

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113/114 (1939)
Heft: 19

Artikel: Eine aerodynamische Wärmekraftanlage: vorläufige Mitteilung
Autor: Ackeret, J. / Keller, C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50490>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

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

INHALT: Eine Aerodynamische Wärmekraftanlage. — Notes sur les barrages à arches multiples. — Eidg. Luftamt. — Altstadtsanierungen in England. — Mitteilungen: Internat. Wohnungs- und Städtebau-Kongress Stockholm 1939. Elektro-Stauchmaschine. Leuchtstoff-Quecksilberdampflampen. Prof. Dr. h. c. Aurel Stodola. Interne Ruf- und Sprechanlage Tem-Teressgo. «Bombensicheres» Unterwerk. Deutscher Wasserwirt-

schaftstag 1939 in Linz a. D. Schweizer Landesausstellung in Zürich. Abwassertagung in Stuttgart. Eidg. Techn. Hochschule. — Nekrologe: Alb. Leuenberger. Oskar Halter. Emil Huber-Stockar. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Schweizer Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 113

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich

der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 19

Eine Aerodynamische Wärmekraftanlage

Vorläufige Mitteilung von Prof. Dr. J. ACKERET, E. T. H. und Obering. Dr. C. KELLER, Escher Wyss, Zürich

Quidquid agis prudenter agas et respice finem.

Prof. Aurel Stodola, dessen 80. Geburtstag wir vor wenigen Tagen feiern konnten, und dem wir als unserm verehrten Lehrer diese kurze Mitteilung widmen möchten, hat sich wie kein anderer mit der Weiterentwicklung und mit dem zukünftigen Schicksal der Wärmekraftmaschinen beschäftigt. Er hatte seinerzeit den raschen Abgang der bis dahin fast allein herrschenden Dampfmaschine miterlebt und durch sein grundlegendes Werk den Fortschritt der sie ersetzenden Dampfturbine in ausserordentlicher Weise beeinflusst. Stets betonte er, dass das theoretisch als richtig Erkannte sich früher oder später auch in der ausführenden Praxis durchsetzt.

So wird es ihn sicherlich mit Freude erfüllen zu sehen, dass die von ihm stets mit besonderer Liebe behandelte Gasturbine nach überaus schweren Entwicklungskämpfen in verschiedenen Bauformen nun im Begriffe ist, einen wichtigen Platz einzunehmen und wahrscheinlich die Dampfturbine, vielleicht aber auch den Gross-Dieselmotor abzulösen.

Als wir vor einigen Jahren auf Grund unserer Studien eine Entwicklung in dieser Richtung vorschlugen, entschloss sich die Firma Escher Wyss A. G., die Forschungsversuche, die Konstruktion und den Bau einer ersten grösseren Anlage durchzuführen. Dabei waren die folgenden von uns entwickelten Leitsätze massgebend:

Die neue Kraftanlage soll vor allem für grosse Antriebsleistungen bei gleichbleibender Drehzahl, also etwa für Stromerzeugung geeignet sein. Sie muss mit verschiedenen Brennstoffen wie Oel, Kohle, Gas betrieben werden können und muss den thermischen Wirkungsgrad guter Dampfanlagen mindestens erreichen.

Sie soll nach dem Gleichdruckverfahren arbeiten, also keinerlei periodische Füll- oder Auspuffvorgänge bedingen mit den Nachteilen der Ventile, Klappen, Zündungen usw.

Sie soll den guten Wirkungsgrad nicht durch sehr hohe Temperaturen oder Drücke zu erreichen suchen, sondern mit mässigen Temperaturen durch weitgehende Ausnützung der Abwärme und durch sorgfältige Verminderung jeder einzelnen Verlustquelle.

Zwecks Erhöhung der Betriebsicherheit sollen Verbrennungsprodukte nicht in bewegte Teile gelangen. Dadurch werden auch Veränderungen im Wirkungsgrad durch Abnutzung und zeitlich wachsende Verschmutzung vermieden.

Man gelangt so folgerichtig zu einer Konstruktion, die nicht durch Verwendung von Erfinder-Kniffen, sondern durch rücksichtslose Konsequenz in der Anwendung an sich teils bekannter Prinzipien gekennzeichnet ist, ähnlich wie das moderne Flugzeug, das seine überragende Leistung durch äusserste Vereinfachung an sich bekannter Formen erzielt und mehr durch Weglassen als durch Zufügen gewonnen hat.

Das von Escher Wyss angewandte Arbeitsverfahren nach Abb. 1 stellt im Gegensatz zum bekannten Gasturbinenprozess

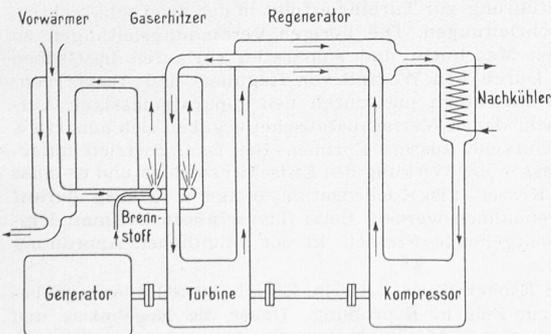


Abb. 1. Schema der Aerodynamischen Wärmekraftanlage mit geschlossenem Kreislauf

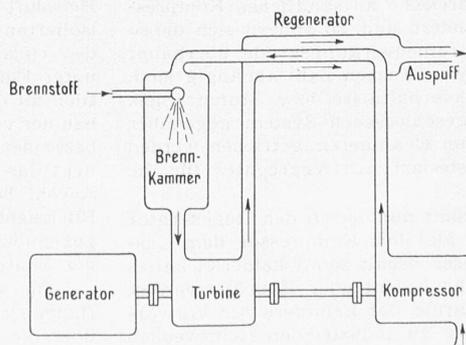


Abb. 2. Schema des gewöhnlichen offenen Gleichdruck-Gasturbinenprozesses, ergänzt durch Anbringen eines Regenerators

(Abb. 2) einen geschlossenen Gaskreislauf dar, bestehend aus Gaserhitzer, Vorwärmer, Regenerator, Kompressor und Turbine. Die Wärmezufuhr erfolgt also durch metallische Flächen. Als Betriebsgas kommt natürlich in erster Linie Luft in Betracht, es sind aber bei geschlossenen Kreisläufen prinzipiell auch andere Gase verwendbar.

Die Zustandsänderungen des Kreisprozesses gehen aus dem Entropiediagramm Abb. 3 hervor. Die Expansion in der Turbine erfolgt längs AB, die Regeneration längs BC bzw. DE. Im Kompressor wird die Luft möglichst isotherm von C nach D verdichtet. Praktisch wird die Verdichtung in mehreren Stufen mit Zwischenkühlung durchgeführt. Von aussen wird im Lufterhitzer dem Arbeitsmittel die Wärme längs EA zugeführt. Damit ist der Kreislauf geschlossen.

Die Fläche ABCD im idealen Kreisprozess nach Abb. 3 stellt die gewonnene Arbeit dar. Sie ist die Differenz aus Turbinen- und Kompressorarbeit. Die Turbinenleistung pro 1 kg ist gleich der von aussen zugeführten Wärmemenge EAJH. Die Kompressorleistung ist gleich der im Kühlwasser des Kompressors abgeführten Wärmemenge DCGF.

Unter Voraussetzung eines idealen Gases — was in unserm Beispiel für Luft sehr angenähert zutrifft — wird der thermische Wirkungsgrad des idealen Prozesses, d. h. ohne Berücksichtigung der Verluste in Turbine, Kompressor, Gaserhitzer und Wärmeaustauscher und bei vollständiger Regeneration (Abb. 4)

$$\eta_{ii} = \frac{C_p (T_1 - T_2) - A R T_3 \lg \frac{p_1}{p_2}}{C_p (T_1 - T_2)} = 1 - \frac{A R T_3 \lg \frac{p_1}{p_2}}{C_p T_1 \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right]}$$

Bei gegebener Maximaltemperatur T_1 und Minimaltemperatur T_3 ist der thermische Wirkungsgrad des idealen Arbeitsprozesses also nur vom Druckverhältnis, nicht aber von der absoluten Grösse der Drücke, zwischen denen er verläuft, abhängig. Je kleiner das Druckverhältnis ist, desto grösser wird η_{ii} . Im Grenzfall wird genau der Carnot'sche Wirkungsgrad erreicht.

Dies gilt bis zu einem gewissen Grade auch für den verlustbehafteten Vorgang, ein betriebstechnisch wichtiger Vorteil des Verfahrens gegenüber den heute üblichen Dampfprozessen. Bei diesen ist eine gute Wärmeausbeute ohne Anwendung sehr hoher Drücke bei gleichzeitig hohen Temperaturen nicht möglich. Die Hochdrucktechnik hat wohl in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht, dabei ist aber naturgemäss eine gewisse Kompliziertheit der Anlagen bezüglich Armaturen, Sicherheitsvorrichtungen und Spezialkonstruktionen für die hohen Beanspruchungen nicht zu vermeiden. Die Luftturbinenanlage mit geschlossenem Kreislauf braucht zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades keine Erhöhung der Drücke.

Betrachtet man das Entropiediagramm Abb. 3, so springt die grosse Wärmemenge sofort ins Auge, die nach der Abgabe der Arbeit in der dem Gaserhitzer nachgeschalteten Turbine im Gase noch enthalten ist.

Es ist unumgänglich, diese Wärme noch weiter zu benützen; der Verlust, der bei bisher ausgeführten Anlagen bei freiem Auspuff in Kauf genommen wurde, liess den Wirkungsgrad auf

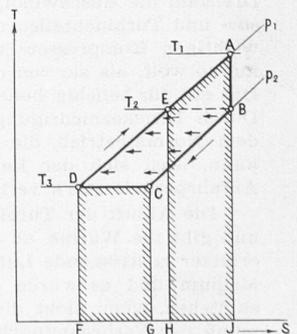


Abb. 3. Entropiediagramm des Idealprozesses des geschlossenen Kreislaufes mit vollständiger Regeneration

so tiefe Werte sinken, dass eine ernsthafte Konkurrenz auch nur mit mittleren Dampfmaschinen gar nicht in Frage kam. Hier aber liegt eine ganz bedeutende Schwierigkeit, der wir vor allem unsere Aufmerksamkeit schenken. Will man nämlich den sog. Regenerator, der diese Wärme kontinuierlich an die aus dem Kompressor kommende kalte Betriebsluft austauscht, mit geringem Druckverlust und weitgehendem Temperaturexaustausch (natürlich im Gegenstrom!) entwerfen, so erhält man so gewaltige Abmessungen und Oberflächen, dass der wirtschaftliche Gewinn durch hohe Anlagekosten gefährdet scheint. Ganz besonders ist dies der Fall, wenn man mit Rücksicht auf die Verschmutzung bei offenen Anlagen mit Innenfeuerung verhältnismässig grosse Durchtrittsquerschnitte verwenden muss.

Sobald man aber das Feuer durch den geschlossenen Kreislauf fernhält, ferner den ganzen Kreislauf mit Ueberdruck laufen lässt, so werden sowohl enge Querschnitte möglich als auch kleine Gesamtoberflächen, da der Wärmeübergang mit dem Druck fast proportional wächst.

Das Ueberdruckprinzip hat noch weitere, sehr erhebliche Vorteile. Der Gaserhitzer erhält gaseitig ebenfalls gute Wärmeübergangszahlen, es ist somit die mittlere Wandtemperatur weit stärker nach der kälteren Gasseite verschoben als beim Niederdruckbetrieb. Die Turbinen und Kompressoren werden bedeutend kleiner und arbeiten trotzdem mit ganz wesentlich höheren Reynoldszahlen. Beispielsweise würde ein Anfangsdruck von 9 ata vor dem Kompressor an Stelle der einfachen Atmosphäre bei der offenen Anlage bei gleichen Temperaturen und gleichen Geschwindigkeiten den Turbinen- und Kompressordurchmesser auf einen Drittel zu verringern gestatten mit entsprechender Einsparung an teurem Werkstoff. Trotzdem würden die Reynoldszahlen einem 9fach grösseren Durchmesser entsprechen, also dreimal grösser sein als bei offener Anlage.

Ebenso wichtig ist aber die überraschende Reguliermöglichkeit durch Verändern des Kreislaufdruckes bzw. der Dichte ohne Temperatur- und Geschwindigkeitsänderung. So würde der Rückgang auf 1 ata vor dem Kompressor im obigen Beispiel eine Lastreduktion auf etwa $\frac{1}{10}$ bedeuten. Da bei gleichbleibender Drehzahl die Geschwindigkeitsdreiecke an sämtlichen Kompressor- und Turbinenteilen unverändert sind, so ändern sich die so wichtigen Kompressor- und Turbinenwirkungsgrade überhaupt nur so weit, als sie von der Reynoldszahl abhängig sind. Das gilt für beliebig hohe Druckverhältnisse, bzw. Stufenzahlen. Durch Druckerniedrigung im geschlossenen System gegenüber dem Normalbetrieb, die bis zum Evakuieren getrieben werden kann, lässt sich der Leistungsbedarf des Aggregates für die Anfahrperiode stark verringern.

Die Abluft der Turbine strömt nun durch den Regenerator und gibt die Wärme ab an die aus dem Kompressor dem Gaserhitzer zuströmende Luft. Dieser erhält somit keinerlei kaltes Medium und es würde ein sehr bedeutender Rauchgasverlust entstehen, wenn nicht die Abwärme des Erhitzers zur Vorwärmung der Verbrennungsluft oder zu industriellen Heizzwecken verwendet würde. Die abgekühlte Regeneratorluft wird schliesslich noch nachgekühlt, damit der Kompressor möglichst kalte Luft ansaugt. Neben diesem Nachkühler sind die Kühler für

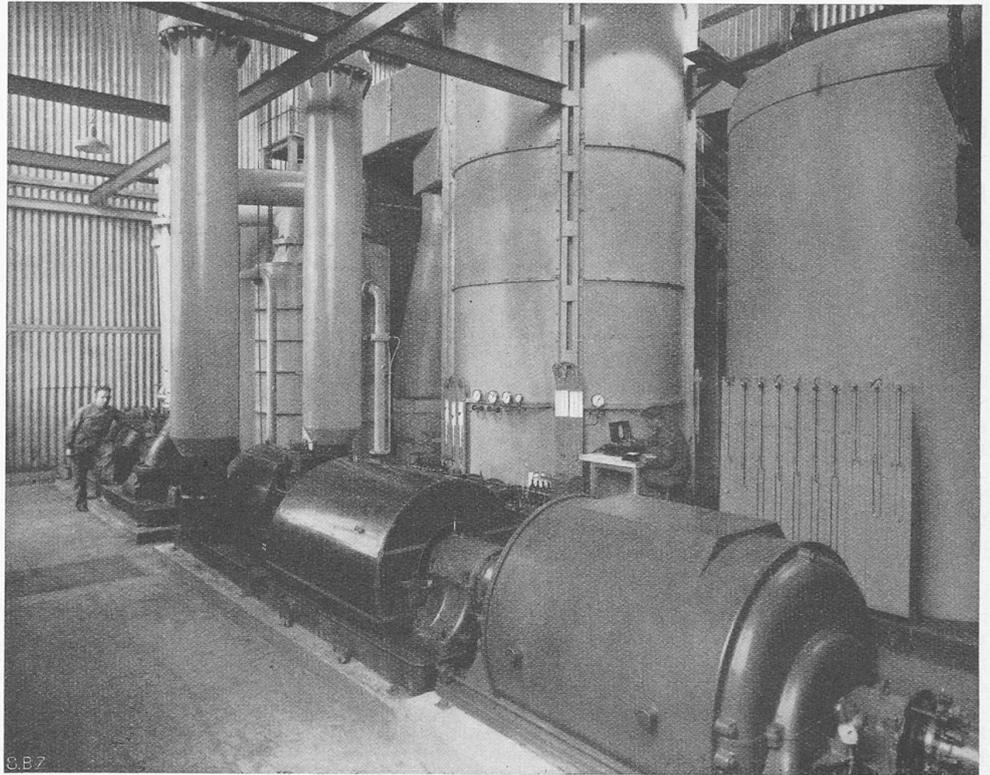


Abb. 5. Gesamtansicht der Aerodynamischen Wärmekraftanlage Escher Wyss

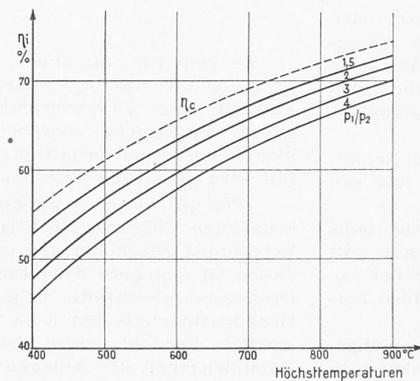


Abb. 4. Thermische Wirkungsgrade η_i des Idealprozesses nach Abb. 1 ($T_3 = 300^\circ \text{ abs}$)

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_3}{T_1} = \text{Carnot-Wirkungsgrad}$$

die Kompressorluft die einzigen Wärmeabgabestellen (abgesehen vom Rauchgasverlust). Man übersieht leicht, dass der Kühlwasserbedarf einer solchen Anlage nur einen Bruchteil von dem einer gleichstarken Dampfmaschine beträgt, vor allem weil das Wasser ohne grossen Schaden höher erwärmt werden darf. Besondere Anforderungen an die Wasserqualität werden nicht gestellt, da heikle Kühlstellen (wie bei gekühlten Schaufeln usw.) nicht vorkommen. Dass das ganze Speiswasser-Elend der modernen Hochdruck-Dampfmaschinen dahinfällt, hat diese Anlage mit allen Gasturbinen gemeinsam, ein enormes Aktivum für ihre spätere Einführung.

Die ganze Anlage stellt eigentlich einen Oberflächenapparat dar, nicht unähnlich gewissen chemischen Anlagen. Die eigentlichen Maschinen treten räumlich stark zurück, ihre inneren Vorgänge allerdings sind von entscheidender Bedeutung für die Gesamtwirtschaftlichkeit und rechtfertigen eine Weiterentwicklung der Werkstatttechnik, die allmählich die Grenze der Feinmechanik erreicht.

Abb. 5 zeigt die erwähnte grössere industrielle Versuchsanlage, im wesentlichen nach dem Schema von Abb. 1 arbeitend. Im Vordergrund ist die Maschinengruppe sichtbar und zwar in der Reihenfolge von links nach vorn rechts: Kompressor, zweigehäusige Turbine und Generator. Unmittelbar dahinter (von rechts nach links): Regenerator, Lufterhitzer und im Hintergrund Zwischenkühler für den Verdichter und Luftvorwärmer. Die Heissluft-Zuführung zur Turbine erfolgt in den zwei senkrechten, isolierten Rohrleitungen. Die übrigen Verbindungsleitungen zu den einzelnen Maschinen und Apparaten verlaufen in Gruben unter Flur. Durch den Wegfall von Regulier- und Absperrventilen an den Maschinen und durch den apparatemässigen Aufbau der verschiedenen Wärmeaustauscher ergaben sich neuartige, bestechend einfache äussere Formen. Bei Dampfbetrieb unterliegt das Wasser der Wirkung des Erdschwerefeldes und es muss sowohl bei Kessel- als Kondensationsanlage sorgfältig darauf Rücksicht genommen werden. Beim Gasverfahren hat man demgegenüber weitgehende Freiheit in der räumlichen Anordnung der Bauteile.

Die von Escher Wyss A.G. in Zürich erstellte Anlage befindet sich zur Zeit in Erprobung. Ueber die Ergebnisse und über die zahlreichen Möglichkeiten der Anwendung des neuen Verfahrens auch für Schiffs- und Fahrzeugantriebe soll später ausführlich berichtet werden.