1 Einleitung

Ein Großteil der Prozesse in der stoffumwandelnden Industrie erfolgt in chargenweisen Verfahren. Kirschneck und Huss [1] beschreiben, dass zwar die meisten der 300 Hauptprodukte in der organischen Chemie kontinuierlich hergestellt, von allen anderen Produkten jedoch über 90 % diskontinuierlich gefertigt werden. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere Firmen mit geringen Produktionsmengen pro einzelnem Produkt, kurzer Produktlebensdauer oder einem variantenreichen Produktspektrum den Chargenbetrieb favorisieren.

Chargenweise Produktionsverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Verfahrensschritte zeitlich hintereinander durchgeführt werden. Es sind von ihrem Grundsatz her zeitabhängige Prozesse, die auch als Batchprozesse bezeichnet werden. Mit Heiz- bzw. Kühlmänteln ausgestattete Rührkessel sind die zentralen Apparate. Bei manchen Prozessen werden alle Schritte in nur einem einzigen Kessel ausgeführt. Ansonsten besteht gemäß Fürer et al. [2] die Möglichkeit, die Rührkessel entweder im Rahmen von sogenannten „pipeless plants“ zu den jeweiligen Stationen der verfahrenstechnischen Grundoperationen zu bewegen oder per Leitung und Verteilerstation mit den Ansatzkesseln, den Betriebsmittelzuführungen sowie den nachfolgenden Trenneinheiten und Zwischenbehältern zu verbinden.

Diskontinuierliche Prozesse sind außerdem charakterisiert durch eine hohe Flexibilität. Dies betrifft erstens unterschiedlich große Produktionsmengen. Schmalz [3] nennt typische Ansatzgrößen von 1–10 m^3 für die Spezial- und Pharmaindustrie. Um eine hohe Auslastung des Apparateparks zu erzielen, dienen die vorhandenen Apparate zumeist als Mehrproduktanlagen. Zweitens erlaubt die einfache Geometrie eines Rührkessels die Verarbeitung von Edukten mit unterschiedlichen Eigenschaften, mit der Neigung zum Schäumen oder Fouling, mit einem hohen Feststoffgehalt sowie unterschiedlichen Viskositäten. Treten Ablagerungen auf, können diese während des Reinigungsvorgangs zur Not manuell entfernt werden. Drittens setzt die Herstellung in Rührkesseln laut Stitt und Rooney [4] oftmals nur ein geringes Wissen über die Edukteigenschaften sowie die während des Prozesses ablaufenden physikalischen und chemischen Vorgänge voraus. Sollte ein Prozess nicht zu den gewünschten Ergebnissen führen, können die Prozessbedingungen bereits im nächsten Durchgang geändert werden. Deshalb bedürfe es nur eines geringen Vorlaufs, um neue Produkte auf den Markt zu bringen.

Mit dieser Flexibilität gehen jedoch hohe Ineffizienzen und entsprechende Kosten einher, wie Stitt und Rooney [ebd.] ausführen. Dies gilt erstens für den Energiebedarf. Aus dem niedrigen Oberfläche-zu-Volumen Verhältnis eines üblichen Rührkessels resultieren lange Perioden zur Wärmeübertragung und damit ein entsprechend hoher Energiebedarf. Aufgrund der Zeitabhängigkeit ist eine Wärmeintegration bei chargenweisen Prozessen meist nur über einen Wärmespeicher möglich. Dieses Potential wird allerdings häufig nicht realisiert, was Schnitzer und Titz [5]

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

u.a. dem Aspekt zuschreiben, dass die Wärmerückgewinnung bei diskontinuierlichen Prozessen technologisch komplex und damit meist nicht so wirtschaftlich wie bei kontinuierlichen Anlagen ist.

Zweitens sind geringe Effizienzen bei Mischvorgängen in Rührkesseln zu beobachten. Die über das Rührwerk in den Kessel eingetragene Energie wird sowohl für die Umwälzung des Kesselinhaltes als auch für die lokale Vermischung der Ansätze benötigt. Aufgrund des großen Volumens ist die Energiedichte relativ gering, der Mischprozess auf Mikromischebene schlecht kontrollierbar und damit auch schlecht vergleichbar zu reproduzieren. Gleichzeitig kann eine inhomogene Temperaturverteilung im Kessel aus einer ungleichmäßigen Vermischung resultieren. Beides kann eine Ursache für niedrige Ausbeuten und Qualitätsschwankungen von Charge zu Charge sein. Letztere können dazu führen, dass bis zu 20 % der Produktmenge aufgrund von Qualitätsmängeln verworfen werden müssen, wie im Dechema-Leitfaden Mikroverfahrenstechnik [6] für die chargenweise Herstellung von OLED-Farbstoffen durch eine Suzuki-Polykondensation angegeben.

Drittens resultiert aus dem großen Hold-up des Rührkessels eine hohe spezifische Reinigungsmittelmenge, die entsprechende Bereitstellungs- und Entsorgungskosten aber auch Umweltbelastungen zur Folge hat. Die durch die Verwendung als Mehrproduktanlage bedingten häufigen Reinigungszyklen tragen neben den Füll- und Entleerungsschritten zu langen Totzeiten bei.

Diskontinuierliche Prozesse sind viertens gemäß Behr et al. [7] oft mit einem hohen Überwachungs- und damit Personalaufwand während der Produktion verbunden. Zumeist ist weiteres Personal für die der Produktion nachgeschaltete Probenuntersuchung sowie zur Verwaltung der Rückstellproben und damit zur Chargenrückverfolgbarkeit vorzuhalten.

Fünftens werden die Prozessparameter sowie die Chemie aufgrund der geringen Informationstiefe über Prozessphänomene und Edukte nach Stitt und Rooney [4] oftmals an die Möglichkeiten und Bedingungen der zur Verfügung stehenden Standardrührkessel angepasst. Die angewendeten Einstellungen basieren Hugo und Lopez [8] zufolge so statt auf detaillierten Laboruntersuchungen häufig auf Erfahrungswerten, so dass die inhärenten Möglichkeiten der durchgeführten Reaktionen nicht ausgenutzt werden.

Gleichzeitig verändern sich die Wettbewerbsbedingungen in der Fein- und Spezialchemie. Der Aufbau neuer Produktionskapazitäten insbesondere für Bulkprodukte in Asien erhöht gemäß einer KPMG-Studie [9] den Preisdruck auf die Produzenten in Europa. Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte zu erhalten, versuchen sie, die Herstellungskosten u.a. durch eine weitestgehende Prozessautomatisierung zu verringern. Außerdem beschleunigt der Preisdruck die Verlagerung der Aktivitäten aus dem Bereich der Massenprodukte hin zur Fertigung von Spezialitäten, d. h. von Produkten, die auf spezifische Kundenwünsche ausgerichtet sind. Aufgrund der strikteren Umweltgesetzgebung stehen Firmen außerdem unter dem Druck, ihre Prozesse in Bezug auf Material- und Energieeffizienz zu optimieren, womit gemäß Schmidt und Schneider [10] ebenfalls ein ökonomischer Anreiz verbunden ist.

Diese gestiegenen Anforderungen lassen sich jedoch allein durch eine Verbesserung der klassischen Verfahren nicht erfüllen. Vielmehr muss ein Überdenken der Prozesse und Prozessführung erfolgen, welches nach Charpentier [11] auch die Verwendung von prozessintensivierenden Maß-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

nahmen einschließen sollte. Im Rahmen dieser Arbeit soll am Beispiel von Fasermalertinten überprüft werden, ob bzw. unter welchen Bedingungen dadurch eine Verringerung der Umweltbelastungen bewirkt und eine wirtschaftliche Alternative zum traditionellen Verfahren entwickelt werden kann. Fasermalertinten bilden dabei eine typische Produktgruppe aus der Fein- und Spezialchemie mit vielen verschiedenen, jedoch im Hinblick auf die Inhaltsstoffe sowie den Herstellungsprozess sehr ähnlichen Produkten. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf Forschungsarbeiten, die im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Vorhabens „Vom Batch zur Kontifertigung: Neue Prozessfenster und Fertigungsstrategien durch Mikroproduktionstechnologie“ (AZ 25833) durchgeführt wurden. Als Projektpartner fungierte die Pelikan Produktionsgesellschaft mbH mit Sitz in Peine, Niedersachsen, die das Fallbeispiel einbrachte.

Kapitel 2 beginnt mit der Beschreibung des Fallbeispiels der Fasermalertinten, wobei die Zusammensetzung der Tinten, der Ablauf der derzeitigen chargenweisen Herstellung sowie die dabei auftretenden Probleme erläutert werden. Darauf aufbauend werden die Anforderungen an ein alternatives Produktionsverfahren formuliert, Ansätze zur Lösung der beschriebenen Probleme vorgestellt und die vielversprechendste Alternative ausgewählt. Anschließend werden in Kapitel 3 die Untersuchungen zum Alternativverfahren im Labormaßstab beschrieben. Auf deren Basis entsteht sodann ein Konzept zur Herstellung von Tinten im Produktionsmaßstab. Dieses Produktionsverfahren wird in Kapitel 4 im Hinblick auf sein Potential zur Senkung der Umweltbelastungen im Vergleich zum traditionellen Verfahren bewertet. Die dazu erstellten Stoffstrommodelle dienen als Grundlage für den Prozessvergleich in ökonomischer Hinsicht, der in Kapitel 5 dargelegt wird. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und einem Ausblick.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2 Fasermalertinten und ihre Herstellung

Fasermaler stellen eine von sieben Produktgruppen innerhalb der Produktfamilie der Schreibfarben dar, wie in Abb. 2.1 gezeigt. Sie sind laut Industrieverband Schreiben, Zeichnen, Kreatives Gestalten e.V. [12] dadurch gekennzeichnet, dass eine ungefasste, poröse Faserspitze für die Tintenauftragung genutzt wird. Zur Produktgruppe der Fasermaler zählen demnach Fasermaler für Kalligraphie, Layout-Marker, „klassische“ Fasermaler, Marker und Brush-Pens. Im Gegensatz zu Kugelschreibern sind die technischen Eigenschaften von Fasermalern und ihren Tinten nicht in internationalen Normen festgelegt, sondern werden von den Herstellern definiert.

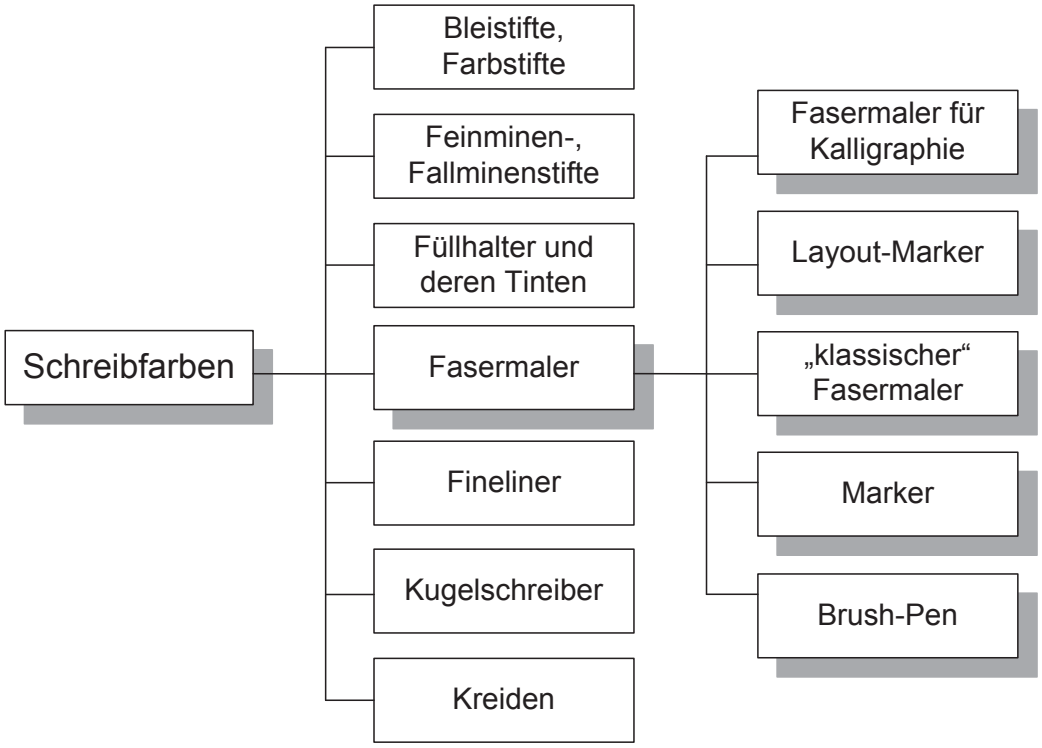

Abb. 2.1 Einteilung von Schreibfarben in Produktgruppen gemäß dem Industrieverband Schreiben, Zeichnen, Kreatives Gestalten e.V. [12, 13]

Im Jahr 2010 wurden dem statistischen Bundesamt [14] zufolge in Deutschland rund 610 Mio. Schreiber und Marker mit porösen Spitzen produziert. Fasermaler enthalten für gewöhnlich 1–2 g Tinte [12]. Eine Ausnahme stellen Marker und Layout-Marker dar, deren Füllmenge typischerweise 5–6 g beträgt [15]. Wird eine durchschnittliche Füllmenge von 3,5 g pro Stift angenommen, ergibt sich eine Gesamtproduktionsmenge an Tinte von 2.135 t für das Jahr 2010. Aufgrund der unterschiedlichen Nachfrage variiert die jährliche Produktionsmenge einzelner Tintenfarben allerdings zwischen wenigen Kilogramm und mehreren Tonnen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

In diesem Kapitel werden zunächst die Inhaltsstoffe von Fasermalertinten vorgestellt. Dabei wird auf die Funktion der einzelnen Tintenkomponenten in Bezug auf einzelne Produktionsschritte bzw. auf die Eigenschaften der fertigen Tinte eingegangen. Anschließend werden das traditionelle Produktionsverfahren sowie die damit verbundenen Nachteile und Probleme thematisiert. Danach folgen die Erläuterung möglicher verfahrenstechnischer Lösungsansätze und die Einordnung der eigenen Arbeit.

2.1 Zusammensetzung von Fasermalertinten

Die Inhaltsstoffe von Fasermalertinten können in flüchtige und nicht flüchtige Bestandteile unterschieden werden. Das Augenmerk dieser Arbeit liegt auf wasserbasierten Fasermalertinten, deren Inhaltsstoffe in Tab. 2.1 aufgeführt sind. Dabei wird auf eine spezielle Gruppe von wasserbasierten Fasermalertinten mit fünf verschiedenen Farben fokussiert. Alle fünf Farben setzen sich aus 10–15 unterschiedlichen Edukten zusammen, wobei die Rezepturen lediglich im Hinblick auf die Menge und Art der zugesetzten Farbmittel voneinander abweichen. Im Folgenden werden die Inhaltsstoffe der betrachteten Gruppe von Fasermalertinten vorgestellt.

Den flüchtigen Anteil dieser Tinten bildet vor allem Wasser, das als Lösungs- und Transportmittel für die übrigen Inhaltsstoffe dient und nach dem Auftragen auf einer Oberfläche verdunstet. Der Wunsch sowohl nach definierten Prozessbedingungen während der chargenweisen Herstellung als auch nach hoher Produktqualität erfordert die Zugabe von vollentsalztem (VE-) Wasser. Bei Einsatz von normalem Stadtwasser könnten die darin enthaltenen Ionen die Stabilität des Bindemittels gefährden.

Alle anderen Inhaltsstoffe tragen zur Bildung des Farbfilms bei und stellen so die nicht flüchtigen Bestandteile dar. Den mengenmäßig größten Teil nimmt eine Polymerdispersion ein, die als Bindemittel eingesetzt wird und aus in Wasser dispergierten Polymerpartikeln besteht. Der Feststoffanteil an der Gesamtrezeptur beträgt ca. 20 %. Die Polymerpartikel weisen alle die gleiche Oberflächenladung auf, wodurch sie sich abstoßen. Auf diese Weise wird für die Dispersion eine elektrostatische Stabilisierung erreicht, die mit Hilfe des Zetapotentials quantifiziert werden kann. Abb. 2.1 zeigt die verwendete Polymerdispersion, deren Viskosität bei 20 °C je nach Charge produktionsbedingt zwischen 30 und 220 mPas liegt. Durch eine Temperaturerhöhung induziert, reagieren die Polymerpartikel während der Tintenherstellung mit den Farbmitteln. Das Bindemittel ist außerdem für die Bildung des Farbfilms und seiner Haftung auf der Oberfläche verantwortlich. Nachdem die Farbe in einer dünnen Schicht auf den Untergrund aufge-

Tab. 2.1 Flüchtige und nicht flüchtige Bestandteile von wasserbasierten Fasermalern

Flüchtiger Anteil	Nicht flüchtiger Anteil
Vollentsalztes Wasser	Bindemittel
Flüchtige Anteile der anderen Inhaltsstoffe (v. a. Wasser)	Farbmittel
	Glycerin
	Konservierer
	Additive

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

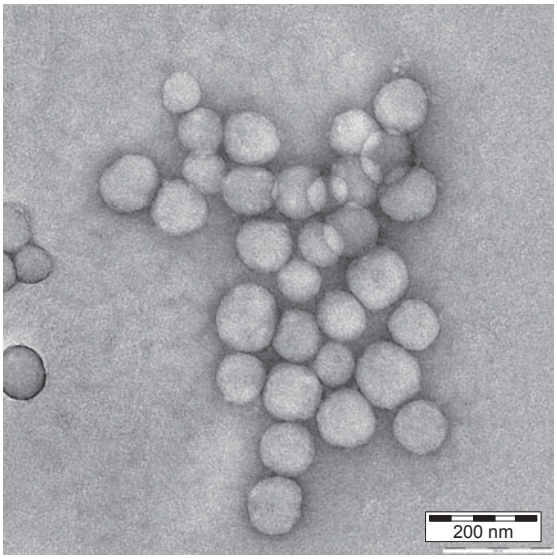

Abb. 2.2 TEM-Aufnahme der verwendeten Polymerdispersion: für die Aufnahme auf ein Kohlegitter aufgetragen und mit 2 %iger Uranyllösung kontrastiert

bracht worden ist, läuft der Trocknungsvorgang nach Kittel [16] folgendermaßen ab: Das in der Tinte enthaltene Wasser verdunstet, die Polymerpartikel koaleszieren bis schließlich durch Interdiffusion ein kontinuierlicher, trockener Film entsteht. Zur Erzeugung des gewünschten Farbtons werden pro Farbe meist mehrere unterschiedliche Farbmittel eingesetzt. Einige von ihnen liegen pulverförmig vor, während Andere als Flüssigfarben eingesetzt werden. Die Farbmoleküle weisen eine den Polymerpartikeln entgegengesetzte Ladung auf. Als Elektrolyte wirkend rufen sie bei einer ausreichend hohen lokalen Konzentration eine Agglomeration hervor, wie Tadros [17] ausführt. Um dies zu vermeiden, enthält die Rezeptur für den chargenweisen Produktionsbetrieb zusätzliche Inhaltsstoffe. Zum einen werden in geringen Mengen Additive hinzugegeben, die für eine zusätzliche sterische Stabilisierung des Bindemittels sorgen. Zum anderen wird bei der betrachteten Gruppe Fasermaler eine basische Aminlösung zur Einstellung des pH-Wertes genutzt, da dieser als Maß für die Konzentration der enthaltenen Oxoniumionen ebenfalls ein entscheidender Faktor für die Stabilität der Dispersion ist. Die Rezeptur beeinhaltet zudem Glycerin, das dem Austrocknen der mit Tinte getränkten porösen Minen entgegenwirken soll. Der Glycerinanteil ist auf die Wassermenge abgestimmt, um die gewünschte Viskosität der Tinten und damit die Schreibeigenschaften zu erreichen. Beim Auftragen der Tinte wird es teils in den Film, teils in die Papierstruktur eingelagert. Die Viskosität des verwendeten Glycerins beträgt bei 20 °C ca. 130 mPas. Zur Vermeidung eines Befalls durch Mikroorganismen wie Pilzen oder Hefen wird darüber hinaus ein Konservierer zugesetzt. Gemäß Herstellerempfehlung kann dieser maximal bis zu einer Fluidtemperatur von 40 °C eingesetzt werden.

2.2 Chargenweise Produktion von Fasermalertinten

Derzeit werden Fasermalertinten chargenweise hergestellt. Hauptursachen dafür sind die gewünschten jährlichen Produktmengen, die in der Einleitung beschriebene einfache Anpassungsfähigkeit des Chargenbetriebs an die Bedürfnisse der Herstellungsvorschriften unterschiedlichster

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Produkte sowie die Flexibilität im Hinblick auf die verschiedenen Eigenschaften der eingesetzten Edukte. Im Folgenden wird das derzeitige Produktionsverfahren beschrieben.

2.2.1 Ablauf der chargenweisen Herstellung

Beim Projektpartner Pelikan werden zur Produktion der wasserbasierten Fasermaler aufgrund der jährlichen Produktionsmenge von einigen Tonnen pro Farbe Rührkessel mit einem Volumen von 0,5–1 m^3 eingesetzt. Sie besitzen einen über Thermalöl beheizbaren Mantel und werden zur Herstellung aller fünf in der untersuchten Produktgruppe enthaltenen wasserbasierten Fasermalertinten eingesetzt. In [illegible] verwendeter Rührkessel dargestellt. Pro Charge wird zur[illegible]rden die in Abb. 2.4 gezeigten Produktionsstufen durchlau[illegible]

Generated by Foxit PDF Creator © Foxit Software.
http://www.foxitsoftware.com For evaluation only.

Abb. 2.3 Beispiel eines zur Produktion von Fasermalern verwendeten Rührkessels [18]

Zunächst stellt der Anlagenbediener zwei Ansätze in separaten Kesseln her, indem er Glycerin und VE-Wasser per Hausleitung zudosiert und die restlichen Inhaltsstoffe abwiegt. Der erste Ansatz besteht aus VE-Wasser, den Farbmitteln sowie einem Teil des in der Rezeptur enthaltenen Glycerins. Um die Lösung der pulverförmigen Farbstoffe zu garantieren, wird der Kesselinhalt bei verschlossenem Deckel über den Heizmantel auf 50–80 °C erhitzt und gerührt. Nachdem alle Farbstoffe gelöst sind, wird die Lösung bis auf Raumtemperatur an der Luft abgekühlt. Durch Zugabe einer wässrigen Aminlösung wird der pH-Wert der Farblösung an denjenigen des zweiten Ansatzes angepasst. Dieser wird in einem zweiten Kessel aus dem Bindemittel, den Additiven und dem Rest des Glycerins erstellt. Die Aufteilung des Eduktes Glycerin auf beide Ansätze führt zu deren Verdünnung und soll die Neigung zur Agglomeratbildung bei der nachfolgenden Vermischung verringern. Zur Mischung wird die Farblösung langsam zum Bindemittelansatz hinzudosiert und unter hoher Rührgeschwindigkeit mit diesem vermischt, wodurch ebenfalls die lokale Konzentration an Farbmolekülen minimiert und auf diese Weise die Agglomeratbil-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

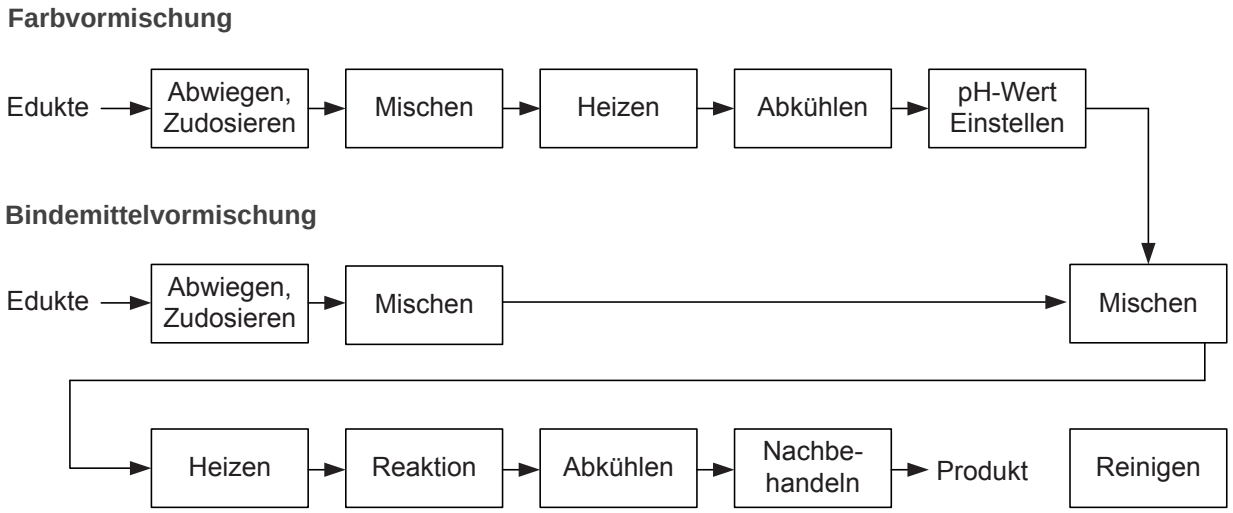

Abb. 2.4 Produktionsstufen der chargenweisen Herstellung von Fasermalern bei Pelikan

dung verhindert werden sollen. Nach ausreichender Vermischung wird der Kesselinhalt auf das geforderte Temperaturniveau erhitzt und dort für maximal 90 Minuten gehalten. Dabei findet die Farbreaktion statt, die visuell detektiert werden kann. Dies ist neben der Überwachung der Mischungstemperatur per Handthermometer die einzige Form der Prozesskontrolle. Nach Abkühlung der reagierten Mischung auf Umgebungsbedingungen wird der Konservierer während der Nachbehandlung hinzugegeben. Die fertige Tinte wird schließlich in Zwischenbehälter eingefüllt.

Zur Qualitätskontrolle wird von jedem Batch eine Probe genommen, die visuell mit dem Farbton einer Solltinte verglichen wird. Mittels eines Photometers werden zudem Extinktionskurven an verdünnter Tinte erstellt. Zusätzlich werden die Partikelgrößenverteilung, die Oberflächenspannung, der Feststoffgehalt, der pH-Wert sowie die Viskosität bestimmt. Erfüllt die Tinte die Spezifikationen, wird die Charge freigegeben. Die untersuchte Probe wird als Rückstellprobe für ein bis zwei Jahre aufbewahrt.

Nach jedem Produktionsdurchgang werden die Kessel gereinigt. Insbesondere an den Kesselwänden bilden sich während der Heizschritte Foulingschichten. Diese Schichten werden pro Kessel mit je 1 Liter Ethanol und 10 %-iger Natriumcarbonatlösung vorgelöst und manuell mit einer Bürste entfernt. Um die Überreste auszuspülen, werden die Kessel jeweils zweifach mit Wasser gefüllt, gerührt und wieder entleert, was zu einer spezifischen Abwasserproduktion von etwa 4 m^3 Abwasser pro m^3 Schreibfarbe führt. Diese Menge ist charakteristisch für chargenweise betriebene Produktionsanlagen, was durch den Vergleich mit Ergebnissen einer Studie von Perka et al. [19] deutlich wird. Basierend auf einer Einjahresstudie von 26 Rührkesseln berichten sie, dass die anfallende Menge an Reinigungslösung pro Kessel und Reinigungszyklus durchschnittlich dem zweifachen Kesselvolumen entspricht. Dabei variiere der Faktor zwischen 1 und 7 Reinigungsfüllungen pro Kessel. Bei Pelikan wird das Abwasser nach der Reinigung zentral im Werk gesammelt, bei Bedarf sein pH-Wert eingestellt und es danach zur Entsorgung dem lokalen Wasserversorgungsbetrieb zurückgeführt. Inklusive Reinigung beträgt die Gesamtproduktionszeit pro Charge im Durchschnitt 3 bis 7 Stunden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2.2.2 Probleme und Herausforderungen des Chargenbetriebs

Mit der chargenweisen Produktion von Fasermalertinten sind verschiedene Schwierigkeiten und Ineffizienzen verbunden. Auf Basis der in den Rührkesseln vorliegenden niedrigen Energiedichte musste in der Vergangenheit die Rezeptur und Prozessführung an die Bedingungen adaptiert werden, um die Bildung von Agglomeraten und damit einen zusätzlichen Nachbehandlungsschritt bzw. die Produktion von Tinte unzureichender Qualität zu vermeiden. Die ergriffenen Maßnahmen sind in Tab. 2.2 zusammengefasst.

Tab. 2.2 Zur Vermeidung von Agglomeraten beim chargenweisen Verfahren ergriffene Maßnahmen

Beschreibung der Maßnahme	Wirkung der Maßnahme
Einsatz von VE-Wasser anstelle von Leitungswasser	Vermeidung der Destabilisierung des Bindemittels durch im Leitungswasser enthaltene Ionen
Zugabe von Additiven zum Bindemittel	Zusätzliche sterische Stabilisierung des Bindemittels
Aufteilung des Glycerinanteils auf beide Ansätze	Verdünnung der beiden Ansätze, Absenkung der lokalen Konzentration der Farbmoleküle bzw. der Polymerpartikel
Anpassung des pH-Wertes der Farblösung an jenen des Bindemittelansatzes	Stabilität des Bindemittels abhängig vom pH-Wert, so geringstmögliche Beeinflussung
Langsames Zudosieren der Farblösung zum Bindemittel	Verbesserte Kontrolle der lokalen Konzentration der Farbmoleküle im Rührkessel und damit der Vermischung

All diese Maßnahmen sind jedoch nicht wertsteigernd. Sie stellen vielmehr durch Restriktionen der vorhandenen Apparate bedingte Rezeptur- und Prozessanpassungen dar, aus denen längere Produktionszeiten und erhöhte Personalkosten für die zusätzlichen Arbeiten resultieren. Kommt es trotz der Vorsichtsmaßnahmen zur Agglomeration, wird versucht, durch eine längere Mischzeit die Agglomerate wieder zu zerschlagen und ggf. durch eine Nachbehandlung, z. B. durch Zugabe einer weiteren Menge von Additiven, die Polymerpartikel erneut zu stabilisieren. Andernfalls erfolgt keine Freigabe der Tinte. Der entstehende Ausschuss beträgt zusammen mit den in den Apparaturen verbleibenden Resten nach Saß [20] jährlich insgesamt ca. 2 % der Produktionsmenge, was im Vergleich zur Herstellung von OLED-Farbstoffen mit 20 % Ausschuss [6] zwar gering ist. Jedoch sind die die fertigen Tinten zusätzlich Farbwertschwankungen unterworfen, was insbesondere durch die geringe Prozesskontrolle und die manuelle Abwaage der Edukte bedingt ist.

Außerdem führen die vielen manuellen Tätigkeiten zu einem hohen Personalaufwand und damit einem hohen Anteil der Personalkosten an den Gesamtkosten. Der Anlagenbediener ist für die Bereitstellung und Abwaage der Edukte, die Bedienung der Pumpe und der Rührwerke, die Produktionskontrolle vor Ort, die Abfüllung des Produktes, die Reinigung sowie die Probenahme verantwortlich. Die manuelle Abwaage und Bedienung sind weiterhin Ursachen für

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Qualitätsschwankungen. Nach der Produktion ist ein Chemielaborant für ca. 1 h mit der Untersuchung der Tintenproben beschäftigt und sorgt darüber hinaus für die Einlagerung mindestens einer Rückstellprobe pro Charge.

Ferner besteht ein hoher Energiebedarf auf Basis der beiden Heizvorgänge während der chargenweisen Herstellung der Tinten. Aufgrund der ineffizienten Wärmeübertragung in den Rührkesseln sind die Heizphasen zusammen mit den Abkühlphasen hauptverantwortlich für die langen Prozesszeiten pro Charge. Die Kessel sind überdies nicht isoliert, d. h. während der Heizvorgänge wird eine große Wärmemenge an die Umgebung abgegeben. Zur Abkühlung der fertigen Tinte wird schließlich lediglich der Kesseldeckel angehoben und die Mischung an der Luft abgekühlt. Ein Wärmespeicher zur Nutzung der Prozesswärme ist nicht installiert.

Ein ökologischer als auch ökonomischer Nachteil des diskontinuierlichen Prozesses liegt überdies in dem hohen Bedarf an Reinigungsmitteln zur Reinigung und Vorbereitung der Produktionskessel auf die nächste Charge begründet.

2.2.3 Schlussfolgerungen für ein alternatives Produktionsverfahren

Als Konsequenz aus den kritischen Aspekten des bisherigen Herstellungsverfahrens ergeben sich folgende Anforderungen an ein alternatives Produktionsverfahren:

- Konstante, hohe Produktqualität: Eine Prozessintensivierung im Hinblick auf die eingebrachte spezifische Energie beim Mischen sowie auf die Wärmeübertragungsfähigkeit der Komponenten ist dafür erforderlich. Sind die optimalen Prozessbedingungen definiert, sollte eine verstärkte Prozesskontrolle und -regelung bei deren Überwachung und Einhaltung helfen.
- Verringerung der Umweltbelastung: Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz müssen der Energiebedarf sowie die verwendete Reinigungsmittelmenge reduziert werden. Außerdem sollten die nicht wertsteigernden Prozessschritte weitestgehend eliminiert werden.
- Beibehaltung der Flexibilität: Da verstärkt auf Kundenwünsche zugeschnittene Produkte nachgefragt werden, verringern sich die Produktlebensdauer als auch die benötigten Mengen pro einzelnem Produkt. Eine im Hinblick auf Mengen und Varianten flexible Produktionsweise ist für die Herstellung von Spezialitäten, d. h. ähnlichen andersfarbigen Tinten mit geringen Produktionsmengen, erwünscht.

Zudem sollte ein alternatives Produktionsverfahren zuverlässig und sicher ablaufen sowie eine wirtschaftliche Alternative zum Batchverfahren darstellen.

2.3 Alternativen und Lösungsansätze

Eine reine Verbesserung des chargenweisen Verfahrens scheint den beschriebenen Anforderungen nicht gerecht werden zu können, insbesondere da die gewünschte Prozessintensivierung auch mit speziell ausgelegten Rührkesseln nur unzureichend realisiert werden kann. In diesem Abschnitt

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.