

**Das Verhalten von Photoinitiatoren in Abhängigkeit der Prozessparameter
bei strahlungshärtenden Druckfarben**

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Dipl.-Chem. Christopher Altenburg

aus Münster

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam

2. Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dirk Burth

Tag der Einreichung: 26.01.2010

Tag der mündlichen Prüfung: 22.03.2010

Darmstadt

D 17

CHRISTOPHER ALTENBURG
HRSG. SAMUEL SCHABEL

DAS VERHALTEN VON PHOTOINITIATOREN IN ABHÄNGIGKEIT DER PROZESSPARAMETER BEI STRAHLUNGSHÄRTENDEN DRUCKFARBEN

FORTSCHRITT-BERICHTE
PAPIERTECHNIK

6

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2010

Die Abbildung auf dem Umschlag wurde freundlicherweise von der Firma 3P Spezialdruck GmbH zur Verfügung gestellt

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9259-1

ISSN 1865-7419

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand an der Fakultät Verfahrenstechnik Papier und Verpackung der Hochschule München. All denen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich meinen Dank sagen.

Ganz herzlich danke ich:

Herrn Prof. Dr. Dirk Burth, HM München, für die Förderung dieser Arbeit, der es mir ermöglichte, in seiner Arbeitsgruppe den praktischen Teil meiner Arbeit im Rahmen eines InnoNet-Projektes durchzuführen, sowie für das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel, Leiter Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, für die Betreuung der Dissertation von Seiten der TU Darmstadt und für die stete Diskussionsbereitschaft und für Möglichkeit der Teilnahme an den interessanten Gernsbachseminare.

Besonders danke ich:

Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Dörsam, Leiter des Fachgebietes Druckmaschinen und Druckverfahren an der TU Darmstadt, für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Dipl.-Ing. (FH) Udo Hoffmann, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Sandro Ostendorf und Herrn Josef Lamprecht (HM München) für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Für Untersuchungen im Rahmen des InnoNet-Projektes und für die vertrauensvolle Zusammenarbeit danke ich den Damen und Herren von Dr. Graner & Partner GmbH, Michael Huber München Holding GmbH, BASF SE, Bayer MaterialScience AG, Dr. Höhle AG, Zeller + Gmelin GmbH & Co. KG, Müller Martini Druckmaschinen GmbH, Electron Crosslinking AB, Linde AG, Verband der Hersteller selbstklebender Etiketten u. Schmalbahnkonverter e. V. und Alcan Packaging Singen GmbH.

Mein ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mich stets gefördert haben.

Der wichtigste Dank gebührt jedoch meiner Frau Bernadette, die stets an mich geglaubt und mich unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	4
2	Technologie der Strahlungshärtung	5
2.1	Radikalische Polymerisation.....	5
2.2	Strahlertechnologie	7
2.2.1	UV-Strahler.....	7
2.2.2	ESH-Technologie.....	11
2.3	Reaktionsatmosphäre	14
2.4	Druckversuche	15
3	Rohstoffe für die Strahlungshärtung	17
3.1	Präpolymere	17
3.1.1	Polyetheracrylat	18
3.1.2	Polyesteracrylat	19
3.1.3	Polyurethanacrylat	19
3.1.4	Polyepoxidacrylat	20
3.2	Reaktivverdünner	20
3.3	Photoinitiatoren	22
3.4	Pigmente	25

4	Stoffübergänge zwischen Verpackung und Füllgut	27
4.1	Diffusion.....	27
4.2	Korrelation Diffusionkoeffizienten und Polymereigenschaften.....	31
4.3	Prüfmethode Verpackung aufs Füllgut	33
5	Mess- und Analysemethoden.....	35
5.1	Gaschromatographie mit Ethanol-Flüssiginjektion	35
5.2	Detektion UV-aktiver Substanzen	37
6	Ergebnisse der Aushärtung von Polymerfilmen	41
6.1	Charakterisierung der Ausgangsstoffe	41
6.1.1	Verschiedene Acrylatrohstoffe	42
6.1.2	Labormethode zur Aushärtung der Rohstoffe und Abmischungen.....	45
6.1.3	Ergebnisse der Acrylatrohstoffe	48
6.2	Analyse der Lackmischungen	53
6.3	Verhalten des Photoinitiators.....	55
6.3.1	UV/Vis-Spektroskopie des Photoinitiators.....	57
6.3.2	Analyse des Photoinitiators mit der Gaschromatographie	59
6.4	Ergebnisse zum industriellen Druckversuch	63
6.4.1	Ergebnisse der Analyse des Klarlackes.....	67
6.4.2	Ergebnisse der Druckfarbe magenta	69
6.4.3	Ergebnisse der Druckfarbe schwarz.....	72
6.4.4	Ergebnisse der Druckfarbe transparentweiss.....	76

6.5	Schnellextraktionsmessmethode	80
6.5.1	Photoinitiatoren nach Elektronenstrahlhärtung	85
6.5.2	Test der Schnellextraktionsmethode an Laborproben	86
6.5.3	Test der Schnellextraktionsmethode an Druckproben	88
6.5.4	Vergleich Schnellextraktionsmethode mit Diffusionsberechnung	99
7	Korrelation des Aushärtungsgrades zur Menge extrahierfähiger Stoffe	112
8	Zusammenfassung und Ausblick	117
9	Literaturverzeichnis	119