

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 69/70 (1917)
Heft: 17

Artikel: Dampferzeugung durch Elektrizität mit Wärme-Aufspeicherung
Autor: Höhn, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-33864>

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: 13.03.2025

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

INHALT: Dampferzeugung durch Elektrizität mit Wärme-Aufspeicherung. — Appenzell-A.-Rhodisches Staats- und Kantonalbank-Gebäude Herisau. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1916. — Berechnung statisch unbestimmter Eisenbetonkonstruktionen mit Berücksichtigung der Torsionsspannungen. — Das projektierte Heidsee-Werk, eine Ergänzungs-Anlage zum Albula-Kraftwerk der Stadt Zürich. — Zum Schutz des Ingenieurtitels in Oesterreich. — Neueres über Feuerungsanlagen mit

künstlichem Zug. — Miscellanea: Neue Lokomotiven für die französische Südbahn, Zur Abwehr des Plakat-Unwesens, Der Sperrdamm von Hueve im Irak, Klappbrücke über den Trollhätta-Kanal bei Venersborg, Oesterreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein, St. Martinsturm in Chur. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafeln 29 bis 30: Appenzell A.-R. Staats- u. Kantonalbank-Gebäude Herisau.

Band 69.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 17.

Dampferzeugung durch Elektrizität mit Wärme-Aufspeicherung.

Von Obergeringieur E. Höhn, Zürich.

Im Auftrage der Direktion einer Fabrik, die neben Dampfbetrieb (zu Wärmezwecken und als Kraftreserve) auch eine namhafte Wasserkraft besitzt, machte der schweizerische Verein von Dampfkessel-Besitzern im Oktober 1916 Versuche an einem Kessel, bei dem der Dampf vermittelt elektrischer Heizung erzeugt wird. Es handelte sich um einen horizontal gelagerten Zylinderkessel mit flachen Böden, 38 stählernen Siederöhrn von 27/32 mm Durchmesser und 1250 mm freier Länge (siehe Abb. 1). Die wasserberührte,

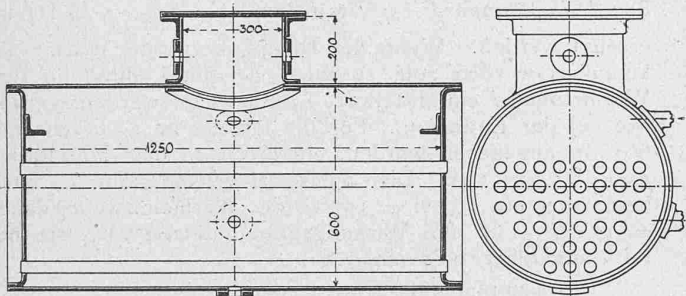


Abb. 1. Elektrisch geheizter Dampfkessel.

effektive Heizfläche betrug am Versuchstag bloss 34 Röhren mit 4,25 m², der zulässige Dampfdruck 2,5 at. Die elektrische Ausrüstung bestand aus rund 24 m langen, durch Glasperlen isolierten Widerstands-Spiralen aus „Nichrom“-Drähten von 0,9 mm Durchmesser und einem spezifischen Widerstand von 1 bis 1,1 Ω, wobei jedes Siederrohr eine Spirale enthielt. Die Siederöhrn waren in 3 Gruppen von je 18, 9 und 7 Röhren angeordnet, die beliebig zugeschaltet werden konnten.

Die Versuche führten zu folgenden Ergebnissen:

	I	II
Dauer des Versuches h	7,65	7,0
Spannung des Gleichstroms fast konstant . . . V	225,8	225,6
Stromstärke im Mittel (min. 92; max. 200) . . . A	142,4	148,8
Elektr. Leistung im Mittel (min. 20,7; max. 45,0) kW	32,2	33,6
Mittlerer Kesseldruck at	1,7	2
Mittlere Temperatur °C	11	10
Erzeugungswärme pro kg Dampf cal	640	642
Verdampft pro h brutto kg	38,8	40,7
> > h (Normaldampf) >	38,8	40,9
> > h und m ² effektive Heizfläche bei maximaler Belastung . . . >	12,9	11,8*)
> > h und m ² effektive Heizfläche bei minimaler Belastung . . . >	13,9	13,1*)
> > h und m ² Heizfläche im Mittel . . . >	13,5	12,8*)
Von 1 kWh erzeugter Dampf brutto >	1,205	1,212*)
Von 1 kWh verwandeltes Wasser von 0° in Dampf von 100° (normal) >	1,205	1,217*)
Nutzeffekte:		
Von 1 kWh erzeugte Wärme (effektiv) cal	771,2	778
Von 1 kWh > > (theoretisch) >	859	859
Nutzeffekt der Verdampfung %	89,8	90,5
Verluste %	10,2	9,5

*) Sowohl die pro kWh, als auch die pro m² Heizfläche und Stunde erzeugte Dampfmenge ist unter Berücksichtigung der bei den verschiedenen Stufen jeweils abgegebenen effektiven elektrischen Leistung, bzw. zugeschalteten Heizfläche ausgerechnet worden, nicht aus Mittelwerten.

Die Verluste bestehen jedenfalls weitaus zum grössten Teil aus Wärmeverlusten infolge von Leitung und Strahlung des Kessels und vielleicht auch der elektrischen Ausrüstung. Als normale Heizflächenbelastung dürfte 12 kg/m² angenommen werden. Bemerkenswert ist die Steigerung der Dampfproduktion pro m² Heizfläche mit der Abnahme der zugeschalteten Heizfläche; offenbar wird die Wärmeabgabe von der Heizfläche an das Wasser grösser, wenn dieses weniger von Dampfblasen durchwirbelt ist.

Wie man schon von der Theorie her weiss, verschlingt die Wärmeerzeugung vermittelt elektrischen Stroms sehr viel Energie; dass praktisch für die Dampferzeugung, für die wir also 1,2 kWh pro kg Dampf aufwenden müssen, ein Nutzeffekt von 90% erreicht werden kann, ist noch ziemlich günstig. Dabei war die Wärme-Isolierung nicht als unübertrefflich zu bezeichnen, sondern noch verbesserungsfähig.

Wer also einen Dampfkessel elektrisch heizen will, muss über viel und billige Kraft verfügen. Rechnen wir mit einem Kohlenpreis von 50 Fr./t und einer sieben- bis achtfachen Verdampfungsziffer bei der Dampferzeugung vermittelt Kohlen, so darf der zum gleichen Zweck verwendete elektrische Strom nicht mehr als 1,2 · 5 : 7 = 0,85 oder 1,2 · 5 : 8 = 0,75 Rp./kWh kosten, soll die Elektrizität mit fossilem Brennstoff in Wettbewerb treten. Jetzt, während des Krieges, da wir mehr bezahlen, und in Berggegenden (Davos, St. Moritz, Arosa), wo der Brennstoff zu jeder Zeit ungefähr das andert-halb-fache des in der Tiefebene bezahlten Preises gilt, können die Ansätze entsprechend höher genommen werden.

Tagsüber wird es kaum möglich sein, so billigen Strom abzugeben, wohl aber dürfte die Sache ein anderes Gesicht bekommen, sobald wir *Abfallkraft zur Dampferzeugung verwenden; dann müssten wir die Wärme aber auch aufspeichern können*. Das ist jedoch möglich, wenn wir Wasser erhitzen und, nach Bedarf, demselben durch Selbstverdampfung wieder Wärme entziehen, nach Art einer feuerlosen Lokomotive.

Der Verfasser hat daher im folgenden die Aufgabe zu lösen gesucht, was mit 100 PS Abfallkraft, 12 Stunden lang in dieser Weise in Wärme umgewandelt und aufgespeichert, erreicht werden könnte, und wie gross die Speicher-Anlage sein müsste. Dabei wird vorsichtshalber ein geringerer Wirkungsgrad für die Verdampfung im Kessel vorausgesetzt, sobald es sich um höhere Wassertemperaturen, bzw. Dampfdrücke handelt, als im Versuch (1,7 bis 2 at): beispielsweise 87% für 10 at. Im übrigen ist der Wirkungsgrad des Kessels an sich von der Reinheit des Speisewassers in erheblichem Masse abhängig. Kesselsteinbildende Speisewässer müssten vermieden werden; am besten würden sich Kondenswasser eignen, wie solche an Orten, wo Speicher-Anlagen in Frage kommen, jedenfalls meistens zur Verfügung stehen.

Bezeichnet E die verfügbare Energie in kWh, A das Wärmeäquivalent einer kWh, bekanntlich = 859 cal, und η den Nutzeffekt der Verdampfung, so ist die an den Dampf übergegangene Wärme W = η · E · A.

Ist t die Speisewassertemperatur und i der Wärmeinhalt des gesättigten Dampfes, so entspricht (i - t) seiner Erzeugungswärme und wir erhalten aus der Wärmemenge W die Dampfmenge in kg:

$$G = \eta \frac{EA}{i-t} \dots \dots \dots (1)$$

Es bedeute im weitern:

Q den im Speicher vorhandene Wasservorrat in kg, vor der Entladung;

- D die durch Selbstverdampfung dem Speicher während der Entladung entnommene Dampfmenge in kg ;
- t_3 die Temperatur des Speisewassers, w_3 sein Wärmeinhalt (bekanntlich $\approx t_3$);
- t_2 die Temperatur des Wassers, bezw. des gesättigten Dampfes im Speicher beim Druck p_2 nach dessen Entladung, w_2 den Wärmeinhalt des Wassers, i_2 jenen des Dampfes;
- t_1 die Temperatur des Wassers, bezw. des gesättigten Dampfes im Speicher beim Druck p_1 nach der Ladung, w_1 den Wärmeinhalt des Wassers, i_1 jenen des Dampfes.

Nach der Entladung ist die im Speicher noch vorhandene Wassermenge $= Q - D$. Soll wieder geladen werden, so ist dieser Vorrat zu erwärmen von t_2 auf t_1 ; die Dampfmenge D muss durch ebensoviel Speisewasser der Temperatur t_3 ersetzt und ebenfalls auf t_1 angewärmt werden. Die Ladungswärme beträgt:

$$EA \eta = (Q - D)(w_1 - w_2) + D(w_1 - w_3) = Q(w_1 - w_2) + D(w_3 - w_3) \quad (2)$$

In dieser Gleichung sind Q und D unbekannt.

Einem Kilogramm Wasser vom Wärmeinhalt w_1 kann die Dampfmenge x entzogen werden, wenn der Druck von p_1 auf p_2 , der Wärmeinhalt des Wassers von w_1 auf w_3 sinkt. Diese Dampfmenge besitzt anfänglich den Wärmeinhalt i_1 , schliesslich den Wärmeinhalt i_2 . Der wahre Wärmeinhalt beträgt

$$\int_{x_1}^{x_2} i dx = x i_m \quad (3)$$

Der Ausdruck rechts gilt, wenn für i_m ein Wert eingesetzt wird, der dem wahren Mittel zwischen i_1 und i_2 entspricht. Die Dampfmenge nimmt zu, während der Druck abnimmt; dx wächst also im gleichen Sinne wie $-dp$. Zeichnen wir die Wärmeinhalte als Ordinaten über je 1 kg Dampf der verschiedenen durchlaufenen Druckstufen als Abszissen auf, so finden wir i_m als mittlere Ordinate dieser Fläche; letztere ist durch Abbildung 2 dargestellt, und zwar beispielsweise für 11 at abs. als obere und 2,5 als untere Druck.

Um die Fläche nicht aufzeichnen zu müssen, ermitteln wir i_m rechnerisch aus $\Sigma(i) : n$, wobei unter n die Zahl der Ordinaten (d. h. Wärmeinhalte) zu verstehen ist, aus der $\Sigma(i)$ gebildet wird. Wir begehen jedoch keinen grossen Fehler, wenn wir diese Rechnungsweise umgehen, und überschlägig aus der Tabelle oder dem Entropiediagramm den zum Mittelwert $p_m = (p_1 + p_2) : 2$ gehörigen Wärmeinhalt i_m unmittelbar ablesen. So ist z. B. der Wärmeinhalt des Mitteldruckes 6,75 at abs. von 11 und 2,5 at abs. fast genau gleich dem wahren Wert $\Sigma(i) : n = 661 \text{ cal}$.

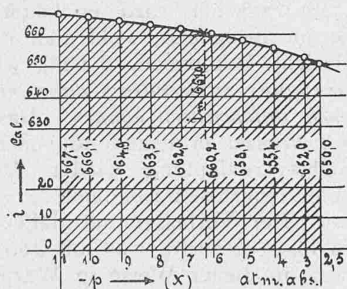


Abb. 2. Bestimmung des mittleren Wärmeinhalts i_m .

Nachdem das kg Wasser durch Selbstverdampfung von t_1 auf t_2 gesunken ist, bleibt noch übrig

$$w_1 - x i_m = w_2 (1 - x) \quad (4)$$

Gleichung (4) stellt die Dampfmenge dar, die 1 kg Wasser von der Wärme t_1 bei seiner Abkühlung durch Selbstverdampfung bis t_2 abgeben kann.

Dem ganzen Speichervorrat Q kann durch Selbstverdampfung die Dampfmenge

$$D = Qx \quad (5)$$

entnommen werden. Gleichung (2) kann geschrieben werden:

$$EA \eta = Q(w_1 - w_2) + Qx(w_2 - w_3) = Q[w_1 - w_2 + x(w_2 - w_3)]$$

und daraus der Wasservorrat des Speichers in kg

$$Q = \frac{EA \eta}{w_1 - w_2 + x(w_2 - w_3)} \quad (6)$$

Aus dem Wassergewicht findet sich das Wasservolumen durch Division durch die Dichte. Da der Speicher auch einen Dampfraum haben muss, so ist hierfür 10% zuzuschlagen.

$$V = 1,1 \frac{Q}{\rho} \quad (7)$$

Zahlenbeispiel:

100 $PS_{eff.} = 73,6 \text{ kW}$ seien 12 Stunden lang verfügbar, also 1200 PS_h oder 883 kWh . Man wünscht Wärme zu Heizungszwecken, z. B. für Gebäudeheizung; der Heizungsdruck betrage 1,5 at . a) Wie gross wird der Kessel und b) wie gross der Wärmespeicher? c) Wie viel Wärme können wir zurückgewinnen?

Als obere Druck nehmen wir, um mit den Speicherkosten nicht zu hoch zu kommen, 10 at an.

a) **Kesselgrösse.** Konstruktion und elektrische Ausrüstung seien gleich wie beim Objekt des Verdampfungsversuchs (siehe Abb. 1 und die Beschreibung S. 183). Mit 883 kWh können $EA \eta$ Wärme und $G = \frac{EA}{i - t} \eta \text{ kg}$ Dampf erzeugt werden. Wenn der Dampf, bezw. die Wärme akkumuliert werden soll, so muss bei der Ladung für den Wärmeinhalt i ein Mittelwert i_m eingesetzt werden, gerade wie bei der Entladung. Für die letztere ist i_m bereits mit 661 cal angegeben worden, entsprechend dem Mitteldruck $p_m = 6,75 \text{ at}$ abs. Die Speisewassertemperatur t_1 , auch bezeichnet mit t_3 , sei = 15° C, der Wärmeinhalt w_3 daher = 15 cal . Für den Wirkungsgrad η setzen wir, wie bereits angeführt, 0,87 ein.

Die Dampfmenge G wird somit

$0,87 \cdot 883 \cdot 859 : (661 - 15) = 1020 \text{ kg}$ total oder 85 kg/h . Die Kesselheizfläche ist an die Produktion von 12 kg/m^2 gebunden (laut Versuch 11,8 bis 13,9); sie wird somit 7,1 oder aufgerundet 7,5 m^2 . Dies entspricht einem Siederohr-Kessel von ungefähr folgenden Abmessungen: 800 mm Durchmesser und 1600 mm Länge zwischen den Rohrwänden, versehen mit 47 Siederöhren von 27/32 mm Durchmesser. Als Material für die letztern wäre es vorteilhaft, hartgezogenes Messing zu verwenden, wegen des leichteren Wärmedurchgangs und zur Verhinderung von Induktionswirkungen bei Verwendung von Wechselstrom. Jedes Rohr würde eine Widerstand-Spirale aus Nichrom-Draht von 0,9 mm Drahtdicke und ungefähr 31 m Länge in sich aufnehmen. Das Gewicht des Kessels allein mit Dom würde etwa 600 kg , einschliesslich der rund 150 kg wiegenden Messingröhren betragen.

Es können zwei Arten der Speicherladung in Frage kommen: Unmittelbare Anwärmung des Speisewassers im Kessel auf dem Zirkulationsweg, oder aber Erwärmung vermittels Dampf. Wie sich die Kesselgrösse im erstern Falle bestimmt, müsste erst durch einen Versuch ermittelt werden; wahrscheinlich werden die Wirkungsgrad-Verhältnisse, wegen Abwesenheit von Dampfblasen, eher günstiger als bei Fall II, auf den sich obige Rechnung bezieht.

b) **Speichergrösse.** Sie wird nach den Formeln (6) und (7) berechnet; dabei sind folgende Werte einzusetzen:

	Speisewasser	Vor der Ladung	Nach der Ladung
Wärmeinhalt des Wassers . . cal	$w_3 = 15$	$w_2 = 127,7$	$w_1 = 185,8$
entsprechend d. Temperaturen °C	$t_3 = 15$	$t_2 = 126,7$	$t_1 = 183,1$
und den Drücken . . . at abs.	$p_3 = 1$	$p_2 = 2,5$	$p_1 = 11$

Der mittlere Wärmeinhalt i_m des Dampfes beträgt nach früherem 661 cal .

Die einem kg Wasser von 183,1° bis 126,7° (10 bis 1,5 at) entnehmbare Dampfmenge ist nach Formel (4):

$$x = \frac{185,8 - 127,7}{661 - 127,7} = 0,109 = 10,9\%$$

