

Betriebserfahrungen mit einem Fallstrom-Plattenverdampfer

Operating experience with a falling-film plate evaporator

Herbert Licha, Boris Morgenroth und Günter Witte

Seit der Kampagne 1992 wird in der Zuckerfabrik Waghäusel der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt ein nach dem Fallstromprinzip arbeitender Plattenverdampfer der Firma Balcke-Dürr AG mit einer Heizfläche von 1500 m² im Dicksaftbereich eingesetzt. Die Heizkammer eines Umlaufverdampfers wurde dazu entfernt und ein Plattenverdampfermodul unter weitgehender Beibehaltung der peripheren Rohrleitungen in den Druckbehälter integriert. Eine gegenüber der Kampagne 1992 wesentlich verbesserte Saftverteilung ermöglichte 1993 einen stabilen Betrieb bei gleichmäßiger Saftbenetzung der Heizfläche. Das Wärmedurchgangsverhalten und die Farbbildung wurden im Vergleich zu vorgeschalteten Verdampfern untersucht. Die Auswirkungen des neuen Verdampfers auf das Gesamtdruckgefälle in der Verdampfanlage wurde ebenfalls betrachtet.

Since the 1992 campaign, the evaporator station of the Waghäusel sugar factory (Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt) has been equipped with a falling-film plate evaporator in the thick juice stage. This evaporator which has a heating surface of 1500 m², was supplied by Balcke-Dürr AG. In order to install it, the steam chamber of a natural recirculating (Robert) evaporator was removed and a plate evaporator module integrated in the pressure tank, it being possible to retain the peripheral piping to a large extent. In 1993 the significantly improved juice distribution in comparison with the campaign of 1992, permitted steady operation with the heating surface being uniformly wetted with juice. The heat transfer behaviour and the colour formation were studied and compared with the evaporators connected in series. The effects of the new evaporator on the overall pressure difference in the evaporator station were also observed.

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat die Plattenverdampfertechnologie den Weg zu Industrieenanwendungen hoher Leistung gefunden. Der Einsatz des bei der Eindampfung temperaturempfindlicher Produkte (Milch- und Fruchtsaftindustrie) bereits längere Zeit bekannten Verdampfertyps wurde in der Zuckerindustrie durch die Entwicklung größerer Einheiten attraktiv.

Erfahrungen mit Steigstrom-Plattenverdampfern wurden in der Zuckerindustrie seit 1987 gesammelt [1]. Dagegen wurde ein Fallstrom-Plattenverdampfer im technischen Maßstab (Heizfläche 1500 m²) erst im Jahre 1992 in der Zuckerfabrik Waghäusel der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt eingesetzt. Die Installation erfolgte in der letzten Stufe der 5stufigen Verdampfanlage, d.h. im Bereich hoher Trockensubstanzgehalte und damit, bedingt durch die hohe Viskosität, vergleichsweise niedriger Wärmedurchgangskoeffizienten. Durch den tendenziell höheren k -Wert von Plattenverdampfern im Vergleich mit Umlaufverdampfern und konventionellen Fallstromverdampfern [1–3, 5–8] kann die Heizfläche auch im Bereich hoher Trockensubstanzgehalte deutlich verringert werden. Entsprechende Untersuchungen an einer parallel zur Einführung im großtechnischen Maßstab entwickelten Versuchsanlage (Inbetriebnahme 1993) an der Technischen Universität Berlin sollen detaillierte Kenntnisse über das Betriebsverhalten des Fallstrom-Plattenverdampfers ermöglichen [3].

Forderungen an diese Verdampfertechnik gegenüber herkömmlichen Umlauf- und Durchlaufverdampfern sind ein besseres Wärmeübertragungsverhalten, kürzere Saftaufenthaltszeiten und eine Konstruktion, die nur geringen Wartungsaufwand erfordert.

2 Konstruktionsmerkmale und Integrationsfähigkeit

Der Fallstrom-Plattenverdampfer kann als Synthese aus Platten- und Röhrenwärmeübertragertechnik (Hybridbauweise) bezeichnet werden. Der Verdampfer ist aus geprägten rollnahtverschweißten Edelstahlblechen aufgebaut, so daß die kostenintensive Wartung von Dichtungen entfällt. Durch die spezielle Prägung werden elliptische Röhren gebildet, die senkrecht zu den wellenförmigen

1 Introduction

Over the past few years plate evaporator technology has paved the way to high capacity industrial applications. This type of evaporator, which has been used for many years for evaporation processes involving temperature sensitive products (milk and fruit juice industries) has become attractive for use in the sugar industry with the development of larger units.

Experience has been gained with rising film plate evaporators in the sugar industry since 1987 [1]. The falling-film plate evaporator, on the other hand, was first introduced on an industrial scale (1500 m²) in 1992 when such a system was installed at the Waghäusel sugar factory of Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt. This evaporator was installed in the final stage of a five-stage evaporator station, i.e. in the section with a high dry substance content and therefore relatively low heat transfer coefficients due to the high viscosity. The heating surface can also be significantly reduced in the section with a high dry substance content, because the k -values of plate evaporators tend to be higher than those of recirculating evaporators and conventional falling-film evaporators [1–3, 5–8]. Appropriate tests to be carried out at the Technical University Berlin on a pilot plant (starting in 1993) developed when the plate evaporator was introduced on the industrial scale, should enable detailed information to be obtained about the operational behaviour of the falling-film plate evaporator [3]. Compared with conventional recirculation and continuous flow evaporators, this evaporator technology has to guarantee better heat transfer behaviour, shorter juice residence times and a construction which requires minimum maintenance.

2 Features of construction and suitability for integration

The falling-film plate evaporator can be described as the synthesis of plate and tube heat exchanger technology (hybrid construction). The evaporator is made of shaped seam welded stainless steel plates and therefore no cost intensive maintenance of seals is required. Small elliptical tubes formed by the special shaping are arranged vertically to the corrugated flow channels (Fig. 1). A undulating,

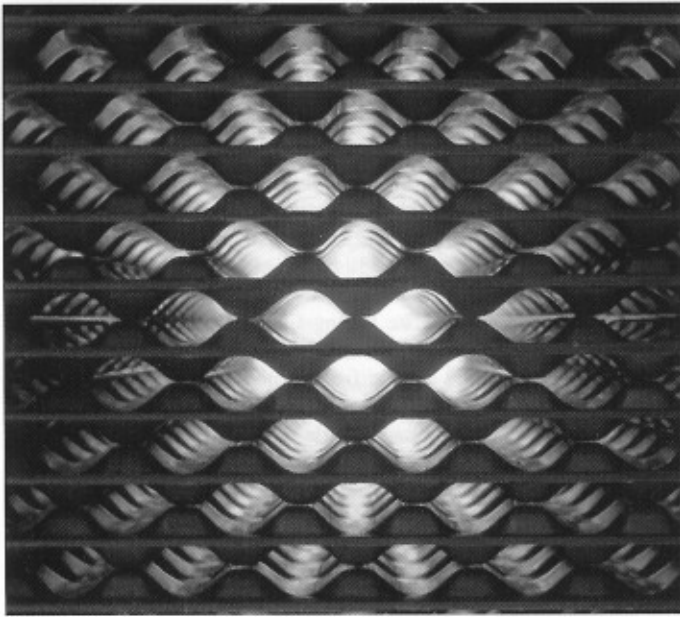


Abb. 1: Blick auf das Plattenpaket (wellenförmiger Verlauf der Dampfkanäle)
 Fig. 1: View of the plate pack (corrugated path of the steam channels)

Strömungskanälen angeordnet sind (Abb. 1). Auf der Dampfseite entsteht ein wellenförmiger turbulenter Strömungsverlauf, der bei einer hohen Heizflächendichte ($\sim 240 \text{ m}^2/\text{m}^3$) durch die insgesamt kurzen Strömungswege niedrige Druckverluste zur Folge hat.

Ein grundlegender Unterschied zu herkömmlichen Verdampfern ist die Segmentierung der Heizkammer in übereinander angeordnete Register. Der schubladenförmige Einbau der einzelnen Segmente gestattet bei dem in der Zuckerfabrik Waghäusel installierten Prototyp ($5 \cdot 300 \text{ m}^2$) eine leichte Kontrolle der Heizflächen. Die Bauhöhe eines Registers beträgt 330 mm, seine Länge und Breite betragen je $\sim 1900 \text{ mm}$.

Die Segmentierung der Heizkammer in Verbindung mit der geringen Bauhöhe der Register und der Plattenprägung bewirken eine Verbesserung des Wärmeübergangs auf der Dampfseite gegenüber konventionellen Verdampfern. Der Aufbau des Plattenpaketes führt zu einer Profilierung der flüssigkeitsseitigen elliptischen Röhrrchen, wodurch der Wärmeübergang ebenfalls verbessert werden kann [2, 4].

Als Material wird ausschließlich Edelstahl verwendet, wodurch im Vergleich zu herkömmlichen Verdampfern aus Kohlenstoffstahl eine längere Lebensdauer erreicht werden kann.

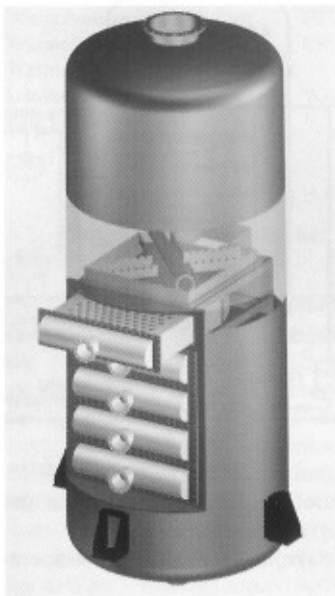


Abb. 2:
 Aufbau des Fallstrom-Plattenverdampfers
 Fig. 2:
 Construction of the falling-film plate evaporator

turbulent flow pattern is generated on the steam side and this, combined with a high heating surface density ($\sim 240 \text{ m}^2/\text{m}^3$) results in low pressure drops across the overall short flow paths.

A fundamental difference between conventional evaporators and this plate evaporator is the subdivision of the steam chamber into cupboard-like segments ($5 \cdot 300 \text{ m}^2$) which permit easy control of the heating surface of the prototype in Waghäusel. Each segment has an overall height of 330 mm and is 1900 mm long and wide. The subdivision of the heating chamber in connection with a short overall height of each register and the plate stamping bring an improvement of heat transfer on the steam side in comparison with conventional evaporators. The small elliptical tubes on the juice side are shaped by the construction of the plate pack and in this way the heat transfer can also be improved [2, 4]. Only stainless steel is used for the components which results in a longer service life for the evaporator compared to conventional evaporators made of carbon steel.

At the Waghäusel plant, the steam chamber of a *Robert* evaporator was removed and a total of five plate evaporator modules were integrated into the pressure tank which simultaneously serves as a va-

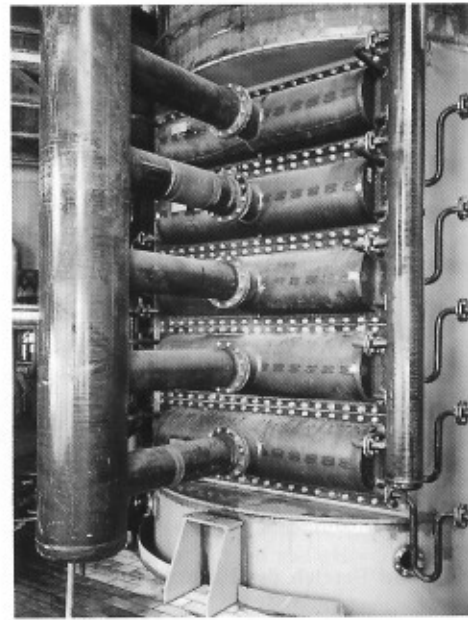


Abb. 3: Integration der Plattenpakete in einen ehemaligen Umlaufverdampfer
 Fig. 3: Integration of the plate packs in a former recirculating evaporator

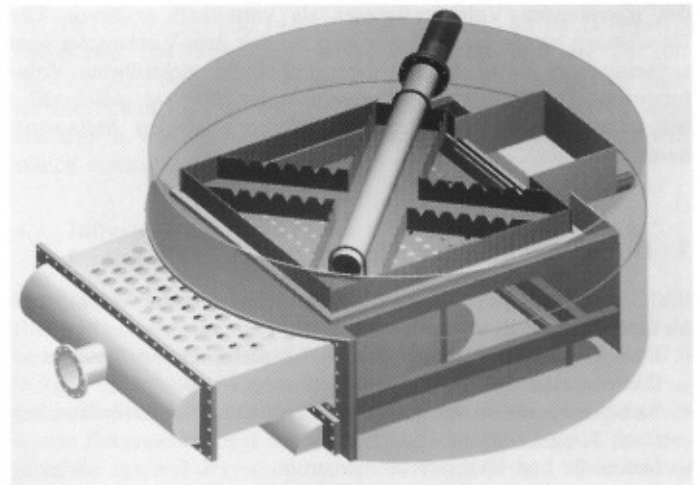


Abb. 4: Saftverteiler des Fallstrom-Plattenverdampfers
 Fig. 4: Juice distribution of the falling-film plate evaporator

In der Zuckerfabrik Waghäusel wurden die Heizkammer eines *Robert-Verdampfers* entfernt und insgesamt fünf Plattenverdampfermodule in den gleichzeitig als Brüdenabscheider dienenden Druckbehälter integriert (Abb. 2 und 3). Die Rohrleitungsperipherie des ehemaligen Umlaufverdampfers mußte nur geringfügig modifiziert werden. Der Investitionsaufwand konnte dadurch sehr gering gehalten werden.

Der Saft wird durch ein Lochblech verteilt (Abb. 4). Diese Art der Saftverteilung bedingt einen Flüssigkeitsstand von wenigen Zentimetern über dem ersten Heizregister. Das Flüssigkeitsvolumen in dieser Verteilung entspricht etwa dem Volumen in Verteileinrichtungen herkömmlicher Fallstromverdampfer. Daher ergeben sich hinsichtlich der Saftaufenthaltszeiten in der Verteilung keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen beiden Verdampferbauarten.

Der Fallstrom-Plattenverdampfer arbeitet mit sehr geringen Saftdeckungen von 0,7–0,8 l/(cm · h). Daraus resultiert die Möglichkeit, den Verdampfer ohne oder mit nur geringer Umwälzung zu betreiben und die mittlere Verweilzeit und thermische Saftbelastung im Vergleich zu Fallstromverdampfern, die erfahrungsgemäß Deckungen zwischen etwa 8 und 16 l/(cm · h) benötigen, zu reduzieren.

2.1 Verdampfanlage der Zuckerfabrik Waghäusel

Die Eindampfung des Dünnsaftes erfolgt in der Zuckerfabrik Waghäusel in einer fünfstufigen Verdampfanlage mit Vorverdampfung und einer der letzten Stufe nachgeschalteten Entspannung. Durch die Erhöhung der Rübenverarbeitung bei gleichzeitiger Reduktion der eingesetzten Heizfläche wurde die spezifische Heizfläche in Waghäusel von 3,2 m²/t täglicher Rübenverarbeitung (1987) auf 2,6 m²/t täglicher Rübenverarbeitung (1993) gesenkt.

Während 1987 noch 52,4 % der Heizfläche auf *Robert-Verdampfer* entfielen, wurde die Heizflächenverteilung auf die unterschiedlichen Verdampfertypen durch die Installation eines Steigstrom-Plattenverdampfers in der ersten Stufe (1988), die Inbetriebnahme des Fallstrom-Plattenverdampfers zur Kampagne 1992, die Modifizierung der Schaltung in der Verdampfanlage und die Stilllegung einiger Verdampfer in der Kampagne 1992 zugunsten der Fallstromverdampfer (50,3 %) und Plattenverdampfer (17 % incl. Fallstrom-Plattenverdampfer) verschoben.

2.2 Schaltung und Betrieb des Fallstrom-Plattenverdampfers

Der Fallstrom-Plattenverdampfer (Heizfläche 1500 m²) wurde dampfseitig parallel zu einem saftseitig vorgeschalteten konventionellen Fallstromverdampfer angeordnet (Abb. 5). Der Apparat wurde mit einem konstanten zulaufenden Volumenstrom von 80 m³/h (incl. Umwälzung) bei Bedeckungskennziffern von 0,7–0,8 l je (cm · h) betrieben. Eine geringe Saftzirkulation hat sich zur Kompensation von Betriebsschwankungen und zur Vergleichmäßigung des eintretenden Volumenstromes als vorteilhaft erwiesen. Die Umwälzung betrug ca. 30 % bezogen auf den dem Verdampfer vom saftseitig vorgeschalteten Fallstromverdampfer zugeführten Volumenstrom. Der Fallstrom-Plattenverdampfer arbeitete gleichmäßig bei konstanter Wasserverdampfung. Pulsationen am Saftaustritt traten nicht auf.

3 Durchführung der Messungen

Für die Ermittlung der thermischen Betriebsdaten wurden folgende Meßwerte aufgenommen:

- Dampf- und Brüdenruck mittels Absolutdrucktransmitter,
- Dampf-, Brüden- und Safttemperaturen,
- Saftvolumenstrom am Eintritt des Fallstrom-Plattenverdampfers (incl. Umwälzung),
- Dünnsaft- und Dicksaftvolumenstrom,
- Trockensubstanzgehalt (refraktometrisch) am Ein- und Austritt von Fallstrom- und Fallstrom-Plattenverdampfer sowie im Dünnsaft und Dicksaft.

pour separator (Figures 2 and 3). The piping peripherals of the former recirculating evaporator required only minimal modification. As a result, the capital expenditure costs could be kept very low.

The juice is distributed through a perforated plate (Fig. 4.) This type of juice distribution requires a filling level of only a few centimetres above the first heating segment. The volume of fluid in this distribution system corresponds approximately to the volume in the distribution systems of conventional falling-film evaporators. As far as the juice residence time is concerned therefore, there are no fundamental differences in the distribution systems between the two types of evaporator. The falling-film plate evaporator requires a very low juice coverage (0.7–0.8 l/(cm · h)) in comparison with falling-film evaporators which, from experience, require coverages between approx. 8 and 16 l/(cm · h). Hence follows the possibility of operating the evaporator with little or no recirculation and of reducing the average juice residence time and the thermal load to which the juice is subjected.

2.1 Evaporator plant at the Waghäusel sugar factory

At the Waghäusel sugar factory the thin juice is evaporated in a five-stage evaporation plant, with a pre-evaporation unit and a final flash evaporator. The specific heating surface at Waghäusel was reduced from 3.2 m² per tonne of sugar beet processed per day (1987) to 2.6 m² per tonne of beet processed per day (1993) by increasing the rate of beet processing and simultaneously reducing the heating surface used.

In 1987, *Robert* evaporators accounted for 52.4% of the heating surface. In subsequent years the heating surface has been spread over different types of evaporator, by installing a rising-film plate evaporator in the first stage (1988) and commissioning the falling-film plate evaporator for the 1992 campaign. The connection sequence in the evaporator station was modified and several evaporators shut down in the 1992 campaign, in favour of the falling-film evaporators (50.3%) and plate evaporators (17% including the falling-film plate evaporator).

2.2 Series connection and operation of the falling-film plate evaporator

On the steam side the falling-film plate evaporator (1500 m²) operated in parallel with a conventional falling-film evaporator (2670 m²) connected in series on the juice side (Fig. 5). The system was

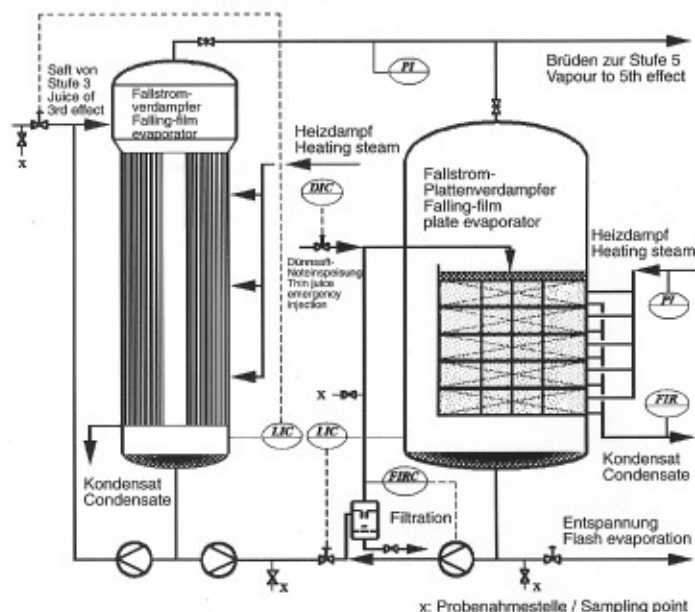


Abb. 5: Schaltung der letzten Stufe der Verdampfanlage in der Zuckerfabrik Waghäusel

Fig. 5: Connection of the fourth stage of the Waghäusel evaporation plant

Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe eines Rechnerprogrammes über die Enthalpiebilanz. Das für die Ermittlung der Wärmedurchgangszahlen notwendige nutzbare Temperaturgefälle ΔT_n wurde mit der dem Trockensubstanzgehalt am Verdampferaustritt entsprechenden Siedepunkterhöhung berechnet. Die Bilanzierung der Saftmassenströme am Plattenverdampfer erfolgte in der Regel mit der durch den induktiven Durchflußmesser erfaßten Zirkulations-saftmenge. Bei Paralleluntersuchung mit dem saftseitig vorgeschalteten Fallstromverdampfer wurde die Bilanzierung des Plattenverdampfers auch über die Globalbilanz, d.h. über den Trockensubstanzmassenstrom in der Verdampfanlage, überprüft. Bei sehr gleichmäßigem Betrieb lagen die Abweichungen im k -Wert (scheinbarer Wärmedurchgangskoeffizient) zwischen der örtlichen Bilanzierung und der Berechnung über die Globalbilanz unter 1%. Die Entspannung des Saftes und die dadurch bedingte Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes am Eintritt in den Fallstromverdampfer wurde rechnerisch berücksichtigt. Die Saftfarben wurden bei 560 nm und pH = 7 nach Membranfiltration (0,45 μ m) bestimmt.

4 Ergebnisse

4.1 Wärmedurchgangskoeffizienten

Der mittlere k -Wert wurde für den Plattenverdampfer zu 1650 ± 140 W/(m² · K), für den Fallstromverdampfer zu 1440 ± 130 W/(m² · K) bestimmt. Die Tabelle zeigt die Betriebsdaten im einzelnen. Der Fallstrom-Plattenverdampfer erreichte einen deutlich höheren Wärmedurchgangskoeffizienten als der vorgeschaltete Fallstromverdampfer, obgleich er bei höheren Saftviskositäten (Trockensubstanzgehalten) arbeitete.

Mittlere Betriebswerte des Fallstromverdampfers und des Fallstrom-Plattenverdampfers

			Fallstrom- verdampfer	Fallstrom- Platten- verdampfer
Heizfläche	A	m ²	2670	1500
Dampfdruck	p_{Da}	bar	1,34	1,34
Brühdampfdruck	p_{br}	bar	0,98	0,98
Saftstrom, Eintritt	$V_{s, ein}$	m ³ /h	95,5	80,0*
TS-Gehalt, Eintritt	$w_{TS, ein}$	%	42,0	62,9
TS-Gehalt, Austritt	$w_{TS, aus}$	%	60,9	71,1
Reinheit	q	%	92,5	92,5
Safttemperatur, Eintritt	$t_{s, ein}$	°C	100,6	102,9
Safttemperatur, Austritt	$t_{s, aus}$	°C	102,7	105,1
Safttemperatur- nutzbare Temperatur- differenz	ΔT_n	K	5,6	3,0
Wasserverdampfung	\dot{m}_{wv}	t/h	33,8	11,4
Wärmestrom	Q	kW	21400	7354
Wärmedurchgangs- koeffizient	k	W/(m ² · K)	1440 ± 130	1650 ± 140
Zahl der Messungen	n		27	40

* incl. Umwälzung

4.2 Einfluß unterschiedlicher Saftumwälzungen auf den k -Wert

Der in den Fallstrom-Plattenverdampfer eintretende Volumenstrom (incl. Umwälzung) wurde zwischen 70 und 100 m³/h variiert und die Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt. Bei einem Volumenstrom von 90 m³/h wurde der tendenziell höchste mittlere k -Wert mit 1729 W/(m² · K) ermittelt. Der Einfluß der Saftbenetzung auf den k -Wert lag jedoch innerhalb der Meßgenauigkeit. Grundsätzlich ist die Ermittlung der optimalen Heizflächenbenetzung durch die Erhöhung der zirkulierten Saftmenge problematisch. Einer eventuellen k -Wert-Verbesserung wirkt die Erhöhung der Saftviskosität bei steigender Umwälzung entgegen, wodurch der k -Wert wiederum erniedrigt werden kann.

operated with a constant juice flow rate of 80 m³/h including recirculation, with coverage coefficients of 0.7–0.8 l/(cm · h). A slight juice recirculation proved beneficial to compensate for process fluctuations and to even out the incoming volume flow. Recirculation amounted to approx. 30% in relation to the volume flow supplied to the evaporator by the falling-film evaporator connected in series on the juice side. The falling-film plate evaporator operated at a steady rate with constant water evaporation. No flow fluctuations occurred at the juice outlet.

3 Measurements

The following measured data were recorded to determine the thermal operating data:

- steam and vapour pressure using an absolute pressure transmitter,
- steam, vapour and juice temperatures,
- juice volume flow at the inlet of the falling-film plate evaporator (including recirculation),
- thin juice and thick juice volume flow,
- dry substance content (by refractometry) at the inlet/outlet of the falling-film and plate evaporators as well as the thin and thick juice dry substance contents.

The calculations were carried out with the help of a computer program using the enthalpy balance. The effective temperature difference (ΔT_n) required to determine the heat transfer coefficients was calculated using the boiling point elevation corresponding to the dry substance content at the evaporator outlet. The juice mass flow balance at the plate evaporator was generally determined from the circulating juice measured by inductive flow measurement. In a parallel study of the falling-film evaporator connected in series on the juice side, the plate evaporator balance was verified via the global balance, i.e. via the dry substance mass flow in the evaporator plant. Under steady operating conditions, the deviations in the k -value (apparent heat transfer coefficient) between local and global balance were less than 1%. The flash evaporation of the juice and the resultant increase in the dry substance content at the falling-film evaporator inlet were taken into account in the calculation. Juice colours were determined at 560 nm and pH = 7 after membrane filtration (0.45 μ m).

4 Results

4.1 Heat transfer coefficients

The average k -value was determined as 1650 ± 140 W/(m² · K) for the plate evaporator and 1440 ± 130 W/(m² · K) for the falling-film evaporator. The Table shows the operating data in detail. The falling-film plate evaporator achieved a significantly higher heat transfer coefficient than the falling-film evaporator connected in series although it was operating with greater juice viscosities (dry substance content).

4.2 Influence of different juice recirculation rates on the k -value

The incoming volume flow (including recirculation) in the falling-film plate evaporator was varied between 70 and 100 m³/h and the heat transfer coefficients determined. The average k -value (1729 W/(m² · K) which tended to be the highest was calculated at 90 m³ per h. The influence of juice coverage on the k -value was, however, within the measurement tolerance. Basically it is difficult to determine the optimal degree of surface wetting achieved by increasing the quantity of juice circulated. An increase in the juice viscosity as a result of greater recirculation counteracts any possible improvement in the k -value.

4.3 Variation der Wasserverdampfung des Plattenverdampfers

Durch Drosselung der Dampfzuführung zum saftseitig vorgeschalteten Fallstromverdampfer wurde die Wasserverdampfung im Fallstrom-Plattenverdampfer erhöht. Der ermittelte Wärmedurchgangskoeffizient stieg bei dieser Meßreihe von 1601 auf 1835 W je ($m^2 \cdot K$), die Wasserverdampfung betrug 13,1 t/h. Das Druckgefälle Δp blieb auch nach der Drosselung des Fallstromverdampfers konstant, d.h. nur die Wasserverdampfung in der letzten Stufe der Verdampfanlage wurde geringfügig zugunsten des Plattenverdampfers verschoben.

4.4 Temperaturgefälle

Der Fallstrom-Plattenverdampfer ermöglichte die Verdampfung bei einem nutzbaren Temperaturgefälle zwischen der Kondensationstemperatur des Heizdampfes und der Saftaustrittstemperatur, das mit 3 K deutlich niedriger ist als mit herkömmlichen Umlauf- und Fallstromverdampfern. Der Abdampfdruck konnte durch den Betrieb des Fallstrom-Plattenverdampfers um etwa 0,2–0,3 bar gesenkt werden.

4.5 Farbzunahme

Die Farbvertiefung im Fallstromverdampfer betrug im Mittel 38 IE₅₀₀ und im Plattenverdampfer 35 IE₅₀₀. Der Plattenverdampfer war an der Farbbildung in der Verdampfanlage mit durchschnittlich 15 % nur gering beteiligt.

4.6 Betriebsverhalten bei geringer Saftbenetzung

Da keine Erfahrungen über das Inkrustationsverhalten bei den geringen Saftbedeckungen bestanden, wurde der Verdampfer aus Sicherheitsgründen und zum Ausgleich von Saftmengenschwankungen in der Verdampfanlage mit einer Umwälzung von durchschnittlich 30 %, bezogen auf den eintretenden Volumenstrom, betrieben.

Zu Beginn der Kampagne 1993 kam es zu Problemen mit der Saftverteilung, die durch grobe Rostpartikel, Zuckerkohlebildung in den vorgeschalteten Fallstromverdampfern und durch dünne, durchscheinende Beläge aus dem Verdampfer verursacht worden waren. Die nur am Kampagnebeginn aufgetretenen abgestoßenen Beläge waren z.T. durch die Saftumwälzung auf die Verteilung gefördert worden und führten dort neben den Rost- und Kohlepartikeln zu partiellen Verstopfungen. Die schnell demontierbaren Heizkammereinschübe wurden kontrolliert. Es wurde zu keinem Zeitpunkt eine Kohlebildung festgestellt.

Die Zwischenschaltung eines Spaltsiebfilters in die Saft Eintrittsleitung nach dem ersten Kampagnedrittel (siehe Abb. 5) führte zu einer störungsfreien Arbeitsweise des Verdampfers bei konstantem Druckgefälle bis zum Kampagneende.

5 Zusammenfassung

Der in der Zuckerfabrik Waghäusel eingesetzte Fallstrom-Plattenverdampfer erreichte mit einem k -Wert von 1650 W/($m^2 \cdot K$) für den Trockensubstanzbereich von $w_{TS} = 62$ –71 % ausgezeichnete Werte. Die Betriebsweise bei im Vergleich mit Fallstromverdampfern um den Faktor 10–20 geringerer Bedeckung hatte keinen nachteiligen Einfluß auf die Farbbildung und die Standzeit. Das geringe für die Verdampfung benötigte Temperaturgefälle ermöglichte eine deutliche Reduzierung des Gesamttemperaturgefälles in der Verdampfanlage und unterstreicht die Vorteile der Plattenverdampfer-technik gegenüber den konventionellen Umlauf- und Durchlaufverdampfern.

Unser Dank gilt den Mitarbeitern der Zuckerfabrik Waghäusel und der Zentralabteilung Forschung, Entwicklung und Services (ZAFES), der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt für die freundliche Unterstützung der Untersuchungen.

Average operating data of the falling-film evaporator and the falling-film plate evaporator

			Falling-film evaporator	Falling-film plate evaporator
Heating surface	A	m^2	2670	1500
Heating steam pressure	p_{Ds}	bar	1.34	1.34
Juice vapour pressure	p_{Jv}	bar	0.98	0.98
Juice flow rate, inlet	$\dot{V}_{J,in}$	m^3/h	95.5	80.0*
Dry substance content juice, inlet	$w_{d.s.,in}$	%	42.0	62.9
Dry substance content juice, outlet	$w_{d.s.,out}$	%	60.9	71.1
Juice purity	q	%	92.5	92.5
Juice temperature, inlet	$t_{J,in}$	$^{\circ}C$	100.6	102.9
Juice temperature, outlet	$t_{J,out}$	$^{\circ}C$	102.7	105.1
Effective temperature difference	ΔT_n	K	5.6	3.0
Water evaporation	\dot{m}_{wv}	t/h	33.8	11.4
Heat flow	\dot{Q}	kW	21400	7354
Heat transfer coefficient	k	W/($m^2 \cdot K$)	1440 ± 130	1650 ± 140
measurements	n		27	40

* incl. recirculation

4.3 Variation in the evaporation rate of the plate evaporator

The water evaporation rate in the falling-film plate evaporator was increased by throttling the steam supply to the falling-film evaporator connected in series on the juice side. The calculated heat transfer coefficient rose from 1601 to 1835 W/($m^2 \cdot K$) (water evaporation 13.1 t/h) in this series of measurements. The pressure gradient Δp remained constant after the falling-film evaporator had been throttled, i.e. only the water evaporation rate in the final stage was displaced slightly in favour of the plate evaporator.

4.4 Temperature gradient

The falling-film plate evaporator permits evaporation at an effective temperature difference between saturated heating steam and juice (outlet) which at 3 K is significantly lower than with conventional recirculation and falling-film evaporators. By operating the falling-film plate evaporator it was possible to reduce the turbine exhaust steam pressure by approx. 0.2–0.3 bar.

4.5 Increase in colour

The colour formation in the falling-film evaporator amounted on average to 38 IU₅₀₀ and in the plate evaporator to 35 IU₅₀₀. The plate evaporator's contribution to the colour formation in the evaporator plant was only small, amounting to 15% on average.

4.6 Operating conditions with minimal juice coverage

Because no information has been gathered about incrustation of the plate evaporator when there is low juice coverage, the evaporator was operated with a recirculation rate of 30% on average, based on the incoming volume flow for safety reasons and to compensate for juice flow fluctuations in the evaporation plant. At the beginning of the 1993 campaign, problems arose in connection with juice distribution. These problems were caused by coarse rust particles, charcoal formation in the falling-film evaporators connected in series and by thin, translucent deposits from the evaporator which, indeed, occurred only at the beginning of the campaign. The displaced deposits were transported to the juice distribution system partly by the juice recirculation and together with rust and charcoal particles caused partial blockage. The easily-removable steam chamber inserts were inspected. Charcoal formation was not detected at any time in the plate evaporator. After the first third of the campaign a bar screen filter was installed in the juice feed line (refer to Fig. 5) and this resulted in the evaporator operating trouble-free at a constant pressure gradient up to the end of the campaign.

Literatur

- 1 Licha, H.; Valentin, P.; Wersel, M.; Witte, G.: Der Plattenverdampfer – ein neuer Weg in der Verdampfertechnik. Zuckerind. 114 (1989) 785–798
- 2 Bruhns, M.; Korn, H.-F.; Lehnberger, A.; Schulz, T.: Plattenverdampfer für Dick- saft: Betriebserfahrungen und Untersuchungen zum Wärmeübergang. Zuckerind. 118 (1993) 611–619
- 3 Morgenroth, B. et al.: in Vorbereitung
- 4 Vetter, J.; Bandelier, Ph.; Gerard, P.: First utilization of fluted pipes in sugar indu- stry. Int. Sugar J. 94 (1992) 239–244
- 5 Punter, G.A.; Christopherson, P.M.: First experience with plate evaporators. Zucker- ind. 117 (1992) 30–32
- 6 Punter, G.A.; Christopherson, P.M.: Plate Evaporators in Beet Sugar Industry. Brit. Sugar Tech. Conf., Eastbourne 1992
- 7 Buchholz, K.; Bruhns, M.: Über die Kampagne 1992 und neuere technische Entwick- lungen. Zuckerind. 118 (1993) 321–338
- 8 Schiweck, H.: Zuckerverzeugung im Spannungsfeld zwischen Rübenqualität, Ener- gieverbrauch und Produktsicherheit – neuere technologische Entwicklungen. Zuk- kerind. 116 (1991) 793–805

Eingegangen am 7. März 1994

Essais industriels avec un évaporateur à plaques à flux tombant (Résumé)

Depuis la campagne 1992, à la sucrerie de Waghäusel de la Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, on a installé, du côté jus dense, un évaporateur à plaques de la firme Balcke-Dürr AG, d'une surface de chauffe de 1500 m² et travaillant suivant le principe du flux tombant. A cette fin, la chambre de chauffe d'un évaporateur à circu- lation a été enlevée et un module d'évaporation à plaques a été in- tégré tout en conservant, dans une large mesure, les tuyauteries périphériques dans la chambre sous pression. Une répartition du jus, sensiblement améliorée par rapport à la campagne 1992, a permis en 1993, d'obtenir un fonctionnement stable grâce à un mouillage plus régulier de la surface de chauffe par le jus. Le com- portement de la transmission calorifique et la coloration ont été analysés en comparaison avec les autres évaporateurs raccordés. L'effet du nouvel évaporateur sur la chute totale de pression à la station d'évaporation a également été pris en considération.

5 Summary

The falling-film plate evaporator installed at the Waghäusel sugar factory achieved excellent results with a k -value of 1650 W/(m² · K) for the dry substance range of $w_{DS} = 62$ –71%. The juice coverage was less than that in falling-film evaporators by a factor of 10–20 and this had no negative effect on the colour formation nor the serv- ice life. The small temperature difference required for evaporation permitted a definite reduction in the overall temperature difference in the evaporator plant. This underlines the advantages of plate evaporator technology compared to natural recirculation and con- ventional continuous flow evaporators.

Our thanks go to the personnel of the Waghäusel sugar factory and the central department for research, development and services (ZAFES) of Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt for their kind as- sistance during the studies.

Experiencias en el servicio de un evaporador de flujo con platos (Resumen)

Desde la campaña 1992 se emplea en la azucarera Waghäusel (Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt) a nivel del jugo concentrado un evaporador de platos (firma Balcke-Dürr AG) que trabaja según el principio de flujo descendente y que tiene una superficie de calef- acción de 1500 m². Para esto se quitó la cámara de calefacción de un evaporador de circulación y se integró un módulo de un evaporador de platos en el depósito de presión, en gran parte manteniendo la tubería de la periferie. Una distribución del jugo considerablemente mejorada frente a la campaña 1992 hizo posible un servicio estable en la campaña 1993 así como una superficie de calefacción humedi- cida regularmente. Se investigaron el comportamiento de la transi- ción térmica y la formación del color en comparación a evaporado- res preconectados. Se estudiaron también los efectos del evapora- dor nuevo sobre la caída de presión total en la instalación de eva- poración.

Anschriften der Verfasser / Authors' addresses: Dipl.-Ing. Herbert Licha, Werkleiter Werk Waghäusel der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Postfach 2160, D-68748 Waghäusel; Dipl.-Ing. Boris Morgenroth, TU Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie I, Fachge- biet Energiewirtschaft und Anlagenplanung, Amrumer Str. 32, D-13353 Berlin; Dipl.-Ing. Günter Witte, Zentralabteilung Forschung, Ent- wicklung und Services (ZAFES) der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Postfach 1127, D-67261 Grünstadt.

ZUCKERINDUSTRIE

sugar industry · industrie sucrière · industria azucarera
Verlag Dr. Albert Bartens, Lückhoffstr. 16, D-14129 Berlin