

## Trockentoner vs. Inkjet – Technologien im Vergleich

### Einleitung

Im digitalen Druck von Etiketten und Verpackungen dominieren zwei Haupttechnologien: die Elektrofotografie (Trockentoner) und der Tintenstrahldruck (Inkjet). Beide Verfahren haben physikalisch bedingte Stärken und Grenzen. Dieser Artikel beleuchtet die Unterschiede in Bezug auf Qualität, Beständigkeit, Substratkompatibilität und Prozessanforderungen, um eine fundierte Technologieauswahl zu ermöglichen.

### 1. Trockentoner-Elektrofotografie (Standard)

Prinzip: Elektrostatische Aufladung einer Trommel, Anziehung von Tonerpartikeln und thermische Fixierung auf dem Substrat.

- **Detailauflösung:** Durch die geringe Partikelgröße (ca. 5 –10 µm) und die präzise Steuerung im Entwicklungsprozess sind extrem feine Details darstellbar (z.B. 1-pt-Schriften oder feine Linienzeichnungen). Dies ist besonders bei Sicherheitsdrucken oder hochwertigen Wein-Etiketten vorteilhaft.
- **Substratkompatibilität:** Da der Toner thermisch fixiert wird und nicht tief in das Substrat eindringen muss, haftet er hervorragend auf strukturierten Papieren ohne Vorbehandlung (Primer).
- **Energiebedarf:** Der Prozess ist energieeffizient (das Druckwerk benötigt oft nur ca. 30 kW), da keine großen Mengen an Lösungsmittel oder Wasser verdampft werden müssen.
- **Beständigkeit (Standard):** Klassische Polymertoner bieten eine gute Papierhaftung, erreichen aber ohne Nachbehandlung (Lack oder Laminat) nicht die chemische Resistenz von vernetzten UV-Tinten.

### 2. Spezialtoner: UV-vernetzend (Hybrid-Technologie)

Prinzip: Eine Weiterentwicklung der Elektrofotografie, die thermische Fixierung mit einer nachgelagerten UV-Vernetzung kombiniert.

- **Marktverfügbarkeit:** Diese spezifische Technologieklasse (Hybrid-Toner) wird derzeit exklusiv von Xeikon unter dem Namen TITON angeboten. Es gibt aktuell kein direktes Äquivalent anderer Hersteller auf dem Markt.
- **Der physikalische Unterschied zur UV-Tinte (Migration):**  
Der entscheidende Vorteil dieser Technologie liegt im Aufbau der Moleküle, der durch den Druckprozess bestimmt wird:
  - Bei UV-Inkjet: Die Tinte muss durch extrem feine Düsen im Druckkopf fließen. Daher müssen alle festen Bestandteile – Pigmente und Photoinitiatoren – mikroskopisch klein sein, um Verstopfungen zu vermeiden. Auch nach der UV-Härtung bleiben die resultierenden Polymernetzwerke und Initiatoren relativ klein und können unter bestimmten Bedingungen durch die Poren des Substrats migrieren.

– Bei UV-vernetzendem Toner: Da der Toner elektrostatisch übertragen und nicht durch Düsen gepresst wird, existiert diese mechanische Engstelle nicht. Die Photoinitiatoren im Toner können von Beginn an eine größere Molekülstruktur haben. Nach der UV-Aktivierung entstehen Polymerketten, die im Verhältnis zu den Poren des Substrats als „unendlich groß“ betrachtet werden können – sie passen physikalisch nicht durch die Struktur des Papiers und können daher nicht migrieren.

- **Fixierungs-Mechanismus:**

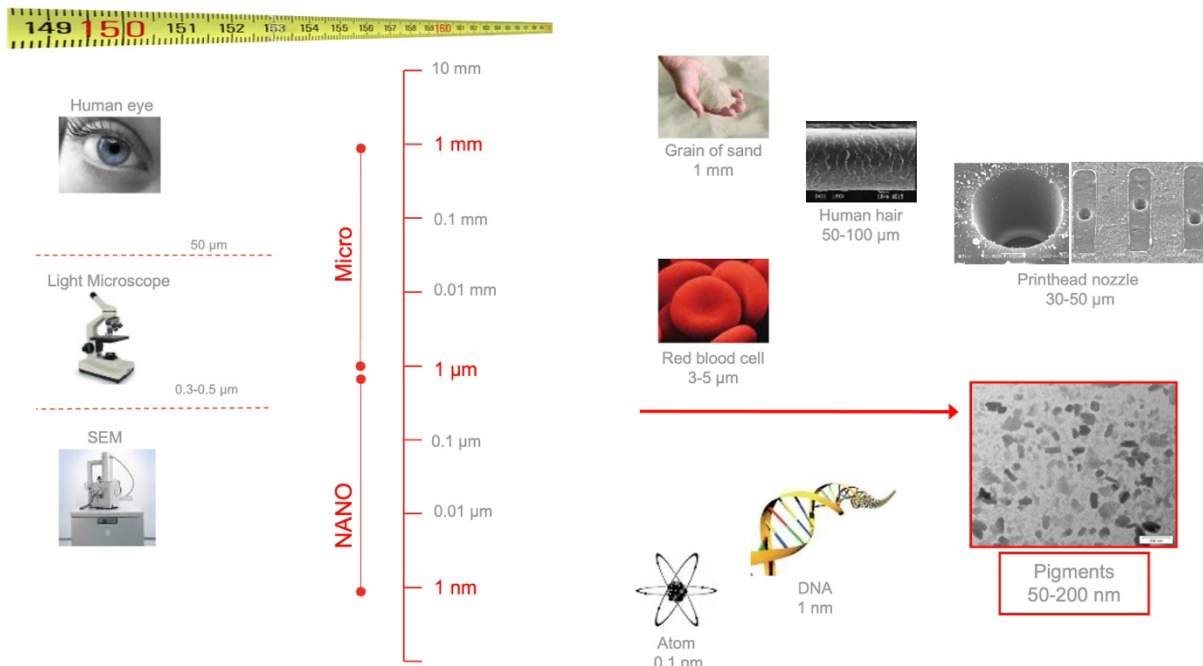
Ein weiterer wesentlicher Unterschied liegt in der Haftung:

– Bei UV-Inkjet ist die chemische Vernetzung der einzige Mechanismus, der die Tinte auf dem Substrat fixiert.

– Bei UV-vernetzendem Toner erfolgt die primäre Fixierung thermisch (Aufschmelzen und Eindringen in die Papierstruktur). Die UV-Vernetzung dient ausschließlich dazu, der obersten Schicht verbesserte mechanische und chemische Eigenschaften zu verleihen. Sie ist für die Haftung auf dem Substrat weitgehend irrelevant.

- **Konzentration der Initiatoren:** Der Anteil an Photoinitiatoren liegt bei diesem Hybrid-Toner bei ca. 3 %. Bei klassischen UV-Tinten ist dieser Anteil aufgrund der notwendigen Reaktivität und der „Jetbarkeit“ oft zehnmal höher (ca. 30 %).

## Grafik zur Grösseneinordnung



### 3. Realität im Verpackungsdruck: Migration und „Abschlagen“

Ein weit verbreitetes Missverständnis in der Branche ist der Begriff des „direkten Lebensmittelkontakts“ mit der Druckfarbe. In der Praxis wird die Innenseite einer Verpackung (die Seite, die das Lebensmittel berührt) niemals bedruckt.

- **Wirtschaftlichkeit & Funktion:** Ein Druck auf der Innenseite wäre teuer (doppelseitiger Druck, mehr Farbe), aber nutzlos, da der Kunde das Produkt im Regal an der Außenseite erkennen muss. Niemand öffnet einen Beutel Mehl oder einen Kaffeebecher, um den Druck innen zu sehen.

- **Das reale Risiko:** Die Herausforderung liegt nicht im direkten Kontakt Farbe-Lebensmittel, sondern in zwei anderen Szenarien:

1. Migration durch das Substrat: Bestandteile der Druckfarbe wandern von der bedruckten Außenseite durch das Material auf die unbedruckte Innenseite und gelangen so ins Produkt. Dies hängt stark von der Molekülgröße der Initiatoren und der Porosität des Substrats ab.

2. Abschlagen (Set-off) in der Rolle: Nach dem Druck werden die Etiketten oder Bahnen aufgerollt. Dabei liegt die frisch bedruckte Außenseite direkt auf der unbedruckten Innenseite der nächsten Wicklung auf. Hier kann es zur Übertragung von nicht vollständig fixierten Bestandteilen kommen.

Die Bewertung der Lebensmittelechtheit bezieht sich in der Praxis also primär auf die Verhinderung dieser beiden Migrationspfade, nicht auf einen direkten Kontakt der Farbe mit dem Füllgut. Zertifizierungen (wie Nestlé, Swiss Ordinance) bestätigen, dass eine Technologie diese Migrationsrisiken auch bei trockenen, fetthaltigen oder heißen Lebensmitteln sicher beherrscht.

### 4. Inkjet-Technologie

Man unterscheidet im Etiketten- und Verpackungsdruck primär zwischen UV-härtenden und wasserbasierten Systemen.

#### 4.1 UV-härtender Inkjet

- **Produktivität:** Sofortige Aushärtung durch UV-Licht ermöglicht hohe Bahngeschwindigkeiten und eine sofortige Weiterverarbeitung.

- **Beständigkeit:** Die vernetzte Polymerschicht bietet hohe Resistenz gegen Kratzer, Chemikalien und Wasser. Ideal für Industrie-Etiketten, Haushaltschemie oder langlebige Anwendungen.

- **Migrationsrisiko:** Wie oben beschrieben, bedingt die Notwendigkeit kleiner Moleküle für den Druckkopf ein höheres Risiko der Migration durch das Substrat oder des Abschlagens in der Rolle. Für sensible Lebensmittelverpackungen sind klassische UV-Tinten daher oft nur mit speziellen Low-Migration-Formulierungen oder im Sandwich-Druck (Laminat) einsetzbar.

#### 4.2 Wasserbasierter Inkjet

- **Umweltprofil:** Frei von Lösungsmitteln und niedrige VOC-Emissionen. Sehr gut geeignet für nachhaltige Verpackungskonzepte und Recycling.

- **Trocknungsprozess:** Wasser muss verdampft werden. Dies erfordert entweder lange Trockenstrecken (hoher Platzbedarf) oder hohe Energiezufuhr (Trocknerleistung oft >200 kW), besonders bei hohen Geschwindigkeiten. Man kann sich das ähnlich wie einen Wäschetrockner vorstellen: Lufttrocknung dauert, ein Tumbler braucht viel Energie.

- **Substratgrenzen:** Auf nicht-saugenden Materialien (Kunstfolien, Metall) ist der Einsatz oft nur mit speziellen Primern möglich, was die Recyclingfähigkeit beeinträchtigen kann.

### Zusammenfassung: Die Wahl der Technologie

Die Entscheidung hängt nicht von „besser“ oder „schlechter“ ab, sondern von der Anwendung.

Anforderung	Empfohlene Technologie	Technischer Hintergrund & Konsequenz für den Kreislauf
<b>Strukturierte Papiere (z.B. Weinetiketten)</b>	1. Trockentoner (Standard) + Wasserlack 2. Hybrid-Toner	Thermische Fixierung in der Struktur. Natürliche Haptik. Ohne Primer. Recycling: De-Inkbar, kompostierbar (in Mischung). Ohne Primer
<b>Hohe mechanische/chemische Resistenz</b>	1. UV-Inkjet 2. Hybrid-Toner	UV-Inkjet: Unübertroffen, aber oft nur im Sandwich-Aufbau (Folie/Tinte/Folie) lebensmittelsicher. → Folge: Nicht recycelbar, nur verbrennbar (CO <sub>2</sub> -Ausstoss). Hybrid-Toner: Sehr hoch, ohne Lack. Hitzebeständig > 300°C (ideal für Heissiegel). Recycling: Schwieriger als Standard, aber monomaterialfähig.
<b>Sensible Lebensmittelverpackung</b>	1. Trockentoner (Standard) + Wasserlack 2. Hybrid-Toner 3. Wasserbasierter-Inkjet	Standard-Toner (keine Initiatoren) + Wasserlack. Schutz begrenzt bei Lösungsmitteln. Hybrid (grosse Moleküle, kein Lack). Beste Balance aus Sicherheit und Performance. Wasserbasierter-Inkjet sehr gut für Verpackungen auf Kartonbasis oder Papier.
<b>Heissiegel-Anwendungen (&gt;300°C)</b>	Hybrid-Toner	Einzigste Toner-Technologie, die hitzebeständig ist ohne sich zu verfärben und ohne zusätzlichen Lack auskommt.

Anforderung	Empfohlene Technologie	Technischer Hintergrund & Konsequenz für den Kreislauf
<b>Nachhaltigkeit / Kreislaufwirtschaft</b>	Trockentoner (Standard)	Echte Kreislaufführung möglich: De-Inkbar, Papierfaser bleibt nutzbar. UV-Inkjet (Sandwich): Kreislauf unterbrochen → Nur "thermisches Recycling" (Verbrennung).
<b>Druckqualität (Brillanz/Schärfe)</b>	1. Trockentoner + Hybrid-Toner 2. UV-Inkjet 3. Wasserbasierter-Inkjet	Wasser-Inkjet: Tinte dringt tief ein, zerfließt. Eingeschränkte Substratvielfalt. → weniger Brillanz. Oft Primer nötig (Recycling-Hürde).