

Untersuchungen an Velokessel-Anlagen

Autor(en): **Quiby, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **101/102 (1933)**

Heft 6

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83035>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Untersuchungen an Veloxkessel-Anlagen. — Graphische Berechnung von Wasserspiegel-Linien. — Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft. — Holzhaus im Friesenberg in Zürich. — Mitteilungen: Eidgenössische Technische Hochschule. Dieselmotoren mit Zündvorkammer. Die Elektrifikation der österreichischen Bundesbahnen. Röntgennachweis innerer Drahtseilkorrosion. Bundesvorschriften über elek-

trische Anlagen. Verbindungsbahn Anhalter Bahnhof-Stettiner Bahnhof in Berlin. Der Schweizerische Verein von Gas- und Wasserfachmännern. Schienenomnibus, System Bugatti. — Wettbewerbe: Relief, Plastiken und Mosaik für das neue Verwaltungsgebäude am Walcheplatz in Zürich. Erweiterungsplan der Stadt Bern und ihrer Vororte. — Literatur.

Band 102

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

Nr. 6

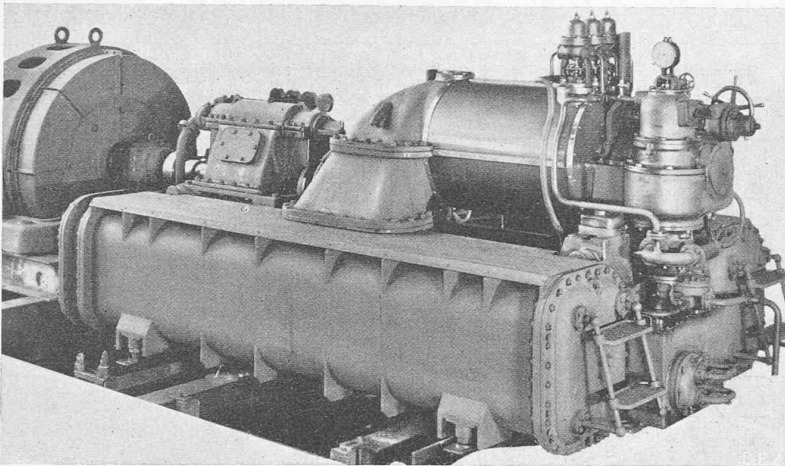


Abb. 2. Dampfturbinen-Blocktyp „Brown-Boveri-Turbloc DB 22“.

Untersuchungen an Veloxkessel-Anlagen.

Von Prof. H. QUIBY, E. T. H., Zürich.

Die technischen Fortschritte der letzten Jahre im Dampfkesselbau haben eine solche Fülle von verschiedenartigen Kesseltypen gezeitigt, dass man wohl mit Recht die Entwicklung als noch nicht abgeschlossen betrachten kann. Bei den meisten Bauarten ist die Tendenz, die Gesamtwirtschaftlichkeit durch Steigerung des Kesseldruckes zu erhöhen, leicht erkennbar. Im Gegensatz hierzu versucht der von der Firma Brown Boveri & Cie. in Baden entwickelte Veloxkessel, obschon er für jeden Dampfdruck gebaut werden dürfte, sich seine wirtschaftliche Berechtigung auch bei mässigen Drücken vor allem durch andere Eigenschaften zu sichern. Im besondern sind hierbei die Herabsetzung der Gesamtanlagekosten und des Raumbedarfes, die Erhöhung des Kesselwirkungsgrades und die rasche Regulierbarkeit zu erwähnen.

Die von der Firma BBC gebotene Gelegenheit, an zwei Veloxkessel-Anlagen Versuche durchzuführen, war des-



Abb. 1. Veloxkessel-Versuchsanlage in der Fabrik von Brown, Boveri & Cie. in Baden.

halb von besonderem Interesse, weil der erzeugte Dampf direkt an eine Turbogruppe abgegeben und somit eine vollständige Dampfkraftanlage untersucht werden konnte.

Die erste Versuchsreihe wurde an einem für Versuchszwecke umgebauten Veloxkessel (Abb. 1) durchgeführt, mit dem ein Turbinen-Block-Typ (BBC Turbloc DB 22, Abb. 2) in direkter Verbindung stand. Bekanntlich sind in einem Turbloc sämtliche Hilfsapparate (Kondensator, Kühlwasserpumpe, Dampfstrahlejektoren und Oelkühler) mit der Turbine zu einem Aggregat vereinigt. Es war also möglich, in der Werkstätte eine Dampfkraftanlage, die alle Hilfsapparate und -Maschinen enthielt, zu untersuchen. Es dürfte dies das erste Mal sein, dass eine vollständige, für ortsfeste Aufstellung bestimmte Dampfkraftanlage in der Werkstätte montiert und ausprobiert wurde. Es ist nicht ausgeschlossen, dass in Zukunft solche Aggregate zur Aufstellung kommen und der Gesamt-

wirkungsgrad garantiert wird, wie dies schon heute bei Dieselmotoren üblich ist. Hieraus mag die Bedeutung der im Folgenden beschriebenen Versuche hervorgehen.

Da der Turbloc für einen Dampfdruck von 20 at berechnet war, wurde auch der Kessel, der für einen maximalen Druck von 30 at gebaut ist, mit dem entsprechenden Druck betrieben. Bei Vollast des Turbloc wurden rd. 11000 kg/h Dampf benötigt. Für den Vollastversuch des Veloxkessels (rd. 18 t/h) musste daher ein Teil des Dampfes an das Netz abgegeben werden. Die Kesselvollastversuche bezweckten somit lediglich die Feststellung des Kesselwirkungsgrades. Für die Versuche, deren Auswertung den totalen Wirkungsgrad ergab, wurde die Dampfleitung zum Kesselhaus blind abgeflanscht. Aus Montagegründen befand sich zwischen Kessel und Turbine eine rd. 30 m lange unisolierte Leitung, sodass sich ein Temperaturabfall von rd. 65°C einstellte. Bei der Auswertung wurde dies berücksichtigt, indem ein Wärmeverlust in der Leitung von 10 cal/kg zugrunde gelegt wurde. Dieser Wärmeverlust würde also bei einer isolierten Leitung von der effektiv notwendigen Länge zwischen Kessel und Turbine auftreten. Die Berichtigung fand in der Weise statt, dass die durch die Vergrößerung des adiabatischen Gefälles, sowie die verminderte Wasserbremsung im Nassdampfgebiet erzielbare Mehrleistung ermittelt wurde. Da das Speisewasser aus dem bestehenden Behälter des Kessel-

hauses geliefert wurde, zeigt sich eine weitere Berichtigung des Kesselwirkungsgrades notwendig, weil die Speisewassertemperatur höher war, als die Temperatur des anfallenden Kondensates.

Eine weitere Versuchsreihe wurde an einer für eine Zuckerfabrik in Spanien bestimmten Veloxkesselanlage von 32 t/h Dampf allein, also ohne Turbogruppe, durchgeführt (Abb. 3). Bei dieser Anlage konnte ausser der

TABELLE I.

Auswertung der Versuche		Bez.	Dim.	Turbloc 1/2 Last Velox 1/2 Last	Turbloc 1/2 Last Velox 1/2 Last	Velox 1/2 Last
Messpunkt				1. Masut	2. Gasöl	3. Gasöl
Brennstoff						
Heizwert	<i>Hu</i>	kcal/kg	9760	10130	10130	
Menge	<i>B</i>	kg/h	466	804	1300	
Luftmenge	<i>L</i>	kg/h	8339	15076	22400	
Abgasmenge	<i>G</i>	kg/h	8805	15880	23700	
Luftüberschusszahl = $L/14,35 B$	λ	kg/h	1,246	1,305	1,201	
Dampf						
Düsenmessung Speisewasser	<i>Dsp</i>	kg/h	6507	10450	16990	
Düsenmessung Frischdampf	<i>Df</i>	kg/h	6110	10180		
Kondensatmenge	<i>DK</i>	kg/h	6141	10425		
Annahme: Dampfmenge	<i>D</i>	kg/h	6140	10425	16990	
Dampfdruck Austritt Velox	<i>pV</i>	at absolut	21,5	22,2	19,2	
Dampfdruck Austritt Velox	<i>iv</i>	° C.	363,7	425,3	454,6	
Wärmeinhalt Austritt Velox (Knoblauch 1932)	<i>iv</i>	kcal/kg	757,2	789,5	805,8	
Speisewassereintrittstemperatur	<i>tsp</i>	° C.	72,7	74,3	70,0	
Wärmezufuhr im Velox	<i>Δiv</i>	kcal/kg	684,5	715,2	735,8	
Zusatzleistung						
Motor	<i>NZ</i>	kW	16,2	43,0	168,1	
Thermischer Velox-Wirkungsgrad						
$\frac{D \Delta iv}{B Hu + 860 NZ} \cdot 100$	η_{thV}	%	92,1	91,3	93,75	
Wirtschaftlicher Velox-Wirkungsgrad						
$\frac{D \Delta iv - \frac{860 \cdot NZ}{B Hu}}{\eta_a} \cdot 100$	η_{wV}	%	89,5	88,7	90,3	
(η _a = Anlagewirkungsgrad der Gruppe Velox-Turbloc, bezogen auf Klemmenleistung, siehe S. 63.)						
	Bez.	Dim.	Turbloc 1/2 Last Velox 1/2 Last	Turbloc 1/2 Last Velox 1/2 Last	Velox 1/2 Last	
Kondensat						
Temperatur Austritt Turbloc	<i>tK</i>	° C.	28,3	25,7		
Speisewassertemperatur Velox	<i>tsp</i>	° C.	72,7	74,3		
Temperaturerhöhung vor Velox	<i>Δiv</i>	° C.	44,4	48,6		
Wärmezufuhr vor Velox = $D iv$	<i>Qiv</i>	kcal/h	272000	506500		
Abgas						
Menge	<i>G</i>	kg/h	8805	15880		
Temperatur	<i>tG</i>	° C.	101	124		
Temperaturerniedrigung der Abgase bei kälterem Speisewasser für $t_{sp} = t_k$	<i>ΔtG</i>	°	33,3	36,4		
Spezifische Wärme des Abgases	<i>cpG</i>	kcal/kg°	0,249	0,250		
Verminderung des Abgasverlustes für $t_{sp} = t_k$; $G cpG \Delta tG$	<i>QA</i>	kcal/h	73000	144500		
Korrektur						
der zugeführten Wärme für $t_{sp} = t_k = Qiv - QA$	<i>QZ</i>	kcal/h	199000	362000		
Zusätzlich notwendige Brennstoffmenge für $t_{sp} = t_k$; $QZ/\eta_{wV} Hu$	<i>BZ</i>	kg/h	22,4	39,8		
Turbloc						
Dampfdruck Eintritt Turbloc	<i>pT</i>	at absolut	20,3	20,3		
*) Die Berechnung erfolgte auf Grund von besonderen Versuchen über die Wärmedurchgangszahl, deren Erörterung hier zu weit führen würde.						
Dampftemperatur Eintritt Turbloc	<i>tT</i>	° C.				
Wärmeinhalt Eintritt Turbloc (Knoblauch 1932)	<i>ivT</i>	kcal/kg				
Wärmeinhalt Austritt Velox	<i>ivV</i>	kcal/kg				
Wärmeverlust in der unisolierten Dampfleitung Velox-Turbloc	<i>ΔiL</i>	kcal/kg				
Zu erwartender Wärmeverlust in einer isolierten Leitung	<i>ΔiL.korr.</i>	kcal/kg				
Korrigierter Wärmeinhalt Eintritt Turbloc	<i>ivT.korr.</i>	kcal/kg				
Kondensattemperatur Austritt Turbloc	<i>tK</i>	° C.				
Abdampfdruck	<i>pK</i>	at absolut				
Adiabatisches Gefälle	<i>Ho</i>	kcal/kg				
Adiabatisches Gefälle für $ivT.korr.$	<i>Ho.korr.</i>	kcal/kg				
Klemmenleistung						
des Generators	<i>NKL</i>	kW				
Klemmenleistungskorrektur auf $Ho.korr.$	<i>NKL.Ho.korr.</i>	kW				
Thermodynamischer Turbinenwirkungsgrad, geschätzt	$\eta_{Turb.}$	%				
Dampfgehalt im Abdampf	<i>xS</i>	kg/kg				
Adiabatisches Gefälle im Nassdampfgebiet	<i>HS</i>	kcal/kg				
Wasserbremsung d. Turbine in % d. Leistung = $\frac{HS}{H_0} \frac{(1-xS)}{2} \cdot 100$	<i>ΔηW</i>	%				
Wasserbremsung in kW $\sim NKL \Delta \eta W / 100$	<i>NW</i>	kW				
Dampfgehalt im Abdampf für $ivT.korr.$	<i>xS.korr.</i>	kg/kg				
Adiabatisches Gefälle im Nassdampfgebiet für $ivT.korr.$	<i>HS.korr.</i>	kcal/kg				
Wasserbremsung in % für $ivT.korr.$ = $\frac{(HS.korr.)}{(H_0.korr.)} \frac{(1-xS.korr.)}{2} \cdot 100$	<i>ΔηW.korr.</i>	%				
Wasserbremsung in kW für $ivT.korr.$ $\sim NKL.Ho.korr. \Delta \eta W.korr. / 100$	<i>ΔNW.korr.</i>	kW				
Klemmenleistung, korrigiert auf $Ho.korr.$ und $NW.korr.$ = $NKL.Ho.korr. + \Delta NW.korr.$	<i>NKL.korr.</i>	kW				
Dampfverbrauch						
des Turbloc, bezogen auf Klemmenleistung = $D/NKL.korr.$	<i>DV/KL.korr.</i>	kg/kWh				
Wärmeverbrauch pro kg Dampf für $ivT.korr.$ = $ivT.korr. - tK$	<i>ΔivT.korr.</i>	kcal/kg				
Wärmeverbrauch des Turbloc, bezogen auf Klemmenleistung = $DV/KL.korr. \Delta ivT.korr.$	<i>WV/KL.korr.</i>	kcal/kWh				
Thermischer Turblocwirkungsgrad						
bezogen auf Klemmenleistung = $860/WV/KL.korr. 100$	$\eta_{thT.korr.}$	%				
Hilfsantriebe						
Leonardgruppe	<i>NZ</i>	kW				
Umwälzpumpenmotor	<i>NU</i>	kW				
Stenörpumpenmotor	<i>NSt.</i>	kW				
Heizöl-pumpenmotor	<i>NHs</i>	kW				
Speisepumpenmotor	<i>Nsp</i>	kW				
Verluste	<i>NR</i>	kW				
Gesamte Hilfsmaschinenleistung	<i>NH</i>	kW				
Klemmenleistung korrigiert	<i>NKL.korr.</i>	kW				
Anlage-Wirkungsgrad der Gruppe Velox-Turbloc,						
bezogen auf Klemmenleistung = $\frac{(NKL.korr. - NH) 860}{(B + BZ) Hu} 100$	$\eta_a.korr.$	%				
Weitere Angaben						
Kühlwasser-Eintrittstemperatur	<i>tWe</i>	° C.				
Kühlwasser-Austrittstemperatur	<i>tWa</i>	° C.				
Kühlwassermenge	<i>W</i>	l/sec				
Förderhöhe der Kühlwasserpumpe	<i>Hw</i>	m W.S.				
Generator-Spannung	<i>E</i>	Volt				
Generator-Stromstärke	<i>J</i>	Amp.				
Generator-Drehzahl	<i>n</i>	Uml/min				

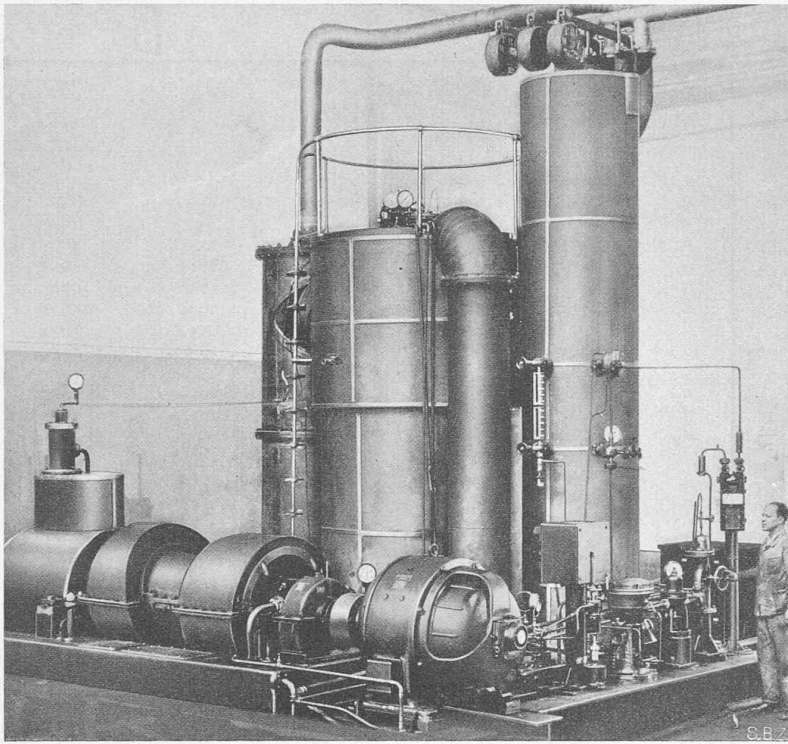


Abb. 3. Veloxkesselanlage für die Zuckerfabrik Bética in Spanien, für eine Dampferzeugung von 32 t/h.

Zusatzleistung auch die durch die Leonardgruppe aufgenommene Leistung bestimmt werden. Zur Auswertung der Versuchsergebnisse der Velox-Turbloc-Anlage wurden die Umformungswirkungsgrade zu Grunde gelegt, die bei der zweiten Versuchsserie ermittelt wurden. Im übrigen gilt für diese Versuche und deren Auswertung sinngemäss das für die erstbeschriebene Anlage gesagte.

In Abb. 4 ist das Schema der Versuchsanordnung dargestellt. Für die Versuche am 32 t-Kessel gilt nur der rechte Teil des Schemas (Messtellen 1 bis 13).

Die Dampfdrücke wurden gemessen mittels geeichter Manometer, die Frischdampftemperaturen mittels geeichter Thermometer. Zur Bestimmung der Fadenkorrektur diente

ein Hilfsthermometer, dessen Kugel in der Mitte des herausragenden Fadens sich befand und gegen Strahlung der Rohrleitung durch Asbestunterlage geschützt wurde. Die Messung des Speisewassers, des Frischdampfes und der Abgasmenge erfolgte mit genormten VDI-Düsen (Regeln für die Durchflussmessung mit genormten Düsen und Blenden, VDI-Verlag 1932). Die Brennöl- und Kondensatmenge wurde mit geeichten Waagen festgestellt. Sämtliches Leckwasser, sowie das Kondensat der zweiten Stufe des Dampfstrahlejektors wurde aufgefangen und durch Gewichts- oder Volumenmessung bestimmt, sodass für die Velox-Turbloc-Versuche eine doppelte Kontrolle der Frischdampfmenge-Messung möglich war. Die abgegebene Leistung wurde gemessen mit Strom- und Spannungswandlern, sowie mit Präzisions-Wattmetern. Sämtliche Instrumente wurden nach den Versuchen dem S. E. V. zur Eichung eingesandt. Vor und nach den Versuchen wurden Brennölproben entnommen, die von der E. M. P. A. auf Heizwert und chemische Zusammensetzung untersucht wurden.

Für den Turbloc-Halblast-Versuch wurde amerikanisches Masut verwendet. Der 32 t-Kessel wurde mit rumänischem Masut betrieben, während für alle übrigen Versuche Gasöl zur Verbrennung gelangte.

Die neuartige Wirkungsweise des Veloxkessels macht eine kurze Erläuterung des Kesselwirkungsgrades notwendig. Wie bereits in der Beschreibung des Veloxkessels (S. B. Z., Bd. 101, S. 151*, 1. April 1933), erwähnt wurde, kann beim Verpuffungsverfahren (Verbrennung bei konstantem Volumen) theoretisch ein Wirkungsgrad von über 100 % erreicht werden, wobei es sich um den Idealfall der Wärmepumpe handelt. Die Abgastemperatur ist kleiner als die Lufttemperatur und es ist möglich, einen bestimmten Betrag der Umgebungswärme nutzbar zu machen. Der Antrieb des Gebläses erfolgt in diesem Falle allein durch die Gasturbine. Bei der Gleichdruckverbrennung steht naturgemäss ein kleineres Druckgefälle in der Gasturbine zur Verfügung, als im Gebläse benötigt wird. Soll trotzdem die notwendige Leistung aufgebracht werden, so müssen die Abgase eine entsprechend hohe Temperatur haben; ist dies nicht der Fall, so muss ständig dem Gebläse Leistung durch den Zusatzmotor zugeführt werden. Diese Leistung muss bei der Ermittlung des Kesselwirkungsgrades als zugeführte Wärmemenge in Rechnung gesetzt werden. Der thermische Wirkungsgrad des Kessels ergibt sich also zu:

$$\eta_{th} = \frac{G_D (i_1 - i_{sp})}{G_B H_u + L 860}$$

Es bedeutet hierin:

G_D = gesamte erzeugte Dampfmenge in kg/h,

G_B = Gewicht des Brennstoffes in kg/h,

i_1 = Wärmeinhalt des Dampfes am Austritt aus dem Kessel (Überhitzer) in kcal/kg,

i_{sp} = Wärmeinhalt des Speisewassers am Eintritt in den Kessel (Vorwärmer) in kcal/kg,

H_u = unterer Heizwert des Brennstoffes kcal/kg,

L = Leistung des Zusatzmotors.

In Wirklichkeit wird vom Kessel nur ein Teil des Betrages L aufgenommen, da die Verluste des Motors

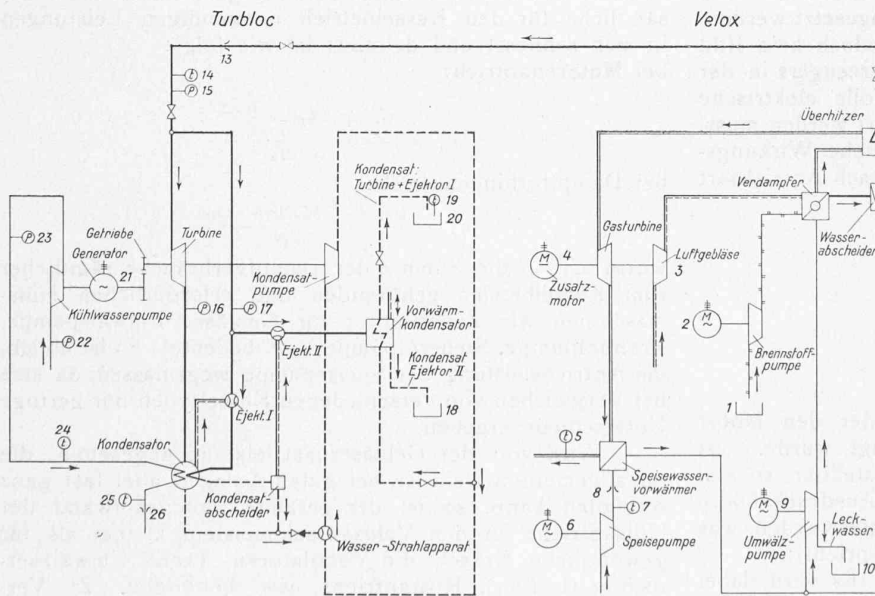


Abb. 4. Schema einer Velox-Turbloc-Anlage. Anordnung der Messtellen.

Legende: 1 Brennstoffmenge, 2 Brennstoffpumpenleistung, 3 Luftmenge, 4 Zusatzmotorleistung, 5 Abgastemperatur, 6 Leistung des Speisepumpenmotors, 7 Speisewassereintrittstemperatur, 8 Speisewassermenge, 9 Umwälzpumpen-Motorleistung, 10 Leckwassermenge, 11 Dampf Temperatur Austritt Velox, 12 Dampfdruck Austritt Velox, 13 Dampfmenge in Frischdampfleitung, 14 Dampf Temperatur Eintritt Turbloc, 15 Dampfdruck Eintritt Turbloc, 16 Abdampfdruck, 17 Dampfdruck Eintritt Ejektor, 18 Kondensatmenge Ejektor II, 19 Kondensattemperatur, 20 Kondensatmenge Turbine und Ejektor I, 21 Generatorleistung, 22 Kühlwasserzulaufdruck, 23 Kühlwasserenddruck, 24 Kühlwassereintrittstemperatur, 25 Kühlwasseraustrittstemperatur, 26 Kühlwassermenge.

TABELLE II.
Messungen am Veloxkessel. Anlage: Bética.

Versuch vom Messpunkt Last	Bezeichnung	Grösse	30. Mai 1933 4 1/1	30. Mai 1933 5 1/2	30. Mai 1933 6 1/3	29. Mai 1933 7 1/2
Barometerstand	p_0	at abs.	0,988	0,988	0,988	0,99
Drehzahl des Gebläses	n_G	T/min	6500	4200	2100	3500
Ansaugtemperatur des Gebläses	t_a	° C.	31,5	29,5	27,0	29,5
Enddruck des Gebläses	p_e	at abs.	2,40	1,465	1,081	1,30
Luftgewicht	G_L	kg/h	38535	20240	8687	14631
Brennstoffgewicht	G_B	kg/h	2285	1010	403,0	989
Abgasgewicht	G_g	kg/h	40820	21250	9090	15620
Luftüberschuss	λ		1,21	1,43	1,54	1,06
Druck vor Gasturbine	p_{vT}	at abs.	2,16	1,37	1,062	1,24
Druck nach Gasturbine	p_{nT}	at abs.	1,155	1,037	0,999	1,02
Temperatur vor Gasturbine	t_{vT}	° C.	489,4	394,2	306,9	455
Temperatur nach Gasturbine	t_{nT}	° C.	389,5	332,4	267,4	392
Drehzahl des Zusatzmotors	n_M	Uml/min	1330	840	410	700
Zusatzleistung	L	kW	127,41	41,9	11,28	12,85
Leistung der Leonardgruppe	L_{LG}	kW	149,85	56,2	22,0	25,7
Leistung der Umwälzpumpe	L_{UP}	kW	} 24,1	} 23,8	} 23,7	} 24,0
Leistung der Steuerölpumpe	L_{St}	kW				
Leistung der Brennstoffpumpe	L_{Hz}	kW				
Leistung der Speisepumpe	L_{Sp}	kW	45,9	33,9	26,9	33,9
Frischdampfmenge aus Speisewasser-Messung	G_{Spw}	kg/h	31405	13492	5695	14270
Frischdampfmenge aus Dampfmessung	G_D	kg/h	31600	13970	5460	13600
Dampfdruck	p_D	at abs.	16,9	17,0	18,13	16,11
Dampftemperatur	t_D	° C.	331,2	314,1	276,7	331,5
Wärmeinhalt pro kg Dampf	i_D	kcal/kg	739,8	731,0	710	740,5
Speisewasser-Eintritt	t_{sp1}	° C.	57	55,7	65,3	57
Speisewasser-Austritt	t_{sp2}	° C.	150,7	154,0	147,8	148,2
Wärmeinhalt des Dampfes	$D \cdot 10^{-6}$	kcal/h	21,55	9,44	3,52	9,3
Brennstoff					Masut 10040	
Unterer Heizwert des Brennstoffes	H_u	kcal/kg				
Wärmeinhalt des Brennstoffes	$B \cdot 10^{-6}$	kcal/h	22,95	10,14	4,045	9,95
Kesselwirkungsgrad (thermisch)	η_{th}	%	93,3	92,9	86,8	93,3
Kesselwirkungsgrad (wirtschaftlich)	η_w	%	91,25	90,8	84,85	92,5
Anlage-Wirkungsgrad	ohne Speisepumpe	η_a	90,85	89,75	81,6	91,3
	mit Speisepumpe	η_a	90,0	88,35	79,4	89,8
Abgastemperatur	t_K	° C.	113,3	98,1	85,45	103,8
Abgasverlust	$J_V \cdot 10^{-6}$	kcal/h	0,833	0,362	0,132	0,288
Abgasverlust $\frac{J_V}{B} \cdot 100$		%	3,6	3,5	3,3	2,89
Strahlung und Unverbranntes ¹⁾	$J_{Str} \cdot 10^{-6}$	kcal/h	0,677	0,374	0,403	0,373
Strahlung und Unverbranntes $\frac{J_{Str}}{B} \cdot 100$		%	2,95	3,68	9,98	3,75

¹⁾ Es ist zu berücksichtigen, dass Kessel und Rohrleitungen nur teilweise verschalt und noch nicht isoliert waren.

und die äusseren Verluste des Gebläses für die Wärmezufuhr verloren gehen. Der Einfachheit halber soll trotzdem die volle kW-Leistung des Zusatzmotors eingesetzt werden.

Der thermische Wirkungsgrad gibt jedoch kein Bild über den wirtschaftlichen Wert des Dampferzeugers in der gesamten Anlage, falls dem Kessel wertvolle elektrische Energie zur Erzeugung von Wärme zugeführt werden muss. Bei Vergleichen ist deshalb der wirtschaftliche Wirkungsgrad in Berücksichtigung zu ziehen, der je nach Antriebsart folgende Form annimmt:

Bei elektrischem Antrieb:

$$\eta_w = \frac{G_D(t_1 - t_{sp}) - \frac{L \cdot 860}{\eta}}{G_B H_u}$$

Bei Dampfturbinenantrieb:

$$\eta_w = \frac{(G_D - G_z)(t_1 - t_{sp})}{G_B H_u}$$

η = der Anlagewirkungsgrad, mit dem der den Motor antreibende elektrische Strom erzeugt wurde. (Ist dieser Anlagewirkungsgrad nicht feststellbar, so soll als genügende Annäherung für den Ausdruck $860/\eta$ ein Wert von 4000 kcal/kWh eingesetzt werden, was einem Wirkungsgrad $\eta = 0,215$ entspricht);

G_z = Dampfverbrauch/h der Zusatzturbine. (Es wird dabei angenommen, dass zum Antrieb der Zusatzturbine der vom Veloxkessel gelieferte Dampf verwendet wird.)

Der wirtschaftliche Wirkungsgrad entspricht dem bei gewöhnlichen Kesseln angegebenen, wobei jedoch ausdrücklich darauf hinzuweisen ist, dass er bereits sämtliche Ventilatorarbeiten enthält, während diese im Wirkungsgrad von normalen Kesseln in der Regel nicht enthalten sind.

Als „vollständigen“ Kesselanlage-Wirkungsgrad kann man schliesslich denjenigen Wirkungsgrad bezeichnen, der sämtliche für den Kesselbetrieb notwendigen Leistungen in sich schliesst und definiert ist wie folgt: bei Motorenantrieb:

$$\eta_a = \frac{G_D(t_1 - t_{sp}) - \frac{860 \cdot \Sigma L}{\eta}}{G_B H_u}$$

bei Dampfturbinenantrieb:

$$\eta_a = \frac{(G_D - \Sigma(G_{H_i}))(t_1 - t_{sp})}{G_B H_u}$$

worin $\Sigma(G_{H_i})$ die Summe der Dampfverbräuche sämtlicher zum Kesselbetrieb gehörenden und erforderlichen Hilfsmaschinen wie Zusatzmotor für Gebläse, Umwälzpumpe, Brennölpumpe, Steuerölpumpe usw. bedeutet. Es ist üblich, die Antriebsleistung der Speisepumpe wegzulassen, da sich bei Vergleichen von verschiedenen Kesseltypen nur geringe Unterschiede ergeben.

Wird von der Gebläsezusatzleistung abgesehen, die im allgemeinen klein ist, bei guten Anlagen aber fast ganz wegfallen kann, so ist der gesamte Arbeitsaufwand der Hilfsantriebe für den Veloxkessel meistens kleiner als für gewöhnliche Kessel, die Ventilatoren, event. Umwälzverdichter (Löffler), Rostantriebe usw. benötigen. Zu Vergleichszwecken wird deshalb immer die Kenntnis des vollständigen Kesselwirkungsgrades notwendig sein.

In den Tabellen I und II sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt, aus denen folgendes entnommen werden kann.

Der 32 t-Veloxkessel hat den Nachweis erbracht, dass ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad von über 90% erreichbar

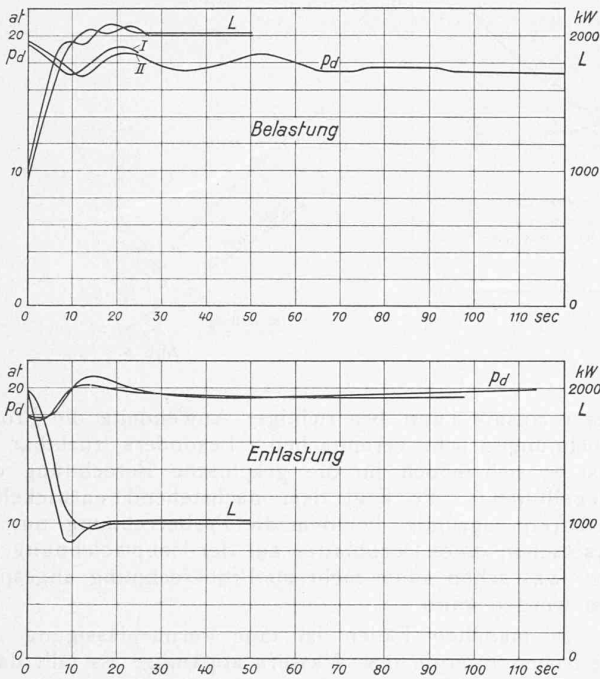


Abb. 5. Diagramme der Regulierversuche.

ist. Beim Versuchskessel wurde dieser Wirkungsgrad nicht erreicht, weil die Gebläse zum Dampferzeuger, der ursprünglich für Gasbetrieb erbaut war, nicht den Wirkungsgrad aufwiesen, der sich mit solchen Gebläsen erreichen lässt. Die Volumenverhältnisse entsprechen infolge anderer Gemischwärmen und Temperaturen nicht den richtigen Betriebsbedingungen und die Gebläse arbeiteten demzufolge nicht mehr im besten Betriebspunkt. Ausserdem wurden die Gebläse durch den Versuch, durch Verdrehen der Schaufeln dem günstigsten Betriebspunkt näher zu kommen, eher verschlechtert als verbessert. Aber auch der 32 t-Kessel dürfte noch weiterhin verbessert werden, sobald mit kleineren Luftüberschüssen gearbeitet wird, sodass sich eine höhere Temperatur vor der Gasturbine einstellt. Dass sich der Brennstoff auch mit kleineren Luftüberschüssen noch vollständig verbrennen lässt, haben bereits Versuche am 10 t-Veloxkessel im Kesselhaus der Firma BBC erwiesen. Bei den vorliegenden Versuchen war ferner der Gegendruck der Gasturbine infolge zu kleiner Rohrweiten und zu grosser Längen der Abgasleitung sehr hoch (bei

Vollast 550 mm WS). Mit höheren Gastemperaturen, z. B. 520° C und einem Kaminwiderstand von nur rd. 50 mm WS würde die Leistung der Gasturbine um ungefähr den Betrag zunehmen, der bei den Versuchen vom Hilfsmotor geliefert werden musste. Damit nähert sich aber der wirtschaftliche Wirkungsgrad dem thermischen, der für Vollast und höheren Luftüberschuss bereits 93,3% betragen hat.

Zur Ermittlung der Heizflächenbelastung sollen folgende wichtigsten Abmessungen der beiden Kessel angeführt werden:

	Versuchs-Kessel	32 t-Kessel
Brennkammer-Strahlungsheizfläche	14 m ²	26,8 m ²
Brennkammer-Berührungsheizfläche	22,4 m ²	42,6 m ²
Brennkammer-Volumen	3,0 m ³	4,88 m ³
Ueberhitzerheizfläche	50 m ²	54,5 m ²
Vorwärmerheizfläche	148 m ²	160 m ²

Mit diesen Angaben ergeben sich die Flächenbelastungen beim Versuchskessel zu rund 470 kg/m²/h und beim 32 t-Kessel zu rund 460 kg/m²/h.

Beim 32 t-Kessel, der zum Versand gebracht werden musste, und dessen Versuche deshalb nicht ganz zu Ende geführt werden konnten, wurde die höchste Belastung nicht mehr festgestellt. Die höchste Belastung eines Veloxkessels wird im wesentlichen bestimmt durch die höchstmögliche Drehzahl des Gebläses oder der Gasturbine und durch den kleinstmöglichen Luftüberschuss. Es ist demzufolge anzunehmen, dass die max. Dampfleistung dieses Kessels bei etwa 35 t/h gelegen ist, sodass die max. Heizflächenleistung des eigentlichen Dampferzeugers etwa 505 kg/m²/h, die des gesamten Kessels, also einschliesslich Ueberhitzer und Vorwärmer, etwa 125 kg/m²/h betragen dürfte.

Die erste Versuchsreihe wurde ergänzt durch eine Anzahl von Regulierversuchen. Der Turbloc wurde das eine Mal von Halblast auf Vollast, das andere Mal von Vollast auf Halblast gebracht. Diese Leistungsänderungen wurden in der Zeit von rd. 15 sec durchgeführt. Ein Abblasen von Dampf ins Freie fand nicht statt. Abb. 5 zeigt die rasche Anpassungsmöglichkeit des Kessels an veränderte Betriebsverhältnisse.

Aus der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse kann das Schlussresultat entnommen werden, das als günstig zu bezeichnen ist. Insbesondere fällt der hohe wirtschaftliche Wirkungsgrad auf, der erst bei kleinen Belastungen abzusinken beginnt. Der thermische Wirkungsgrad erreicht beim 32 t-Kessel maximal 93,3% und beim Versuchskessel 93,75%. Als Folge des hohen Kesselwirkungsgrades ist auch der hohe thermische Wirkungsgrad für eine Dampf-Kraftanlage von den gegebenen Verhältnissen zu buchen.

Graphische Berechnung von Wasserspiegel-Linien.

Von Ing. JOSEF FRANK, Komotau (Böhmen).

Allgemeines.

Für die Berechnung von Wasserspiegellinien kann, sofern es sich um stetige Fliessformen handelt, der Satz von Bernoulli verwendet werden, der mit den Bezeichnungen der Abb. 1 geschrieben werden kann:

$$t_0 + iL - t_u = h_r + \alpha \frac{v_u^2 - v_0^2}{2g}$$

Die linke Gleichungsseite stellt das absolute Wasserspiegel-Gefälle h dar. Es ist also

$$h = h_r + \alpha \frac{v_u^2 - v_0^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

Das zweite Glied rechts ist das Geschwindigkeits-Gefälle und berücksichtigt die Aenderung der kinetischen Energie des Wassers.

$$h_g = \alpha \frac{v_u^2 - v_0^2}{2g}$$

Gl. (1) kann also auch geschrieben werden:

$$h = h_r + h_g$$

Der Wert α dient als St. Venant'scher Beiwert zur Berücksichtigung der ungleichmässigen Geschwindigkeits-

Verteilung im Querschnitt. In Uebereinstimmung mit zahlreichen Verfassern¹⁾ wird er, da nicht genau bekannt und in verhältnismässig weiten Grenzen schwankend, im nachstehenden zunächst gleich 1 gesetzt.

Bestimmung des Reibungsgliedes h_r .

Der Bestimmung des Reibungsgefälles J wird die allgemeine Gleichung zugrundegelegt:

$$v = k R^m J^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

worin v die Wassergeschwindigkeit, R der Profilradius und k ein von der Bettbeschaffenheit abhängiger Geschwindigkeitsbeiwert ist. Der Gl. (2) entspricht ein grosser Teil der gebräuchlichen älteren und neueren Fliessformeln, dabei ist nach Chézy $m = 0,5$, nach Forchheimer $= 0,7$, nach Manning-Strickler $= 2/3$ usw.

Aus Gl. (2) ergibt sich das Reibungsgefälle zu

$$J = \frac{v^2}{k^2 R^{2m}} \dots \dots \dots (3)$$

¹⁾ Z. B. Böss, Berechnung der Wasserspiegellage beim Wechsel des Fliesszustandes, Berlin 1919.