Exakt ausgelegt

Richtige Dimensionierung von Prozessschnecken

Die Prozessschnecken kombinieren mehrere Verfahrensschritte. Im Bild sieht man eine Vierfachschnecke (links) und eine Zweifachschnecke.

In der Prozesstechnik sind kontinuierliche Verfahren weiter auf dem Vormarsch. Ob in der Chemieindustrie, der Lebensmitteltechnik oder in der Umweltindustrie, thermische Prozesse sind integrative Bestandteile von vielen Produktionsverfahren. Prozess-schnecken übernehmen dabei viele Rollen, sie werden etwa zum Kühlen, Heizen, Mischen, Kristallisieren und Trocknen eingesetzt. Die wichtigste Voraussetzung für deren reibungslosen Einsatz ist die richtige Auslegung.

Dr.-Ing. Dieter Schillingmann, Dipl.-Ing. Hartmut Schillingmann, Manfred Zobel

Jeder Prozess hat seine Eigenheiten, daher müssen Prozessschnecken ganz spezifisch an die jeweilige Aufgabe angepasst werden. Die Auslegung von Prozessschnecken basiert auf vielen Verfahrensparametern, beispielsweise dem Produktdurchsatz, der Feuchte, den Temperaturen, der spezifischen Wärmekapazität und natürlich den allgemeinen Gesetzen der Thermodynamik und Fördertechnik. Eingekoppelt werden hier produktspezifische Erfahrungswerte zum Beispiel hinsichtlich des Wärmeübergangs und der Fördereigenschaften. Sollte weder aus der Literatur noch aus der gängigen Praxis ein hinreichendes Zahlenmaterial zur Verfügung stehen, können produktspezifische Parameter mit Hilfe von Versuchsanlagen ermittelt werden.

D. Schillingmann ist Geschäftsführer, H. Schillingmann und M. Zobel sind Mitarbeiter der Segler-Förderanlagen Maschinenfabrik GmbH, Berge

Das Unternehmen Segler Förderanlagen hat die thermodynamischen Berechnungsverfahren zur Auslegung von Prozessschnecken aus den physikalischen Zusammenhängen von Wärmetauschern hergeleitet. Bei den Wärmetauschvorgängen zwischen dem Fördergut in einer Prozessschnecke und dem verwendeten Heiz- oder Kühlmedium handelt es sich um annähernd vergleichbare thermodynamische Vorgänge.

Vorgehensweise zur Dimensionierung

Prozessschnecken werden für ein bestimmtes Produkt und für die geforderte Durchsatzleistung mit der entsprechenden Kühl- oder Heizleistung ausgelegt. Die übertragbare Kühl-/Heizleistung ist abhängig von:

- Stoffdaten,
- Prozessdaten,
- Anlagengeometrie.

Da die Wärmetauscherleistung bei Prozessschnecken durch den Kontakt des Produktes mit den effektiv wirksamen Wärmetauscherflächen übertragen wird, ist für dieses Produkt – mit den produktspezifischen thermodynamischen Produkteigenschaften – die notwendige Kühl /Heizfläche zu ermitteln.

Die übertragbare Kühl-/Heizleistung wird neben der Größe der Kühl-/Heizfläche von der wirksamen Temperaturdifferenz zwischen Produkt und Kühl-/Heizmedium vorgegeben. Da das Temperaturniveau des Kühl-/Heizmediums in der Regel von einem innerbetrieblichen Kühl-Heizkreislaufsystem abhängt, verbleibt als Auslegungsvariable die erforderliche wirksame Kühl-/Heizfläche.

Die Fördereigenschaften bestimmen die Auswahl des Förderorgans. Als Schneckenförderorgan können Schneckenwellen mit verschiedenen Flügelarten und Paddelelementen bestückt werden. So bieten doppelwandige geschlossene Schneckengänge die effektivste Wärmetauschfläche. Vollschnecken in Verbindung eines mit Kühl-/Heizflüssigkeit durchflossenen Schneckenrohres wirken nur teilweise als Wärmetauscherflächen. Paddelorgane fördern die Durchmischung des Produktes.

Das spezifische Gewicht und die Fließeigenschaften des Produktes wirken sich ebenfalls auf die Schneckengeometrie aus. Bei stark haftenden Produkten wird der Einsatz von Doppelschnecken erforderlich. Mit einem Spezialantrieb lassen sich diese auch selbstreinigend ausführen. Die Produkteigenschaften geben im bestimmten Rahmen auch den realisierbaren Füllungsgrad der Förderschnecke und damit die wirksame effektive Wärmetauschfläche der Prozessschnecke vor. Die Neigung der gesamten Schneckenanlage hat durch den Rückflusseffekt einen Einfluss auf die Vermischung des Produktes.

Thermodynamische Berechnung

Nachdem man eine Schneckengeometrie gewählt hat, lässt sich die wirksam effektive Wärmeaustauschfläche berechnen. Die Größen zur Kennzeichnung von Wärmetauschern lassen sich wie folgt aufstellen:

- Massenströme m_{Pkt} als die durchgesetzten Massen pro Zeiteinheit,
- Wärmekapazitätsstrom eines Massenstromes als Produkt des Massenstromes und seiner spezifischen Wärmekapazität c_P,
- die Eintrittstemperaturen t_1' und t_2' sowie die Austrittstemperaturen t_1'' und t_2'',
- die Abkühlung $(t_1'-t_1'')$ des wärmeren Massenstromes sowie die Aufwärmung $(t_2''-t_2')$ des kälteren Massenstromes,

- der Eintritts-Temperaturabstand (t_1'-t_2') als größter Temperaturabstand zwischen den Massenströmen,
- Wärmetauscher-Kennzahlen $NTU_1 = k{\cdot}A/W_{Pkt1}$, Mitteltemperatur t_m als arithmetisches Mittel der Ein- und Austrittstemperaturen der Massenströme zur Bestimmung der Stoffkenngrößen wie Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Viskosität,
- Betriebsdrücke p zur Bestimmung der Stoffgrößen,
- wirksame logarithmische Temperaturdifferenz

$$t_{log} = 1\ \{(t_1'-t_2')-(t_1''-t_2'')\}/\ln((t_1'-t_2'')/(t_1''-t_2'))$$

Bestimmen der Wärmeleistung

Die Wärmeleistung Q_{Pkt}, eines Wärmetauschers lässt sich vereinfachend darstellen über das Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient k, die dazugehörige Wärmetauschfläche A und einem wirksamen, Temperaturabstand t_{log} als:

$$Q_{Pkt} = k \cdot A \cdot t_{log}$$

Dabei wird für den betrachteten Zustand vorausgesetzt, dass der Wärmedurchgangskoeffizient k konstant ist. Gleichzeitig gilt für die Wärmeströme:

$$dQ_{Pkt} = m_{Pkt} \cdot c_P \cdot dt$$

Mit Hilfe der oben dargestellten Gleichungen für das betrachtete Produkt und die geforderte Kühlleistung lässt sich die Geometrie und die erforderliche wirksame Wärmeaustauschfläche der Prozessschnecke bestimmen. Die Drehzahl, als wesentliche Prozessgröße, ist im bestimmten Rahmen zu variieren. Die Drehzahl korreliert umgekehrt proportional mit der Verweilzeit und dem Füllungsgrad des Produktes in der Schnecke bei gleichem zufluss.

Aufgrund dieser relativ komplexen Zusammenhänge ist der Hersteller für die Dimensionierung einer Prozessschnecke auf exakte Vorgaben vom Kunden angewiesen. Bevor eine Prozessschnecke dimensioniert werden kann, müssen also die entsprechenden Prozessparameter festgelegt werden. Sollten einige Parameter unklar bleiben, müssen Vorstudien und Versuche durchgeführt werden, damit die Prozessschnecke optimal auf die Anwendung ausgelegt wird.