

PTS-FORSCHUNGSBERICHT IK_VF110016

EINSATZ DER UV-TECHNOLOGIE ZUR ERZEUGUNG VON PAPIERBE- SCHICHTUNGEN MIT FUNKTIONALEN OBERFLÄCHEN

Einsatz der UV-Technologie zur Erzeugung von Papierbeschichtungen mit funktionalen Oberflächen

P.Behnsen

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	2
2	Ausgangssituation	4
3	Technisch-technologische Zielstellung des Vorhabens	6
4	Forschungsbedarf abgeleitet aus dem Stand der Technik.....	7
5	Material und Methoden	8
6	Durchführung des Vorhabens.....	11
7	Ausgewählte Ergebnisse	21
8	Darstellung der Innovationspotenziale und Applikationsmöglichkeiten	25
	Literatur	29

1 Zusammenfassung

Zielstellung	Dem Forschungsvorhaben war das Ziel gesetzt, die UV-Technologie auf ihre Eignung für Papierbeschichtungen zu untersuchen. Schwerpunkt waren die stark pigmenthaltigen Streichfarben, da selbe überwiegend in der Veredlung von Papieren Einsatz finden. Mit Abschluss der Arbeiten waren die Möglichkeiten der UV-Technologie zur Vernetzung von Papierbeschichtungen, deren Vor- und Nachteile aufzuzeigen.
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none">• Die Vernetzung von pigmenthaltigen wässrigen Papierstrichen mit UV-Licht ist nur auf radikalischem Weg sinnvoll möglich. Die kationische Vernetzung führt zu schlechteren Vernetzungen und qualitativ schlechten Strichen.• Eine radikalische UV-Vernetzung von Papierstrichen mit gängigen Pigmentanteilen ist möglich.• Der hohe Anteil an Wasser in Papierstreichfarben ist auch bei Einsatz der UV-Technologie beherrschbar. Bei optimaler Abstimmung von Rezeptur und Technologie ist die UV-Wärmestrahlung positiv für eine begleitende Strichtrocknung nutzbar.• Die Flexibilität der Schichten kann durch gezielten Bindereinsatz mit höherer Anzahl an funktionellen Gruppen beeinflusst werden.• Der typische UV-Vernetzungsgradient in z-Richtung lässt sich durch optimale Prozess- und Rezepturbedingungen wie Pigment- und Binderkombinationen sowie Art und Anteil der Initiatoren reduzieren. Hohe Dosen und hohe Temperaturen beeinflussen die Schichtqualität negativ.• Die Bedruckbarkeit der UV-Schichten ist möglich. Für praktische Anwendungen sind Porositäten und Oberflächenspannungen noch zu verbessern. Eine Farbortverschiebung konnte durch Zugabe von Lichtstabilisatoren noch nicht völlig ausgeschlossen werden.• UV-Barriereschichten zeigen großes Potenzial für weitere Entwicklungen.
Schlussfolgerung	<p>Auf Basis der in diesem Vorhaben erzielten Ergebnisse können in zukünftigen Entwicklungsarbeiten konkrete Produkt- und Technologieoptimierungen vorgenommen werden. Die wirtschaftliche Bedeutung bei einer Fortführung der Arbeiten ist mit dem möglichen Energieeinsparpotenzial in der Streichtechnologie bei Nutzung der UV-Technologie begründbar und in dem Erzeugen bestimmter Funktionalitäten wie (Hoch)Barrieren oder neuen Imprägnierungen für neue papierbasierte Produkte. So lassen sich für den hart umkämpften Markt für Papiererzeuger und –verarbeiter Zukunftsmärkte generieren.</p> <p>Solche speziellen Beschichtungen sind auch auf andere bahnförmige Materialien wie Textilien oder Kunststoffe applizierbar. Für die Zulieferindustrie (Chemie) und die Hersteller der UV-Technik wird außerdem der Zugang zu einer neuen Branche erschlossen und zusätzliches Marktpotenzial geschaffen.</p>

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens VF 110016 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von industrieller Vorlaufforschung in benachteiligten Regionen" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovationsmanagement mbH aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

2 Ausgangssituation

Papierbeschichtung Eine wichtige Maßnahme zur Optimierung der Oberflächenbeschaffenheit von Papieren ist deren Veredlung durch Beschichten. Erst das Auftragen von Streichfarben sichert z. B. eine exzellente Bedruckbarkeit, schafft Wasser oder Öl abweisende Eigenschaften oder das Papiere als technische Substrate bzw. in Verbundwerkstoffen einsetzbar sind.

Bei den in der Papierindustrie zur Oberflächenveredlung verwendeten Streichfarben handelt es sich in der Regel um wässrige Suspensionen - ausgenommen der Druckbereich mit seinen Lackierungen und anderen sehr speziellen Applikationen. Der Wasseranteil in der Streichfarbe sollte ideal auf Fließ Eigenschaften, Auftragsaggregat und Trocknung abgestimmt sein [1].

Strichtrocknung Nach dem Strichauftrag und dessen Egalisierung findet die Strichtrocknung statt, die als Mittel der Qualitätsbeeinflussung einen hohen Stellenwert in der Verfahrenstechnik des Papierstreichens besitzt. In der Praxis werden üblicherweise Konvektions-, Kontakt- und Infrarotrockner eingesetzt [2]. Die Trocknungsstrecken bestehen heute meist aus einer Kombination dieser Technologien, da auch darauf geachtet werden muss, dass zu starke Temperaturgradienten bei noch mobiler Streichfarbe die Penetrations- und Migrationsprozesse verstärken. Die Strichtrocknung erfordert hohe Energiemengen, bei Mehrfach- und Spezialstrichen geht man von 700-900 kWh/t Strich aus.

Energieeffiziente Technologien Die Verfügbarkeit energieeffizienterer Technologien spielt für die Papierindustrie als eine der fünf energieintensivsten Branchen in Deutschland eine entscheidende, wenn nicht existenzielle Rolle. Fast 6 % des Bruttoproduktionswertes machen Energiegesamtkosten aus. Aufgrund der höheren Kosten für CO₂-Zertifikate und Brennstoffe, der EEG-Umlage und dem Ausbau der Stromnetze wird eine Steigerung des Strompreises in den nächsten 20 Jahren um knapp 70 % prognostiziert, was die Produktionskosten zusätzlich in die Höhe treibt [3, 4].

Technologieverbesserungen und Produktinnovationen sind Möglichkeiten für Effizienzsteigerungen. Durch Einsatz neuer Technologien wird für die Papierindustrie ein Effizienzsteigerungspotenzial bis zum Jahr 2030 um 30 % abgeschätzt [4]. Ein möglicher Beitrag dazu wäre z. B. Beschichtungen für Papier nicht mehr mit hohem Energieaufwand konventionell thermisch zu trocknen. Im Vergleich mit vorangegangenen Prozessstufen bei der Papierherstellung muss zwar der geringste Anteil an Feuchte aus dem Strich ausgetragen werden, dies geschieht jedoch mit dem höchsten technischen Aufwand und im Verhältnis zum Effekt mit einem sehr hohen energetischen Input.

Der Einsatz der UV-Technologie zur Vernetzung von Papierbeschichtungen wäre möglich und bietet zudem ein noch nicht erschlossenes Energieeinsparpotenzial zur herkömmlichen Strichtrocknung von mind. 30 %.

UV-Technologie In der Holz-, Farben- und Lackindustrie sowie der Kunststoffbranche hat sich die UV-Härtung etabliert. Für Papierbeschichtungen ist diese Technologie bei der radikalischen oder kationischen Polymerisierung der Siloxanverbindungen zur Erzeugung von Silikonbeschichtungen eine Alternative. Zur Druckfarbenhärtung von UV-Druckfarben oder beim Vernetzen des Drucklackes, der als Finish aufgetragen wird, ist die UV-Technologie Stand der Technik und wird gerade im

Faltschachtelbereich im Druck eingesetzt. Die Streichtechnologie profitiert noch nicht von Vorteilen dieser Technik. Der Vorteil der Energieeinsparung bei relativ geringem apparativem Aufwand kann sich auch bei Papierbeschichtungen kostenseitig positiv niederschlagen [5, 6]. Wesentliche charakteristische Merkmale der UV-Technologie sind [7, 8]:

- Vernetzung bei Anwesenheit von Sauerstoff,
 - schnellere Vernetzung als konventionelle Schichttrocknung,
 - geringer Platzbedarf und einfach nachrüstbar,
 - geringe Investmittel erforderlich,
 - Pigmentierung möglich,
 - Geringfügige Nachhärtung,
 - Energieverbrauch niedriger als konventionell sowie
 - geringfügige Emissionen sowie Geruch.
-

UV-Vernetzung

Im Gegensatz zur physikalischen Trocknung findet mit UV-Strahlung (200-380 nm) eine radikalisch oder kationisch initiierte Vernetzung statt. Moderne UV-Systeme weisen sehr geringe Emissionen aufgrund genau abgestimmter Rezepturbestandteile (Binder, Photoinitiatoren, Flexibilisierer, Sensibilisatoren usw.) auf. Auch wässrige Binder sind, sehr zum Vorteil für den Einsatz u. a. in wässrigen Papierbeschichtungen, kommerziell erhältlich.

Neben dem chemischen Vernetzungsmechanismus lässt sich bei Einsatz von UV-Technik auch die im Spektrum herkömmlicher UV-Strahler vorhandene Wärmestrahlung verwenden. So ließe sich eventuell für wässrige Systeme die Kombination von Trocknung und chemischer Vernetzung ausnutzen.

Pigmente und UV-Vernetzung

Pigment (überwiegend Titandioxid-TiO₂) wird in UV-vernnetzbaeren Formulierungen bereits eingesetzt, auch Nanopigmente (Siliciumdioxid-SiO₂, Aluminiumhydroxid-AlOOH) und vor allem Farbpigmente. Letztere werden im Druckbereich in Druckfarben genutzt, alle anderen Pigmente tragen bei Anwesenheit eher dazu bei, die Schichten transparenter (Nanopigment) zu gestalten, den Vergilbungseffekte geringer erscheinen zu lassen oder mechanische Stabilität von Lacken zu erzeugen. Ein Pigmenteinsatz im Sinne eines Papierstriches wurde noch nicht untersucht.

Pigmente stellen eine Herausforderung für die Strahlenvernetzung dar, da deren Art, Form, Farbe, Konzentration, Emissionswellenlänge nicht nur die Rezepturgestaltung, sondern auch die Wahl des Vernetzungsmechanismus oder der UV-Strahlungsquellen (z. B. Gallium(Ga)-dotiert) beeinflussen. Die ideale Voraussetzung ist die spektrale Transparenz im UV-Bereich, so dass die Strahlung nicht reflektiert oder gestreut wird. Die Absorptionsmaxima des Pigments und des Photoinitiators (PhI) sollten sich nicht überlappen. [6; 7]

3 Technisch-technologische Zielstellung des Vorhabens

Ziel

In diesem Forschungsvorhaben waren anhand grundlegender Untersuchungen Grenzen und Möglichkeiten der UV-Technologie für den Einsatz an Funktionsbeschichtungen auf Papieren aufzuzeigen. Ziel war, technologische Möglichkeiten bei Einsatz von UV an Papierbeschichtungen klar beschreiben zu können:

- Vor- / Nachteile der Härtungsmechanismen für Papierbeschichtungen,
 - Bewertung der Möglichkeiten des Pigmenteinsatzes,
 - Auswirkungen der UV-Vernetzung auf die Ausbildung der Porenstruktur/Porosität der Beschichtungen,
 - Vergleich sich ausbildender Porensysteme mit ausgewählten Standard-Beispielen aus der Praxis,
 - Ableiten von Applikationsmöglichkeiten für funktionale Papierbeschichtungen aus den erzielten Resultaten sowie Planung weiterer Schritte für deren praktische Anwendung,
 - Definieren von Grenzen der UV-Technologie beim Einsatz an Papier.
-

4 Forschungsbedarf abgeleitet aus dem Stand der Technik

Stand der Technik bei Vorhabensabschluss

Aktuell werden keine Strahlungstechnologien zur Vernetzung von Papierstrichen eingesetzt. Dies betrifft vorhabensbezogen die UV-Technologie.

Aktuelle Literaturrecherchen in den Datenbanken SCOPUS, PIRABASE, PAPERBASE mit “(*“radiation cur*“ OR “uv cur*“ OR “uv coat*“ OR photocur* or photopolymer*“ and (pigment or particle) and coating) AND NOT (solar W/1 cell)“* belegen, dass die UV-Vernetzung auf Metallen oder auch Kunststoffen bzw. Holz auch mit entsprechenden Forschungsarbeiten vorangetrieben wird.

Auf Holzwerkstoffen wurden u. a. UV-Binder und Kaolin in geringen Gewichtsanteilen eingesetzt [9]. AlOOH oder SiO₂ werden sehr häufig in UV-Binder eingearbeitet z. B. mit maximal 30% Gewichtsanteilen. Auch kommen gekapselte Pigmente oder Hybridsysteme in der UV-Vernetzung zum Einsatz. Zur Reduzierung der Entflammbarkeit wurde auch TiO₂ in UV-Coatings eingearbeitet [10].

Patentrecherchen in *Patentfamily mit “(UV curable) or (UV curing) and (paper coating) nach 31.12.2011“* ergaben 47 Treffer.

Es wird in CN 103526633 von einem Druckpapier mit UV-finish gesprochen, in WO 2013150312 wird ein Papier/Folie-Verbund mit UV-Klebstoff verklebt. CN 103525273 und CN 102587201 setzen Papier als Träger für wasserabweisende UV-Lacke oder kratzfeste UV-Lacke mit Nanopigment ein. Außerdem sind Patente zum Herstellen / Drucken von Sicherheitsmerkmalen / Banknoten mit UV-Farben oder Einsatz für Releaseliner veröffentlicht.

Papierstriche im Sinne des FuE-Vorhabens sind nicht durch Patente geschützt.

Vergleich der technischen Lösung bei Vorhabensabschluss

Die UV-Vernetzung von Papierbeschichtungen ist nicht Stand der Technik.

Wesentliche Basisuntersuchungen in dem Vorhaben trugen zur Beurteilung dieser Technologie für einen Einsatz an Papiercoatings bei. So ließen sich Einflüsse von Wasser, Standzeiten der UV-Streichfarben, Schichtdicken oder auch der technologischen Parameter auf die Qualität der UV-Vernetzung klären.

In zusätzlichen Arbeiten erfolgte der Nachweis, dass der Einsatz der UV-LEDs zu einem Qualitätssprung in der Vernetzungsqualität beitragen kann.

Die Vernetzungsgeschwindigkeiten sind mit der herkömmlichen Strichtrocknung noch nicht vergleichbar.

Vergleich der Produkte bei Vorhabensabschluss

Besonders für den radikalischen Vernetzungsweg von UV-Bindern ließen sich Schichten auf Papier applizieren, die vergleichbare Eigenschaften z. B. zu Offsetstrichen lieferten. Mit dieser chemischen Vernetzung sind u. a. gute Porenvolumina im Strich erzielbar. Die Drucktests erwiesen sich ebenfalls als positiv.

Die Untersuchungen mit UV-vernetzbaaren Silan-Bindern oder die zusätzlichen Arbeiten zur Veresterung und damit UV-Vernetzbarkeit von Polyvinylalkohol (PVOH) sind sehr positiv zu beurteilen. Gerade die letztgenannte UV-Funktionalisierung von PVOH wurde erfolgreich in Kombination mit Kaolin in Beschichtungen auf Liner eingesetzt.

5 Material und Methoden

Streichrohpa- piere bzw. Sub- strate

Für Streichversuche in unterschiedlichen Anwendungsbereichen wurden folgende Rohpapiere ausgewählt:

- Offset-Streichrohpapier (OS-RP), holzhaltig weiß (80 g/m²) für die Erzeugung von Referenzoffsetstrichen und UV-Beschichtungen,
- gedeckter Testliner (TL), zweilagig, der Fa. Hamburger Spremberg; Flächenmasse 128 g/m²,
- Fotorohpapier (FI-RP), doppelseitig polyethylenbeschichtetes Basispapier für Foto-Inkjet der Fa. Felix Schoeller jr., Osnabrück. (240 g/m²),
- Rotipac-Bratfolie (NAN 0517481) der Fa. Klarpac Klarsichtpackung GmbH, PET, Dicke ca. 12 µm.

Die in der Tabelle 1 zusammengefassten Materialien fanden Einsatz in den Untersuchungen.

Tabelle 1: Materialien in den ausgewählten Versuchen

Bezeichnung	Typ	Bemerkungen
Sipernat	SiO ₂ /Kieselsäure	verschiedene Klassifikationen der Fa. Evonik
CC75	Kalziumcarbonat	Fa. Omya
HC60	Kalziumcarbonat	Hydrocarb 60 ME der Fa. Omya
HG90	HG90	Hydrogloss 90 der Fa. KaMin
Ultrawithe 90	Kaolin	Fa. Basf
Capim RG	Kaolin	Fa. Imerys
AIO	Böhmit	Disperal HP14 der Fa. Sasol
Aero W 7330	SiO ₂	wässrige Dispersion
Mow	PVOH	verschiedene Produkte der Fa. Kuraray, Mow 4-98, Mow 40-88
Pov 235	PVOH	Produkte der Fa. Kuraray, Poval 235
Exc 2117	PVOH	Vollverseiftes PVOH der Fa. Kuraray
BFH 17H	PVOH	Fa. Omya Peralte
SB	Styronal	Styronal 809 der Fa. BASF
Texicryl 13-076	Acrylcopolymer	Acrylat der Fa. Scott Bader
PE 22	UV-Binder	Polyesteracrylat aus der Produktgruppe Laromer der Fa. BASF
PU-hF	UV-Binder	Laromer UA 9060, PU-Acrylsäureester der Fa. BASF
PU-nF	UV-Binder	Laromer LR 8949, PU-Acrylsäureester der Fa. BASF
PU-P	UV-Binder	Bayhydrol UV 2720, PU-dispersion der Fa. Bayer
UA-F	UV-Binder	Desmolux U100, Urethanacrylat der Fa. Bayer
ORMOCERe	UV-Binder	Silanisierte Acrylate des Fraunhofer ISC
Synlab	UV-Binder	Synlab UVC 6128, ECA der Fa. Synlab
Uvacure	UV-Binder	Uvacure 1500, Epoxidharz, ECC der Fa. Cytec
Irg 819	Photoinitiator	BAPO der Fa. Bodo Möller Chemie
Irg 184	Photoinitiator	1-Hydroxy-cyclohexyl-phenyl-keton der Fa. Bodo Möller Chemie
Irg 500	Photoinitiator	50% Irgacure 184, 50% Benzophenon der Fa. Bodo Möller Chemie
Irg 270	Photoinitiator	Sulfoniumsalz-basierend, Fa. BTC GmbH
Esa 250	Photoinitiator	Esacure DP 250, 32% aktiver Photoinitiator (Phodphinoxidhydroxiketon-benzophenon) (Lamberti)
Deu 2257	Photoinitiator	Bis-(4-methylphenyl)-iodoniumhexafluorophosphat der Fa. Deuteron
Esa 1187	Photoinitiator	mod. Natriumsalz der Fa. Lamberti
TMPO	Reaktivverdünner	Trimethylolpropane Oxetane der Fa. Perstorp
NaBenz	Salz	Natriumsalz der Benzoesäure der Fa. neolab
Borsre	Säure	Borsäure der Fa. neolab
Sterocoll	Verdicker	Fa. BASF
Tinnuvin	HALS/UV-Absorber	Tin 1,2,3,4 Fa. BASF

Methoden zur Streichfarben- und Papiercha- rakterisierung

Zur Charakterisierung der Streichfarben bzw. der beschichteten Papiere wurden die in der Tabelle 2 aufgeführten Methoden herangezogen. Außerdem erfolgte auch noch der Einsatz interner Methoden wie z. B. die Messung der Wegschlagzeit. Diese Methode ist folgend etwas detaillierter beschrieben.

Tabelle 2: Eingesetzte Methoden (Sf-Streichfarbe, P-gesamtes Papier, St-Strich)

am/in	Parameter	Kürzel	Gerät	Bemerkungen
P	Dicke [μm]			DIN EN 20 534
St	UV-Intensität [mW/cm^2]		Dosimeter UV-4C-T SD der Fa. UV-Technik Meyer GmbH	
St/P	E-Modul, Härte [MPa]		Nanoindenter der Fa. ASMEC	Berkovich-/Kugelindenter, in Anlehnung an DIN ISO 976
Sf	Feststoffgehalt [%]	FG	HB 43-S der Fa. Mettler Toledo	
St/P	Fettdurchlässigkeit (KIT-Test)	FDL		TAPPI UM 557
P	Flächenbezogene Masse [g/m^2]	mA		DIN EN ISO 536
St	Infrarotspektroskopie (Vernetzung)	IR	Tensor 27 mit ATR-Zelle Miracle mit Diamantkristall der Fa. Bruker	
St	Mikroskopie	Keyence	Digital-Mikroskop VHX-500F der Fa. Keyence	
Sf	pH-Wert	pH		DIN ISO 976
St	Randwinkelmessung (Benetzbarkeit) [$^\circ$, N/m]	Θ	OCA 20 der Fa. Dataphysics	PTS-PP 103/85
St/P	Rupftest	RT	IGT Rupffestigkeitstester AIC 2-5	ISO 3783
P	Sauerstoffpermeabilität	SDL		mit trockenem Gas
Sf	Viskosität low-shear [mPas]	BV	Fa. Brookfield (20, 50, 100 rpm)	ISO 2555
P	Wasserdampfdurchlässigkeit [$\text{g}/\text{m}^2 \text{ d}$]	WDDL	Brugger	DIN 53-122-2

Flüssigkeitspenetration

Für Oberflächen sind nicht nur die Kontaktwinkel oder die Oberflächenspannung wichtig, sondern auch die Absorptivität.

Der Messtand besteht aus einer Einheit zur piezoelektrischen Erzeugung kleiner Einzeltropfen (wenige pL) und einer Highspeed-Kamera zur Beobachtung der Tropfenpenetration. Die Kamera wird dabei so zum Tropfengenerator positioniert, dass die auftreffenden Tintentropfen schräg von der Seite beobachtet werden können. Dazu werden Papieroberfläche, Kamera und Beleuchtung koaxial ausgerichtet und das Höhenniveau der Papieroberfläche exakt eingestellt.

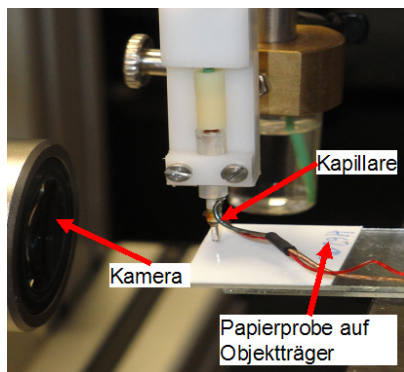


Abbildung 1: Messaufbau zur Messung der Flüssigkeitspenetration (Wegschlagverhalten WSV)

Eine Auswertung der erzeugten Highspeed-Videos ist auf Basis von Pixeln möglich. Um eine quantitative Vermessung der Tropfen in Längeneinheiten zu erreichen, wurde der Abbildungsmaßstab des Versuchsaufbaus bestimmt. Die erstellten Videos werden je Einzelbild durch eine Auswerterroutine ausgewertet. Durch Bildanalyse werden aus den Einzelbildern Höhe und Durchmesser des Tintentropfens sowie der Benetzungswinkel ermittelt. Das Tropfenvolumen wird anschließend aus der Höhe h und dem Durchmesser d des Tintentropfens an-

hand der Kugelkalottengleichung berechnet:

$$V_{\text{Kalotte}} = \frac{h^2 \pi}{3} \left(\frac{3d}{2} - h \right)$$

Tropfenvolumen, -höhe und -durchmesser sowie der Benetzungswinkel können danach als Funktion der Zeit aufgetragen werden. Anhand dieser Auftragungen erfolgt die Bewertung des Wegschlagverhaltens.

6 Durchführung des Vorhabens

6.1 Eruiieren und Auswahl von Materialien

Ziel	<p>Es war die Basis für die Bearbeitung des Vorhabens zu schaffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auswahl von Standardbeschichtungen, charakterisieren der Eigenschaften zur Zielgrößenformulierung; Rohpapierbeschaffung, • Produktinformationen zur radikalischen und kationischen UV-Vernetzung, Material-/Informationsbeschaffung für die Versuche
Auswahl der Standardbeschichtungen	<p>Sehr häufig finden Offsetstriche Einsatz. Diese Beschichtungen sind Stand der Technik und sowohl wirtschaftlich als auch technisch optimiert. Es soll auch an solchen Strichen das Potenzial der UV-Technologie untersucht werden.</p> <p>Der weiteren Verbreitung von Fotoinkjet stehen auch zu hohe Kosten sowie verschiedene Qualitätsdefizite im Weg. Die Fotorohpapiere werden mit einem Spezialstrich versehen. Diese Schicht ist im Wesentlichen aus einem absorptiven Pigment und PVOH als Bindemittel aufgebaut. Der UV-Einsatz ist interessant, um Nachteile der PVOH-Vernetzung zu kompensieren.</p> <p>Hochwertige Verpackungsmaterialien mit Sperrschichten basieren meist auf mehrlagigen Verbunden. Gerade in den letzten Jahren war jedoch eine verstärkte Nachfrage nach papierbasierenden Verpackungsverbunden zu verzeichnen. Aufgrund der Erfahrungen der Forschungsstelle mit Barrierebeschichtungen auf Papier werden durch den Vernetzungsmechanismus mittels UV-Licht Chancen für die Erzielung verbesserter Eigenschaften gesehen.</p>
Referenzbeschichtungen	Die verschiedenen Referenzbeschichtungen wurden auf den entsprechenden Rohpapieren appliziert und anschließend beprüft.
Pigmente	Es erfolgte die Erfassung der Produktinformationen und Messwerten zu verschiedenen Rohstoffen. Resultierend wurden Pigmente für den Einsatz in UV-Beschichtungen ausgewählt.
UV- Vernetzung	Die Literatur- und Produktrecherchen wurden durchgeführt. Die in Frage kommenden Produkte wurden verglichen und nach ihrer Eignung beschafft.

6.2 Aufbau und Inbetriebnahme des UV-Gerätes

Ziel	Der umgebaute UV-Bandtrockner war zu installieren, in Betrieb zu nehmen und die technologischen Eckdaten an einer Beispielrezeptur zu ermitteln.
UV-Gerät	Für die UV-Vernetzung im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Tischgerät Aktiprint T/a 28-2 der Fa. Technigraf genutzt. Die Detaildaten der Hardware wurden dokumentiert.

Inbetriebnahme / Auswertung I	<p>Folgendes zum Einfahren der UV-Tech-nik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • der Gallium(Ga)-Strahler in Intensität und Dosis geringer ist als der Quecksilber(Hg)-Strahler, • sich bei höherer Geschwindigkeit (ca. 2,5-fach) die Dosis ca. halbierte, • sich bei Anhebung des Abstandes zwischen Strahler und Transportband (ca. 2,5-fach) die Intensität um ca. 25% verringerte.
--------------------------------------	--

Inbetriebnahme / Auswertung II	<p>Unter Kenntnis der oben benannten Resultate wurde eine typische Acrylatdispersion mit Irg 500 auf das Streichroh papier (FI-RP) ausgebracht. Das Papier wurde aufgrund seines für solche Untersuchungen günstigen Aufbaus gewählt, da die PE-Beschichtung ein Wegschlagen des Strichs in das Papier verhindert.</p> <p>Es kam der PhI mit 2 und 6 Teilen zum Einsatz, eine moderate Vortrocknung bei 50 °C für 3 min und die Bandgeschwindigkeit von 5,8 m/min bzw. 16,3 m/min sowie Strahlerleistungen bei 40, 60, 80 und 100 W/cm. Die spektroskopische Auswertung ergab, dass bei geringerer Leistung und höherer Geschwindigkeit das Acrylat nicht vollständig umgesetzt wurde.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der PhI sollte nicht zu niedrig dosiert werden. • Auch bei höherer Geschwindigkeit konnte eine vollständige Vernetzung erzielt werden. Dazu sind 120 W/cm und 6 Teile PhI erforderlich. • Es beeinflussen sich Leistung, Dosis, Strahlerhöhe und Strahlungsquelle gegenseitig und müssen zusammen mit der Rezeptur eingestellt werden.
---------------------------------------	---

6.3 Untersuchungen zur Konformität der Rohstoffe und deren Vernetzbarkeit

Ziel	In diesem Arbeitspaket waren einzelne Materialien in ihrer Konformität untereinander zu untersuchen. Es war weiterhin zu testen, inwieweit Einzelschichten zur Charakterisierung vernetzt werden können, ohne Träger.
Konformitätstests	Es wurden das Mischungsverhalten, die Viskositätsänderung (qualitativ) und erkennbare Nebenreaktionen beim Zusammenbringen bestimmter UV-Binder, PhI und Pigmente in verschiedenen Konzentrationen und pH-Bereichen untersucht.
Einzelschichten	Das gewählte Vorgehen führte zu dem Schluss, dass Rezepturen mittels UV-Vernetzung nicht in bewertbare einwandfreie Einzelschichten zu bringen waren.
Vorgehen bei UV-Versuchen	<p>Es war ein weiteres Handling erforderlich, um die UV-Vernetzung der Schichten miteinander vergleichen zu können. Das Auftragen und Vernetzen der Schichten fand danach zuerst prinzipiell auf dem FI-RP oder PET-Folien statt. Außerdem wurde das generelle Vorgehen zur Erstellung von 3-Komponenten-Rezepturen und deren UV-Vernetzung erarbeitet.</p> <p>Anhand schrittweiser Tests mit Beispielrezepturen, Variation von Auftragsmengen, Bindern und PhI sowie dem Vergleich dieser Ergebnisse ohne und mit Vortrocknung der Schichten ließen sich Versuchsbedingungen für die Fortführung der Untersuchungen bis zur späteren Optimierung festlegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alle Rezepturen werden auf FI-RP/Folie aufgetragen, um die Schicht-

eigenschaften nach UV-Vernetzung besser bewerten zu können.

- Es findet keine oder nur eine leichte Strichvortrocknung statt.
- Die Strahlerleistungen sind anzupassen, sollten aber bei mindestens 100 W/cm oder maximal 120 W/cm liegen. Abhängig ist dies auch von der Art des eingesetzten Strahlers.
- Die Strahlerhöhe ist auf 19 mm und die Bandgeschwindigkeit auf 5,8 m/min fest einzustellen.
- Die Materialien durchlaufen (DL) maximal 10 Mal die UV-Laborstrecke.

Aufgrund der Vielfalt wurden die Rezepturen im Projektrahmen überwiegend aus den 3 Hauptkomponenten Pigment, Binder und Phl aufgebaut.

6.4 Radikalische Vernetzung

Ziel Unter Variation von Phl oder der Pigment/Binder-Verhältnisse sowie der UV-Parameter waren Schichten radikalisch zu vernetzen. Zur Bewertung der Vernetzung in z-Richtung wurde ein gesondertes Probenhandling aufgebaut.

Basisuntersuchungen Die Aufklärung von Effekten bei der UV-Strahlung, die auch ihre Ursache im Pigmenteinsatz haben, war initial zu untersuchen. Dafür wurde ein weiteres Probenhandling erarbeitet. Die zu untersuchenden Schichten wurden auf PET-Folie aufgebracht, diese dann auf das Dosimeter. So ließ sich an jeder Schicht das UV-Eindringverhalten objektiv messen und wichtige Schlussfolgerungen zur UV-Vernetzung formulieren.

Prinzipiell wurden HC60 sowie Capim RG, zwei Standardpigmente in der Streicherei, eingesetzt. Diese Pigmente haben sehr unterschiedliche Shapefaktoren und legten damit die Eckpunkte des Versuchsraumes fest.

Radikalische Vernetzung auf Papier Zur Untersuchung des Pigmenteinflusses auf die radikalische UV-Vernetzung wurden Grundrezepturen auf Basis zweier PU-Binder erarbeitet, die sowohl mit Calciumcarbonat (CC) als auch mit Kaolin im Vergleich funktionieren konnten. Es ließen sich aus diesen Untersuchungen wichtige Ergebnisse zur Wirkung von verschiedenen Pigmenten/-anteilen oder Bindern auf die Schichtbildung nach UV-Vernetzung ableiten. Silanisierte Spezialbinder zur UV-Vernetzung zeigten vereinzelt in pigmentierten Schichten sehr gute Ergebnisse.

Zusatz – Veresterung von PVOH PVOH kommt als Binder relativ häufig in Beschichtungen zum Einsatz. Hintergrund dafür sind die positiven Verarbeitungs- und Filmbildungseigenschaften. PVOH findet als Co-Binder in Standardstrichen Anwendung oder auch in Barriere- und Spezialbeschichtungen (Fotoinkjet). Die Wasserlöslichkeit von PVOH legt den Gedanken nahe, dieses Polymer so zu funktionalisieren, dass es UV-vernnetzbar wird. Es erfolgte eine Recherche zu dieser Thematik. Ein in der Literatur diskutierter Weg der PVOH-Veresterung mit Natriumbenzoat wurde unter verschiedenen Bedingungen getestet.

6.5 Kationische Vernetzung

Ziel Im Vergleich zur radikalischen Vernetzung war hier das Ziel, die Beschichtungen auf dem kationischen Reaktionsweg mit UV-Licht zu vernetzen.

Kationische Vernetzung - Allgemein Die kationische Vernetzung bietet eine Reihe an Vorteilen wie hohe Reaktionsgeschwindigkeit, geringer Schrumpf, gute Durchhärtung oder auch Schichtflexibilität [11]. Nachteilig ist ihre Reaktivität eher im kurzwelligeren UV-Bereich und ihre Toxizität. Der Umsatz der PhI ist durch Inhibierungen aufgrund von Verunreinigungen oder Luftfeuchte meist viel geringer. Empfehlungen aus der Recherche und Gesprächen mit Zulieferern wiesen darauf hin, für die Erzeugung stabiler Polymernetzwerke bi- oder oligofunktionelle Monomere heranzuziehen und mit neueren PhI wie Irgacure 270 zu arbeiten [12; 13]. Die Beschaffung anderer PhI oder Binder war wenig erfolgreich, da diese Produkte nicht in Europa zugelassen, sehr teuer sind und oft im asiatischen Raum produziert werden.

Kationische Vernetzung auf Papier Begonnen wurde ohne Pigment. Der Binder ECC und der PhI Irg 270 wurden unter Variation der PhI-Anteile, Einsatz des Reaktivverdünners TMPO und verschiedenen Vernetzungsbedingungen auf PE-Substrat appliziert. Der PhI erzeugte Defekte in der Beschichtung. Steigerung der Scherrate und der Temperatur bei sofortiger Einarbeitung des PhI in den Binder, Zerkleinern, Einarbeiten in TMPO oder in verschiedene Lösemittel brachten kaum Verbesserungen. Eine einsetzbare homogene feinteilige Suspension von Irg 270 war nur unter hoher Scherung und Temperatur (ca. 50 °C) mit TMPO realisierbar. Sowohl mit den UV-Bindern ECC als auch ECA und unter Variation der PhI (Irg 270, Deuteron 2257, Esacure 1187) konnten Schichten ohne Pigment vernetzt werden. Für die Vernetzung selbst war nur der Einsatz des Hg-Strahlers mit 120 W/cm sinnvoll, wobei eine geringe Initialdosis ausreichte. Basische Anteile inhibieren die Reaktion, deshalb wurde als Pigment ein Böhmit untersucht. Es traten große Haftungsprobleme auf den Rohpapieren sowie Inhomogenitäten im Strich auf. Eine Vortrocknung unter Gewährleistung einer gewissen Kettenbeweglichkeit führte zu Schichten, die keine Haftungsprobleme bzw. Kreiden vorwiesen. Der Vernetzungsgrad betrug nur 30% bis selten 60%. Nachteilig war die sehr starke Geruchsbelastung.

6.6 Bewertung der Vernetzung

Ziel Zur Bewertung der Vernetzung waren verschiedene spektroskopische, mikroskopische - und Oberflächenmethoden einzusetzen.

Lichtmikroskopie Bei der Beurteilung waren Risse durch Schrumpf oder zu geringen Binderanteil, Inhomogenitäten durch schlechte Haftung auf dem Untergrund oder durch schlechte PhI-Verteilung in der Streichfarbe Ausschlusskriterien. Ableitbar war:

- Kaolin zeigte homogenere Schichten, Gemische aus CC und Kaolin lieferten optisch die besten Ergebnisse.
- Böhmit kann, radikalisch vernetzt, nur mit höherem UV-Binderanteil und unter Zugabe eines Co-Binders fehlerfrei vernetzt werden.
- Alle kationisch vernetzten Schichten wiesen Mikrorisse auf.

-
- ORMOCERe zeigte nur bei höheren Binderanteilen akzeptable Schichten.
-

Spektroskopische Bewertung

Zur besseren Bewertung der Vernetzung wurden die Schichten auf PE-Substrat aufgetragen. In allen Fällen wurde die Vernetzung an der Oberfläche und oftmals ebenfalls die Umsetzungsrate des UV-Binders in z-Richtung bewertet. Dazu war ein Abschleifen der Schichten erforderlich. Erkenntnisse über Vernetzungsgrad und –gradient waren:

- Die Umsetzungsrate des radikalischen UV-Binders betrug bei Kaolin an der Oberfläche nur 70%, bei CC fast 100%.
 - In 10 µm Schichttiefe sind bei Pigmentgemischen (80% CC/20% Kaolin) die UV-Umsetzungsrate noch bei max. 40%.
 - Höhere UV-Dosen tragen nicht mehr zur besseren Vernetzung bei.
 - Auch in tieferen Strichschichten liegt eine Vernetzung vor. Eine Strichhaftung auf dem Substrat ist gewährleistet.
 - Die UV-Binder-Umsetzungsrate mit Nanopigment lagen bei nur 30%.
 - Die kationische Vernetzung erfordert eine Vortrocknung. Zwischen Tag 5 und 10 nach UV-Initiierung war die Vernetzungsreaktion mit 30 bis 60% Umsetzungsrate abgeschlossen.
-

Wassertest

Die Wassertests, d. h. Auftropfen eines Wassertropfens auf die Schicht, lieferten qualitative Aussagen zur Vernetzung.

Die Anpassungen des Phi-Anteils sowie der Strahlerquellen und damit der Oberflächen- als auch Tiefenvernetzung wirkten sich positiv auf die Ergebnisse aus. Außerdem folgte aus diesen Untersuchungen der Schluss, Binder mit einer höheren Anzahl an funktionellen Gruppen einzusetzen.

Kontaktwinkel

Die Untersuchungen dienen der Beurteilung der Hydrophilie/Hydrophobie der Schichten. Bei steigendem Pigmentgehalt (ab P/B 5:1) lagen die Kontaktwinkel alle im Bereich zwischen 50 - 60°. Dies entsprach ungefähr dem Kontaktwinkel bei Offsetstrichen. Die geringe Zugabe von Kaolin (20%) führte zu einem Anstieg des Kontaktwinkels auf ca. 70 - 80°, ursächlich waren neben dem Pigment auch die höheren Binderanteile. Geringere Binderanteile (P/B 9:1) lieferten kleinere Kontaktwinkel.

Oberflächenhärte /E-Modul

Der E-Modul der Beschichtung erlaubt eine Aussage zur Flexibilität der Schicht und damit indirekt zur Vernetzung. Mit dem speziellen QCSM-Modul kann auch in z-Richtung, in einer Schichttiefe von bis 4 µm, dynamisch gemessen werden und so Gradienten erkennen:

- Zu hohe UV-Dosen und Temperaturen führten zur Versprödung der Schichten, besonders bei höheren Anteilen an CC oder hohen Binderanteilen.
 - Kaolin zeigte flexiblere Schichten bei hohen UV-Dosen.
 - Pigmentmischungen CC 80% / Kaolin 20% lieferten E-Module, die mit denen der Referenz-Offsetschichten mithalten konnten.
 - Durch den hohen Binderanteil waren Schichten mit Böhmit eher flexibel.
-

6.7 Bewertung der Porosität

Ziel	Die Bewertung von Porosität sollte am Rasterelektronenmikroskop (REM), mit Quecksilberporosimetrie und dem Flüssigkeitspenetrationsverhalten erfolgen.
Rasterelektronenmikroskopie	<p>Aus den Oberflächen- und Querschnittsaufnahmen konnten Rückschlüsse zur Verfilmung gezogen werden. In Teilen ließen sich die Proben schwierig präparieren, da in den tieferen Schichten auch die weniger vernetzten Regionen lagen, deren Binder dann z. B. die Querschnitte verschmierte. Wichtig war:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schrumpfungseffekte ließen sich durch gezielte Pigmentauswahl und geringere Binderanteile reduzieren. • Hohe Strichauftragsmengen führten zu Haftungsproblemen aufgrund mangelnder Vernetzung und zu Fehlern (Risse) in den Schichten. • Hohe UV-Dosen und damit einhergehender höherer Temperatureinfluss führten zu Strichfehlern.
Quecksilberporosimetrie	<p>Die Ermittlung der Porenvolumen ist zur Beurteilung einer möglichen Bedruckbarkeit, Aufnahme eines Flüssigkeitsvolumens, zielführend. Zusätzlich waren Erkenntnisse zu gewinnen, welchen Einfluss der Vernetzungsmechanismus auf die Ausbildung erforderlicher Poren besitzt. Festgestellt wurde, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> • bei hohen Binderanteilen (P/B 5:1) keine belastbaren Porenvolumen ermittelt werden konnten. Zum Einen lag eine zu hohe Vernetzungsdichte bei Einsatz von CC vor und zum Anderen gab es mangelnde Vernetzung in der Schichttiefe und damit Haftungsprobleme bei Kaolin. • bei hohen Pigmentanteilen (P/B 9:1) im Verhältnis CC 80% / Kaolin 20% Porenvolumen nachweisbar waren. Die Größenordnung lag im Bereich von Standard-Offsetschichten.
Flüssigkeitspenetration	<p>Hier wurden Tropfen im Pikoliter (pL)-Bereich (20 pL) auf den Oberflächen abgesetzt und deren Wegschlagzeit bewertet, ein Maß für die Schichtabsorptivität.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaolin erhöht die Wegschlagzeit des Flüssigkeitsvolumens um ca. das 8-fache im Vergleich zu CC. • Höhere Pigmentanteile führen auch bei 100% UV-Binder-Umsetzungsrate an der Oberfläche zum schnelleren Wegschlagen. • Hohe UV-Dosen und damit Schichtversprödungen beeinflussen das Wegschlagen nicht negativ.

6.8 Optimierung geeigneter Rezepturen

Ziel	Die Rezepturen der besten Beschichtungen waren anzupassen, Optimierungsmöglichkeiten zu erschließen. Die erforderlichen Untersuchungen zur Bewertung waren durchzuführen. Zusätzlich sollten die Glätte, Lichteinheit, Glanz, Bedruckbarkeit oder auch bei Bedarf Barriereigenschaften bestimmt werden.
Optimierungspotenziale	<p>Mögliche Optimierungen waren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kombination weiterer Pigmente sowie Einsatz zusätzlicher Strichbinder, um

die kostenintensiveren PU-Binder zu reduzieren,

- Einsatz von Lichtabsorbieren/–stabilisatoren zur Vermeidung von Vergilbung,
- Anpassung der ORMORCERe-Schichten für mögliche Barrieren.

Bei den Bindemitteln wurden mehrere Wege verfolgt:

- Einsatz des PU-Binders mit hoher und geringer Funktionalität.
- Einsatz eines PU-Binders, der besonders für Pigmente geeignet ist,
- Einsatz eines sehr flexiblen, mechanisch beständigen UA-Binders,
- Kombination von PU-Binder und Standardstrichbinder (Latex (L), L/UV = 50/50 bzw. 30/70).

Es erfolgte stets ein Vergleich zum Standardstrich sowie u. a. zum UV-Strich ohne Latex. Die Anwesenheit von Latex kann zum Quenching bei der radikalischen Vernetzung führen (Radikalfänger). Erst im Anschluss wurde mit zusätzlichen Stabilisatoren gearbeitet.

Die Optimierungen wurden ausschließlich auf die Schichten bezogen, weitere Anpassungen der technologischen Parameter des UV-Tischgerätes mit den Ga/Hg-Strahlerquellen erfolgten nicht. Die Vergleichbarkeit zu den vorangegangenen Arbeiten sollte gewährleistet werden.

Für die kationisch vernetzten Schichten fanden keine Optimierungen statt, da die Arbeiten in AP 5 keine fehlerfreien Schichten mit entsprechendem Potenzial lieferten.

Ergebnisse

Bei den Pigmentkombinationen erfolgte der Einsatz anderer CCs oder Kaoline. In den besten Rezepturen wurden bis zu 3 Pigmente eingesetzt. Dies entsprach einer Standardrezeptur mit CC 75, HC 90 und Ultrawhite 90.

Für die Bewertungen der Schichten (ca. 15 g/m² Strichgewicht) wurde festgestellt:

- Satinierte UV-Schichten zeigten teilweise Oberflächendefekte bzw. bei Barrierschichten führten die geringer vernetzten Tiefenschichten zum Blocken. Aus diesem Grund fanden die Vergleiche an unsatinierten Schichten statt.
 - Die Glätte zwischen Standard und UV-Schichten war vergleichbar.
 - Die Farbannahme an den Laborstrichen zeigte ebenfalls keine Unterschiede. Der Laborstandard lieferte ebenso geringe Rupfgeschwindigkeiten (< 1 m/s), wie die UV-Laborschichten. Im Glanz lagen alle Andrucke zwischen 41 und 51, unterschieden sich demnach kaum voneinander.
 - Veränderungen im Farbort traten nach jeder UV-Vernetzung ab ca. 4000 mJ/cm² auf. Bei Einsatz von **Stabilisatoren** (HALS und UV-Absorbieren) ließ sich der Vergilbungseffekt im Labor nicht signifikant reduzieren. Bei der Untersuchung von **Barriereigenschaften** wurden auch die ORMORCERe-Schichten weiteren Untersuchungen unterzogen und weiterhin die modifizierten und UV-vernetzten PVOH-Schichten. In beiden Fällen führten erst Vorstriche (PVOH, ca. 10 g/m² Strichgewicht) zu entsprechend homogenen und fehlerfreien Schichten (ca. 20 bis 25 g/m²):
 - Die Oberflächen waren flexibel (E-Module unter 1,5 GPa) und glatt. Ihr Porenvolumen war nicht messbar.
 - In den Schichten kam ORMORCERe pur zum Einsatz. Eine Sauerstoffbarriere wurde noch nicht erzielt. Die WDD lagen bei Einfachstrichen zwischen
-

110 - 135 g/m²*d. Erste Schnelltests mit Vorstrich reduzierten die WDD um bis zu 40%. Mit einem KIT-Wert von 9 ließen sie sich als fett dicht bewerten.

- Für die UV-PVOH-Schichten wurde ebenfalls keine Sauerstoffbarriere erzielt, die Wasserdampfdurchlässigkeiten lagen zwischen 180 - 400 g/m²*d. Auch ein Kaolin-Anteil, der eine bessere Abdeckung und Glätte brachte, führte zu keiner Verbesserung. Eine Fettdurchlässigkeit mit einem KIT von 10 war sichergestellt.
- Eine Vergilbung ließ sich an diesen Schichten nicht nachweisen.

Resümee aus den Optimierungsarbeiten waren positive Ansätze, um UV-Schichten mit verbesserten Eigenschaften im Labor zu erzeugen. Außerdem scheint es für zukünftige Arbeiten lohnenswert, sich weiter den Barrieren zu widmen. In beiden Fällen sind weitere Arbeiten dann zielführend, wenn auch an der Technologie selbst Optimierungen vorgenommen werden können. Derzeit treten bei hohen Dosen sehr hohe Oberflächentemperaturen (über 90 °C) auf, die zu Spannungen, kleinen Defekten und Versprödungen führen und damit kontraproduktiv zur Zielsetzung sind. Um auch technologisch Potenziale in Ansätzen aufzudecken, erfolgten zusätzlich erste Tests mit einer UV-LED-Anlage, die sehr positiv verliefen.

6.9 Erarbeitung von Applikationsmöglichkeiten und Bewertung der UV-Technik

Ziel Die erzielten Ergebnisse waren mit den Zielparametern abzugleichen. Es sollten weitere Potenziale abgeleitet und folglich zukünftige Schritte in ihrem Aufwand abgeschätzt werden, bis mögliche Produkte formuliert werden können.

Abgleich mit Zielparametern In der nächsten Tabelle werden die erreichten Ziele mit den definierten Zielen abgeglichen. Es erfolgte ein direkter Vergleich zwischen den Laborstrichen in den Kategorien „UV mit Pigment“, „Standard“ und „Barriere“.
Die Notenbewertung kann sich zwischen den Kategorien unterscheiden.

Tabelle 3: Direkter Vergleich von UV-PU-; UV-Oc, UV-PVOH mit Standard-Offset (OS) und Gas (GB)- sowie Wasserdampfbarrieren (WDB); 1-sehr gut, 2-gut, 3-schlecht, 4-sehr schlecht, n.b. – nicht bestimmbar

Eigenschaft	UV mit Pigment			Standard			Barriere			
	PU	Oc	Uva	OS	PU	Oc	GB	WDB	PVOH	Oc
Oberflächenqualität	1	2	4	1	2	3	1	2	2	1
Wassertest	1	1	4	1	1	1	-	-	-	-
UV-Umsetzungsrate	2	2	4	-	-	-	-	-	-	-
Falzbruch	2	3	4	2	2	3	1	1	1	3
E-Modul	1	1	n.b.	1	2	3	1	1	1	2
Glätte	2	3	4	2	2	3	1	2	2	3
Lichteinheit	3	2	3	1	3	2	-	-	-	-
Oberflächenspannung	1	3	n.b.	1	1	3	1	1	1	2
Porenvolumen	2	1	n.b.	1	1	1	-	-	-	-
Wegschlagzeit	1	2	n.b.	1	1	2	-	-	-	-
Bedruckbarkeit	1	3	n.b.	2	2	3	-	-	-	-
WDDL	-	-	-	-	-	-	1	2	2	2
ODL	-	-	-	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	17	23	n.b.	13	17	24	6	9	9	13

Vorteile der UV-Schichten

Vorteile durch den Einsatz der UV-Technologie an Papierbeschichtungen sind:

- Vernetzbarkeit von Schichten mit hohen Pigmentanteilen ist gegeben.
- Der Vernetzungsgradient kann reduziert werden durch Abstimmung von Pigmenttyp und Schichtdicke sowie Binderart.
- Die Flexibilität der Schichten kann durch gezielten Bindereinsatz beeinflusst werden.
- Eine Vortrocknung ist bei Einsatz herkömmlicher UV-Strahlerquellen nicht erforderlich.
- Die Bedruckbarkeit solcher UV-Schichten kann eingestellt werden.
- UV-Barrierschichten zeigen Potenzial für zukünftige Entwicklungen.

Nachteile der UV-Schichten

Derzeitige Nachteile sind:

- Die hohen Oberflächentemperaturen bei der Vernetzung beeinflussen die mechanischen Eigenschaften sowie die Strichhomogenität negativ.
- Eine Farbortverschiebung kann durch Zugabe von Lichtstabilisatoren noch nicht verhindert werden.

Einsetzbarkeit der UV-Technologie

Die im FuE-Antrag offenen Fragen konnten aus diesen Untersuchungen grundlegend beantwortet werden:

- Prinzipiell sind Pigmentart, -form, Bindertyp und Anteile in Kombination mit der Technologie zu optimieren. Die Art der Strahlerquellen beeinflusst in starkem Maße die Vernetzung von Pigmentstrichen.
- Die Bedruckbarkeit solcher UV-Schichten konnte im Labor nachgewiesen werden. Für praktische Anwendungen sind Porositäten und Oberflächenspannungen noch zu verbessern.
- Die kationische Vernetzung führt zu 60% geringeren Umsetzungsraten als die radikalische Vernetzung. Die Durchhärtung der UV-Schichten ist auf beiden Wegen nicht gegeben.
- Silanisierte UV-Binder mit Nanopigment liefern höhere Porenvolumen als UV-Schichten mit Standardpigment. Prinzipiell führt auch dieser Vernetzungsmechanismus zur Ausbildung einer guten Porosität.
- Höhere Binderanteile führen zwar zu einer höheren Umsetzungsrate, d. h. besseren Vernetzung, jedoch auch zu höherem Schrumpf und damit schlechteren Schichteigenschaften.
- UV-Beschichtungen können bedruckt werden oder auch als Barrieren dienen, wenn die technologischen und Rezepturbedingungen weiter optimiert werden.

kalkulatorischer Vergleich von Rezepturen

Eine detaillierte Kalkulation ist derzeit schwierig, da Rezepturen und Technologie noch nicht abschließend optimiert sind. Es lassen sich jedoch kalkulatorische Abschätzungen vornehmen. Produktionsdaten wie Maschinengeschwindigkeit, Produktionsmengen und Zeit werden konstant gehalten. Die Kosten für UV-Binder und Initiator wurden von einem Zulieferer zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4: Kalkulatorischer Vergleich von Rezepturen

WD-Barriere	thermisch	UV-Hg	UV-LED
berücksichtigte Bestandteile	Pigment, Acrylat-Copolymer	Pigment, UV-Binder, Initiator	Pigment, UV-Binder Initiator
Binder [Teile]	90	78	78
Kosten Streichfarbe [€/kg]	7,2 €/kg	4,2 €/kg	4,2 €/kg
Strichtrocknung [kWh/1000 m ²]	7,5	4,2	3,48
Energiekosten [€/1000m ²]	0,9	0,5	0,4
Energiekosten [1000 €/a]	513	287	238
Einsparpotenzial [%]	0	44	54

Aus den Berechnungen wird sichtbar, dass die wirtschaftlichen Potenziale für Barrieren gegeben sind. Im Vergleich mit der Standardrezeptur lieferten die ersten kalkulatorischen Vergleiche Energieeinsparpotenziale von über 50%, selbst bei einer sich der LED-Vernetzung anschließenden geringen Nachrocknung. Die höheren Binderkosten führen jedoch noch zu höheren Gesamtkosten von ca. 10%. Reduzieren sich die Rohstoffpreise bei größeren Abnahmemengen, dann lassen sich die Mehrkosten ebenfalls vermeiden. D. h. selbst bei sehr ausgereiften Rezepturen bieten UV-Formulierungen durchaus Potenzial.

Schlussfolgerungen

Wichtige Fragen, die für den prinzipiellen Einsatz der UV-Technik auch in der Papierbeschichtung relevant sind, wurden positiv beantwortet. Fortführende Optimierungen bis zur Produktreife bedürfen weiterer Anpassungen von Technologie und Rezeptur. Auch erste kalkulatorische Vergleiche legen Potenziale einer solchen Technologie frei. Selbst bei Standardbeschichtungen, die nicht im Fokus neuer Beschichtungen standen, sollten weitere Optimierungen stattfinden, die u. a. auf die Verbesserung der Eigenschaften abzielen. Neben Barrieren auf Papier mit reduzierten Auftragsmengen und optimierten Eigenschaften lassen sich damit auch bewährte Coatings für neue Technologien erschließen.

7 Ausgewählte Ergebnisse

7.1 Einsatz von ORMOCERe zur radikalischen Vernetzung

Allgemein

Das Produkt ORMOCERe ist ein auch UV-vernetzbares hybrides Bindemittel, welches vom Fraunhofer ISC entwickelt wurde. Es existieren mehrere Produkte, mit verschiedensten funktionellen Gruppen/Eigenschaften, deren Eignung im Rahmen eines Screenings im Forschungsvorhaben untersucht werden sollten.

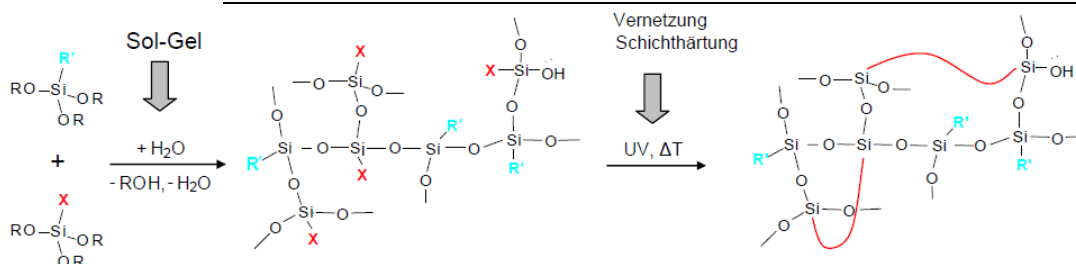


Abbildung 2: Schema und Struktur von hybriden Materialien [14]

Durchführung – Vergleich mit Standard

Als Pigment wurden nach ersten Vorversuchen CC75 ME (Calciumcarbonat) und HP 14 (Böhmit) festgelegt. Die Schichten selbst sollten ohne hold out appliziert und UV-vernetzt werden, deshalb wurde das PE-Substrat genutzt.

Es wurden 11 UV-Binder in 5 verschiedenen P/B-Verhältnissen mit jedem Pigment und je 2 Nassauftragsmengen untersucht. Mit den P/B-Verhältnissen von 7/1 und 10/1 sowie dem Pigment HP14 waren keine homogenen Schichten zu erzeugen. Aus über 130 verschiedenen Dispersionen, ausgestrichen mit 20 oder 50 µm Nassauftrag bzw. mit 10, 20 sowie 30 µm ließen sich folgende Bedingungen als positiv manifestieren:

- Vortrocknung 5 min bei 65 °C,
- UV-Vernetzung mit 2 Hg-Strahlern mit je 50 W/cm²,
- Bandgeschwindigkeit bei 5 m/min,
- Photoinitiator Irgacure 500 (mit 3% in Bezug zum Binder),
- KSK 2975 P/B 1:1, KSK 3007 P/B 1:1, KSK 2927 P/B 3:1, KSK 3006 P/B 3:1, KSK 3007 P/B 3:1, KSK 2975 P/B 5:1.

KSK 2975 - Diacrylalkoxysilan (linear); 30% in EtOH/PrOH, Hauptkomponente ist ein Acrylat,

KSK 2927 - Diacryl-/Methyl-/Dimethylalkoxysilan, 30% in EtOH/PrOH, Schichten sind flexibler/weicher und hydrophober/unpolarer,

KSK 3006, KSK 3007 - Acrylat und organikfreie silicatische Komponente in verschiedenen Anteilen, die die Vernetzung und Abriebbeständigkeit erhöht, allerdings auch zur Versprödung führt,

Die genannten Proben wurden zur Bewertung den verschiedenen Messmethoden unterzogen. Die Ergebnisse wurden in einem Ranking im Vergleich mit einem Standardstrich zusammengetragen, zu sehen in der nächsten Tabelle.

Tabelle 5: Direkter Vergleich aller Proben im Vergleich zum Standard-Offsetstrich (OS)

Eigenschaft	Proben-Reihenfolge
-------------	--------------------

mikroskopische Oberfläche (gut zu schlecht)	OS	KSK2975 P/B 5:1	KSK2927 P/B 3:1	KSK3007 P/B 3:1	KSK3006 P/B 3:1	KSK2975 P/B 1:1	KSK3007 P/B 1:1
E-Modul (hart zu weich)	KSK3006 P/B 3:1	KSK3007 P/B 3:1	OS	KSK2975 P/B 5:1	KSK2927 P/B 3:1	KSK3007 P/B 1:1	KSK2975 P/B 1:1
Porosität (hoch bis niedrig)	KSK2927 P/B 3:1	KSK2975 P/B 5:1	OS	KSK3006 P/B 3:1	KSK3007 P/B 3:1	KSK3007 P/B 1:1 n.b.	KSK2975 P/B 1:1 n.b.
Kontaktwinkel (niedrig zu hoch)	KSK2975 P/B 5:1	KSK3007 P/B 1:1	KSK3006 P/B 3:1	OS	KSK3007 P/B 3:1	KSK2975 P/B 1:1	KSK2927 P/B 3:1
Wegschlagzeit (niedrig zu hoch)	KSK2927 P/B 3:1	KSK2975 P/B 5:1	KSK3007 P/B 3:1	OS	KSK3007 P/B 1:1	KSK3006 P/B 3:1	KSK2975 P/B 1:1

Durchführung – Vergleich mit Barriere

Zusätzlich erfolgten Untersuchungen, die beiden besten Binder aus obigen Versuchen, KSK 2975 sowie KSK 2927, ohne Pigment aufzutragen und auf ihre Barriereeignung zu untersuchen. Bedingungen dazu waren:

- Nassauftrag 20 µm, ca. 10 g/m² von ORMOCERE
- Vorstrich mit Exc 2117, ca. 5 g/m²
- keine Vortrocknung,
- UV-Vernetzung mit 1 Hg-Strahler mit 120 W/cm²,
- Bandgeschwindigkeit bei 5 m/min,
- Photoinitiator Irgacure 500 (mit 3% in Bezug zum Binder).

Trotz Vorstrich schienen die Oberflächen inhomogen in ihrer Abdeckung Auch das Optimieren der technologischen Parameter konnte dies nicht vermeiden.

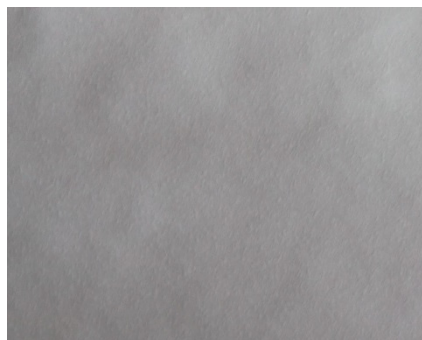


Abbildung 3: Oberfläche mit KSK 2927 (Keyence 500fach)

Trotz dieser Unzulänglichkeiten erwiesen sich diese unsatinierten Laborstriche mit einem PPS von 1,8 µm schon als sehr glatt. Selbe Muster zeigten dann eine WDD von 60 - 65 g/m² *d. Dieser Wert war als sehr positiv anzusehen. Zukünftige Optimierungen sollen daraus folgen und zusätzlich eine Sauerstoffbarriere liefern.

Fazit

Die Binder KSK 2975 und KSK 2927 sind zur UV-Vernetzung gut auch für den Einsatz in pigmentierten Beschichtungen geeignet. Sie erfordern dazu jedoch eine ausreichende Eindispersierung in das Pigment. Die Ergebnisse lieferten sehr gute Werte, auch bei den geprüften höheren Binderanteilen. Pur eingesetzt zeigen diese Schichten sehr gute Barriereeigenschaften gegen Fett und Wasserdampf.

7.2 Zusatz - UV-Vernetzbarkeit von PVOH

Allgemein

PVOH ist ohne chemische Vernetzung wasserlöslich und erzielt, als Spezial- oder Alleinbinder eingesetzt, nicht die geforderten Eigenschaften. Dies legt den

Gedanken nahe, dieses Polymer so zu funktionalisieren, dass es UV-vernetzbar wird. Ohne jedoch die entsprechenden Radikale bzw. initiierebare Bindungen reicht die Energie der UV-Strahler nicht aus, den PVOH zu vernetzen. In der Literatur [15; 16; 17; 18; 19; 20] sind verschiedene Vorgehen dazu aufgeführt. So gibt es chemische Wege, die prinzipiell sehr gut funktionieren, deren Reagenzien jedoch teuer oder giftig sind. Die Modifikation des PVOH mit Natriumbenzoat (NaBenz; auch in Kosmetik- und Lebensmittelprodukten zu finden) schien jedoch eine gangbare Alternative, um UV-aktive Gruppen und damit ein UV-funktionalisiertes PVOH zu erhalten.

Durchführung

Die Veresterung wurde mit verschiedenen PVOHs und Anteilen an NaBenz durchgeführt. Im Ergebnis lagen veresterte PVOHs (vPVOH) vor, die UV-vernetzt wurden. Auch in diesem Fall erfolgte ein schrittweises Anpassen der Bedingungen, d. h. Anteil der funktionalisierten OH-Gruppen und auch der technischen UV-Parameter (Strahlungsquellen, Leistung, Dosis).

vPVOH ohne Pigment

Durch Veresterung eines vollverseiften PVOH, d. h. Funktionalisierung, wurden sehr gute UV-Vernetzungserfolge erzielt. Eine Über- oder Unterdosierung an NaBenz führte eher zu schlechteren Ergebnissen in der Vernetzung. Maximal 65% der zur Verfügung stehenden funktionalisierten OH-Gruppen ließen sich mit UV-Licht vernetzen. Auch die anschließenden Wassertests konnten zweifelsfrei eine UV-Vernetzung des PVOH belegen.

Die UV-Bedingungen wurden optimiert, so dass die Bestrahlungszeit von 60 auf unter 1 min reduziert werden konnte. Ein Vorstrich (unmodifiziertes PVOH) und moderate Vortrocknung trugen positiv zum Ergebnis bei.

vPVOH mit Pigment

Im sauren pH-Bereich konnte nicht gearbeitet werden, da von dem nicht umgesetzten NaBenz die Benzoesäure in kleinen unlöslichen Kristallen ausfällt. Im Zusammenspiel mit CC wurde ebenfalls ein Nebenprodukt (Calciumbenzoat) gebildet. Kaolin ließ sich mit dem vPVOH ohne erkennbare Nebenreaktion einsetzen.

Die UV-Vernetzung von Schichten mit Kaolin und vPVOH wurde nachgewiesen, der Schrumpf war nicht auffällig. Nachfolgende Abbildung vergleicht die an den Oberflächen gemessenen Vernetzungsraten des UV-Binders. Deutlich sind die Unterschiede ohne (oVS) und mit Vorstrich (mVS), geringe Effekte bringt auch eine Vortrocknung. Die Wassertests lieferten bei Ga/Hg-Kombination bessere Ergebnisse.

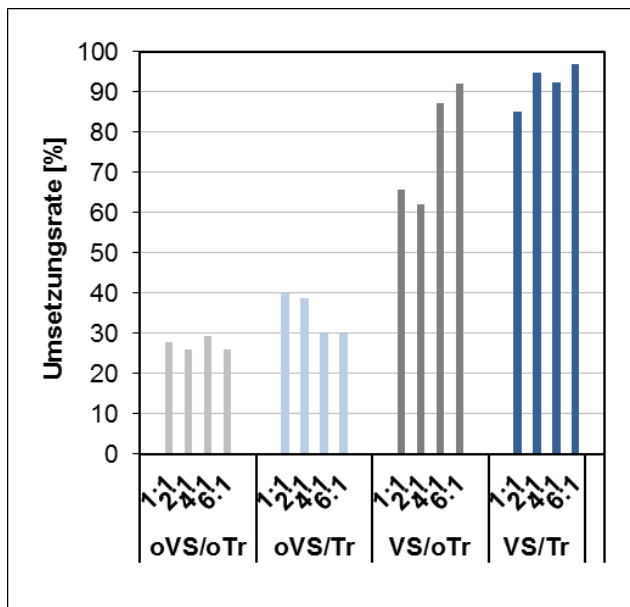


Abbildung 4: Vergleich der UV-Umsetzungsrate bei verschiedenen Vernetzungsbedingungen (berechnet aus IR-Intensitäten) für verschiedene P/B-Verhältnisse (1:1,2:1,4:1,6:1)

Fazit

Diese zusätzlichen Ergebnisse waren sehr positiv zu werten. Auch die WDL dieser Schichten (mit Pigment) zeigte mit mind. 180 g/m²*d Werte, die Potenzial für zukünftige Optimierungen bieten.

7.3 Zusatz – Einsatz von LEDs

Allgemein

Der Einsatz von UV-LED bietet die Möglichkeit, weitere Energiekosten einzusparen. Zusätzlich entsteht bei Nutzung dieser Technologie keine Wärmestrahlung, so dass davon ausgegangen wurde, dass damit die Schichtversprödung reduziert werden kann.

Durchführung

Für diese ersten Tests wurde eine Laboranlage der Fa. Easytec eingesetzt:

- Die Strahler hatten ebenfalls eine Höhe von der zu vernetzenden Oberfläche von ca. 10 mm (Hg/Ga ca. 14 mm),
- die Bandgeschwindigkeit betrug ca. 5 m/min
- die Strahler arbeiteten mit Wellenlängen von 365 bzw. 395 nm und
- ihre Intensität / Dosis betrug bei 100% Leistung ca. 1500 mW/cm² bzw. 500 mJ/m². Dies lag über den UVA-Werten der Hg- bzw. Ga-Strahler.

Für die UV-Rezeptur wurde die Formulierung Pigment (2 CC/80%, Kaolin 20%), UV-PU-hF gewählt. Es wurde ein P/B von 10/1 eingestellt.

Ergebnisse

Die spektroskopischen Untersuchungen belegten, dass in Schichttiefen von ca. 10 µm (Gesamtdicke ca. 12 µm) mit LED bessere Vernetzungsraten erzielt werden konnten. Bereits eine mittlere Dosis war dafür ausreichend.

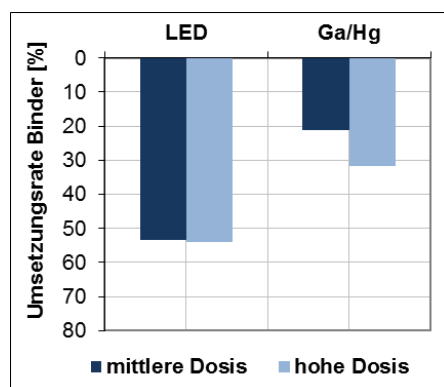


Abbildung 5: Vergleich der UV-Umsetzungsraten zwischen LED und Ga/Hg-Strahlern bei sonst gleichen Bedingungen

Die E-Module der Oberflächen lieferten für bei Technologien Werte bei ca. 4 GPa. In z-Richtung betrug der E-Modul dann in tieferen Schichten für LED ca. 2,8 GPa und für die Ga/Hg-Kombination ca. 2 GPa. Dies zeigte sehr deutlich die bessere Vernetzung mit LED.

Die Oberflächenqualität der Schichten, deren Porosität sowie die mechanische Beanspruchung durch Falzen von LED-Schichten war vergleichbar mit den Ga/Hg-Schichten. Bei der Farbortverschiebung ließen sich geringfügige Verbesserungen nachweisen (dE bei ca. 1).

Fazit

Die ersten Untersuchungen mit UV-LED lieferten vielversprechende Resultate für die zukünftige Fortführung dieser Untersuchungen.

8 Darstellung der Innovationspotenziale und Applikationsmöglichkeiten

Innovation – UV-Vernetzung von Papierstrichen

In der Papiererzeugenden und -verarbeitenden Industrie werden im OVP-Bereich Drucklacke gehärtet oder bei silikonisierten Etiketten können Epoxide auf diesem Weg vernetzt werden. Die weiteren Möglichkeiten für die Funktionalisierung von Papierstrichen, insbesondere für die UV-Vernetzung von Pigmentstrichen wurden noch nicht untersucht. Der Vernetzungsmechanismus selbst und die Option, bei Einsatz von UV- bzw. UV-LED Energiepotenziale auszuschöpfen, bieten für die Streichtechnologie bei der Papierveredlung Möglichkeiten, Produkte und Prozesse zu optimieren. Produkte auch mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln. Der Einsatz dieser Technologie stellt deshalb eine Innovation dar.

Das FuE-Vorhaben hat wesentlich zur Aufklärung ganz grundlegender Zusammenhänge in speziellen UV-Rezepturen für den Einsatz in Funktionsbeschichtungen auf Papier beigetragen. Es konnten die im Antrag offenen Fragen zur Vernetzung, Grenzen der Technik oder erzielbaren Eigenschaften beantwortet werden. Aus den Untersuchungen der UV-Beschichtungen resultieren mehrere Möglichkeiten, Streichrezepturen nach weiteren Anpassungen auch für Barrieren oder Imprägnierungen in der Papierbranche einsetzen zu können.

8.1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung, Anwendungspotential, Anwendungsbereiche in der mittelständischen Wirtschaft

Wissenschaftliche Bedeutung

Die wissenschaftliche Bedeutung der Arbeiten können wie folgt kurz beschrieben werden:

- Es wurden Grenzen und Möglichkeiten der UV-Technologie für den Einsatz an Funktionsbeschichtungen auf Papieren aufgezeigt. Vernetzung und Härtungsmechanismus, Pigmenteinfluss oder Auswirkung technologischer Parameter wurden hinterfragt und beantwortet.
- Es wurde u. a. die Leistungsfähigkeit der UV-LED-Vernetzung untersucht. Dadurch wurden Optionen aufgezeigt, mögliche Nachteile durch die Wärmestrahlung der UV-Strahler (Ga/Hg) zu kompensieren.
- Schwerpunktmäßig wurde der Pigmenteinfluss auf die Vernetzungsqualität untersucht. Wirkungsweisen verschiedener Bindertypen oder auch der Einfluss von Zeit und Initiatoren auf die Schichtqualität wurden aufgeklärt.
- Zusätzlich wurde die UV-Vernetzbarkeit eines vormals wasserlöslichen Bindemittels durch chemische Modifikation erreicht. Der Einfluss der chemischen Vernetzung durch UV-Strahlung und dadurch einer Qualitätssteigerung ließ sich in diesem Fall eindrucksvoll belegen.

Wirtschaftliche Bedeutung

Die wirtschaftliche Relevanz des Projekts resultiert in erster Linie aus der wirtschaftlichen Bedeutung beschichteter bahnförmiger Substrate für die Druckindustrie. Dazu zählen neben graphischen Papieren auch Metallfolien und – bänder, Kunststofffolien, Kunstleder- und Textilbahnen.

2013 trugen die grafischen Papiere, die überwiegend eine Veredlung durch Streichen erfahren, mit 38,8%, an der Gesamtproduktion von 22,39 Mio t, den Hauptanteil [21]. Der Anteil an gestrichenen Papieren und Pappen wird auch zukünftig nicht geringer werden, vielmehr werden eine Vielzahl an Papieren durch spezielle Beschichtungen neuen Verwendungszwecken zugeführt.

Die wirtschaftliche Bedeutung ist auch am Energieeinsparpotenzial in der Streichtechnologie mit der UV-Technologie ablesbar und in dem Erzeugen bestimmter Funktionalitäten wie (Hoch)Barrieren oder neuen Imprägnierungen. So lassen sich für den hart umkämpften Papiermarkt für Erzeuger und Verarbeiter neue Produktmärkte generieren.

Nach dem Atommoratorium folgten bis heute Energiepreissteigerungen. Aufgrund des Konkurrenzkampfes, der Nichtauslastung von Maschinen und dem Umbruch am Papiermarkt auch durch die neuen Medien, sind Preissteigerungen kaum mehr an Kunden direkt weiterzureichen. So sind Entwicklungen, gerade auf Seiten des energetisch intensiven Streichprozesses, sei es technischer oder chemischer Natur, sehr willkommen. Das Potenzial wurde bereits in einem ersten kalkulatorischen Vergleich in Tabelle 5 dargelegt.

Anwendungspotenzial

Bis 2015 wird ein starkes Wachstum der Vernetzungstechnologien (von 0,7% in 2003) bis auf fast 9% Marktanteil der verschiedenen Beschichtungstechnologien erwartet [22]. Allein in Europa war bis 2009 der Bedarf an UV-härtbaren Rohstoffen um 35% angestiegen, wobei man jährlich mit weiteren Zuwachsraten von im Mittel 8% ausgeht [23]. Aufgrund der Vorteile im Energieverbrauch wird solchen Technologien das größte Potenzial eingeräumt. Entwicklungen für UV-LED-Bindemittel werden schnell vorangetrieben, die LED-Technologie

selbst hat in den letzten beiden Jahren einen Entwicklungssprung gemacht. Ihre Leistungsfähigkeit ist stärker geworden.

Neue Produkte mit Funktionsbeschichtungen stellen einen Markt dar, der auch weiterhin innovativer Entwicklungen bedarf. Dazu gehören:

- verbesserte Barrieren,
- elektrisch leitende Schichten,
- bedruckbare, witterungsbeständige Striche,
- Oberflächenimprägnierungen im Dekorbereich.

Solche speziellen Beschichtungen sind auch auf andere bahnförmige Materialien wie Textilien oder Kunststoffe applizierbar. Für die Zulieferindustrie (Chemie) und die Hersteller der UV-Technik wird außerdem der Zugang zu einer neuen Branche erschlossen und zusätzliches Marktpotenzial geschaffen.

Anwendungsber eiche in der mit- telständischen Wirtschaft

Die Resultate lassen sich in folgenden Industriebranchen nutzen:

- Papierindustrie: Herstellung graphischer Papiere und Spezialpapiere, Spezialbeschichtungen auf Verpackungen
 - Chemische Industrie: Bindemittel und Photoinitiatoren, pigmentierte wässrige Systeme, Pigmente, spezielle Additive
 - Kunststoff-/Textilbranche: Veredelung von Oberflächen für Druckprozesse
 - Maschinenbau: UV-Technik für die Papier-, Textil- und Folienindustrie.
-

8.2 Darlegung der Applikationsmöglichkeiten für die mittelständische Industrie

Funktionalisierung von Beschich- tungen

Der Einsatz der UV-Technologie gestattet den Anwendern der Papiererzeugung und -verarbeitung das Aufbauen neuer bzw. Optimieren bestehender Produkte. So können hochwertige neue Bedruckstoffe entwickelt oder auch dem Papier völlig neue Eigenschaften zugewiesen werden. Möglichkeiten sind :

- Ersatz von Kunststoffen auf Spezialpapieren,
- Barrieren gegen mikrobiellen Befall oder Feuchtigkeit,
- witterungsbeständige Oberflächen.

Die Optimierungsmöglichkeiten bestehender Papierbeschichtungen sind mindestens ebenso vielfältig:

- Verbesserung des Wegschlagverhaltens durch optimierte Porosität,
 - Schaffung homogenerer Oberflächen durch optimierte Verfilmung,
 - Erzeugung hochglänzender Oberflächen bei gleichzeitiger Bedruckbarkeit (Verpackungen für den Lifestylemarkt),
 - Einsparung zusätzlicher Papierträger auf Verpackungen (Wellpappen).
-

Poröse Schich- ten

Der Einsatz der silanisierten UV-Binder erwies sich im Hinblick auf Porositäten bei doch hohem Bindereinsatz als vorteilhaft. Dadurch ließen sich bessere Absorptivitäten der Papieroberflächen erreichen. Damit kann der Einsatz der UV-Technologie nicht nur für die Interessenten aus der Papierbranche genau auf Applikationen abgestimmt werden, sondern auch in Bereichen, in denen Folien-

oder Textil-Substrate mit Porositäten beschichtet werden. Für die Entwicklung und Optimierung von porösen Schichten mit der UV-Technologie bilden die Ergebnisse des Forschungsprojektes eine wertvolle Wissensgrundlage.

Neue Anwendung für UV-Technologie

Für den Bereich der Maschinenbautechnik und der Beratung ergeben sich neue Märkte auf dem Feld der Papier-, Textil- und Folienindustrie. Hier könnten neue UV-Anlagen im Bereich des Beschichtens errichtet und betreut werden.

Neue Anwendung für die Zulieferindustrie

Mit Erschließung der UV-Technologie für die Papierbranche ergeben sich auch für die Zuliefernde Industrie der Bindemittel, Photoinitiatoren u. v. m. neue Märkte. Da das Papier ein sehr spezielles Substrat ist, wird erwartet, dass neben dem eigentlichen Produktverkauf auch gezielte Produktentwicklungen in Kooperation mit den jeweiligen Anwendern absolviert werden.

8.3 Perspektive und Chancen für sich anschließende Entwicklungsarbeiten

Perspektiven und Chancen

Nach erfolgreichem Abschluss der Forschungsarbeiten bieten sich weiterführende Produktentwicklungen an. Es wird angestrebt, solche Produktentwicklungen in enger Kooperation mit der Industrie, ggf. im Auftrag dieser durchzuführen. Bei Bedarf können Mittel der KMU-Förderung für die Produktentwicklungen genutzt werden. Sinnvoll ist, für diese Entwicklungsaufgaben die Pilotanlagen der Forschungsstelle, d. h. die Pilotstreichmaschine zur Erzeugung von Substraten einzusetzen und zur Vernetzung dann die Labor-UV-Anlage zu nutzen. Beispiele für unmittelbare Folgeprojekte wären:

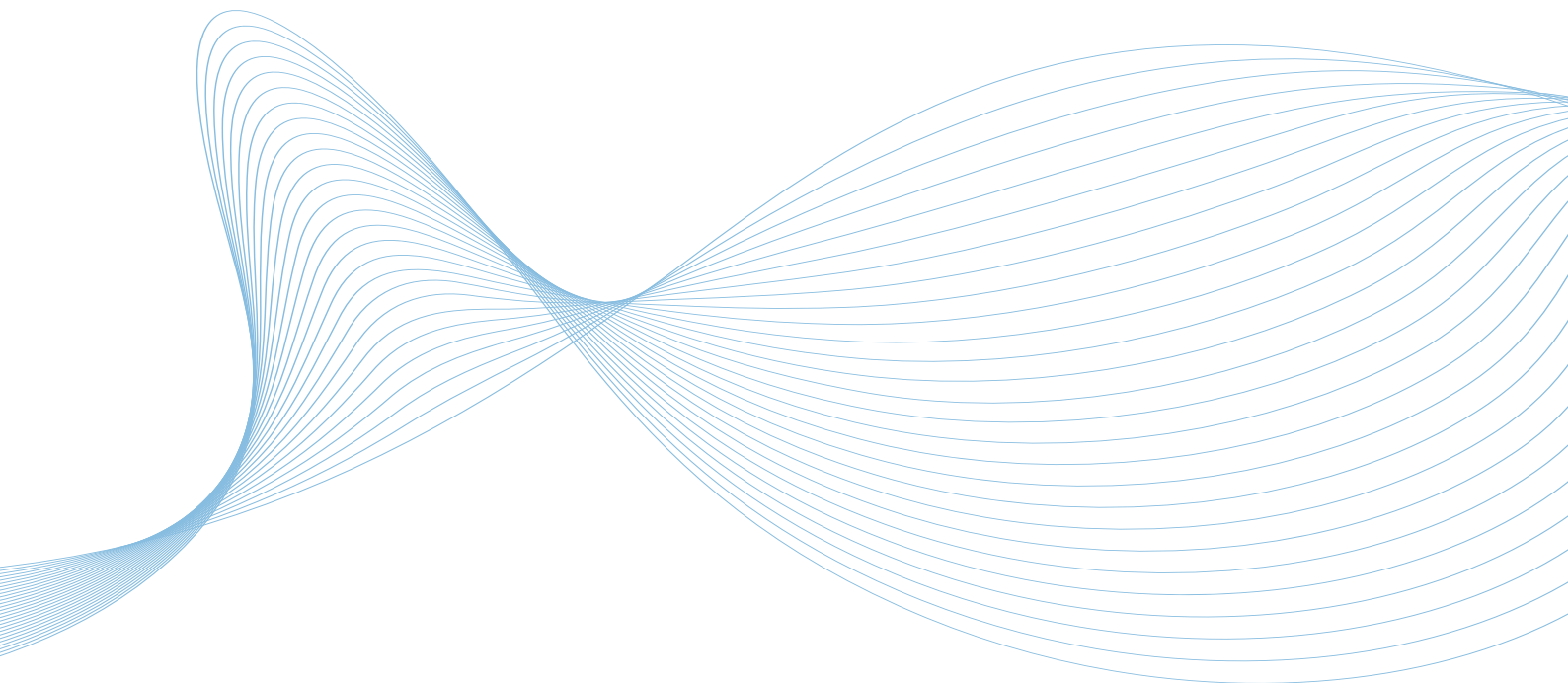
- Verbesserung der Kratzfestigkeit von Spezialpapier-Beschichtungen,
- Ersatz von Kunststoffbeschichtungen auf Verpackungen,
- Aufbau von (Hoch)Barrieren für leitfähige Schichten,
- Neue imprägnierende Beschichtungen.

Außerdem ist es perspektivisch geplant, neue Produkte der Zulieferindustrie in speziellen Forschungsaufträgen zu untersuchen und somit als Multiplikator für die anwendenden Branchen zu fungieren. Denkbar ist außerdem ggf. Interessen der Zuliefernden und anwendenden Industrien in gemeinsamen Produktentwicklungen zusammenzubringen.

Literatur

- 1 Glittenberg, D.; Becker, A.; Tippett, R. J.
Eine neue Generation kaltlöslicher Biopolymere erlaubt die weitere Anhebung des Streichfarbenfeststoffs und eine Optimierung der Gesamtbinder
Wochenblatt für Papierfabrikation -, S. 436-441, 2008 Nr. 10
- 2 Kanzamar, M.
Simulation der Trocknung gestrichener Papiere
Dissertation im Fachbereich Maschinenbau der Technischen Universität Darmstadt
Darmstadt, 2006
- 3 EID Argumentationskarten, www.energieintensive.de, 10-2012
- 4 Berger, R.
Studie: Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien, Ausblick und Handlungsstrategien bis 2050, Roland Berger Strategy Consultants, München 08-2011
- 5 N.N.
Strahlenpolymerisierbare lösemittelfreie Schutz- und Dekorationsbeschichtungen auf Basis heimisch nachwachsender Rohstoffe
Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Az 08150 - 2000
- 6 Pieke, St.
Experimentelle Untersuchungen zur effizienten Vernetzung von Oberflächenbeschichtungen mit UV-Strahlung, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), 2009
- 7 Glöckner, P.; Jung, T.; Struck, S.; Studer, K.
Radiation Curing, Coatings and Printing inks
Vincnetzs Network, Hannover 2008
- 8 Läuppi, U. V.; Rangwalle I.
ES-Trocknung: Die sichere, wirtschaftliche und ökologische Wahl für den Druck von Lebensmittelverpackungen Teil 2, Coating, 12/2008
- 9 Nkeuwa, W. N., Riedl, B., and Landry, V.
UV-cured clay/based nanocomposite topcoats for wood furniture: Part I: Morphological study, water vapor transmission rate and optical clarity
Progress in Organic Coatings 77 [1], S. 1-11; 2014
- 10 Sun, X. Y., Kang, J. L., Hang, J. Z., Jin, L. J., Xu, F., and Shi, L. Y.
Preparation and characterization of UV-curable talc/acrylate composite coatings with enhanced flame-retardancy
Advanced Materials Research 750-752, S. 2057-2062; 2013
- 11 Deuteron-Kationische Fotoinitiatoren, Produktinformationsflyer der Firma Deuteron,
<http://www.deuteron.com/docs/LIT/D/flyer%20uv%20initiators-D.pdf>
- 12 Potdevin, A. P.
Kationische Polymerisation von flüssigkristallinen Monomeren
Dissertation, 12-2006, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- 13 Davidson and Tranter, Crosslinking by remote control: novel test procedure clarifies effects of moisture on cationic curin; European coating journal, 2. Ausgabe, S. 20-25, 2008
- 14 Rose, K.
ORMOCERe als Bindemittel für Pigmente zur Papierbeschichtung
interner Abschlussbericht zu den Untersuchungen am Fraunhofer ISC
- 15 Mowiol-Polyvinylalcohol
Clariant GmbH, Division CP, BU Polyvinyl Alcohol / Polyvinyl Butyral Marketing 1999

- 16 Uhlich, T.; Ulbricht, Mathias; Tomaschewski, Georg
Immobilization of enzymes in photochemically cross-linked polyvinyl-alcohol
Enzyme and Microbial Technology 19:124-131, 1996
- 17 Hiratsuka, H.; Inaki, Y.
Photo crosslinking of Polyvinyl alcohol Containing Uracil
Journal of Photopolymer Science and Technology
Vol. 12, Nr. 2, 1999
- 18 Miranda, T.; Goncalves, A.; Amorim, P.
Ultraviolet-induced crosslinking of polyvinylalcohol evaluated by principal component analysis of FTIR spectra
Society of Chemical Industry., Polym. International 50:, 2001
- 19 Bourke, S. L. at al.
A Photo-Crosslinked Poly (vinyl Alcohol) Hydrogel Growth Factor Release Vehicle for Wound Healing Applications
AAPS PharmSci 2003; 5(4) Article 33
- 20 BASF Drucksysteme GmbH
Herstellung vernetzbarer wasserlöslicher oder wasserdispergierbarer Zusammensetzungen und daraus erhältlicher strahlungsempfindlicher Gemische
1999, EP 0962828 A1
- 21 VDP-Atlas 2013
- 22 Schwalm, R.
UV-Coatings - Basics, Recent Developments and new Applications
BASF-The Chemical Company, 1. Auflage 2007
- 23 Glöckner, P.; Jung, T.; Struck, S.; Studer, K.
Radiation Curing, Coatings and Printing inks
Vincnetzs Network, Hannover 2008



www.ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung

Heßstraße 134 · 80797 München · Telefon +49 (0)89-12146-0 · Telefax +49 (0)89-12146-36 · Mail info@ptspaper.de

Pirnaer Straße 37 · 01809 Heidenau · Telefon +49 (0)3529-551-60 · Telefax +49 (0)3529-551-899 · Mail info@ptspaper.de