

CHEMIE-INGENIEUR-TECHNIK**Zeitschrift für alle Gebiete der Chemischen Technik und des Chemie-Ingenieurwesens**

in Fortführung der Zeitschrift „Angewandte Chemie“ Teil B

(früher „Die Chemische Technik“)

und der „Beihefte Verfahrenstechnik zur VDI-Zeitschrift“

Jahrgang 1953

Nr. 12

Seite 715-717

Verlag Chemie, GmbH., Weinheim/Bergstraße

Betriebsergebnisse eines Berieselungsverdampfers

Von Dr. Chem. ANAST. KONSTAS, Athen-Griechenland

Es wird eine kleine Verdampfungsanlage beschrieben, bei der der zu konzentrierende Sirup auf Kupferrohren berieselt wird, welche durch Warmwasserumlauf erwärmt werden. Dabei wurden die Wärmedurchgangszahlen experimentell gefunden und daraus die Wärmeübergangszahlen für Sirup verschiedener Zähigkeit errechnet.

Zur Herstellung von Korinthen-Sirup werden die Korinthen mit SO_2 -haltigem Wasser in Diffusionsbatterien aus Holzbottichen kalt extrahiert. Der Sirup (spez. Gew. rd. $1,16 \text{ g/cm}^3$) wird mit Kalkmilch neutralisiert, mit Aktivkohle gebleicht, filtriert und unter Vakuum bis zu einem spez. Gew. von $1,41 \text{ g/cm}^3$ eingedickt. Im vorliegenden Falle handelte es sich um eine kleine Anlage ohne Dampfkessel, welche an Stelle eines Vakuumverdampfers einen Berieselungsverdampfer besaß.

Die Verdampferanlage bestand aus folgenden Teilen, Bild 1: *a* Heißwasserkessel von $2,4 \text{ m}^2$ Heizfläche in üblicher Bauart für Warmwasser-Heizungsanlagen mit Rohölbrenner und Thermostat; *b* Nachwärmer für das Wasser mit den Heizgasen mit einer Heizfläche von 3 m^2 ; *c* Verdampfer von $10,6 \text{ m}^2$, bestehend aus 2 Rohrbündeln

(jedes Rohrbündel bestand aus 14 horizontalen Kupferrohren von 50 mm ä. Dmr. und $2,40 \text{ m}$ Länge, welche an zwei vertikale Kupfer-Rohre von 100 mm ä. Dmr. angeschweißt waren. Das heiße Wasser trat in die Rohrbündel oben ein und von der entgegengesetzten Seite unten aus); *d* Zirkulationspumpe zum Zwangsumlauf des Warmwassers; *e* Verdampferraum aus Ziegelmauerwerk, innen sorgfältig mit Zementmörtel geputzt und mit Hartasphalt angestrichen (innere Maße: $3,20 \times 0,75 \times 2,60 \text{ m}$. Der untere Raum diente bis zur Tiefe von $0,60 \text{ m}$ als Sirup-Zisterne. Bei *g* Öffnung mit Drahtsieb von $0,30 \times 0,30 \text{ m}$ für den Eintritt der Frischluft; bei *h* kleiner Ventilator zum Abzug der Brüden. Die örtlichen Verhältnisse erlaubten nicht die Aufstellung eines Kamines mit natürlichem Zug); *f* Zahnradpumpe aus Bronze (Leistung von rd. 2000 l/h) zum Umlauf des zu konzentrierenden Sirups.

Es ist bei einigen Chargen möglich geworden, durch sorgfältige Überwachung und Ermittlung der Temperaturen des Warmwassers am Ein- und Austritt sowie der Luft- und Siruptemperatur die Wärmedurchgangszahlen k während der Verdampfung zu errechnen. Dabei wurden im Durchschnitt folgende Werte gefunden, Tabelle 2.

Tabelle 2.

Ermittelte Wärmedurchgangszahlen

k [kcal/m ² h °C]	Dichte
340	1,160
265	1,262
200	1,383

In der Literatur kann man keine genauen Angaben finden, um aus der Formel

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}$$

den Wert von k für den vorliegenden Fall zu berechnen.

Im Inneren der Rohre strömt das Wasser mit einer sehr kleinen Geschwindigkeit (0,44 m/s beim Betrieb der Umlaufpumpe). In einem solchen Bereich sind die bekannten Gleichungen für α_1 nicht mehr gültig. Außen haben wir eine Berieselung mit Sirup von wechselnder Konzentration. Die Wärmeübergangszahl k soll stark von der Zähigkeit abhängen. Es wurden die kinematischen Zähigkeiten ν (in cSt) von Korinthen-Sirup verschiedenen spez. Gewichts bei 60°, 65° und 70° festgestellt, Tab. 3.

Tabelle 3. Kinematische Zähigkeit des Sirups

Spez. Gewicht g/cm ³	Zähigkeit in cSt		
	bei 60 °C	bei 65 °C	bei 70 °C
1,160	1,1	—	0,9
1,262	3,7	3,2	2,8
1,383	19,0	—	13,5

Die Wärmeübergangszahl ändert sich im Falle der Berieselung proportional zu $Re^{-0,5}$. Da die Reynolds-Zahl umgekehrt proportional zu ν ist, soll α_2 proportional zu $1/\nu^{0,5}$ sein, es wäre also zu erwarten, daß der Wert von α_2 während der Verdampfung so verläuft, wie Tab. 4 zeigt.

Auf Grund der experimentell gefundenen Werte für k bei obigen Konzentrationen lassen sich folgende abgerundete Werte für α_1 und α_2 berechnen. (Der Quotient δ/λ wurde dabei vernachlässigt).

Wasser im Inneren der Rohre	α_1	= 520 kcal/m ² h°C
Berieselung mit Sirup von 1,1 cSt	α_2	= 1050 kcal/m ² h°C
Berieselung mit Sirup von 3,2 cSt	α_2	= 620 kcal/m ² h°C
Berieselung mit Sirup von 13,5 cSt	α_2	= 300 kcal/m ² h°C

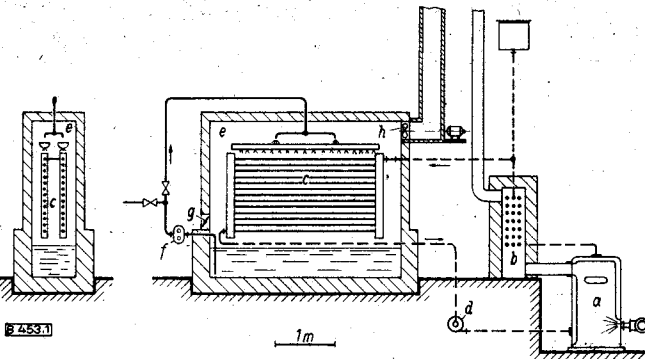


Bild 1. Verdampferanlage

a Heißwasserkessel, b Nachwärmer, c Berieselungsverdampfer, d Zirkulationspumpe, e Verdampferraum, f Zahnradpumpe, g Lufteintritt, h Luftaustritt

Der gebleichte Sirup wurde in die Zisterne eingepumpt und durch die Zahnradpumpe im Umlauf über zwei Rinnen mit durchlöchernten Böden auf die wasserbeheizten Rohre des Verdampfers aufgesprüht. Die Temperatur des Warmwassers wurde durch den Thermostat auf rd. 90 bis 95°C gebracht. Jede Charge bestand aus 1500 kg Sirup mit einem spez. Gewicht von 1,15 bis 1,16 g/cm³. Die Temperatur des Sirups stieg während der ersten Stunde auf rd. 60°C, um dann langsam bis zu rd. 70°C am Ende der Konzentrierung zu steigen.

Die später angeführten Daten sind auf ein spez. Gew. von 1,16 g/cm³ und 60°C zu Beginn der Verdampfung bezogen. Die Temperatur des Verdampferraums war 3 bis 6° niedriger als die des Sirups. Durch Änderung der Drehzahl des Ventilators und Messungen mit einem Windmesser wurde die durch g strömende Luftmenge ermittelt. Die Drehzahl der Wasserumlaufpumpe war konstant, und ihre Leistung betrug 5 bis 6 m³/h. Um den Einfluß des Wasserumlaufes auf die Leistung des Verdampfers festzustellen, wurden einige Chargen mit ausgeschalteter Pumpe eingedampft, wobei der Umlauf des Wassers nur durch den Temperaturunterschied stattfand. In Tab. 1 sind die Ergebnisse von mehreren Chargen mit und ohne Umlaufpumpe im Durchschnitt dargestellt. Die Umgebungstemperatur schwankte während der Ausführung zwischen 10° und 20°C. Diese Schwankungen übten keinen merklichen Einfluß auf die Leistung des Verdampfers aus.

Es wurden verschiedene Versuche ausgeführt, um die Leistung durch Änderung der Drehzahl des Ventilators zu erhöhen. Dabei wurde gefunden, daß die besten Verhältnisse bei einem Durchsatz von 500 bis 600 m³ Luft/h lagen.

Tabelle 1. Leistung des Verdampfers mit und ohne Umlaufpumpe

Zeit h	Mit Umlaufpumpe			Ohne Umlaufpumpe		
	Temperatur des Sirups °C	Spez. Gewicht [g/cm ³] bei 15 °C	Verdampfte Wassermenge in kg/h	Temperatur des Sirups °C	Spez. Gewicht [g/cm ³] bei 15 °C	Verdampfte Wassermenge in kg/h
0	60	1,160	0	60	1,160	0
1	61	1,175	120	60	1,171	87
2	62	1,192	111	61	1,182	83
3	62	1,204	103	61	1,193	79
4	63	1,224	96	62	1,204	75
5	64	1,245	90	62	1,219	70
6	65	1,267	81	63	1,229	66
7	66	1,296	74	63	1,243	62
8	67	1,319	65	64	1,251	57
9	68	1,346	60	64	1,267	53
10	69	1,383	55	65	1,285	49
11	70	1,409	50	65	1,308	45
12			905	66	1,327	42
13				66	1,350	38
14				67	1,369	36
15				68	1,390	34
16				69	1,412	32

Tabelle 4.

Wärmeübergangszahlen während der
Verdampfung

Spez. Gewicht g/cm ³	Temp. °C	k [kcal/m ² h °C]
Anfang 1,160	60	$a_2 \cdot \sqrt{\frac{a_2}{3,2}} = a_2 \cdot 0,59$
Mitte 1,262	65	
Ende 1,383	70	$a_2 \cdot \sqrt{\frac{1,1}{13,5}} = a_2 \cdot 0,29$

Aus diesen Werten werden die in Tab. 5 verzeichneten Werte für k berechnet.

Die Zahlen stimmen befriedigend überein.

Der Brennstoffverbrauch war ebenfalls sehr günstig. Mit 1 kg Rohöl (Dieselöl) wurden praktisch rd.

Tabelle 5.

Berechnete und gefundene Werte für k

Spez. Gewicht [g/cm ³]	k (ber.)	k (exp.)
1,160	347	340
1,262	284	265
1,383	190	200

8,3 kg Wasser verdampft. Wenn man die Wärmemenge, die für die Erwärmung des Sirups von 15 °C auf 70 °C verbraucht wird, berücksichtigt, so findet man, daß tatsächlich mit 1 kg Öl 8,7 kg Wasser verdampft wurden.

Trotz der ziemlich langen Dauer der Verdampfung zeigte das Konzentrat in Farbe, Geschmack und Geruch keinen Unterschied vom Sirup, welcher unter Vakuum verdampft wurde.

Eingeg. 29. Mai 1953 [B 453]