



Quelle: Shutterstock/GraphTect

## Anforderungsprofil der Inkjettinte

Katharina Roeber, Ingo Reinhold

*Das Anforderungsprofil einer Inkjettinte für den grafischen Verpackungsdruck ist komplex. Es wird sowohl vom Druckprodukt als auch vom Druckverfahren bestimmt. Ziel der Tintenentwicklung ist es, die Aspekte beider Seiten bestmöglich miteinander zu vereinbaren.*

### Teil 1:

#### Anforderungsprofil der Inkjettinte

- Verpackungsseitige Anforderungen an die Tinte
- Druckverfahrensseitige Anforderungen an die Tinte

### Teil 2:

#### Überblick über die eingesetzten Tintensysteme

- Wasserbasierte Inkjettinten
- UV-härtende Inkjettinten
- Sicherheitsaspekt Migration
- Kostenstrukturen für Inkjettinten (FTD 1-2024)

Eine wirtschaftliche Druckproduktion von Verpackungen ist gekennzeichnet von Produktivität und Flexibilität. In Summe ist der Bedarf an Packmitteln bzw. Packhilfsmitteln sehr groß und die verschiedenen eingesetzten Packstoffe besitzen teils stark variierende Oberflächeneigenschaften.

Prozesseitig muss das Transfermedium Tinte also bei hohen Geschwindigkeiten verarbeitbar, schnell trocknend und für möglichst viele Substrate geeignet sein. An das Druckergebnis stellen sich, abhängig von Art und Zweck der Verpackung, mitunter sehr umfangreiche Qualitätsanforderungen: Einerseits an die unmittelbar messbaren, optischen Eigenschaften des Druckbilds hinsichtlich Farbe, Flächen und Details. Andererseits an die Beständigkeit der gedruckten Schicht gegenüber den vielfältigen Beanspruchungen, denen die Verpackung auf ihrem weiteren Lebensweg ausgesetzt ist (Abb. 1). Hier kommen Einflüsse wie Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, Chemikalien und mechanische Einwirkungen zum Tragen.

Neben den optischen Eigenschaften, die über einen längeren Zeitraum unverändert bleiben sollen, haben vor allem die mechanischen und chemischen Merkmale der Beschichtung große Relevanz. Da Verpackungen gesundheits-, umwelt-, produkt- und Verbraucherschutzrechtlichen Regulierungen unterliegen, bestehen auch für die gedruckte Schicht als Bestandteil des Packmittels gesetzliche Vorgaben und Anforderungen an ihre Beschaffenheit und Beständigkeit. Wie umfangreich Regulierungen greifen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Beispielsweise unterliegt eine Primärverpackung für Lebensmittel als fest verschlossene Verkaufsverpackung mehr Auflagen als die Transportverpackung für die Lebensmittelpackungen.

Ein Großteil der Regelungen wird durch das Füllgut motiviert. Speziell für Produkte wie Lebensmittel, Pharmazeutika oder Kosmetika, die am oder im Körper angewendet und in chemisch nicht inerten Packstoffen wie Papier oder Kunststoff verpackt werden, spielt das Thema Migration eine sicherheitsrelevante

Rolle. Bei bedruckten Packmitteln, die solche Füllgüter direkt umhüllen (Primärverpackungen), darf kein Risiko bestehen, dass stoffliche Bestandteile der gedruckten Schicht durch den Packstoff ins Produkt wandern und so gesundheitsschädliche Kontaminationen oder Eigenschaftsänderungen verursachen. Die Tinte muss migrations sicher sein und für bestimmte Merkmale vorgegebenen Soll- und Grenzwerten genügen.

Weniger gesundheitsgefährlich, aber dennoch unerwünscht, sind Migrationsprozesse in die andere Richtung: aus dem (z. B. sauren, basischen oder fettigen) Füllgut in die Verpackung bzw. Druckschicht. Sie können Veränderungen des Druckbilds bewirken, die die optische Er-

*„Prozesseitig muss die Inkjettinte viele und hohe Anforderungen erfüllen.“*

scheinung der Packung oder die Lesbarkeit von Informationen beeinträchtigen. Damit ist die Widerstandsfähigkeit der gedruckten Schicht gegenüber Füllguteigenschaften eine weitere wichtige Tinteneigenschaft.

Weil sich die gesetzlichen Vorschriften für Verpackungen sowohl auf ihre Funktion als Umhüllung als auch ihr Aufkommen als Abfall beziehen, resultiert für die Beständigkeit der Tinte allerdings das verpackungstypische Dilemma „to be and not to be“: Während der Weiterverarbeitung, bei Abfüllung, TUL- und Handelsprozessen bis zum Ge-

brauch muss die Farbschicht widerstandsfähig und fest mit dem Packstoff verbunden sein. Nach Entsorgung der Verpackung soll sie sich dann möglichst schnell und einfach wieder entfernen lassen, um den Packstoff einem hochwertigen Recycling zuführen zu können. Damit ist am Ende des Lebenswegs einer Verpackung also vielmehr die Unbeständigkeit der Tinte gefordert – sie soll wirtschaftlich deinkbar sein. Um diesen Zielkonflikt bestmöglich aufzulösen, ist eine enge Abstimmung zwischen den Eigenschaften der Beschichtung und industriellen Deinkingverfahren notwendig.

Die beschriebenen prozess- und produktseitigen Anforderungen an die Tinte sind für sich schon umfassend und anspruchsvoll. Erweitert werden diese von den druckverfahrensspezifischen Besonderheiten des Inkjet.

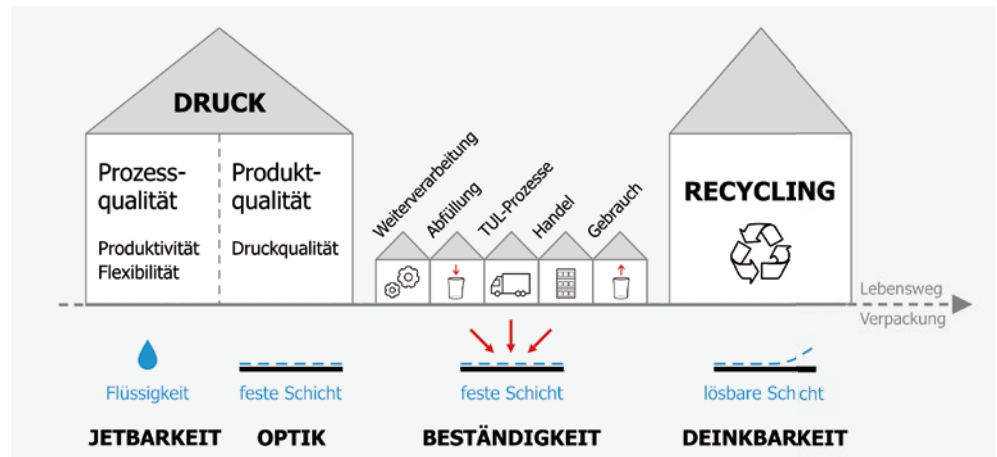
### Druckverfahrensseitige Anforderungen an die Tinte

Im Inkjet wird die Tinte aus einem Vorratsbehälter über ein Leitungssystem zu den Druckköpfen gesaugt und dort in die Tintenkanäle mit den Düsen verteilt. Mit der digitalen Ansteuerung des mikrometeregroßen Aktuators (piezoelektrisches oder thermisches Funktionsprinzip) entsteht ein Überdruck am Eingang der Düse, der den folgenden, in Abb. 2 zeitlich beschriebenen Jetvorgang auslöst:

1. Aktuation (Anregung des Tintenkanals durch eine Abfolge von Steuerpulsen)
2. Austritt des Tintenstrahls aus der Düse
3. Einschnürung und Tropfenabriss
4. Meniskusrepositionierung in der Düse.

Der – möglichst ohne weitere Satellitropfen – abgerissene Tropfen bestimmten Volumens fliegt dann mit einer resultierenden Geschwindigkeit Richtung Substrat und benetzt dessen Oberfläche. Dieser Jetvorgang vollzieht sich periodisch mit jeder neuen Aktuation und somit in modernen Drucksystemen ca. 60.000-mal pro Sekunde und Düse. Dies erfordert eine besondere Stabilität der eingesetzten Tinten.

Mit der Forderung nach hoher Produktivität bzw. kurzen Substratdurchlaufzeiten verbinden sich ent-



Quelle: DFTA CCD

sprechend hohe Jettingfrequenzen und Tropfengeschwindigkeiten, die es zu realisieren gilt. Typische Aktuationszyklen, in denen die Flüssigkeit aus dem Ruhezustand auf Tropfengeschwindigkeiten von 10 m/s beschleunigt wird, bewegen sich im Bereich von unter 10  $\mu$ s, was einer Beschleunigung von 105g entspricht. Dieser Dynamik und hochfrequenten Anregung müssen die Tinte und ihre Bestandteile stabil und zuverlässig folgen.

Die zweite anwendungsspezifische Forderung nach hoher Auflösung für feine Details und Verläufe bedeutet im Inkjet kleine Tropfen (pL) bzw. Düsen mit einem Durchmesser von ca. 10–30  $\mu$ m und hohe Packungsdichten der Tintenkanäle mit typischen Abmessungen kleiner als 50  $\mu$ m. Je kleiner die Abmessungen von Düsen und Kanälen sind, umso höheren Scherbeanspruchungen (typischerweise bis ca. 106 s<sup>-1</sup>) und damit viskoser Reibung ist die durchströmende Flüssigkeit ausge-

setzt. Um ausreichend Energie für die Aktuation in den kleinen Querschnitten mit den begrenzt erzeugbaren Druckkräften zur Verfügung stellen zu können, müssen die viskosen Reibungsverluste tintenseitig minimiert werden. In den meisten MEMS-basierten Technologien (thermischer Inkjet, hochauflösende SI-MEMS Piezodruckköpfe) ist die jetbare Viskosität daher auf unter 10 mPa s begrenzt und darf sich über die unterschiedlichen Scherbereiche nicht signifikant verändern, d.h. sie müssen ein Newtonsches Verhalten zeigen. Die Viskositätsanforderung schränken dann die Farbchemie hinsichtlich Pigmentkonzentration (ca. 5%) sowie die Molekulargewichte der verwendbaren Bindemittel ein. Die verarbeitbare Pigmentgröße ist durch die geringen Düsendurchmesser auf wenige hundert Nanometer begrenzt. Die mit einmaligem Jetten erzielbare Schichtdicke bzw. optische Dichte, insbesondere auf

Abb. 1: Anforderungsprofil einer Inkjettinte für den Verpackungsdruck

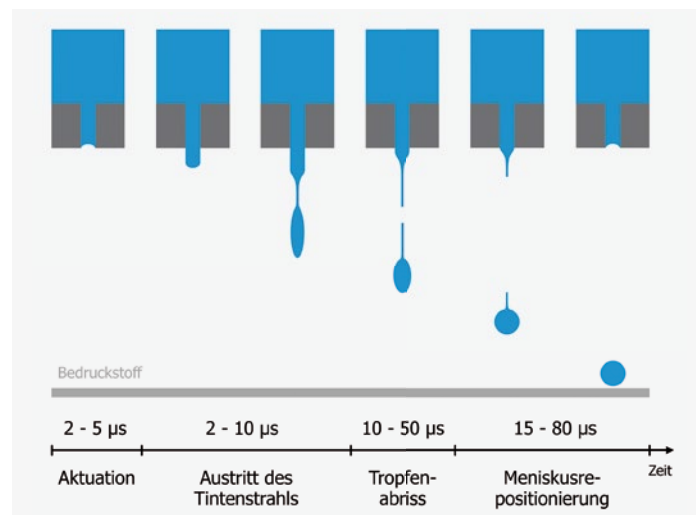


Abb. 2: Zeitlicher Ablauf des Jetvorgangs im Inkjet

Quelle: DFTA CCD

„Bulk-Piezo-Technologien können einen höheren Druck realisieren und somit auch höhere Viskositäten bis ca. 50 mPa s verarbeiten, sind jedoch oft in der Auflösung auf 720 npi (nozzles per inch) limitiert.“

saugfähigen, rauen Substraten, ist somit limitiert.

So genannte Bulk-Piezo-Technologien können einen höheren Druck realisieren und somit auch höhere Viskositäten bis ca. 50 mPa s verarbeiten, sind jedoch oft in der Auflösung auf 720 npi (nozzles per inch) limitiert. Höhere Viskositäten wären wünschenswert, weil die überschüssige Energie aus der vorangegangenen Aktuierung im Kanal schneller gedämpft und damit schneller gedruckt werden könnte. Auch wären Tintenformulierungen mit höheren Funktionalitäten (höhere Pigmentierung, komplexere Bindemittel etc.) applizierbar. Real sind hier aber Kompromisse zwischen Aktuierungsstärke, Wiederbefüllung und Tropfenabriss erforderlich.

Für einen stabilen Jetvorgang mit definierter Dosierung und Platzierung der Tropfen ist eine konstante Viskosität der Tinte unabdingbar. Viskositätsveränderungen, z.B. durch Verdunsten von Tinten-

Elastizität der Tinte eine entscheidende Rolle. Sie muss in engen Grenzen kontrolliert werden, um einen übermäßigen Energie- und damit Tropfengeschwindigkeitsverlust zu verhindern und gleichzeitig die Formation von Satellitentropfen durch den kapillaren Zerfall des Flüssigkeitsstrahles zu unterdrücken.

Die Zuleitungen, Kanäle und Düsen mit – entlang des Tintenwegs – immer kleiner werdenden Durchmessern besitzen eine hohe Anfälligkeit für Durchflussstörungen oder Verstopfungen. Partikel größer als 2 µm können Jet-, Dosier- und Platzierungsprobleme verursachen. Es dürfen sich daher keine Agglomerationen von Tintenbestandteilen bilden; die Dispersionsstabilität ist von grundlegender Bedeutung. Hier wirkt sich die geringe Pigmentgröße (nm) positiv aus, da diese eine geringere Neigung zum Absetzen und bei der inkjettypischen, geringen Konzentration keine Interaktion innerhalb der Düsen zei-

am richtigen Ort auf dem Bedruckstoff landet. Die Stabilität der Tineigenschaften im Drucksystem und eine störungsfreie Zuleitung sind Voraussetzung für ein zuverlässiges Jetten des Druckkopfs.

Für die finale Druckqualität ist schließlich die Interaktion des Tropfens mit dem Substrat und die entsprechende Trocknung bzw. Filmbildung relevant. Oftmals stehen hier die Anforderungen orthogonal zu den Eigenschaften, die für eine optimale Tropfenerzeugung nötig sind. Nach Benetzung der Oberfläche wird der finale Tropfendurchmesser durch die Dissipation der kinetischen Energie innerhalb der ersten einhundert Mikrosekunden erreicht. Die nachfolgenden Schritte wie Trocknung, Destabilisierung von Pigmentpartikeln und chemische Verankerung der Bindemittel sind dann entscheidend für die Farbgebung und Beständigkeit des finalen Produkts.

## Zusammenfassung

Die erforderlichen Eigenschaften einer Inkjetttinte für den grafischen Verpackungsdruck umfasst die in Abb. 3 dargestellten Punkte. Manche gestellten Anforderungen an die Tinte stehen sich diametral entgegen. Was die Druckqualität in Optik oder Beständigkeit begünstigen würde, erschwert den Druckprozess oder die Verarbeitbarkeit im Inkjet und umgekehrt. Wie auch in anderen Druckverfahren, kann die Tintenentwicklung daher immer nur einen farbchemischen Kompromiss aus Jetbarkeit, Viskosität, Farbigkeit und Beständigkeit zum Ergebnis haben, damit die Tinte als Flüssigkeit im Druckprozess, als gedruckte Schicht auf der Verpackung und schließlich als deinkbarer Bestandteil beim Recycling funktioniert.

Die beiden Tintensysteme, die die beschriebenen Anforderungen erfüllen und industriell im digitalen Verpackungsdruck im Einsatz sind, sind wasserbasierte und UV-härtende Tinten. Diese werden im zweiten Teil dieser Artikelreihe in der Flexo+Tief-Druck 1-2024 (Februar-Ausgabe) erläutert und deren anwendungs- und verfahrensrelevanten Eigenschaften näher betrachtet. ■



Abb. 3: Tinteneigenschaften im inkjetbasierten Verpackungsdruck

bestandteilen an der Düsenoberfläche oder Temperaturänderungen, können zu Effekten wie fehlenden Düsen, „Schrägschießen“ oder variierender Tropfengröße führen. Feuchthaltemittel (Humactants), die die Viskosität auf konstantem Niveau halten, sind daher essenzieller Bestandteil von Inkjettinten mit flüchtigen Lösemitteln, verlangsamen jedoch die Trocknung im Prozess.

Die Geschwindigkeit, mit der der Tropfen nach Abriss fliegt, wird maßgeblich von der Oberflächenspannung und Dehnviskosität der Tinte bestimmt. Dabei spielt die

Um die Langzeitstabilität der Dispersion zu sichern, werden der Tinte Stabilisatoren zugesetzt.

Speziell für piezobasierte Inkjetsysteme, die auf der Bewegung von Schallwellen basieren, sind gelöste Gase und Gasblasen problematisch, da sie Aktuierungsenergie absorbieren und somit den Strahlausstoß beeinträchtigen bzw. verhindern. Die Tinte darf daher selbst nicht zum Schäumen neigen.

Beim Zusammenspiel von Druckkopf und Tinte muss die Tinte die genannten verfahrensseitigen Anforderungen erfüllen, damit ein Tropfen mit dem richtigen Volumen