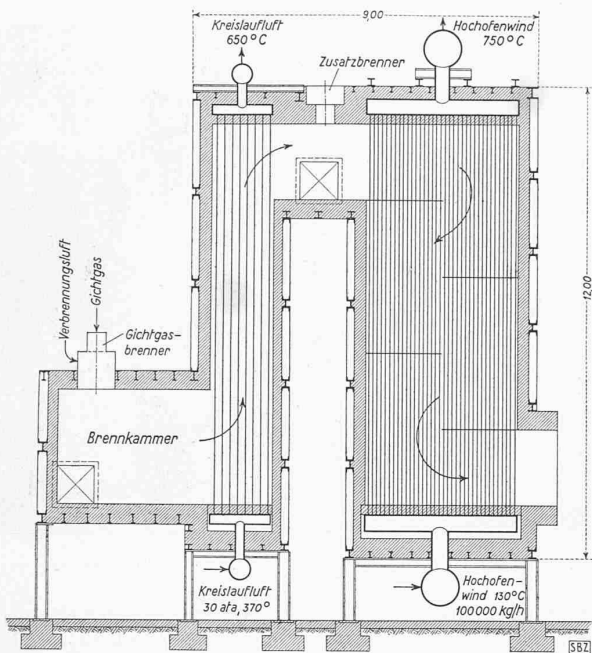


Abb. 11. Kombiniertes Erhitzer für Kreislaufwind und Hochofenwind (100 000 kg/h Winderzeugung). — Masstab rd. 1 : 180

Zweckmässig wird man eine Anlage sowohl nach Abb. 8 als auch nach Abb. 9 so anordnen, dass die Turbinenanlage in eine Hochdruck- und eine Niederdruckturbine aufgeteilt wird (Abb. 10). Die Niederdruckturbine treibt dann z. B. das Hochofengebläse für den wechselnden Bedarf des Hochofens mit veränderlicher Drehzahl als Freilaufgruppe an, während die Hochdruckturbine zum Antrieb des raschlaufenden Kompressors der Aerodynamischen Wärmekraftanlage dient, wobei in der letztgenannten die Anpassung an die jeweils verlangte Leistung durch Veränderung des Druckpegels erfolgt. Dies ermöglicht einen sehr wirtschaftlichen Betrieb. Die Freilaufgruppe bleibt auch bei Laständerungen ohne besondere Regelung stabil.

Die in den vorstehenden Abb. 8 bis 10 beschriebenen Anlagen eignen sich besonders dann, wenn es sich darum handelt, jeden Hochofen unabhängig von den übrigen betreiben zu können. In einem Hüttenwerk besteht neben dem grossen Bedarf an Wind zumeist auch ein grosser Verbrauch an elektrischer Energie. Zu dessen Deckung kann z. B. der in sich geschlossene Antriebskreislauf unabhängig vom Hochofenbedarf derart bemessen werden, dass neben der Gebläseleistung noch weitere Energie durch

die Aerodynamische Turbine erzeugt und durch einen von ihr ebenfalls angetriebenen Generator abgegeben wird.

In Abb. 11 ist ein Projekt eines kombinierten Wind-Lufterhitzers einer 100 000 kg/h-Windanlage dargestellt. Tabelle II gibt eine Zusammenstellung der diesbezüglichen Hauptdaten. Da bei Gasen hohe Brennkammerbelastungen angewendet werden können, wird die Brennkammer klein. Der Brennkammer ist der erste Zug nachgeschaltet, in dem die Heizfläche von rund 300 m² für die Erhitzung der Kreislaufwind untergebracht ist. Diese Fläche beträgt nur etwa 1/10 der für die Erhitzung des Windes notwendigen Heizfläche. Dieses Verhältnis wird bei allen Anlagegrössen etwa das selbe sein. Es geht daraus hervor, dass bezüglich Materialaufwand und Platzbedarf der Lufterhitzer für die Antrieb Anlage eigentlich nur einen kleinen Anbau an den Stahlwinderhitzer darstellt. Er erfüllt aber gleichzeitig noch die Aufgabe der nötigen Herabsetzung der Feuergastemperaturen zur Beheizung der Winderhitzer-Rohre, sodass die sonst vorzusehenden Schutzvorrichtungen (mit Kaltluft beschickte Hilfsheizflächen) sich erübrigen. Die Erhitzung der Kreislaufwind erfolgt in diesem Beispiel im Gleichstrom. Dies ist möglich, da hier grosse Temperaturdifferenzen zwischen Rauchgas und Kreislaufwind vorhanden sind. Durch die Gleichstromschaltung wird erreicht, dass im ganzen Bündel ausgeglichene und verhältnismässig niedrige Rohrwandtemperaturen herrschen. Die Rauchgase strömen hierauf mit Querstromführung durch den zweiten Zug, in dem der Hochofenwind erhitzt wird. Zwischen den beiden Zügen ist ein kleiner Zusatzbrenner vorgesehen, mit dem die Windtemperatur unabhängig von der Kreislaufwindtemperatur reguliert werden kann.

Als die Verwendung vorgewärmten Windes für die Hochofen aufkam, wurden dazu ursprünglich eiserne Winderhitzer gebaut. Die Heizfläche dieser Winderhitzer bestand aus gusseisernen Rohren mit grossem Durchmesser. Mit diesen Winderhitzern waren aber nur Windtemperaturen von höchstens rd. 450 °C zu erzielen. Die Verwendung der steinernen Winderhitzer (nach Cowper) stellten einen gewaltigen Fortschritt dar, weil es gelang, die Windtemperatur bedeutend zu steigern. Allerdings war den Cowpern ein dauernder Erfolg erst beschieden, als es gelang, das Gichtgas genügend zu reinigen. Die Reinigung der Gichtgase erfordert einen bedeutend apparativen Aufwand. Die Möglichkeit, jetzt wieder zu den einst so verbreiteten eisernen Winderhitzern zurückzukehren, gestattet gleichzeitig auf eine weitgetriebene Reinigung des Gichtgases mindestens teilweise zu verzichten. Dieser Verzicht auf eine extrem sorgfältige Reinigung ist bei der durch Gasturbine angetriebenen Winderzeugungs- und Winderhitzungsanlage wohl nur möglich bei der mittelbaren Beheizung des Arbeitsmittels, d. h. nur dann, wenn keine Verbrennungsprodukte die Maschinen durchströmen.

Die mittelbare Wärmezufuhr im Prozess der Aerodynamischen Turbine gestattet, die Gichtgase direkt wie sie anfallen ohne Kühlung und intensive Reinigung im Lufterhitzer zu ver-

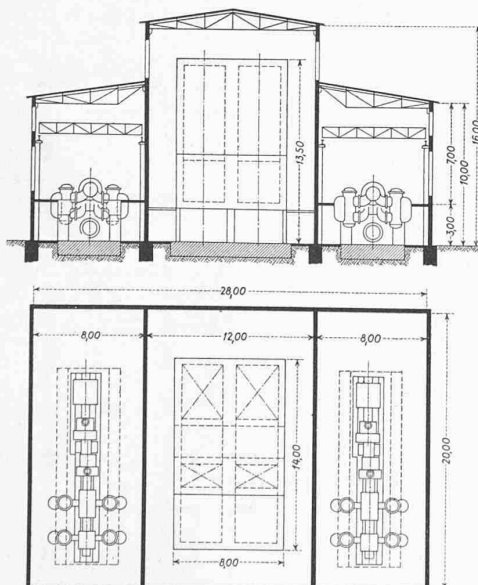
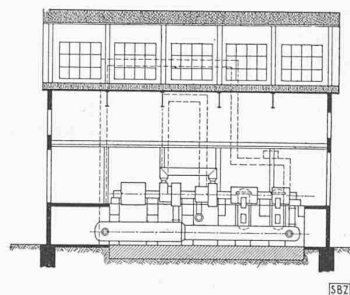


Abb. 12. Winderzeugungs- und Erhitzungsanlage mit Aerodynam. Turbinen-Antrieb. — 1 : 500.
Windmenge $2 \times 100\,000$ kg/h, Windtemp. 750 °C,
Gebläseleistung 2×3000 kW



Legende zu Abb. 13 u. 14: a Hochofengebläse mit Aerodynam. Turbine, b kombinierter Wind-Lufterhitzer, c Hochofen mit 100 000 kg/h Windbedarf, d Staubabscheider, e Kolbengebläse mit Gasmotoren gleicher Leistung, f Cowper-Anlage

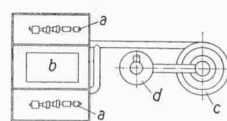


Abb. 13. Platzbedarf-Vergleich zwischen Windanlage mit Aerodynam. Antrieb (links) und einer Anlage mit Gasmotoren-Kolbengebläsen und Cowperanlage (rechts)

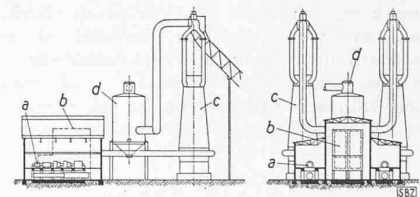


Abb. 14. Hochofen mit Windanlage.
Antrieb durch Aerodynamische Turbine.
Zwei Hochofen zu je 50 000 kg/h Windbedarf
Zwei Windanlagen zu je 100 000 kg/h (volle Reserve)



Abb. 4. Erneuerter Erker

Auf alle Fälle ist der Platzbedarf einer solchen Windanlage wesentlich kleiner als beim Gasmotorenantrieb (Abb. 13).

In Abb. 14 ist die Anordnung dieser Antriebsanlage innerhalb der Gesamthochofenanlage dargestellt. Es sind unter Annahme eines Windbedarfes für die Hochofenanlage von 100 000 kg/h zwei unabhängige Winderzeugungs- und Winderhitzungsanlagen vor je 100 000 kg/h Leistungsfähigkeit vorgesehen, sodass also eine 100%ige Reserve vorhanden ist.

Die besprochenen Studien und Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, dass die heutigen Entwicklungsrichtungen im thermischen Maschinen- und Apparatebau auch für den Hüttenwerkbetrieb vorteilhafte neue Aussichten in betriebsmässiger und wirtschaftlicher Hinsicht bieten; Aussichten, deren Verwirklichung bei verständnisvoller Zusammenarbeit von Hüttenmann und Maschinenbauer schon in naher Zukunft möglich sein sollte.

Geschäfts- und Wohnhaus «zur Krone» der Allgemeinen Konsumgenossenschaft Schaffhausen

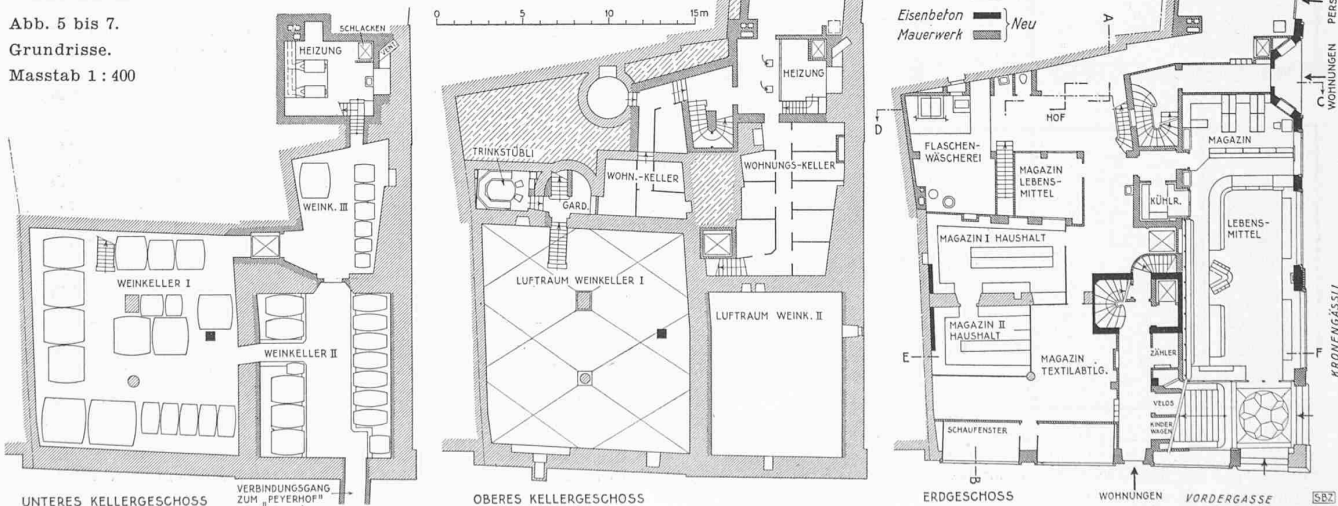
Arch. W. VETTER, S. I. A. Schaffhausen und Bern

Im Herzen der von den Behörden so sorgsam betreuten Altstadt von Schaffhausen, in unmittelbarer Nachbarschaft der Pfarrkirche von St. Johann und des Hauses «zum Ritter», besitzt die Allgemeine Konsumgenossenschaft Schaffhausen die Liegenschaften «zur Krone» und «zum Hirschen» (Abb. 1). Schon lange beabsichtigte sie, die alten Gebäulichkeiten umzubauen oder sie durch neue zu ersetzen, um so den darin auf ganz unzulängliche Weise untergebrachten drei Geschäften — Lebensmittel, Textil und Haushalt — einen neuen, zweckentsprechenden Rahmen zu geben und sie als repräsentatives Hauptgeschäft in ein einheitliches Ganzes zusammenzufassen.

Abb. 5 bis 7.

Grundrisse.

Masstab 1 : 400



werten. Demgegenüber erfordert der Antrieb mit Verbrennungsturbinen eine Verdichtung auf den Brennkammerdruck mit entsprechender Vorkühlung und allfälliger Reinigung.

Der kombinierte Winderhitzer, das Hochofengebläse und die Aerodynamische Antriebsmaschine werden zweckmässigerweise möglichst nahe zusammengebaut. Abb. 12 zeigt eine Entwurfskizze einer solchen Antriebsanlage, bestehend aus zwei Gruppen, wobei jede unabhängig von der anderen in der Lage ist, 100 000 kg/h Hochofenluft von 2,2 ata und 750°C zu liefern. Durch den nahen Zusammenbau ergeben sich kurze Verbindungsleitungen und eine übersichtliche Betriebsüberwachung.



Abb. 1. Alte «Krone» und «Hirschen», rechts die St. Johannkirche

Ende 1940 entschloss sich die AKS, trotz der Schwierigkeiten des Bauens im zweiten Kriegsjahr, einen Neubau zu erstellen, unter Beibehaltung der schönen alten Kellereien, deren Betrieb unter allen Umständen auch während der Bauzeit weitergeführt werden sollte. Die städtischen Baubehörden verlangten ihrerseits eine weitgehende Anpassung der baulichen Formen des Neubaus an seine Umgebung und unter anderem auch die Wiederverwendung oder Nachbildung der beiden Erker des Altbaus (Abb. 1), sowie, wenn irgend möglich, die Beibehaltung der Erdgeschosspfeiler aus Kalkstein.

Während die Forderung der Beibehaltung der Kellergewölbe unter dem Neubau eine interessante Aufgabe konstruktiver Art stellte, ergab sich aus den Forderungen der städtischen Behörden ein heikles Problem der Architektur. Es ist durchaus verständlich, dass die verantwortlichen Stellen, insbesondere im Hinblick auf mehrere in den Proportionen und Formen verunglückte «moderne» Bauten im Innern der Altstadt, nun eine weitgehende Unterordnung unter deren historische Formen verlangten. Die Gefahr der Unwahrscheinlichkeit und der jedem Kompromiss anhaftenden Unsicherheit wird dabei als kleineres Uebel wissentlich in Kauf genommen. Für den ernsthaft, im Geist und mit den Mitteln und Materialien seiner Zeit schaffenden Architekten bedeutet dies aber den Verzicht auf die für ein Kunstwerk notwendige Harmonie zwischen Inhalt und Form, zwischen Programm und Ausdruck, auf jede Logik und Ehrlichkeit in seinem Gestalten. Es bleibt ihm als Trost das Abwägen von Proportionen und das schonende Ausgleichen und Ueberbrücken von fundamentalen Gegensätzen.