

Apparative Lücke geschlossen

Knetmaschinen für komplexe thermische Prozesse

Dr. W. Schwenk, Dr. G. Raouzeos

Bei vielen Prozessen der Verfahrenstechnik ändert sich während der Verarbeitung der rheologische Zustand des Ausgangsstoffs vom flüssigen über den hochviskosen, pastösen bis hin zum rieselfähigen, festen Zustand und umgekehrt. Für diese Prozesse sind AP- und Discotherm-B-Knetmaschinen besonders geeignet.

Die Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen (Abb.1) schließen eine apparative Lücke zwischen den Knetern bzw. Schneckenapparaten mit relativ kleinem Volumen und kleiner Wärmeaustauschfläche einerseits und den Schaufeltrocknern mit größerem Volumen und großer Austauschfläche andererseits, deren Knetwirkung und Selbstreinigung der Wärmeübergangsflächen aber nicht genügen. Sie vereinen zudem die gute Misch- und Knetwirkung von Schneckenapparaten (spezifische Knetenergie bis 0,2 kWh/kg) mit den jeweils großen Arbeitsinhalten und Wärmeaustauschflächen von klassischen Schaufel- bzw. Tauchscheibentrocknern.

Discotherm-B-Apparate sind kontinuierlich bzw. absatzweise arbeitende Knetmaschinen. Sie sind besonders geeignet für thermische Prozesse mit Produkten, die während der Prozeßführung eine Konsistenzänderung von flüssig über zähpastöse und krustende Zwischenphasen bis zum rieselfähigen Zustand durchlaufen. Sie bestehen aus einem horizontalen, zylindrischen Gehäuse mit einer konzentrischen Rührwelle, auf der in Ebenen senkrecht zur Achse Scheibenelemente und am äußeren Umfang Knet-/Mischbarren aufgesetzt sind (Abb. 2). Im Gehäuse sind statische Gegenhaken befestigt, die die Welle und die Scheibenelemente reinigen. Der axiale Transport wird durch die Anordnung der Scheibenelemente mit Knet-/Mischbarren und durch die Form der Gegenhaken bestimmt.

Das Arbeitsprinzip der AP-Knetmaschinen ist gekennzeichnet durch zwei ineinandergreifende, parallel arbeitende Rührwellen, die in einem ebenfalls horizontalen Gehäuse mit achtförmigem Querschnitt drehen (Abb. 3). Der Hauptrührer ist mit radial aufgesetzten Scheibenelementen versehen, die am Außendurchmesser mit aufgeschweißten Knet-

barren verbunden sind. Die zweite Rührwelle, Putzwelle genannt, ist mit Knetrahmen bestückt, die zwischen den Scheibenelementen des Hauptrührers eingreifen. Durch das Ineinandergreifen der Knetelemente beider Wellen kommt es zu einer intensiven Mischung/Knetung sowie zu einer guten Selbstreinigung. Durch die spezielle Rührerkinematik und die Anordnung der Knetbarren bzw. -rahmen wird der intensiven Quervermischung eine langsame axiale Transportbewegung überlagert.

Das Gehäuse sowie die Rührwellen und die Scheibenelemente beider Knetmaschinenty-

pen sind heiz- bzw. kühlbar, womit eine hohe spezifische Heizfläche erreicht wird. Die intensive Misch- und Knetwirkung, die selbstreinigenden Heizflächen und das Zerteilen von Krusten, Agglomeraten und Knollen führen zu einer großen Oberflächenerneuerung. Wegen der starken Knet- und Rührkräfte arbeiten die Maschinen bei Drehzahlen der Rührwellen im Bereich 10 bis 30 min⁻¹ und hohem verfügbarem Drehmoment bis maximal 250 · 10³ Nm. Der Axialtransport wird durch die spezielle Anordnung der Knetelemente auch im zähpastösen Betrieb gewährleistet. Beide Maschinentypen sind wechselnden Mengen und Zusammensetzungen des Zulaufs flexibel anpaßbar.

Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen werden mit einem Füllgrad von 60 bis 80% betrieben. Dadurch verbleibt genügend Freiraum für die Zu- und Abfuhr von Gasen und Dämpfen. Falls erforderlich, ist eine Flash-Vorverdampfung mit Hilfe spezieller Ventile direkt in den Prozeßraum der Maschinen hinein möglich. Da das Produkt am Ende des Prozesses in der Regel einen frei fließenden, körnig-pulvrigen oder flüssigen Zustand erreicht, wird der mittlere Füllgrad im wesentlichen durch die Höhe eines verstellbaren Überlaufwehrs am Maschinenaustrag aufrechterhalten. Im Gegensatz zu Schneckenmaschinen sind Drehzahl und Axialförderung entkoppelt, d. h. es ist möglich, die Rührdrehzahl im Hinblick auf Wärmeübergang, Verweilzeit und Zerteilwirkung zu optimieren.

Durch die förderneutral gestellten Scheibenelemente wird die Axialrückvermischung in den Maschinen verhindert, so daß ohne weiteres flüssige Ausgangsstoffe in einem Durchlauf und ohne Trockengutrückführung bis zum rieselfähigen Zustand verarbeitet werden können. Tabelle 1 faßt die Merkmale und Vorteile der Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen zusammen.

Abb. 1 Einsatzbereich von AP- und Discotherm-B-Knetmaschinen

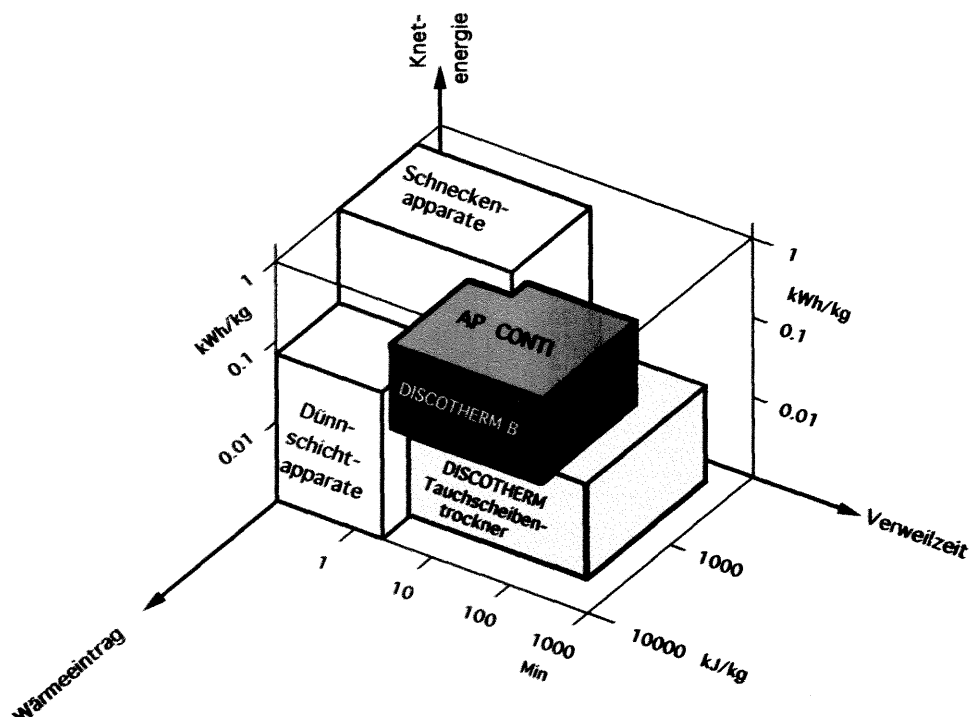


Tabelle 1 Merkmale und Vorteile der Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen

Merkmale	Vorteile
Intensive Misch- und Knetwirkung	Erhöhter Wärme- und Stoffaustausch, Möglichkeit der Verarbeitung aller Produktzustände in einer Maschine
Große Heiz- bzw. Kühlflächen	Erlauben hohe Energiezu- bzw. -abfuhr, ermöglichen eine genaue Temperaturführung
Selbstreinigung	Hohe Wärmedurchgangszahlen
Intensive Erneuerung der Phasengrenzflächen	Erhöhung des Stoff- und Wärmeaustausches
Großes Nutzvolumen	Ermöglicht große Mengenleistungen und gewährleistet die Durchführung kontinuierlicher Prozesse mit langen Verweilzeiten (0,5 bis 3 h)
Geringe Axialvermischung	Annähernd Pfropfenströmung bzw. enge Verweilzeitspektren
Große Querschnitte	Ermöglichen die Zu- und Abfuhr von Gasen und Dämpfen sowie die Flashverdampfung überhitzter Lösungen
Geschlossene Bauweise	Erlaubt die Prozeßführung unter Vakuum und die Verarbeitung von toxischen und explosionsgefährlichen Stoffen

Ausführung

Die Discotherm-B-Knetmaschinen werden für kontinuierlichen Betrieb bis zu Größen von 16 500 l (entspricht einer Austauschfläche von 128 m² und für absatzweisen Betrieb bis zu Größen von 11 000 l (entspricht 64 m²) gebaut. Das Gehäuse, in Doppelmantel- bzw. in Halbrohrschlangenausführung, die Rührwelle und die Scheibenelemente sind mit Dampf, Warm- bzw. Druckwasser oder mit Wärmeträgeröl heizbar und gegebenenfalls mit Kühlwasser oder Sole kühlbar.

Die AP-Knetmaschinen werden primär für kontinuierlichen Betrieb bis zu Größen von 4 300 l (entspricht einer Heizfläche von 40 m²) gebaut. Das Gehäuse, das ebenfalls mit Doppelmantel bzw. mit Halbrohrschlangen versehen ist, beide Rührwellen und die Scheibenelemente der Hauptwelle, sind wie bei den Discotherm-B-Knetmaschinen mit den gleichen Medien heiz- bzw. kühlbar.

Beide Knetmaschinentypen werden aus jedem schweißbaren Werkstoff gefertigt. Beide können wahlweise mechanisch oder hydraulisch angetrieben werden. Die Abdichtung der Wellendurchführungen erfolgt durch Stopfbuchsen in verschiedenen Ausführungen oder auch durch Gleitringdichtungen.

Anwendungsbereich und Verfahrensbeispiele

Gemäß den bisherigen Erfahrungen aus industriellen und halbertechnischen Anlagen haben sich die Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen für die in der Tabelle 2 erwähnten thermischen Trennprozesse bewährt.

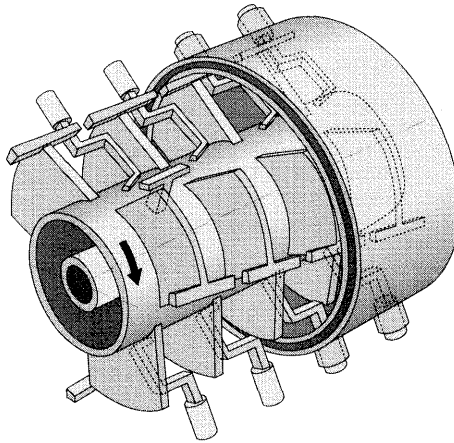


Abb. 2 Arbeitsprinzip Discotherm B

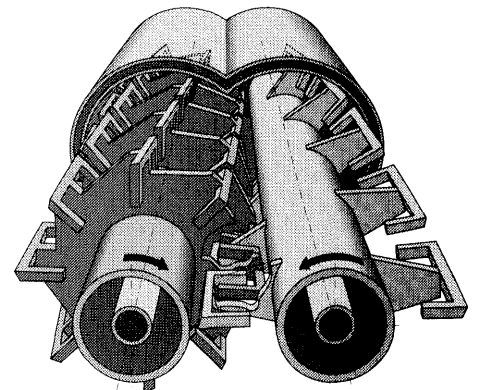


Abb. 3 Arbeitsprinzip der AP-Knetmaschine

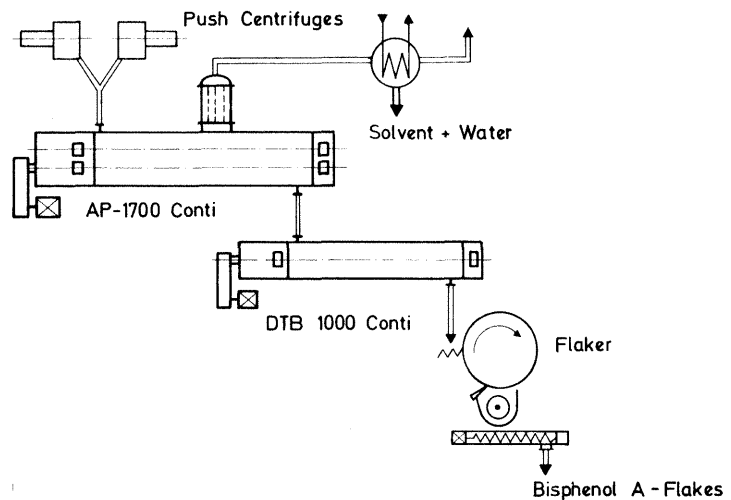


Abb. 4 Reinigung, Homogenisierung und Schuppierung von Bisphenol A

Schmelzen

Das Aufschmelzen von Feststoffen steht oft am Anfang von vielen Prozessen. Das aufgeschmolzene flüssige Produkt dient verschiedenen Zwecken der Prozeßführung wie z. B.:

- Verflüssigen einer Komponente für die Durchführung einer Reaktion mit einem heterogenen Gemisch von Feststoffen,
- Aufschmelzen eines Produkts, das als Bindemittel bei Misch- und Knetprozessen dient,
- Aufschmelzen eines Produkts zwecks Entfernung einer Verunreinigung durch Verdampfen,
- Schmelzen als Ausgangsprozeß für das nachfolgende Granulieren, Pelletieren oder Prieren.

In Abbildung 4 ist als Beispiel der kombinierte Ersatz eines AP Conti und eines Discotherm-B-Conti-Knet-Schmelzers/-Eindampfers zur Reinigung und Homogenisierung von Bisphenol A dargestellt.

Tabelle 2 Anwendungsbereich der Discotherm-B- und AP-Knetmaschinen

Trennprozeß	Medien
Schmelzen Eindampfen Kristallisieren Trocknen	Feststoff, Pasten Suspensionen Lösungen, Produkte mit zähen und krustenden Zwischenphasen

Die Verwendung von Bisphenol A als Antioxidant für Weichmacher bzw. als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Epoxid-, Polycarbonat- und Phenol-Harzen erfordert eine hohe Reinheit bezüglich Endgehalt an Lösemittel und Wasser sowie ein homogenes Endprodukt. Diese Anforderungen lassen sich durch den Einsatz von AP- und Discotherm-B-Conti-Knetmaschinen folgendermaßen erfüllen:

Das Bisphenol-A-Kristallisat fällt von zwei abwechselnd entleerten Zentrifugen in einen AP Conti und wird dort erhitzt. Es schmilzt hierbei als Eutektikum. Die enthaltenden Verunreinigungen dampfen aus und werden in einem Kondensator aufgefangen. Das Produkt wird durch das Verlassen der Eutektikum-Bedingungen wieder fest und fällt in den nachgeschalteten Discotherm-B-Conti-Knet-Schmelzer. Bei diesem zweiten Schmelzvorgang werden die restlichen Verunreinigungen bis auf Spuren ausgedampft und das Bisphenol A homogenisiert. Das geschmolzene Endprodukt wird anschließend auf einer Schuppenwalze gekühlt und schuppiert.

Durch die Kombination AP/Discotherm B Conti ist die Reinigung und Homogenisierung von Bisphenol A unter eng kontrolliertem Temperaturprofil im kontinuierlichen Betrieb möglich.

Kristallisieren

Die Kristallisation als Umkehrung des Schmelz- bzw. des Lösungsvorgangs stellt, abhängig von den Produkteigenschaften, apparativ außerordentlich vielseitige Anforderungen, die produktspezifisch sind, wie z. B. Schmelzkurven, Löslichkeitskurve, Temperatur- und Druckeinfluß. Andererseits sind die Anforderungen an das Endprodukt zu beachten, wie Größe der Kristalle, Temperaturempfindlichkeit etc. Verfahrenstechnisch ist die Kristallisation zu unterscheiden in:

- Kristallisation aus Schmelzen durch Abkühlung. Da die mögliche Wärmeabfuhr durch die Dissipationswärme vermindert wird, ist dieses Verfahren nur bei gut kristallisierenden Produkten wirtschaftlich.
- Kristallisation aus Lösungen durch Verdampfung oder Abkühlung.

Ein industriell bewährtes Beispiel hierzu ist die Kristallisation und anschließende Trocknung von Alkaliphenolaten aus konzentrierter wäßriger Lösung als Vorstufe zur Karboxylierungsreaktion für die Produktion von Salicylaten in großen, chargenweise betriebenen Discotherm-B-Knetmaschinen.

Als weiteres Beispiel für die Kristallisation aus Lösungen durch Wärmezufuhr sind das Eindampfen von Natriumsulfat- und Boratlösungen, die als schwach- und mittelradioaktive Konzentrate in Nuklearkraftwerken anfallen, zu erwähnen.

Eindampfen und Trocknen

Eindampfen und Trocknen, kontinuierlich oder absatzweise, atmosphärisch oder unter Vakuum, sind vielleicht die häufigsten thermischen Trennverfahren.

Tabelle 3 Anforderungen des TDI-Eindampfprozesses

Anforderung	Eigenschaft
Der flüssige Destillationsrückstand durchläuft beim Ausdampfen eine gummiartige, zähpastöse Phase und neigt zum Aufschäumen	Robuste Ausführung, Bewältigung der Zähphase durch hohe Drehmomente, großer Freiraum für den Abzug der Dämpfe, wirksame Zerstörung von Schäumen durch die Wirkung der Rührwelle: Füllgradreserve im Apparat
Bei Rest-TDI-Gehalten unter ca. 10 bis 15% wird der Rückstand fest, starke Neigung zum Krusten	Gute Selbstreinigung der Heizflächen und effiziente Zerkleinerungswirkung
Erhöhte Arbeitssicherheit wegen der Toxizität des TDI	Geschlossene Bauweise
Personaleinsparung	Kontinuierlicher Betrieb
Vermeidung der Gefahr von Zersetzungsreaktionen	Vakuumbetrieb, enges Verweilzeitspektrum

Bei Produkten, die als Gemische reiner Flüssigkeiten niedriger Viskosität anfallen (<30 Pa·s) und die weder krustend noch belagsbildend sind, ist die Verarbeitung durch direktes Eindampfen oder sogar Destillieren möglich. Sind jedoch Feststoffe beteiligt oder treten während der Verarbeitung schäumende, hochviskose (30 Pa·s <20 000 Pa·s), zähe und krustende Zustände auf, dann stellt die Aufrechterhaltung eines wirksamen Wärme-

und Stoffaustausches während der Prozeßführung durch Eindampfen/Trocknen hohe apparative Anforderungen.

Ein solches Verfahren ist die Rückgewinnung von Toluolendiisocyanat (TDI) aus Destillationsrückständen durch kontinuierliche Vakuum-eindampfung und -trocknung bis zum rieselfähigen Zustand.

Bei der Herstellung von TDI, einer Komponente für die Polyurethanfabrikation, fallen bei den bestehenden Syntheseverfahren erhebliche Mengen von Destillationsrückständen auf, mit einem Rest-TDI-Gehalt von ca. 20 bis 50%. Die vollständige thermische Abtrennung des TDI aus diesen bei Temperaturen von 100 bis 180 °C noch flüssigen Rückständen ist bisher industriell nicht befriedigend gelöst. Die speziellen Anforderungen des TDI-Eindampfprozesses und die entsprechenden funktionellen Eigenschaften eines mit Erfolg einsetzbaren Apparates sind in Tabelle 3 gegenübergestellt.

Mit dem AP-Conti-Eindampfer ist die Rückgewinnung von TDI aus Destillationsrückständen auf Restgehalte <0,5% im kontinuierlichen Betrieb unter Vakuum möglich.

Die TDI-freien Rückstände fallen körnig/pulverig an und können gefahrlos deponiert oder zur Energieerzeugung verwertet werden.

Weitere Beispiele sind die Verdampfung von mittelsiedenden Kohlenwasserstoffen aus ataktischem Polypropylen oder aus Polymerrückständen sowie von Lösemitteln aus Schlämmen der Pharmaproduktion.

Schlußbemerkung

Für den kontinuierlichen Betrieb unter Druck oder Vakuum sind Dosier- und Austragsorgane erforderlich, die den reibungslosen Betrieb der Gesamtanlage gewährleisten. Für die Vielfalt der Fließeigenschaften und Prozeßbedingungen stehen folgende Ein- und Austragsorgane zur Verfügung:

- Systeme für gravimetrische und volumetrische Dosierung,
- eine speziell entwickelte Ein- und Austragsdoppelschnecke, die tottraumfrei im Gehäuse integriert ist für hochviskos-pastöse Produkte,
- Pastenbunker für schlammartige Ausgangsstoffe,
- Vakuum-Kammerschleusen mit bewährten Schleusenventilen,
- Kolbenschleusen für quasikontinuierlichen Austrag aus Vakuum.

Komplexe thermische Prozesse stellen spezifische Anforderungen. Die geeignete Anlage und die optimalen Prozeßbedingungen werden nach der Durchführung von entsprechenden Pilotversuchen und eingehender Prüfung ausgewählter Prozeßvarianten festgelegt. Moderne Piloteinrichtungen stehen zur Verfügung. Die im Pilotmaßstab gewonnenen Erfahrungen werden mittels Scale-up-Prozeduren auf großtechnische Anlagen übertragen.

Weitere Informationen **cav-202**

Abb. 5 Discotherm-B-6300-Batch-Anlage zur Herstellung von Salicylaten

