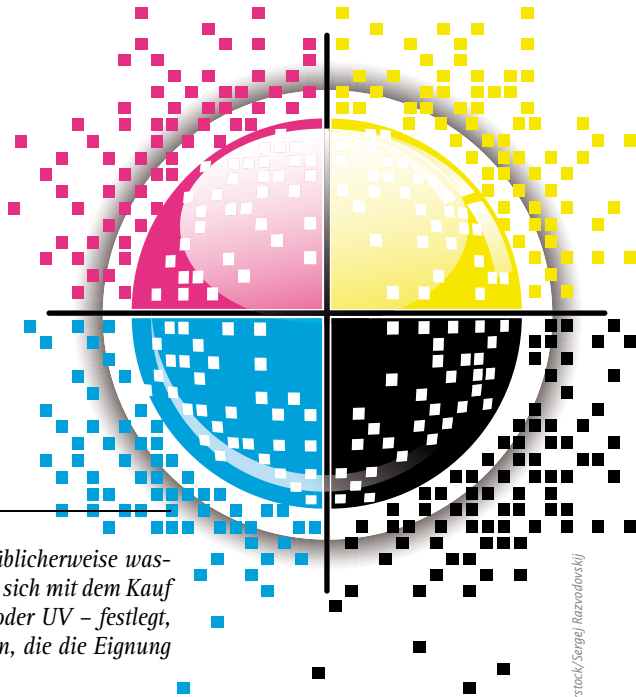


Im grafischen Verpackungsdruck eingesetzte Inkjettinten

Katharina Roeber, Ingo Reinhold

Im inkjetbasierten, grafischen Verpackungsdruck sind üblicherweise wasserbasierte oder UV-härtende Tinten im Einsatz. Da man sich mit dem Kauf einer Digitaldruckmaschine auf ein Konzept – Wasser oder UV – festlegt, ist es wichtig die spezifischen Besonderheiten zu kennen, die die Eignung der Tinte für eine Verpackungslösung bestimmen.



Quelle: Shutterstock/Sergej Nazarovskij

Teil 1:

Anforderungsprofil der Inkjettinte

- Verpackungsseitige Anforderungen an die Tinte
 - Druckverfahrenseitige Anforderungen an die Tinte
- (FTD 6-2023, Seite 26–28)

Teil 2:

Überblick über die eingesetzten Tintensysteme

- Wasserbasierte Inkjettinten
- UV-härtende Inkjettinten
- Sicherheitsaspekt Migration
- Kostenstrukturen für Inkjettinten

Inkjettinten sind niedrigviskos (3–20 mPas bei Verarbeitungstemperatur) und bestehen aus einer Trägerflüssigkeit, Cosolvents, farbgebenden Komponenten, Bindemitteln und Additiven. Für Verpackungen werden pigmentbasierte Tinten mit Partikelgrößen kleiner 1 µm eingesetzt, das heißt die farbgebende Komponente ist fest und in der Trägerflüssigkeit unlöslich (Dispersion).

Für die Verdruckbarkeit im Inkjet spielt die gleichmäßige Verteilung der Pigmente in der Tinte über einen gewissen Zeitraum eine wichtige Rolle. Zur Stabilisierung der Dispersion und zur Verhinderung von Agglomerationen tragen neben den inneren molekularen Kräften beigegebene Stabilisatoren und (wenn integriert) die kontinuierliche Zirkulation der Tinte im Druckkopf bei. Dennoch ist die Dispersionsstabilität begrenzt und li-

mitiert die Haltbarkeit der Tinten laut Herstellerangaben auf sechs bis zwölf Monate.

Wasserbasierte Inkjettinten

Wasserbasierte Tinten beinhalten als Trägerflüssigkeit Wasser und trocknen durch Verdunsten, bei saugfähigen Materialien zusätzlich durch Wegschlagen. Auf der Substratoberfläche verbleibt ein dünner, flexibler Farbfilm aus Pigmenten und Bindemitteln (Schichtdicke ca. 0,2–0,4 µm). Je nach Hersteller variieren die genauen Bestandteilemengen von wasserbasierten Tinten (Abbildung 1).

Der hohe Wasseranteil der Tinten birgt verschiedene drucktechnische Herausforderungen. So waren wasserbasierte Systeme lange Zeit hauptsächlich im Inkjet mit thermischen Druckköpfen zu finden, in denen das Wasser bei Aktivierung des Heizelements schlagartig verdampft, wodurch der für den Tropfenstoß notwendige Druck erzeugt wird. Für den piezobasierten Inkjet stellt, abhängig von der Druckkopftechnologie, die Leitfähigkeit der Tinten eine verfahrenstechnische Herausforderung dar. Die Verarbeitung wässri-

ger Systeme war zunächst nur mit Roof- oder Bend-Mode-Aktuatoren möglich. Bei diesen beiden Druckkopfarchitekturen führt kein elektrischer Pfad durch die Tinte, so dass elektrolytische Prozesse ausgeschlossen sind. Shear-Mode-Aktuatoren, bei denen die Problematik einsetzender Elektrolyse besteht, sind heute jedoch durch spezielle Beschichtungen und Isolation der Kanäle ebenso in der Lage wasserbasierte Tinten mit hoher Lebensdauer zu verarbeiten.

Ein weiterer verarbeitungsrelevanter Prozessparameter ist die Oberflächenspannung von Wasser. Für jeden Tropfenstoß muss der Meniskus der Flüssigkeit in der Düse innerhalb weniger Mikrosekunden in einen Strahl deformiert und damit Arbeit gegen die Oberflächenspannung verrichtet werden. Wasser besitzt mit 72 mN/m eine vergleichsweise hohe Oberflächenspannung, die mithilfe zugesetzter Cosolvents gezielt in den Bereich von etwa 40 mN/m gesenkt wird, um die für die Strahlbildung notwendige Energie zu reduzieren. Weitere Zusatzstoffe wie Tenside oder Surfactants spielen für diesen Effekt eine untergeordnete Rolle, da deren Diffusion zur Flüssigkeits-

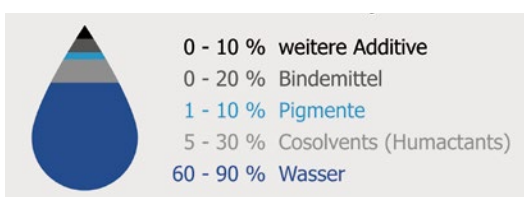


Abbildung 1: Bestandteile von wasserbasierten Inkjettinten

oberfläche zu lang dauert, um wirksam werden zu können. Das Beimischen von Cosolvents hat eine weitere wichtige Funktion: Als Feuchthaltemittel sollen sie das Verdunsten des Wassers an der Düsenöffnung und damit Viskositätsänderungen, Skinning und Verklumpung der Tinte verhindern, um die Zuverlässigkeit der Druckköpfe zu gewährleisten. Typischerweise werden dafür Glykole und Ether mit einem Siedepunkt oberhalb von 200 °C eingesetzt, die die Verarmung der Trägerflüssigkeit minimieren.

Der Nachteil dieser Maßnahme zeigt sich dann allerdings bei der Schichtbildung auf dem Substrat, wenn die Trägerflüssigkeit entfernt werden muss. Die Trocknung, die mit Wasser aufgrund seiner hohen Oberflächenspannung und Verdampfungsenthalpie ohnehin energieintensiv ist, wird durch die verdunstungshemmenden Cosolvents zusätzlich erschwert. Der notwendige Energieeintrag erhöht sich entsprechend, was für temperaturempfindliche Substrate kritisch sein kann. Saugfähige Substrate kompensieren die Trocknungsschwierigkeiten in einem gewissen Maße, da sie einen Teil des Wassers und der Cosolvents aufnehmen können und diese dann nicht mehr verdunsten müssen. Bei nicht saugfähigen Materialien erfolgt die Trocknung allein durch Verdunstung. Die Farbwirkung der Schicht hängt von der Flüssigkeitsbenetzung und der Pigmentanzahl auf der Substratoberfläche ab. Benetzungsschwierigkeiten zeigen sich mit wasserbasierten Tinten auf Polyolefinen (z.B. PE, PP), die durch Zugabe oberflächenaktiver Additive und Oberflächenbehandlungen versucht werden zu beheben. Bei saugfähigen Materialien bewirkt das Wegschlagen der Flüssigkeit, dass ein Teil der Pigmente in das Fasergefüge eindringt und somit nicht mehr an der Oberfläche optisch wirksam werden kann – die Farben sind blass. Abhilfe für diese Problemstellungen schafft die Vorbeschichtung des Materials mit einem geeigneten, transparenten Primer. Auf Kunststofffolien verbessern sie die Benetzbarkeit der Oberfläche. Auf saugfähigen Substraten haben sie die Aufgabe, die Pigmen-

te durch schnelle Absorption der Trägerflüssigkeit oder durch chemische Fällungsreaktionen zu immobilisieren, so dass sie auf der Substratoberfläche zu liegen kommen und nicht wegschlagen. Gleichzeitig kann das horizontale Aufsaugen der Tinte im Fasergefüge, das zum so genannten „Feathering“ führt (Abbildung 2), unterbunden werden.

Damit die Farben nicht ausbluten und an Grenzflächen ineinanderlaufen (Abbildung 2), werden die Tinten eines Farbsets mit gegensätzlich wirkenden funktionalen Gruppen ausgestattet. Bei Kontakt kommt es zur Ausflockung und damit zur Begrenzung des Stofftransports.

Trotz aller Herausforderungen, die Wasser für den Druckprozess mit sich bringt, haben diese Tinten einen entscheidenden Vorteil gegenüber UV-härtenden Systemen: Wasserbasierte Tinten können als

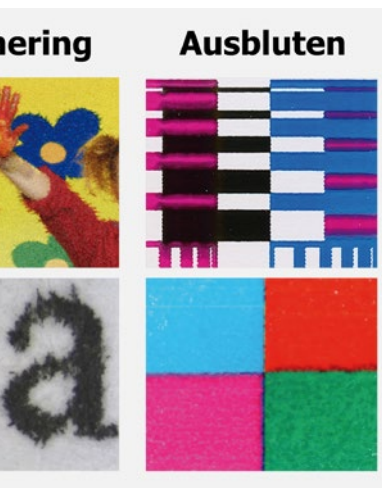
„Der hohe Wasseranteil der Tinten birgt verschiedene drucktechnische Herausforderungen.“

migrationssicher eingestuft werden. Damit sind sie sicherheitsrechtlich für das Bedrucken von Primärverpackungen für Lebensmittel, kosmetische Mittel und pharmazeutische Mittel geeignet und für viele Hersteller solcher Produkte die einzige Option für den Druck. Generell werden wasserbasierte Tinten bevorzugt für dünne, saugfähige Materialien eingesetzt.

Deinking von Inkjetintinen

Die Bestrebungen Verpackungen nachhaltiger zu gestalten und hochwertige Werkstoffkreisläufe zu etablieren, haben das Entfernen der Farbe vom entsorgten Packmittel weiter in den Fokus gerückt. Bei Kunststoffen, die industriell bisher nur mechanisch recycelt werden, erfolgt kein Deinking. Die erzielbare Rezyklatqualität ist damit nur für Schrumpf- und Gebindefolien, nicht aber für Primärpackmittel mit Lebensmittelkontakt geeignet. Hier gibt es erste Entwicklungen für Delaminierungsprimer, die zwischen Substrat und Tinte aufgetragen werden und das spätere Deinking von Kunststofffolien vereinfachen.

Für das Entfernen der Farbschicht von Papier ist das Floating-Verfahren industriell am weitesten



Quelle: DFTA CCD

UV-härtende Inkjetintinen

Bei UV-härtenden Tintensystemen dienen hochreaktive Monomere und Oligomere als Trägermedium für die Pigmente. Beigemischte Fotoinitiatoren lösen bei Bestrahlung mit UV-Licht eine Polymerisationsreaktion aus, die zur Vernetzung der Moleküle zu Polymeren und damit zum Aushärten der Schicht (Dicke etwa 4 – 6 µm) führt. Die prinzipielle Zusammensetzung einer UV-Tinte zeigt Abbildung 3. Die Einsatzstoffe sind teuer und nur von wenigen Anbietern erhältlich. Um eine verarbeitbare Viskosität zu gewährleisten, können bei der Tintenformulierung nur Moleküle mit geringem Molekulargewicht bzw. keine hohe Konzentration von Molekülen mit vielen Reaktionsstellen eingesetzt werden. Im Lagerzustand beträgt die Viskosität einer UV-Tinte etwa 30 – 40 mPas, was Vorteile für die Disper-

Abbildung 2: Fehlerbilder im wasserbasierten Inkjet auf saugfähigen Materialien

ten verbreitet, für das Inkjetintinen eine gewisse Herausforderung darstellen. Die Tintenpartikel, die im Prozess von der Faser gelöst werden, sind zu klein und hydrophil, so dass sie nicht per Luftblasen zur Oberfläche der Fasersuspension transportiert und dort abgeschöpft werden können. Zur Verbesserung der Deinkbarkeit werden der Tinte Polymere zugesetzt oder Primer auf das Substrat aufgetragen, die ein Koagulieren der Pigmente bewirken, wodurch größere Partikel mit hydrophobem Charakter entstehen, die sich im Floating-Prozess entfernen lassen. In der grafischen Industrie gibt es hier bereits Lösungen, gute Deinkbarkeit durch eine geschickte Farbformulierung zu erreichen.

sionsstabilität hat. Für das Jetten ist das jedoch zu hoch, warum die Tinte für die Verarbeitung im Druckkopf auf eine Temperatur von etwa 45 °C erwärmt und damit ihre Viskosität auf 5–15 mPas gesenkt wird. Verglichen mit wasserbasierten Tinten ist das Jetten von UV-härtenden Tinten weniger pro-

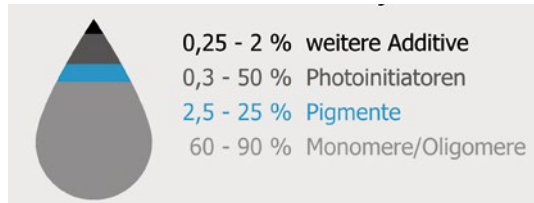


Abbildung 3: Bestandteile von UV-härtenden Inkjetintinen

blematisch. Sie enthalten keine flüchtigen Lösemittel, die entweichen und Eigenschaftsänderungen verursachen können. Allerdings gilt es zu verhindern, dass die Tinte vorzeitig am Druckkopf aushärtet, was eine Abschirmung der Druckeinheit gegenüber (Streu) Licht erfordert. Benetzungsschwierigkeiten können sich vor allem auf den Polyolefinen PE und PP zeigen. Diese werden durch Vorbeschichtung mit einem Primer oder eine Corona-Vorbehandlung reduziert. Auf saugfähigen Materialien besteht das Risiko, dass Tintenbestandteile in das Fasergefüge wegschlagen, so dass sie nicht vom UV-

Licht bestrahlt werden und nicht aushärten können. Finden UV-Tinten auf saugfähigen Substraten Einsatz, ist ein Primerauftrag erforderlich, der das Wegschlagen verhindert. Für die schnelle Härtung der gedruckten Schicht sind hochenergetische UV-Strahlung (UV-A) bzw. Strahlungsquellen mit hohem Energieoutput nötig. In der Praxis werden dafür Quecksilberdampf-Hochdrucklampen oder UV-LED-Systeme eingesetzt. Die Dampflampen liefern eine hohe Intensität mit einem breiten Spektrum, was den Einsatz unterschiedlicher Fotoinitiatoren und das Erzeugen vielfältiger Filmeigenschaften ermöglicht. Jedoch geht damit auch eine hohe Wärmeentwicklung einher, die für temperaturempfindliche Substrate kritisch werden kann. Mit UV-LED-Systemen verläuft die Vernetzungsreaktion in der Farbschicht langsamer und die Fotoinitiatoren müssen auf die Wellenlänge der LEDs (typischerweise 365 – 405 nm) abgestimmt sein, damit die Tinten bei schmalbandiger Energie härten. Verglichen mit Dampflampen haben UV-LED-Systeme einen geringeren Energieverbrauch und erwärmen das Substrat weniger stark. Aufgrund ihrer kompakten Bauform werden sie für Pinning-Systeme zur Zwischentrocknung von

Farbauszügen (insbesondere für Weiß) oder vor dem Transport zur finalen Trocknung eingesetzt, womit die Tropfengröße auf dem Substrat stabilisiert wird. Die infolge der UV-Belichtung einsetzende Polymerisation in der gedruckten Schicht kann kationisch oder radikalisch verlaufen. Kationische Vernetzung vollzieht sich langsamer, ohne Volumenkontraktion und setzt sich auch nach Belichtungsende fort. Die radikalische Reaktion erfolgt mit hoher Geschwindigkeit, stoppt, wenn die Belichtung endet, und geht mit Schrumpfungseffekten einher. Da Sauerstoff die Vernetzung behindert, optimiert ein Spülen mit inertem Stickstoff diesen Prozess. Radikalisch vernetzende Systeme lassen sich mit Wasser verdünnen und sind damit für die Herstellung von Hybridtinten geeignet. Ziel des Härtungsprozesses ist eine möglichst vollständige Vernetzung der Moleküle in der Schicht. Normale UV-Tinten erreichen einen Vernetzungsgrad von 92–98%. Das bedeutet, dass ein Teil der Monomere nicht polymerisiert ist und Fotoinitiatoren aufgrund der räumlichen Trennung zu weiteren Reaktionspartnern ungenutzt sind. Diese Stoffe können aus der Farbschicht ins Packungsinere migrieren – dies umso mehr, da die Moleküle

Sicherheitsaspekt Migration

Im verpackungstechnischen Kontext bezeichnet Migration den Transport einer Substanz aus der Verpackung in das Füllgut oder umgekehrt. Die gedruckte Schicht als fester Bestandteil des Packmittels ist potentieller Stofflieferant für solche Sorptions- und Diffusionsprozesse.

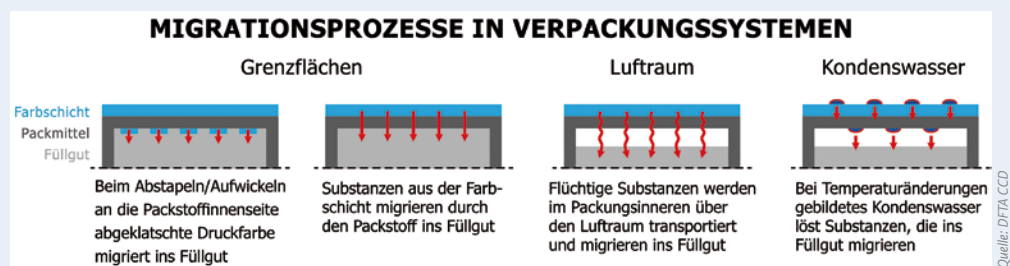
Für Produkte wie Lebensmittel, kosmetische oder pharmazeutische Mittel, die an oder im Körper angewendet werden, sind Migrationsprozesse kritisch, da sie gesundheitsgefährdende Eigenschaftsänderungen und Kontaminationen verursachen können. Weniger gefährlich, aber ebenso unerwünscht, sind Stoffübergänge vom Produkt auf die Verpackung, die Veränderungen an der Farbschicht bewirken.

Migrationsprozesse können sich in Verpackungssystemen auf verschiedenen Wegen vollziehen. Sie werden von vielfältigen Einflussfaktoren bestimmt: Molekülgröße der Migranten, Größe der bedruckten Fläche, Art und Dicke des Packstoffs, Kontaktzeit von Packmittel und Beschichtung,

Lager Temperatur(schwankungen), Art des Füllguts, Berührungsfläche und Mengenverhältnis zwischen Packmittel und Füllgut.

Migrationsprozesse in Verpackungssystemen

Packstoffe wie Metall oder Glas sind hochfunktionelle Barrieren, an denen keine kritische Migration stattfindet. Bei porösen Materialien wie Faserstoffen oder dünnen PP- oder PE-Folien muss das Migrationsgeschehen in Tests mit worst-case-Bedingungen (geringe Packstoffdicke, hohe Farbmenge, unzureichende Trocknung/Härtung) für das spezifische Verpackungssystem aus bedrucktem Packmittel und Füllgut geprüft werden.



Bei porösen Materialien (z. B. Papier, dünne PP- oder PE-Folien) muss das Migrationsgeschehen in Tests geprüft werden

bei Inkjettinten sehr klein sind. Für Füllgüter, die zur Aufnahme in den Körper bestimmt sind, stellt dies ein Sicherheitsrisiko dar, warum klassische UV-härtende Tinten nicht für Primärverpackungen solcher Produkte eingesetzt werden können. Die Alternative sind migrationsreduzierte UV-Tinten (low migration inks), die einem anderen Formulierungskonzept folgen und bei optimalen Aushärtungsbedingungen einen Vernetzungsgrad von 99,9995% erreichen sollen. Solche migrationsreduzierten Tinten sind für Lebensmittelverpackungen zulässig, dennoch wollen viele Produkthersteller kein Risiko eingehen und schließen deren Einsatz für ihre Anwendungen aus. Der Vorteil UV-härtender Tinten gegenüber wasserbasierten Systemen sind deren zuverlässige Verdrückbarkeit, die schnelle Härtung der Schicht sowie eine gute Adhäsion auf nicht saugfähigen Materialien. Aufgrund des Migrationsrisikos schränkt sich ihr Einsatz für sensitive Produkte jedoch auf dickwandige oder mit Hochbarrieren versehene Packmittel ein bzw. erfordern kostenintensivere, migrationsreduzierte Tinten.

Kostenstrukturen für Inkjettinten

Prozessstabilität und Druckqualität erfordern im Inkjet die Abstimmung von Druckkopf und Tinte mit Entwicklung einer für diese Kombination geeigneten Waveform, die die Tröpfchenerzeugung steuert. Gewährleistung für die Druckköpfe seitens des OEMs gibt es nur für empfohlene bzw. zertifizierte Tinten. Vor diesem Hintergrund ist die Wahl, welche Tinte man einkauft, von vornherein eingeschränkt, wenn nicht sogar festgelegt.

Im Vergleich zum konventionellen Druck, wo der Maschinenbauer die Maschine und der Farbhersteller völlig unabhängig davon die Farbe verkauft, sehen die Geschäftsmodelle im Digitaldruck oft eine Beteiligung der OEMs am Tintenverbrauch vor, um die kostenintensive Entwicklung zu finanzieren.

Der Bezug der Tinten kann hier direkt über den OEM oder einen lizenzierten Tintenpartner erfolgen,

um die Passfähigkeit mit Druckkopf und Ansteuerung zu gewährleisten und kostspielige Inkompatibilitäten mit Drittanbietertinten zu verhindern. Hier vollziehen sich Veränderungen im Markt, der zunehmend offener für Tintenwünsche wird, so dass Anwender durch geeignete Partnerschaften oder Eigenentwicklungen die Betriebskosten senken können. In diesem Fall hängt es vom Druckkopfhersteller oder OEM ab, ob die Tinte lizenziert werden muss und so zusätzliche Kosten für die Druckerei anfallen.

Da der Tintenverbrauch ein entscheidender und flächendeckungsabhängiger Kostenfaktor im Inkjet ist, sind Strategien zur Reduzierung des Tintenverbrauchs (z.B. über Farbaufbau oder Inklimits) durchaus von betriebswirtschaftlicher Bedeutung. Die aufgrund der geringen Marktanteile im Verpackungsdruck aktuell noch sehr hohen Tintenkosten werden sinken, wenn sich der Inkjet weiter etabliert, Produktionsvolumina ansteigen und auch kleinere Tintenhersteller den Wettbewerb beleben. ■

Digital Printing *today*

Verpackungs
Druck
& Converting

Etiketten
Labels

Special Newsletter zum Digitaldruck – monatlich spannende News!

Jetzt kostenlos anmelden!

→ flexotiefdruck.de/newsletter/

Illustration: Shutterstock/32pixels