

Einleitung

In den letzten Jahren hat die Plattenverdampfertechnologie den Weg zu Industrieanwendungen hoher Leistung gefunden. Die Anwendung des bei der Eindampfung temperaturempfindlicher Produkte (Milch- und Fruchtsaftindustrie) bereits längere Zeit bekannten Verdampfer-typs, wurde durch die Entwicklung größerer Einheiten ermöglicht. Zu den neuesten Entwicklungen auf diesem Gebiet zählt der Hybridverdampfer, eine Synthese aus Platten- und Röhrenwärmeüber-tragertechnik. Im technischen Maßstab wurde dieser Verdampfer erstmalig im Jahre 1992 in der Zuckerfabrik Waghäusel der Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt mit einer Heizfläche von 1500 m² eingesetzt (Bild 1). Die Installation erfolgte in der letzten Stufe einer 5stufigen Verdampfstation, d. h. im Bereich hoher Trockensubstanzen und damit bedingt durch die hohe Viskosität vergleichsweise niedrigen k-Werten. Durch den höheren k-Wert von Plattenverdampfern im Vergleich mit Umlaufverdampfern und Röhrenfallstromverdampfern [1, 2, 4, 6, 7, 8, 9] kann die spezifische Saftmenge in l/m² Heizfläche gerade im Bereich hoher Trockensubstanzen gesenkt 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 Hybridverdampfers ermöglichen [4].

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

2. Aufbau des Plattenverdampfers

Der Hybridverdampfer vereint die Merkmale der klassischen Platten- und Röhrenwärmeübertrager. Der Verdampfer ist aus geprägten Formblechen aufgebaut, die durch ein Schweißverfahren miteinander

¹⁾ Osama Nasser, Balcke Dürr AG, Ratingen; Boris Morgenroth, Institut für Lebensmitteltechnologie, TU Berlin

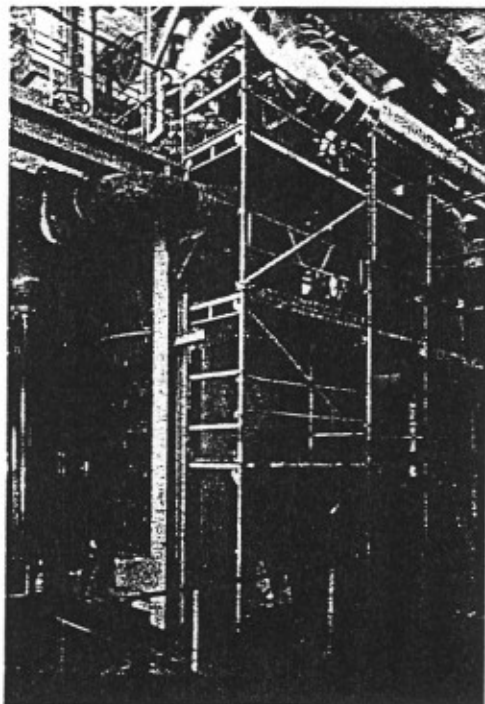


Bild 1:

verbunden werden. Die gesamte Konstruktion ist vollverschweißt, so daß die kostenintensive Wartung von Dichtungen entfällt.

Ein grundlegender Unterschied zwischen herkömmlichen Verdampfern und dem Hybridverdampfer ist die Segmentierung in übereinander angeordnete Register. Der schubladenförmige Einbau der einzelnen Segmente (S · 300 m² Heizfläche) gestattet bei dem Prototyp in Waghäusel eine leichte Zugänglichkeit. Die Bauhöhe eines Registers beträgt etwa 33 cm.

Plattenverdampfer werden grundsätzlich aus Edelstahl gefertigt. Die bessere Materialqualität im Vergleich zu herkömmlichen Verdampfern aus C-Stahl führt zu einer verminderten Ablagerungsbildung (fouling) und zu einer höheren Lebensdauer der Verdampfer.

Die Lösungsverteilung auf die immerhin etwa 30 000 Röhrchen im Falle des Hybridverdampfers in Waghäusel wird durch die gelochten Verteilerbleche realisiert über denen ein Verteilerrohrkreuz montiert ist. Diese Art der Lösungsverteilung bedingt einen Flüssigkeitsstand von wenigen Zentimetern über dem ersten Heizregister. Im Vergleich zu Lösungsverteilungseinrichtungen herkömmlicher Fallströmer ergibt sich dadurch keine Verweilzeitverlängerung

3. Verfahrenstechnische Vorteile des Hybridverdampfers am Beispiel der Zuckerindustrie

3.1 Temperaturgefälle in einem Plattenverdampfer

In der Zuckerindustrie steht aus physikochemischen und energiewirtschaftlichen Gründen lediglich ein Temperaturgefälle von 30–40 K (Temperaturbereich: 90 und 130 °C) zur Verfügung. Zur Reduzierung des Heizdampfverbrauches müssen möglichst viele Verdampfer in Reihe geschaltet werden. Die Anzahl ist neben der stoffspezifischen Siedepunkterhöhung und den hydrostatischen sowie hydrodynamischen Druckverlusten vom nutzbaren Temperaturgefälle ΔT_n abhängig.

$$\Delta T_n = \Delta T_{ges.} - \Delta T_s - 1 \Delta T_{stat.} - \Delta T_{hydr.}$$

ΔT_n = nutzbares oder wirksames Temperaturgefälle

$\Delta T_{ges.}$ = Gesamttemperaturdifferenz im Verdampfer

ΔT_s = Siedepunkterhöhung

$\Delta T_{hydr.}$ = hydrodynamische Druck-/Temperaturverluste

$\Delta T_{stat.}$ = Temperaturverlust aufgrund der hydrostatischen Siedepunkterhöhung

Der Faktor $\Delta T_{stat.}$ spielt beim Hybridfallstromverdampfer im Gegensatz zum Steigfilmplattenverdampfer keine Rolle, da die Lösung als dünner Film am Rohr entlangfließt.

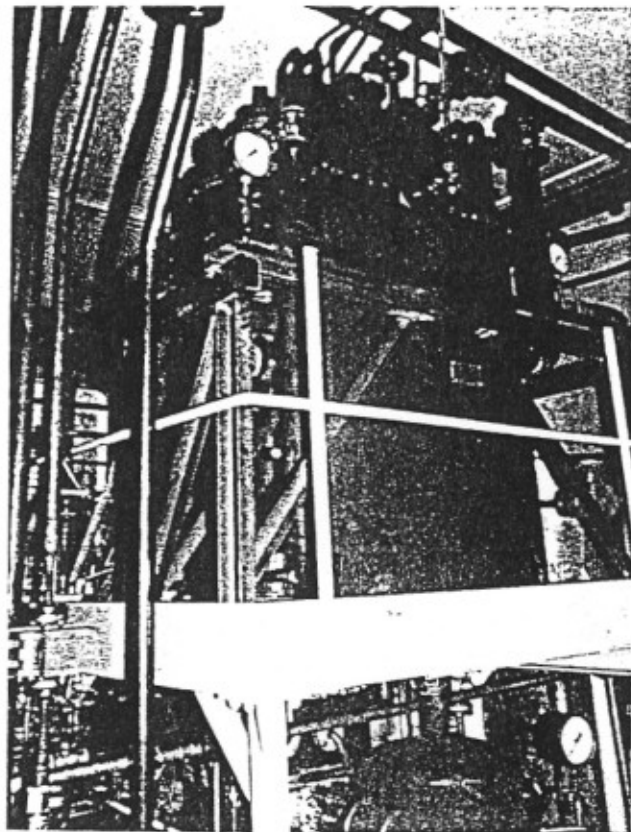
Konstruktionsbedingt benötigt jeder Verdampfer ein unterschiedliches nutzbares Temperaturgefälle, um überhaupt eine Wasserverdampfung zu bewerkstelligen. Neben dem im Vergleich zu Umlaufverdampfern und Röhrenfallstromverdampfern geringen wirksamen Temperaturgefälle von 1–2 K weist der Hybridverdampfer nach ersten Untersuchungsergebnissen deutlich höhere k-Werte auf [4]. Ein kleines ΔT_n ermöglicht die Stufenzahl einer Verdampferstation zu erhöhen und den Primärdampfeinsatz und damit den Brennstoffeinsatz zu reduzieren. Nach Angaben von Bruhns et al. (1993) beträgt der statische Druckverlust im Steigstromplattenverdampfer (Bauform Alpha Laval) bis zu 30 mbar (ca. 0,4–0,8 K). Die hydrostatischen Druckverluste wirken sich im Vergleich mit dem Hybridverdampfer nachteilig aus.

Über die Leistungserhöhung durch Segmentierung von Fallstromverdampfern berichtete bereits Farwick (1991). Der Aufbau des Hybridpaketes bedingt außerdem eine Profilierung der lösungsseitigen elliptischen Röhrchen, wodurch der Wärmeübergang ebenfalls verbessert werden kann [2, 5].

3.2 Verweilzeit und thermische Produktbelastung

Die im Vergleich mit Umlauf- und Durchlaufverdampfern höhere Leistungsdichte und die kompakte Bauform des Hybridverdampfers ermöglicht eine Senkung der mittleren Saftaufenthaltszeit im Verdampferkörper und gestattet eine wesentliche Einengung des Verweilzeitpektrums. Die thermische Stoffbelastung wird dadurch deutlich reduziert.

Dies wirkt sich dahingehend aus, daß die Farbbildung in der Saccharoselösung – ein entscheidendes Kriterium in der Zuckerindustrie – verringert werden kann. Von Steigstromplattenverdampfern ist im Gegensatz dazu bekannt, daß dort eine verhältnismäßig hohe Farbzunahme erfolgt, die auf den pulsierenden Saftaustritt und eine wohl dadurch bedingte Verbreiterung des Verweilzeitpektrums zurückgeführt wird [2].



4. Pilotanlage

4.1 Aufgabenstellung

Saccharoselösungen der Zuckerindustrie sollen in einem Konzentrationsbereich $W_{75} \hat{=} 15$ bis 75 % eingedickt werden. Der Heizdampfdruck wird zwischen 1,2 und 3,0 bar, das entspricht Heizdampftemperaturen zwischen 105 und 135 °C, gewählt. Das Gesamttemperaturgefälle beträgt etwa 135–95 °C.

4.2 Untersuchungsschwerpunkte

Bei der Verdampfung wird eine wirksame Temperaturdifferenz von 1 bis 2 K angestrebt. Die Betriebsparameter des Hybridverdampfers (Bild 2) sollen mit denen herkömmlicher Verdampferbauarten verglichen werden.

Bild 2:

Schaltbild des Plattenfallfilmverdampfers

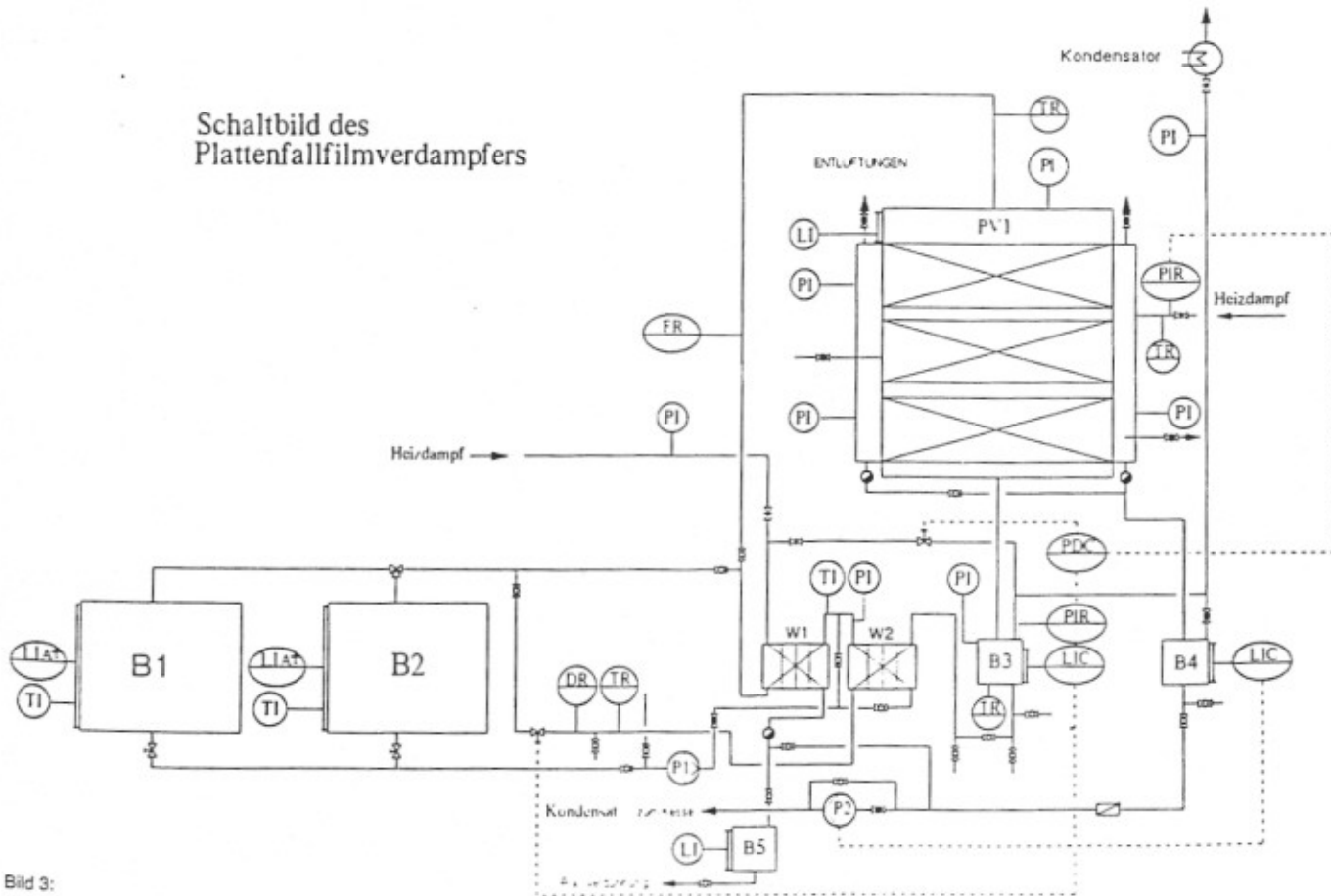


Bild 3:

Folgende Fragestellungen werden behandelt:

- Überprüfung der Saftverteilung im Fallfilmverdampfer
- Ermittlung der spezifischen Saftmenge in l/m² (hold up Volumen)
- Feststellung der Mindestbedeckung bei optimaler Verteilung
- Berechnung der wirksamen Temperaturdifferenz
- Berechnung der k-Werte bei variablen Trockensubstanzgehalten, Temperaturen, Drücken und Saftmengen
- Überprüfung der Farbbildung in Zusammenhang mit der Produktaufenthaltszeit und der thermischen Belastung.

Verfahrensbeschreibung (Bild 3)

In den beiden Vorratsbehältern B 1 und B 2 (jeweils 1,55 m³ Inhalt), die mit einer Temperatur- und Niveauanzeige versehen sind, wird die Lösung auf einen bestimmten Trockensubstanzgehalt eingestellt. Über die Pumpe P 1 gelangt die Lösung über die Plattenwärmetauscher W 2 und W 1 in den Plattenfilmverdampfer PV 1. Der eintretende Lösungsvolumenstrom wird registriert. Bei der Pumpe P 1 handelt es sich um eine Kreiselpumpe mit einer Fördermenge von 500–4 000 l/h und DN 50 Anschlußstutzen.

Der Plattenwärmetauscher W 2 hat eine Heizfläche von 0,75 m²; als Heizmedium dient die im Plattenfallfilmverdampfer eingedickte Lösung. Der Plattenwärmetauscher W 1 hat eine Heizfläche von 2,6 m². Während des Anfahrbetriebes wird als Heizmedium Dampf aus dem Dampferzeuger verwendet. Während des Normalbetriebes wird mit Brüden aus dem Plattenfallfilmverdampfer, der im Brüdenabscheider B 3 abgetrennt wird, beheizt. Druck- und Temperaturverhältnisse an den Wärmetauschern W 1 und W 2 werden angezeigt.

Über ein Verteilersystem gelangt die auf nahezu Verdampfungstemperatur erhitze Lösung in den Plattenfallfilmverdampfer (32,4 m² Heizfläche, Druckbereich 0–3 bar). Das den Plattenfilmverdampfer verlassende Lösungs-Brüdenmischung gelangt in den Brüdenabscheider B 3, der mit Druckanzeige, Temperaturregistrierung und Niveauregelung ausgestattet ist. Heizdampfdruck und Brüdenmischung (B 3) werden über eine Differenzdruckmessung erfaßt und geregelt.

Die abgeschiedene Lösung wird im Plattenwärmetauscher W 2 rekuperativ abgekühlt und in die Behälter B 1/B 2 zurückgeführt, wobei Trockensubstanzgehalt und Temperatur registriert werden. Der in B 3

gelangt über eine Druckregelung mit Druckregistrierung in einen Mischkondensator. Das Kondensat aus dem Verdampfer fließt in den Behälter B 4, der mit einer Niveauregelung ausgestattet ist. Aus B 4 wird das Kondensat mit der Pumpe P 2 (Kreiselpumpe mit einer Fördermenge von 350 l/h und DN 40 Anschlußstutzen) zum Kessel-speisewasserbehälter gepumpt. Der Entspannungsbrüden aus Behälter B 4 strömt zum Mischkondensator. Das Kondensat aus dem Plattenwärmetauscher W 1 gelangt über den Sammelbehälter B 5 zu den Behältern B 1/B 2.

Der Platzbedarf der Anlage (Verdampfer, Vorwärmer und Brüdenabscheider) ohne periphere Einrichtungen beträgt ca. Höhe 4,80 m, Breite 3,10 m und Tiefe 1 m.

5. Zusammenfassung

Neben einem besseren Wärmeübertragungsverhalten, großer Leistungsdichte und dadurch bedingt geringem Raumbedarf, gestatten Plattenverdampfer auch den Betrieb bei kleinem Temperaturgefälle. Die Zahl der Verdampfer einer Verdampfstation kann dadurch erhöht und die Betriebskosten können bei konstantem Gesamttemperaturgefälle reduziert werden. Durch die mögliche Verringerung der Saftaufenthaltszeit im Verdampfer kann außerdem die thermische Produktbelastung eingeschränkt werden.

Schrifttum

- [1] Licha, H., P. Valentin, M. Wersel, G. Witte: Der Plattenverdampfer – ein neuer Weg in der Verdampfertechnik, Z. Zuckerind. 114, Nr. 10, 785–798, 1989.
- [2] Bruhns, M., H.-F. Korn, A. Lehnberger, T. Schulz: Plattenverdampfer für Dicksaft: Betriebserfahrungen und Untersuchungen zum Wärmeübergang, Z. Zuckerind. 118, Nr. 8, 611–619, 1993.
- [3] Farwick, E. in: Handbuch Wärmeaustauscher. Hrsg.: H. Schnell, B. Thier, Vulkan-Verlag, Essen 1991, 256.
- [4] Licha, H., B. Morgenroth, G. Witte: Betriebserfahrungen mit einem Fallstrom-Plattenverdampfer, 7. Zuckerindustrie 119, Nr. 4, S. 257–262, 1994.
- [5] Vetter, J., Ph. Banelier, P. Gerard: First utilization of fluted pipes in sugar industry, Int. Sugar J. 94, Nr. 1126, 1992.
- [6] Punter, G. A., P. M. Christopherson: First experience with plate evaporators, Z. Zuckerind. 117, 30–32, 1992.
- [7] Punter, G. A., P. M. Christopherson: Plate Evaporators in Beet Sugar Industry, British Sugar plc Technical Conference, Eastbourne 1992, 1992.
- [8] Buchholz, K., M. Bruhns: Über die Kampagne 1992 und neuere technische Entwicklungen, Z. Zuckerind. 118, 321–338, 1992.
- [9] Schiweck, H.: Zuckererzeugung im Spannungsfeld zwischen Rübenqualität, Energieverbrauch und Produktsicherheit – neuere technologische Entwick-