

Abschlussbericht zum Vorhaben

Neuartige Funktionsbeschichtungen für die umweltfreundliche, energieeffiziente Tiefdruckformherstellung

gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Aktenzeichen:

37380

Zuwendungsempfänger:

Maschinenfabrik Kaspar Walter GmbH & Co. KG

Kooperationspartner:

Hochschule der Medien Stuttgart

Verfasser:

Steffen Meier

Oliver Fechner

Prof. Dr. Armin Weichmann

Jessica Landherr

Krailling, 15.10.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
I Zusammenfassung.....	5
II Einleitung	6
III Hauptteil.....	10
1 Darstellung der Arbeitsschritte und Methoden	10
1.1 Erzeugung polymerer Gravurschichten.....	10
1.2 Härtung der polymeren Gravurschichten	12
1.3 Finishing der polymeren Gravurschichten.....	12
1.4 Laserstrukturierung der polymeren Gravurschichten	14
1.5 Einstellung der tribologischen Eigenschaften.....	21
1.6 Optimierung des Druckverhaltens mittels elektrostatischer Druckhilfe (ESA) .	28
1.7 Vergleich mit konventioneller Gravur und Beschichtungstechnologie.....	30
2 Fazit und Ergebnisbewertung	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafter einer konventionellen Tiefdruckform mit ihren galvanischen Beschichtungen.....	6
Abbildung 2: Angestrebter Herstellungsprozess der polymeren Tiefdruckformen (schemat. Darstellung)	8
Abbildung 3: Versuche zur Erzeugung der Druckformbeschichtungen	10
Abbildung 4: Beschichtungsfehler im Randbereich der Zylinder	11
Abbildung 5: Polymerbeschichtete Versuchszylinder mit polierbedingten Oberflächenfehlern.....	13
Abbildung 6: Referenz galvanischer Tiefdruckzylinder – Bebilderung: Laser (Cellaxy – cw-Laser), Beschichtung: verchromtes Kupfer, 100%er.....	15
Abbildung 7: Polymerbeschichteter Testzylinder – Bebilderung: Laser (Schepers ps-Laser), 100%er (links) vs. 50%er (rechts)	15
Abbildung 8: Lasergravierte Volltonnäpfchen Cyan im Polymer vor dem Druck mit punktuellen Polymerrückständen in den Zellen.....	16
Abbildung 9: Bebilderung: Laser (Schepers), Beschichtung: Polymer	18
Abbildung 10: Bebilderung: Laser (Cellaxy), Beschichtung: verchromtes Kupfer.....	18
Abbildung 11: Vermessung der überarbeiteten Druckraster.....	19
Abbildung 12: Optische Charakterisierung der Strukturen zur Verschleißmessung – links: Aufsatz-Konfokalmikroskop DotScope, rechts: 3D-Mikroskop von Keyence.....	20
Abbildung 13: Aus der Zylinderbeschichtung herausgelöste Strukturproben der gravierten Verschleißmarken für die Untersuchungen im Keyence 3D-Mikroskop.....	20
Abbildung 14: Cyan Registermarke vor dem Druck (links) und nach 90 km Drucklauf (rechts).....	22
Abbildung 15: Schwarz Einlauf Registermarke vor dem Druck (links) und nach 90 km (rechts).....	22
Abbildung 16: Filterrückstände	23
Abbildung 17: in den Druckversuchen verwendetes Testlayout.....	24
Abbildung 18: harmonische Tonwertverläufe der gedruckten Bildkeile	24

Abbildung 19: Vergleich Bildbereich (oben) gegen nicht-druckenden Bereich (unten) der gleichen Rakel (ROTOstar).....	25
Abbildung 20: Vergleich Bildbereich (oben) gegen nicht-druckenden Bereich (unten) der gleichen Rakel (MDC Longlife).....	26
Abbildung 21: Dichtewerte über Laufzeit mit MDC Longlife Rakel	27
Abbildung 22: Untersuchte ESA-Funktionsweisen – links: Top Loading; rechts: Core Loading (; Quelle: https://enulec.de/operating-principle/	28
Abbildung 23: Untersuchung des Einflusses der ESA in unterschiedlichen Einstellungen	29
Abbildung 24: Vergleich Dichtewerte über Laufzeit HelioPearl (links) vs. Chrom-Referenz (rechts).....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relative Standardabweichung der Näpfchenvolumina	16
Tabelle 2: Vergleich der Rautiefe (Zylinderverschleiß) mit MDC Longlife Rakel	27

I Zusammenfassung

Um die Wettbewerbsfähigkeit des Tiefdrucks gegenüber anderen Druckverfahren erhalten und seine qualitätsbestimmten Vorteile zukünftig wieder als vordergründige Argumente in der Druckbranche einsetzen zu können, wurde im Projekt ein neuer Ansatz für die Tiefdruckformherstellung verfolgt und erfolgreich demonstriert. Im Mittelpunkt stand dabei die Substitution neuartiger nanofunktionalisierter Polymere als umweltfreundlicher Ersatz für die traditionellen galvanischen Druckformbeschichtungen.

Hierfür mussten die Vorgaben für den fehlerfreien und reproduzierbaren Schichtauftrag unter produktionstypischen Voraussetzungen sowie die Einbringung von sehr feinen Tiefdruckrastern mittels Lasergravur ermittelt und in einer schrittweise abgestimmten Polymerrezeptur abgebildet werden. Die Beurteilung über die letztendlich mit der polymeren Gravurschicht realisierten Druckformigenschaften erfolgte in umfassenden Drucktests, in denen nicht die realisierbaren Druckqualitäten sondern auch das Farbübertragungsverhalten und die Verschleißbeständigkeiten untersucht wurden.

Im Ergebnis der Arbeiten konnten erste polymerbeschichtete Tiefdruckformen erfolgreich realisiert werden. Diese zeichneten sich durch homogene und prozessstabile Polymerbeschichtungen aus und konnten mittels Gravurlaser bereits mit hohen Strukturgenauigkeiten graviert werden. Im Zusammenspiel mit einer spezifisch herausgearbeiteten Rastelkonfiguration konnte für die erarbeiteten Demonstratoren zudem erfolgreich nachgewiesen werden, dass sie eine hohe Verschleißbeständigkeit über mindestens 100.000 lfm mitbringen und Druckqualitäten ermöglichen. Damit bieten sie perspektivisch eine qualitativ gleichwertige und wirtschaftlich höchst interessante Alternative zu den heute eingesetzten galvanischen Tiefdruckformen.

Vor diesem Hintergrund sollen die Arbeiten in den kommenden Monaten fortgeführt werden, wobei die verbleibenden Aufgabenstellungen vor allem im Hinblick auf die Skalierung des Beschichtungsprozesses und die weiterführende Optimierung der Gravurparameter unter Verwendung eines aus qualitativer Sicht favorisierten ps-Lasers zu sehen sind.

Das Vorhaben wurde in Kooperation mit der Hochschule der Medien Stuttgart und mit Unterstützung des im Rahmen eines Unterauftrags eingebundenen Leibniz-Instituts für Oberflächenmodifizierung e.V. (IOM) durchgeführt.

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projektes unter dem Aktenzeichen 37380.

II Einleitung

Der Tiefdruck zeichnet sich durch sehr hohe Druckqualitäten, die Eignung für unterschiedlichste Bedruckstoffe, eine einfache Prozessführung sowie sehr hohe Druckgeschwindigkeiten aus. Dadurch eröffnet sich auch abseits der klassischen Anwendungen im Illustration-, Dekor- und Verpackungsdruck eigentlich ein riesiges Einsatzpotenzial. In der Praxis sehen sich die Hersteller von Tiefdruckformen (i. d. R. Zylinder für Endlosprozesse) jedoch mit einem stetigen Marktrückgang konfrontiert. Dieser ist auf zwei grundlegende Probleme zurückzuführen:

- ⇒ Um den hohen Tribologie- und Verschleißschutzanforderungen des Tiefdrucks gerecht werden zu können, muss die gravierte Druckform mit einer abschließenden Hartchromschicht „versiegelt“ werden. Dies erfolgt in galvanischen Prozessen, die nach wie vor auf umwelt- und gesundheitskritischen Chrom(VI)-Verbindungen basieren.
- ⇒ Mit der seit 2017 geltenden Einstufung von Chromtrioxid als Substance of Very High Concern (SVHC) wurde dessen Verwendung autorisierungspflichtig und eine zügige Substitution verlangt. In der Tiefdruckformgalvanik stehen heute jedoch noch immer keine technisch adäquaten bzw. wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Alternativen zur Verfügung. Ohne eine geeignete Substitutionstechnologie droht der europäischen Tiefdruckformherstellung das Aus und eine Verlagerung in Regionen, in welchen niedrigere Umweltstandards gelten.

Dabei entsteht eine Tiefdruckform heute in einer Abfolge aus mehreren galvanischen Beschichtungs- und mechanischen Bearbeitungsprozessen. Sie muss neben den allgemeinen Vorgaben für ihr mechanisches Verhalten und die Gravurqualität insbesondere sehr hohen Ansprüchen an die Tribologie, Rauheit und Verschleißfestigkeit der Oberfläche im Druckprozess gerecht werden, was bisher die abschließende „Versiegelung“ der relativ weichen Gravurkupferschicht mit einer sehr verschleißfesten, 5 – 10 μm starken Hartchrombeschichtung (vgl. Abbildung 1) bedingt.

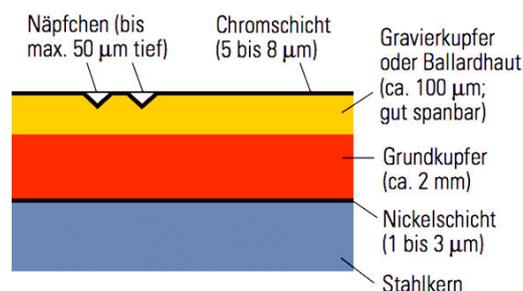


Abbildung 1: Beispielhafter einer konventionellen Tiefdruckform mit ihren galvanischen Beschichtungen

Während die der Verchromung vorgelagerten galvanischen Stufen mit Ausnahme ihres Energiebedarfs heute aus Umweltsicht nicht sehr kritisch zu betrachten sind, stellen chrombasierte Verschleißschutzschichten sowohl bei stofflicher, als auch energetischer Betrachtung ein signifikantes Problem in der Druckformfertigung dar. Dieses begründet sich insbesondere darin, dass die heute verwendeten Elektrolyte immer noch auf toxischen Chrom(VI)-Verbindungen mit den entsprechenden Gesundheits- und Umweltrisiken basieren und die Tiefdruckformgalvanik mangels geeigneter Beschichtungsalternativen heute immer noch darauf angewiesen ist,

- ⇒ die Stromausbeute in der Chromgalvanik und somit der energetische Wirkungsgrad des Beschichtungsprozesses sehr gering ist,
- ⇒ polyfluorierte Tenside (PFAS) als Netzmittel zur Reduzierung von Chromsäurenebel in den Bädern eingesetzt werden, die ihrerseits als potenzielle Umweltgifte einzustufen sind,
- ⇒ die Chromschicht aufgrund ihrer tribologischen Voraussetzungen und Mikrorissigkeit bei der Verwendung von umweltfreundlichen, wasserbasierten Druckstoffen sehr verschleißanfällig ist, wodurch der Einsatz lösemittelhaltiger Farben in Tiefdruckapplikationen noch sehr verbreitet ist.

In der Konsequenz ist die Herstellung umweltkritisch und energieintensiv, aber auch sehr aufwändig und so im Vergleich zu anderen Drucktechniken teuer. Angesichts der im Gegenzug immer größeren Volatilität, sinkenden Lauflängen und Budgets von Druckaufträgen lassen sich die hohen Werkzeugkosten jedoch häufig nicht mehr über die langen Standzeiten und der überragenden Druckqualität rechtfertigen. Um ein daraus resultierendes „Sterben“ des Tiefdrucks zu umgehen und seine qualitätsbestimmten Vorteile zukünftig wieder als vordergründige Argumente in der Druckbranche einsetzen zu können, ist ein grundlegend neuer Ansatz für die Tiefdruckformherstellung erforderlich.

Ein solcher wurde im abgeschlossenen Projekt verfolgt. Hier sollten neuartige polymerbeschichtete Tiefdruckformen entwickelt werden, mit denen erstmals energieintensive galvanische Beschichtungsprozesse, sowie umweltkritische Cr(VI)-Verbindungen komplett vermieden werden können. Dafür war eine effiziente Prozesstechnologie zu erarbeiten, mit der ein Grundzylinder präzise und homogen beschichtet, UV-gehärtet, sowie mittels Laser graviert werden konnte (vgl.). Diese neuartige Gravurschicht sollte dabei den Anforderungen an eine hochauflösende Laserstrukturierung, einen dauerhaften Verschleißschutz, sowie einen stabilen Farbübertrag entsprechen.

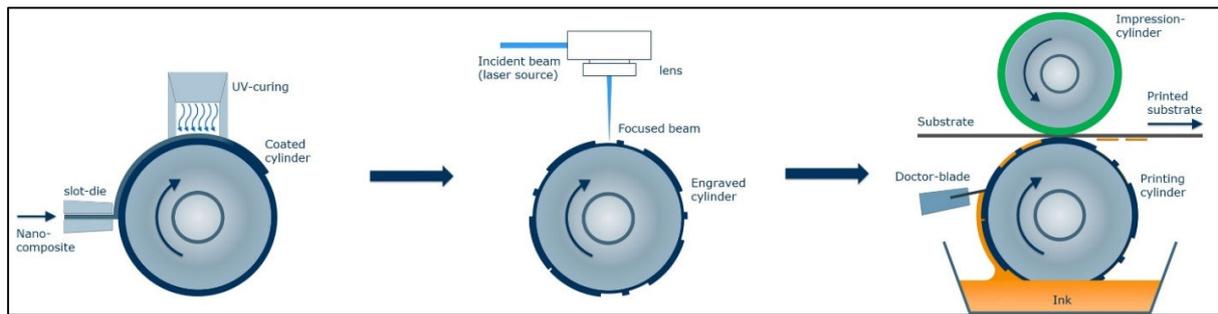


Abbildung 2: Angestrebter Herstellungsprozess der polymeren Tiefdruckformen (schemat. Darstellung)

Eine erfolgreiche Realisierung polymerer Tiefdruckformen bietet im Hinblick auf die mit ihr verbundenen Herstellungsaufwände und -kosten deutliche Vorteile gegenüber ihren galvanischen Pendanten und würde die drei zentrale Umweltprobleme der konventionellen Druckformgalvanik lösen:

- ⇒ Die Vermeidung der Emission von Cr(VI)-haltigen Verbindungen, aber auch anderer umweltkritischer und gesundheitsschädlicher Badchemikalien (PFAS basierte Netzmittel etc.) mit den Prozessabwässern und die Umgehung des darauf abzielenden EU-Verbotes der konventionellen Chromgalvanik.
- ⇒ Eine drastische Senkung des hohen Energieverbrauches galvanischer Beschichtungsprozesse.
- ⇒ Der Entfall des Einsatzes von Metallelektrolyten für den galvanischen Schichtaufbau einer Tiefdruckform und die massive Reduzierung des Materialeinsatzes für die Druckformbeschichtung.

Im Vergleich der neuen und alten Druckformvariante sollten so für die Beschichtung – bezogen auf eine Referenzzylinder mit einer Ballenlänge von 800 mm und einem Umfang von 1.200 mm – Energieeinsparungen von 96 % und Materialeinsparungen von 87 % realisierbar sein.

Das mit diesen Zielen gestartete Vorhaben setzte dabei auf grundlegenden Forschungsarbeiten in Zusammenarbeit mit dem IOM Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung Leipzig auf, in denen zuvor ein Nanokomposit mit hinsichtlich seiner Schichtbildungs-, Vernetzungs- und Gravureigenschaften annähernd anforderungsgerechten Materialvoraussetzungen entwickelt werden konnte. Erkenntnisse zur dimensionsspezifischen Skalierung der Druckformbeschichtung, materialspezifischen Abstimmung der Lasergravurparameter sowie zu den mechanischen Belastungs- und qualitativen Druckeigenschaften

polymerbeschichteter Tiefdruckzylinder lagen damit jedoch noch nicht vor. Sie waren jedoch essenziell, um belastbare Aussagen zu den industriellen Einsatzpotenzialen der neuen Technologie treffen zu können und bestimmten den im Projekt verfolgten Lösungsweg. Dieser beinhaltete folgende Arbeitsschwerpunkte:

- ⇒ Entwicklung des Beschichtungsprozesses
- ⇒ Entwicklung des Schichthärtungsprozesses
- ⇒ Einstellung der tribologischen und druckspezifischen Schichteigenschaften
- ⇒ Anlagentechnische Umsetzung des Beschichtungs- und Härtingsprozesses
- ⇒ Herstellung erster Druckformdemonstratoren
- ⇒ Drucktechnische Evaluierung der neuen Tiefdruckformen
- ⇒ Prozess- und Technologiebewertung

Der über diese Arbeitspunkte bestimmte Lösungsweg war als iterativer Entwicklungsprozess angelegt, in dem sich die material- und prozesseitigen Abstimmungen immer in direkter Rückkopplung aus den Versuchen an einer realen Druckmaschine ableiten sollten, in denen sowohl die erreichten mechanischen Schichteigenschaften als auch das Druckverhalten der Polymerschicht und darin eingebrachten Gravuren bewertet werden konnten.

III Hauptteil

1 Darstellung der Arbeitsschritte und Methoden

1.1 Erzeugung polymerer Gravurschichten

Im ersten Schritt wurden die Parameter des Beschichtungs- und Härtingsprozesses eingehend bewertet und daraus das DoE für die Schichtenwicklung detailliert herausgearbeitet. Das Vorgehen im Projekt basierte bis zum Ende auf dieser Versuchsplanung.

Auf dieser Basis konnte mit den experimentellen Betrachtungen des Beschichtungs- und Härtingsprozesses begonnen werden. Sowohl die Prozessvorgaben als auch Anlagenkonfiguration zur Erzeugung homogener Polymerschichten in den anvisierten Auftragsstärken konnten dabei bereits nach wenigen Versuchsreihen eingegrenzt werden. Dabei zeigte sich, dass auch die zwischenzeitlich mehrfach abgestimmte Materialrezeptur keine grundsätzlich veränderten Düsenkonstellation erfordert. Im Verlauf der Versuchsreihen (vgl. Abbildung 3) konnten so die Voraussetzungen für einen defekt- und porenfreien sowie geschlossenen Schichtauftrag iterativ eingegrenzt werden. Im Ergebnis erfolgt dieser nicht – wie primär auch angedacht – mittels einer Schlitzdüse die gesamte Zylinderlänge, sondern spiralförmig in exakt aneinander liegenden Spuren. Entgegen den ursprünglichen Befürchtungen konnten dadurch bedingte Schichtinhomogenitäten bzw. -fehler im abgestimmten Zusammenspiel mit der direkt an der Düse angeordneten Anpresswalze zuverlässig vermieden werden.



Abbildung 3: Versuche zur Erzeugung der Druckformbeschichtungen

Im Ergebnis konnten auch unterschiedliche Schichtdicken in diesem Setup flexibel eingestellt und homogen umgesetzt werden, so dass der Prozessschritt des Polymerauftrags in seiner Grundparametrierung relativ schnell realisiert werden konnte. Dafür wurde auch ein neuer Massflow-Controller integriert, der deutlich veränderte Stickstoffdurchflüsse und eine exakte Abstimmung der Prozessatmosphäre auf die geänderte Härtungskinetik ermöglichte. Die nachfolgenden – in erster Linie auf die Schichtvernetzung, Abrasionsbeständigkeit und Laserfähigkeit abzielenden – Anpassungen der Polymerrezeptur stellten die vorliegende Beschichtungstechnik und die darauf basierenden Prozessvorgaben nicht grundlegend in Frage, so dass das erarbeitete Setup beibehalten werden konnte. Im Zuge der u. a. durch die neuen Photoinitiatoren veränderten Rheologie des Schichtmaterials ging es vielmehr darum, die Materialdosierung, Drehgeschwindigkeit und den Anpressdruck schrittweise auf die veränderten Materialvoraussetzungen abzustimmen. Dies konnte in der Konsequenz aller Iterationen erfolgreich realisiert werden, so dass eine druckfähige Zylinderbeschichtung zur Verfügung stand.

Im Verlauf der weiterführenden Versuche mussten immer wieder fehlerhafte Zylinderbeschichtungen in den Randbereichen festgestellt werden, deren Ursache es zu analysieren galt. Mit der schrittweisen Abstimmung der Versuchsanlage und einer randlichen „Überdosierung“ des Polymers gelang es jedoch später homogene Polymerbeschichtungen bis zum Rand sicherzustellen.



Abbildung 4: Beschichtungsfehler im Randbereich der Zylinder

1.2 Härtung der polymeren Gravurschichten

Deutlich umfangreicher als der Beschichtungsprozess gestalteten sich die Untersuchungen zur Härtung der Polymerschicht. Zwar konnten die maschinenseitigen Voraussetzungen in den ersten Schritten erarbeitet und darauf aufbauend bereits im ersten Projektjahr technisch umgesetzt werden, die konkrete Abstimmung der optimalen Belichtungsregime musste jedoch mehrere Rezepturanpassungen berücksichtigen.

Diese betrafen zunächst ein gegenüber den Voruntersuchungen schrittweise modifiziertes Schichtmaterial, das hinsichtlich seiner veränderten Härtungskinetik eingehend untersucht und anlagentechnisch „gespiegelt“ werden musste. Die Polymermodifizierung brachte den Vorteil mit, dass der Härtungsprozess mit einem deutlich höheren Restsauerstoffgehalt (4 – 5 %) durchgeführt werden konnte. Auf diesem Weg ließ sich sukzessive auch das ursprüngliche Problem der klebrigen Schichtoberfläche überwinden. Gleichzeitig konnte mit der finalen Schichtrezeptur und Anlagenkonfiguration eine deutlich verbesserte, direkt kontrollierbare Vernetzung sowie im Hinblick auf die schichtimmanenten Eigenspannungen günstigere Härtungskinetik realisiert werden. Entwicklungsbegleitend wurden statistische Versuchsauswertungen zur Optimierung der Härtungsparameter durchgeführt, aus denen zudem hervorging, dass die Verschleißbeständigkeit und Kratzfestigkeit, welche ja noch ein zentrales Defizit des ursprünglichen Schichtpolymers darstellte, sich stark über die Härtungskinetik beeinflussen ließ. Vor diesem Hintergrund wurde der Härtungsprozess mit Oberflächeninertisierung unter verschiedenen Parametervorgaben untersucht. Daraus konnte letztendlich ein Parametersatz abgeleitet werden, mit dem sich eine sehr harte und somit kratzresistente Oberflächen ausbilden lassen.

Der im Ergebnis realisierte Beschichtungs- und Härtungsprozess konnte anhand der vielfältigen Evaluierungsversuche und Schichtanalysen sehr positiv bewertet werden. Es wurde gezeigt, dass auf üblichen Zylinderformaten Polymerschichten erzeugt werden können, die sich qualitativ an klassischen Galvanikbeschichtungen messen lassen können.

1.3 Finishing der polymeren Gravurschichten

Trotz der bereits im Beschichtungsprozess erreichten, sehr guten Schichthomogenitäten wurde die Schleifbarkeit des Schichtmaterials eruiert, um letztendlich optimale, d. h. exakt definierbare Oberflächenqualitäten für den nachfolgenden Gravurprozess sicherstellen zu können. In entsprechend über alle Materialiterationen durchgeführten Schleifversuchen konnten dem Polymer hierfür gute Bearbeitungseigenschaften attestiert werden,

welches ohne größere Probleme und mit sehr guten Oberflächenqualitäten auf das Zielmaß zugeschliffen werden konnte. Sehr positiv war in diesem Kontext auch, dass die Schichthftung sehr gut war und trotz der hohen mechanischen Belastungen während des Schleifprozesses keine Delaminationseffekte zu beobachten waren.

Als größere Herausforderung stellte sich hingegen der abschließende Polierprozess dar. In den ersten Druckversuchen mit auf der Basis von Erfahrungswerten polierten Versuchsformen wurden die Druckbilder z. T. durch deutlich ausgeprägte Schleifspuren beeinträchtigt (vgl. Abbildung 5). Zudem lag die Oberflächenrauheit bei den beschichteten Zylindern bei >1 Rz, was von den Vorgaben von $\leq 0,8$ Rz abwich. Die dazu durchgeführten Analysen zeigten später jedoch, dass sich diese Probleme nicht grundsätzlichen im Material und dessen eingeschränkten Bearbeitungseigenschaften begründeten, sondern auf falsche Bearbeitungsvorgaben zurückzuführen waren. Die entsprechende Abstimmung der Polierparameter führte zu den geforderten Oberflächenqualitäten.



Abbildung 5: Polymerbeschichtete Versuchszyylinder mit polierbedingten Oberflächenfehlern

Aber auch in den weiterführenden Versuchen zur Herstellung von Testzylindern mussten die zugrunde liegenden Bearbeitungsprozesse immer wieder eingehend analysiert wer-

den. Dabei wurde zwischenzeitlich deutlich, dass sich in die Schichtnachbearbeitung fehlerhafte Parameter eingeschlichen hatten, die sich in zu hohen Oberflächenrauheiten und entsprechend eingeschränkten Druckbildqualitäten widerspiegelten. Vor diesem Hintergrund wurde der Gesamtprozess der Zylinderbeschichtung eingehend analysiert und das zugrunde liegende Problem schrittweise auf den Schleifprozess eingegrenzt. Hier waren fehlerhafte Schleifparameter implementiert worden. Aber auch im mit unveränderter Polymerrezeptur durchgeführten Beschichtungsprozess waren zunächst immer wieder Schichtfehler zu beobachten, die sich letztendlich in fehlerhaften bzw. verstellten Anlagenparametern begründeten.

Im Ergebnis dieser umfangreichen experimentellen Analysen konnten jedoch sowohl die Schichtqualitäten als auch die Oberflächenrauheiten an die Zielvorgaben angenähert werden. So lagen die Oberflächenrauheiten im Bereich von Rz 0,6 – 0,8, so dass ein grundsätzlich gutes Druckverhalten erwartet werden konnte. Später hergestellten Musterformen konnten über die weiterführende Optimierung der Schleifparameter sogar nochmals deutlich reduzierte Rz-Werte von bis zu 0,4 attestiert werden.

1.4 Laserstrukturierung der polymeren Gravurschichten

Die mit Fokus auf die Optimierung der Vernetzungseigenschaften durchgeführten Rezepturanpassungen brachten die Gefahr mit, dass sich Laserbearbeitbarkeit der Polymerschicht deutlich ändert. Vor diesem Hintergrund wurde den Untersuchungen zu Lasergravur große Aufmerksamkeit gewidmet und die beschichteten Testzylinder jeweils umfangreichen Gravurversuchen unterzogen.

Um die Beschaffenheit und Gleichmäßigkeit des erzeugten Druckrasters, d. h. der in der Polymerschicht rasterförmig eingebrachten Näpfchen untersuchen zu können, wurden jedoch im ersten Schritt neben Silikonabformungen verschiedene bildgebende Verfahren getestet. Als praktikabel erwiesen sich Abbildungen mit einem konfokalen Lasermikroskop (Keyence VK-X 3000) sowie Abbildungen mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM – TESCAN VEGA). Nachteil dieser beiden Methoden war, dass die Beschichtung zunächst vom Zylinder gelöst werden muss, um in das Mikroskop eingelegt zu werden, es also nicht möglich war einen direkten Vergleich der bebilderten Näpfchen vor dem Druck und nach dem Druck anzustellen. Hierzu wäre ein hochauflösendes konfokales Lasermikroskop in mobiler Ausführung notwendig gewesen, um die Näpfchen direkt vom Zylinder abzubilden. Die Messungen mit einem mobilen 3D-Messmikroskop (DotScope) zeigten sich hingegen als nicht ausreichend detailscharf.

Die Lasergravurversuche selbst führten (unerwartet) schnell zu positiven Ergebnissen. Es zeigte sich, dass sich das Polymer bereits nach der ersten Materialabstimmung gut bearbeiten ließ. Sowohl das Einkoppelverhalten als auch der realisierte Materialabtrag bzw. die Abtragsraten wiesen auf sehr gute Gravurvoraussetzungen hin. Vor diesem Hintergrund konnten bereits frühzeitig konkrete Testgravuren adressiert werden, in denen mit Blick auf ihr spezifisches Druckverhalten die Erzeugung definierter und sehr exakter Strukturen bei unterschiedlichen Näpfchengemetrien, -tiefen und Stegbreiten in den Fokus gerückt werden konnten. Um auch in den optischen Prüfungen eine objektive Einschätzung der realisierten Rasterqualitäten vornehmen zu können, wurden jeweils auch galvanische Referenzformen hergestellt, mit denen die polymeren Muster direkt verglichen werden konnten. Gleichzeitig kaprizierten sich die Untersuchungen auf zwei Referenzraster (100 % und 50 %), mit denen das Spektrum der geometrischen Anforderungen gut abgebildet und gleichzeitig die ansonsten kaum beherrschbare Vielfalt an geometrischen Anforderungen gut eingegrenzt werden konnte.

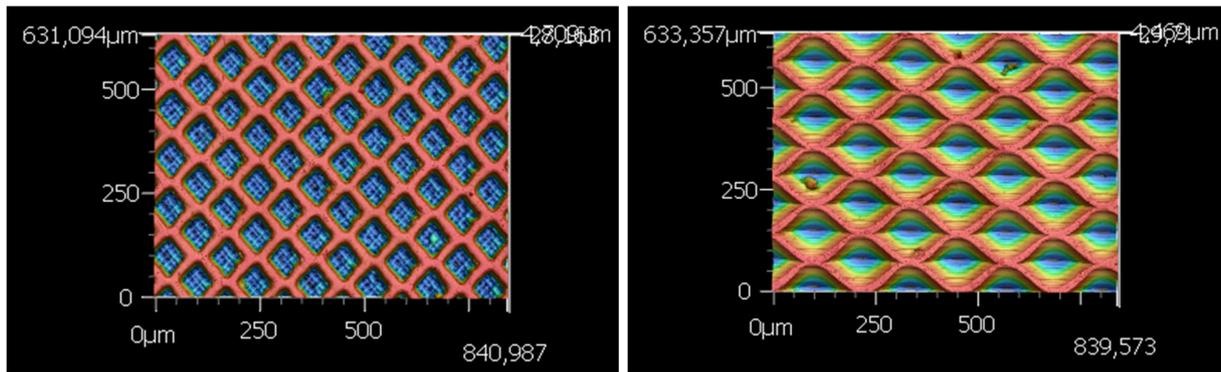


Abbildung 6: Referenz galvanischer Tiefdruckzylinder – Bebilderung: Laser (Cellaxy – cw-Laser), Beschichtung: verchromtes Kupfer, 100%er

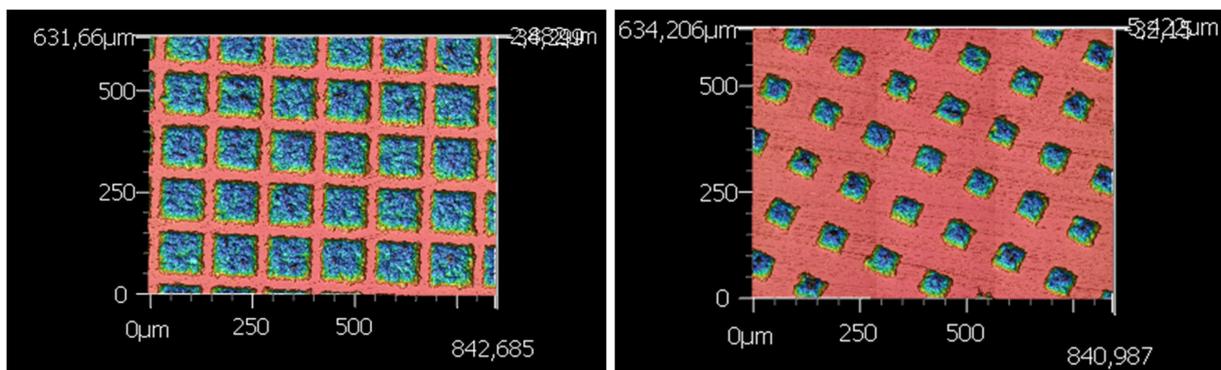


Abbildung 7: Polymerbeschichteter Testzylinder – Bebilderung: Laser (Schepers ps-Laser), 100%er (links) vs. 50%er (rechts)

Gleichzeitig wurden mit der elektromechanischen Gravur, einem fasergebundenen cw-Laser (Cellaxy) sowie einem Kurzpuls laser (Scheppers) verschiedene Technologien untersucht und die spezifische Qualität der damit erzeugten Näp fchen bewertet. Dafür wurde jeweils deren Volumen berechnet und die Standardabweichung des Volumens der unterschiedlich erzeugten Näp fchen verglichen, welche die Schwankungsbreite der Näp fchen-Volumina repräsentierte.

Tabelle 1: Relative Standardabweichung der Näp fchenvolumina

	<i>Rel. Standardabweichung</i>
<i>Cellaxy</i>	2,79 %
<i>Elektromechanische Gravur</i>	0,83%
<i>Polymerbeschichtung – 100%er</i>	1,53%
<i>Polymerbeschichtung – 50%er</i>	4,95%

In den Auswertungen zeigte sich, dass sich die Näp fchenvolumina der Polymerbeschichtung vergleichbar zu konventionellen Bebilderungs- und Beschichtungsmethoden verhielten. Die elektromechanische Gravur präsentierte sich allerdings als signifikant gleichmäßiger. Dies galt bei kleinen Näp fchen auch für die Lasergravur in Kupfer durch Cellaxy, wobei diese Beobachtungen keine statistische Validität mitbringen. Bei einzelnen Näp fchen fielen volumenverringende Polymerrückstände auf (vgl. Abbildung 8).

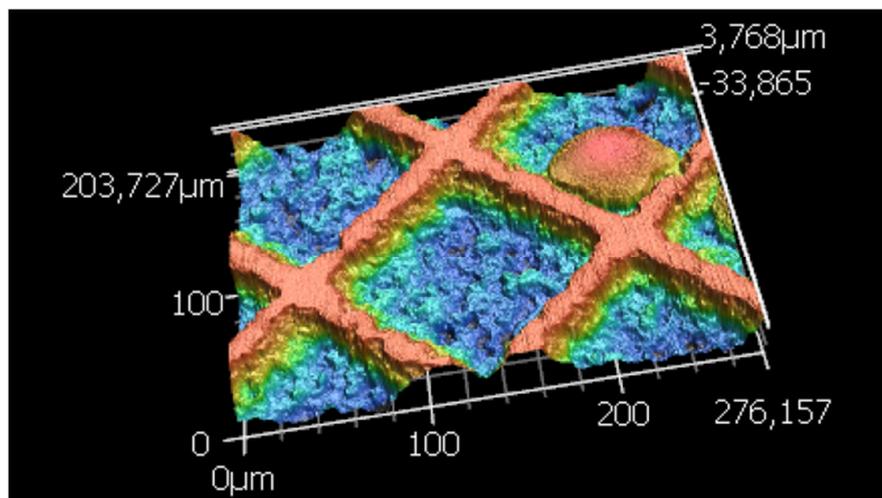


Abbildung 8: Lasergravierte Volltonnäp fchen Cyan im Polymer vor dem Druck mit punktuellen Polymerrückständen in den Zellen

Diese Rückstände wurden einer unzureichenden Sublimation des Polymers zurückzuführen, für die unterschiedliche Gründe (z. B. außerhalb der Fokusebene, Fokusrandlage o. ä.) herangezogen werden konnten. Ohne diesbezüglich den Gravurlaser und Laserprozess grundlegend überarbeiten zu können, konnte dieses Problem durch die Änderung des Bearbeitungsregimes und die entsprechende Abstimmung der Gravurspuren, d. h. die Zwei- bzw. Mehrfachüberfahung in einer Fokuslage schrittweise entschärft werden.

Um den unregelmäßigen Eindruck der Näpfchenböden im Polymer genauer zu untersuchen, wurden beide lasergravierten Proben (Polymer/Schepers und Chrom/Cellaxy) mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop abgebildet. Ein stark unregelmäßiger Näpfchenboden brachte die Gefahr mit, zu einer unregelmäßigen Näpfchenentleerung zu führen und somit einen unregelmäßigen Farbauftrag im Druckbild hervorrufen.

Der Boden der in das Polymer eingebrachten Näpfchen präsentierte sich im REM als stark zerklüftet und zersplittert (vgl. Abbildung 9). Die Unebenheiten waren jedoch recht klein, sodass die Hypothese plausible erschien, dass sich über dem Boden eine Art Farbfilm bildet, der glatt über dem Näpfchenboden liegt und dort dennoch eine stabile Farbtrennung beim Übertrag ermöglicht. Weiterhin war auch der Näpfchenrand stark gezackt, was zunächst ebenfalls Fragen hinsichtlich ihrer Entleerung aufwarf. Die Oberfläche der demgegenüber mittels Cellaxy-Laser im Kupfer eingebrachten Näpfchen zeigte durch die nachfolgende Verchromung einen deutlich anderen Strukturverlauf, der sich neben den beschichtungsbedingten Strukturnivellierungen und -verrundungen durch die für Chrom üblichen Mikrorisse auszeichnete (Abbildung 10).

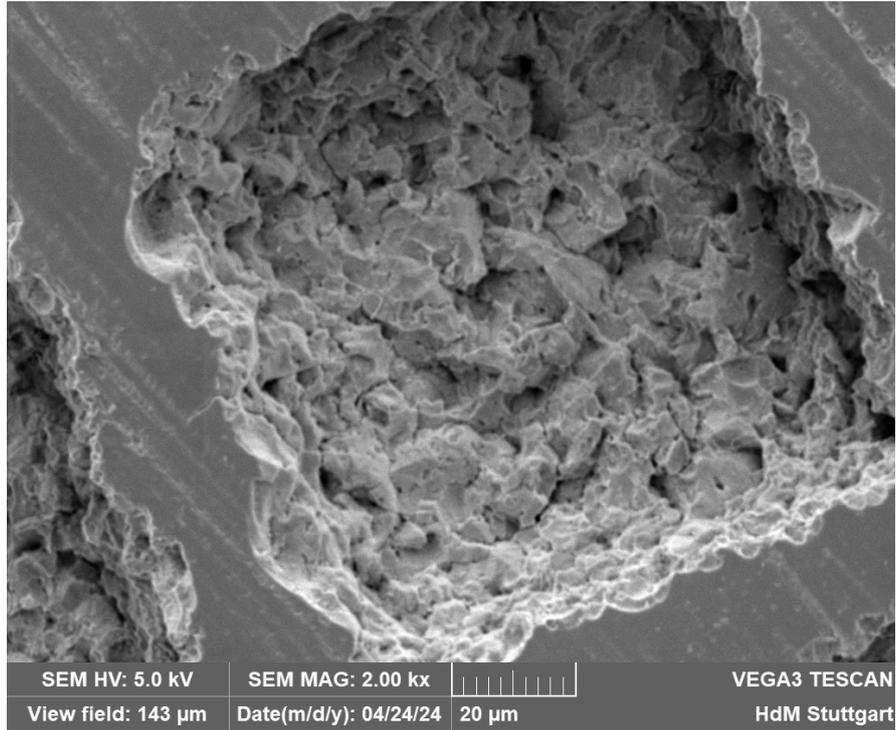


Abbildung 9: Bebilderung: Laser (Schepers), Beschichtung: Polymer

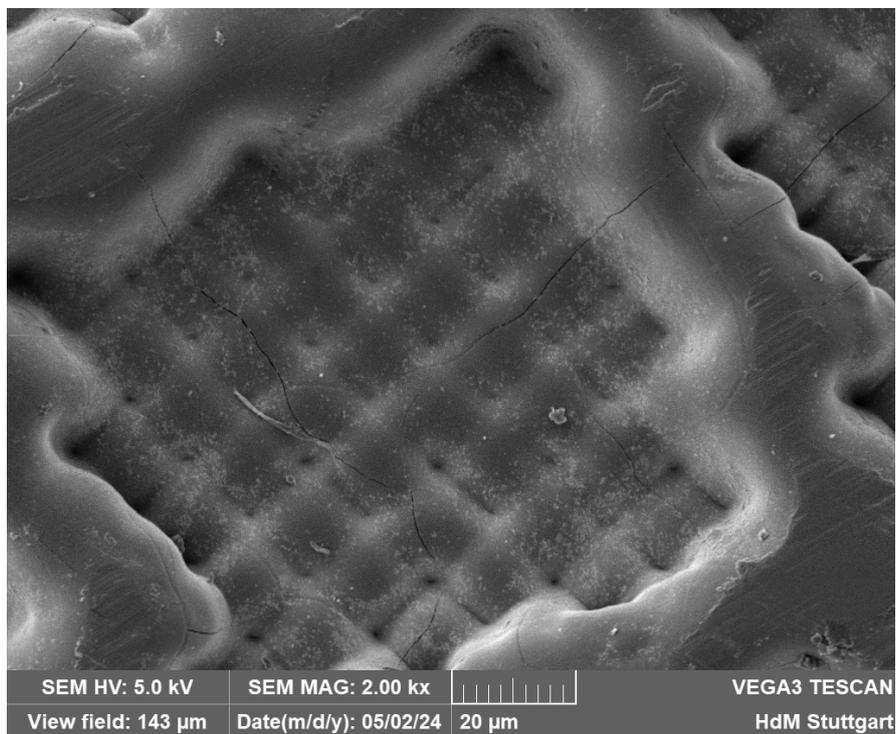


Abbildung 10: Bebilderung: Laser (Cellaxy), Beschichtung: verchromtes Kupfer

Die Frage, ob die in der Polymerbeschichtung realisierten Nöpfchenqualitäten eine Beeinträchtigung des Druckbilds nach sich ziehen, konnte in den anschließenden Drucktests beantwortet werden. Hier zeigte sich frühzeitig, dass trotz des sehr zersplitterten Untergrunds im Bereich der einzelnen Nöpfchen eine gute Homogenität umsetzbar war, was die o. g. Vermutung über eine dennoch stabile Farbspaltung bestätigte. Vor diesem Hintergrund waren bereits nach den ersten Gravurversuchsreihen gute Anhaltspunkte für die gravurtechnische Eignung des neuen Polymers gegeben, auf deren Basis die Gravurparameter schrittweise entsprechend der Druckversuchsergebnisse abgestimmt werden konnten.

Diese Abstimmungen bezogen sich unter anderem auch auf die zwischenzeitliche Beobachtung, dass die Druckbilder der einzelnen Walzen durch ein signifikantes Tönen beeinträchtigt waren. Dies galt von Beginn an für die schwarzen Druckformen, später auch für Magenta und begründete sich im Wesentlichen in einen zu hohen Farbübertrag. Eingehende Untersuchungen bestätigten dies und wiesen auf die bis dato gewählte Nöpfchentiefe hin, aus der ein zu hohes Farbvolumen resultierte. Als Konsequenz wurde das Druckraster bzw. die dem zugrundeliegenden Gravurparameter überarbeitet, um die Nöpfchentiefe von 40 μm auf 25 μm zu reduzieren. Im Ergebnis konnten die Vorgaben für die Lasergravur eingegrenzt werden, mit denen sich die neu definierten Nöpfchengometrien mit sehr hohen Strukturgenauigkeiten reproduzierbar erzeugen ließen (Abbildung 11).

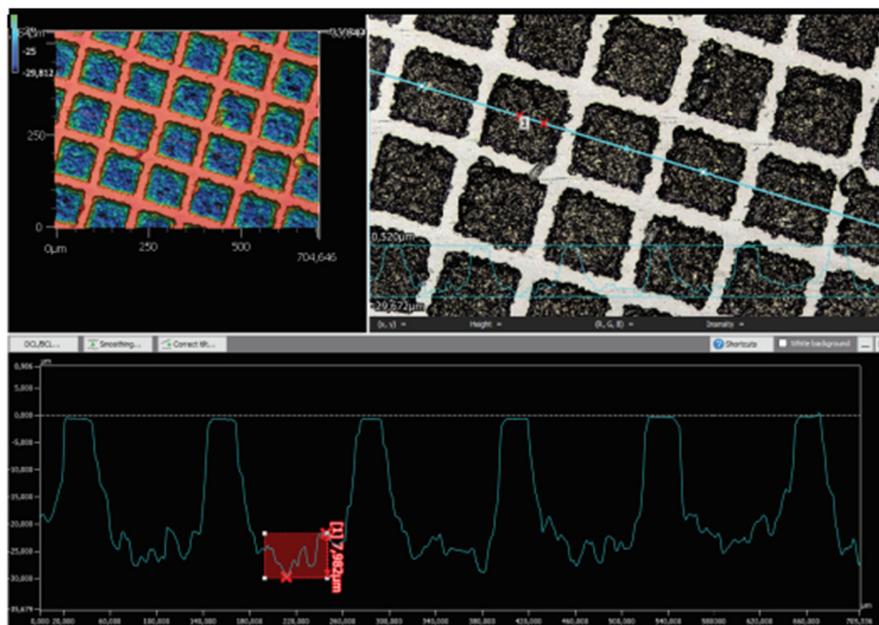


Abbildung 11: Vermessung der überarbeiteten Druckraster

Über die iterative Erarbeitung druckfähiger Gravurraster hinaus wurden auch umfangreiche Versuche durchgeführt, um eine auswertbare Verschleißmarke in die Polymeroberfläche einzubringen. Hierfür sollten Näpfchen mit unterschiedlicher μ -skaliger Tiefenabstufung im Polymer zu erzeugt werden, wofür die für eine exakte Tiefenauflösung zu adressierenden Ablationsschwellen des Lasers im Polymer herausgearbeitet werden mussten. Parallel wurden Konzepte zur Vermessung dieser Verschleißmarken sowie die dafür grundsätzlich geeigneten Messtechniken evaluiert. Im Ergebnis konnte dieser Ansatz jedoch nicht erfolgreich implementiert werden, da das verfügbare Aufsatz-Konfokal-Mikroskop nicht die erforderliche Auflösung bot (vgl. Abbildung 12), und ein diesbezüglich geeignetes Offline-Gerät anhand planarer Proben keine fehlerfreien Aussagen für die Struktureigenschaften in der Zylinderbeschichtung zuließ. (Abbildung 13).

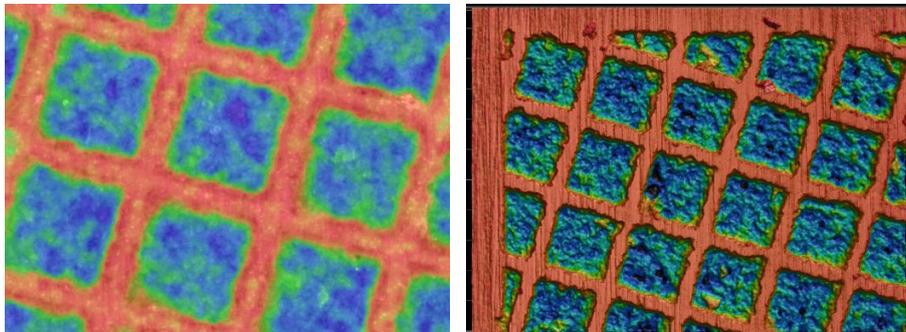


Abbildung 12: Optische Charakterisierung der Strukturen zur Verschleißmessung – links: Aufsatz-Konfokalmikroskop DotScope, rechts: 3D-Mikroskop von Keyence

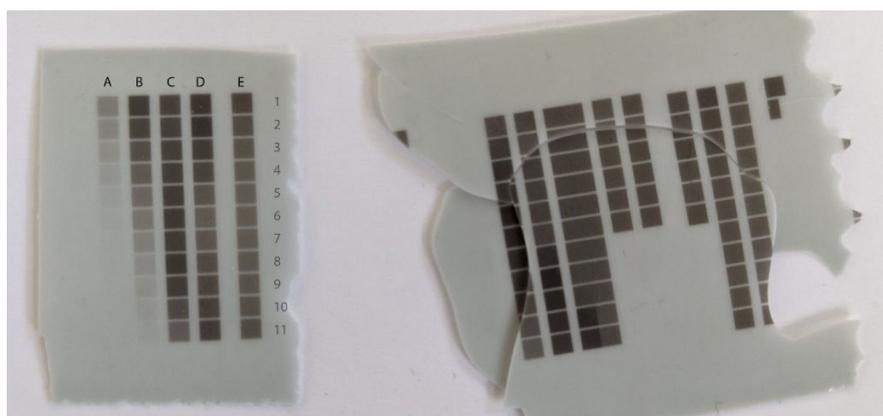


Abbildung 13: Aus der Zylinderbeschichtung herausgelöste Strukturproben der gravierten Verschleißmarken für die Untersuchungen im Keyence 3D-Mikroskop

1.5 Einstellung der tribologischen Eigenschaften

Neben der Beschicht- und Gravierbarkeit stellte die Verschleißbeständigkeit der polymeren Gravurschicht einer der zentralen Herausforderungen des Projektes dar. Während die mit der originären Polymerrezeptur erzeugten Testformen eine nur unbefriedigende Kratzbeständigkeit und damit eine nur eingeschränkte Druckfähigkeit mitbrachten, sollte die mechanische Beständigkeit der Druckformoberfläche im Vorhaben deutlich erhöht werden. Dafür wurde zum einen die Polymerrezeptur überarbeitet, um eine bessere Aushärtung der Schicht zu ermöglichen, zum anderen musste eine Rakelkonfiguration sowie die passenden Vorgaben für die Rakeleinstellungen im Druckprozess erarbeitet werden.

Zunächst wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, in denen das Zusammenwirken der Polymeroberfläche mit zwei unterschiedlichen Rakelsystemen bei Einsatz verschiedener Farbstoffsysteme und Pigmente beleuchtet wurde. Hierin konnte zunächst in „Trockenversuchen“ nachgewiesen werden, dass das modifizierte Polymer ein grundsätzlich verbessertes Verschleißverhalten gegenüber der Ausgangsbeschichtung mitbrachte und keine grundsätzlichen Einschränkungen im Vergleich zu konventionellen Metallschichten erwarten ließ.

Größere Herausforderungen wurden hingegen mit Blick auf die Kratzfestigkeit des Polymers herausgearbeitet – die sich bei der Verdrückung von kritischen Partikeln ergeben. Diese rekrutierten sich vor allem aus der Gruppe der sehr harten Schwarz- und Weißpigmenten sowie Pigmentagglomerationen, welche persé eine hohe Abrasivität mitbringen und im Rakelspalt teilweise zu Kratzern auf der Oberfläche führten. Da sich nicht alle dieser Verschleißfehler im Druckbild abbildeten, musste zunächst untersucht werden, welche Kratzertopographien tatsächlich relevant und somit zwingend zu vermeiden waren.

Nachdem diese Spezifikation vorlag, ging es in den ersten, mit dem Fokus auf die Verschleißigenschaften durchgeführten Druckversuchen zunächst um die Bestätigung der generellen Druckfähigkeit der Polymerbeschichtung ohne Kratzerbildung. Hierzu wurden die Farben Cyanblau und Schwarz von Siegwerk verwendet. Im Ergebnis zeigte sich, dass Cyanblau auch nach 150.000 Überrollungen (90.000 Laufmeter) noch gut ausdruckte. Trotz der Verwendung eines sehr harten, keramikbeschichteten Rakels – SvedCut MicroKote G – wurden auf dem Druckzylinder im Cyan nur geringe Verschleißerscheinungen sichtbar (Abbildung 14).

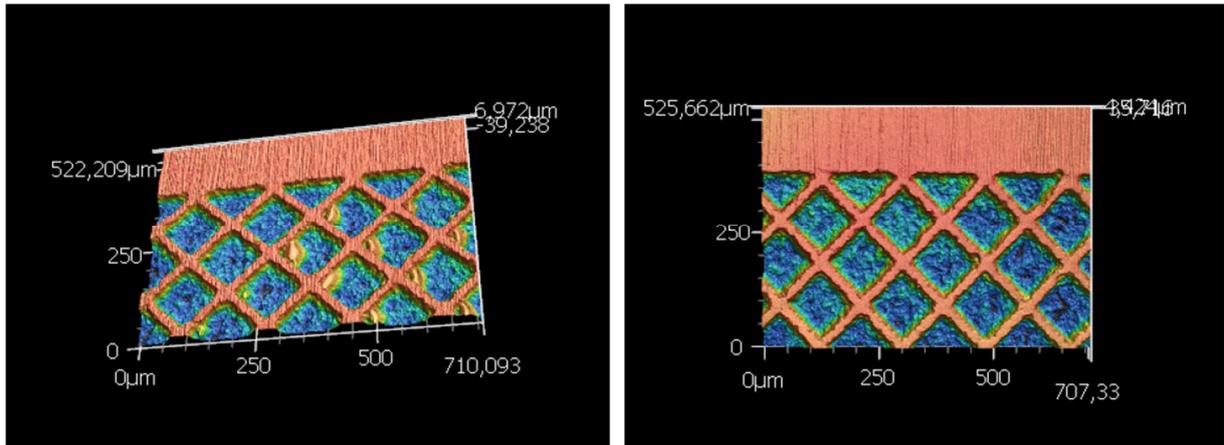


Abbildung 14: Cyan Registermarke vor dem Druck (links) und nach 90 km Drucklauf (rechts)

Das Schwarzpigment zeigte sich wie vermutet erheblich verschleißintensiver. Nach spätestens 80.000 Überrollungen war in den Bereichen von Nöpfchen mit Tonwerten über ca. 70 % eine deutliche Verringerung der Oberflächenrauheit zu erkennen bis hin zu kaum mehr erkennbaren Riefen am Beginn von höheren Tonwerten und auf den Stegen (Abbildung 15).

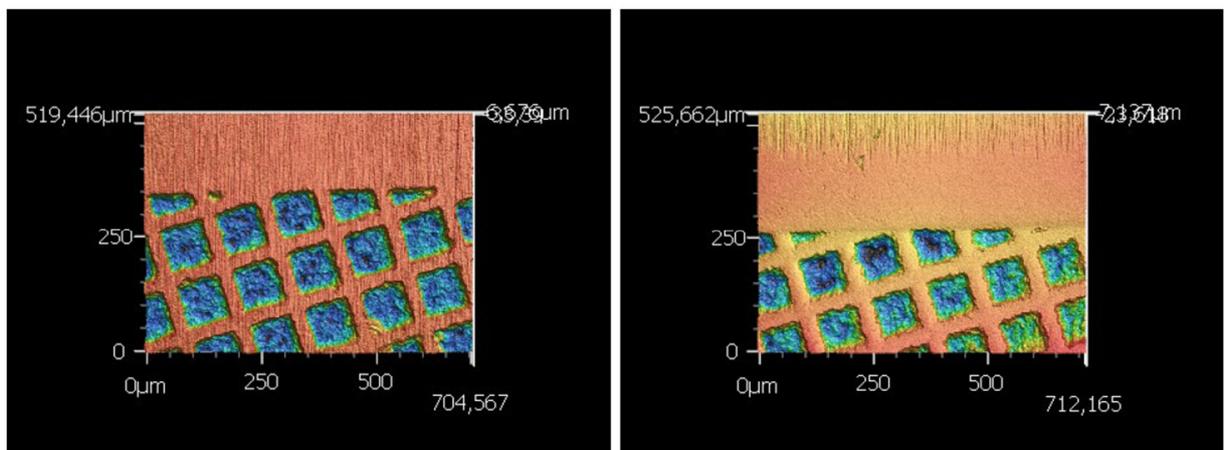


Abbildung 15: Schwarz Einlauf Registermarke vor dem Druck (links) und nach 90 km (rechts)

Das verwendete Rakel zeigte einen sehr geringen Verschleiß verglichen zu Chrom(VI). Es dauerte allerdings mehrere 10.000 Überrollungen, bis sich die Keramik-Rakel eingeschliffen hatte. Das Ausdruckverhalten verändert sich in diesem Zeitraum dementsprechend kontinuierlich, bis die Rakel ausreichend eingeschliffen ist. Um diesem Verhalten und dem oben sichtbaren starken Verschleiß des Zylinders entgegenzuwirken wurden weitere – weniger harte – Rakel evaluiert.

Da sich zunächst Kratzer auf den Zylindern zeigten, welche die Druckoberfläche unbrauchbar machten, wurden verschiedene Filtermöglichkeiten ausgetestet. Nach der Evaluierung verschiedener Filter-Maschenweiten erwies sich ein Kerzen-Partikelfilter von 20 µm ausreichend und praktikabel genug, um mögliche Partikelrückstände in der Druckfarbe zu filtern. Bei der Untersuchung der Rückstände im Filtersystem zeigten sich metallische Späne, die vermutlich durch die Kugelmühle in der Farbherstellung verursacht wurden. Mit diesem Filter wurde in allen Druckversuchen weitergearbeitet. Durch diese Maßnahme konnte die Kratzerbildung weitestgehend vermieden werden.

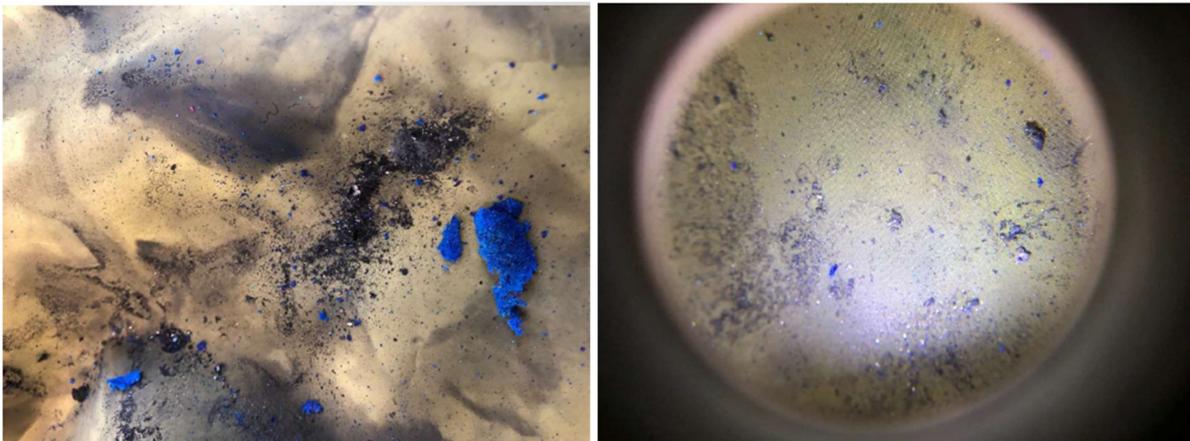


Abbildung 16: Filtrerrückstände

Generell zeigte sich eine gute Widerstandsfähigkeit der polymeren Beschichtung, auch beim Einsatz von stark abrasivem Deckweiß. Mit der richtigen Rakelauswahl konnten Drucklängen bis 100.000 Lfm sowohl mit Weiß, Silber, als auch mit CMYK bestätigt werden. Dabei wurde deutlich, dass zunächst mit einem zu hohen übertragenen Farbvolumen gestartet wurde, dies ließ sich durch die o. g. Rasterabstimmungen korrigieren: Ein Raster mit 80 l/cm, eine Nüpfchentiefe von 20 µm mit einer Stegbreite von 32 µm erwies sich als optimale Einstellung für harmonische Tonwertverläufe (Abbildung 18).

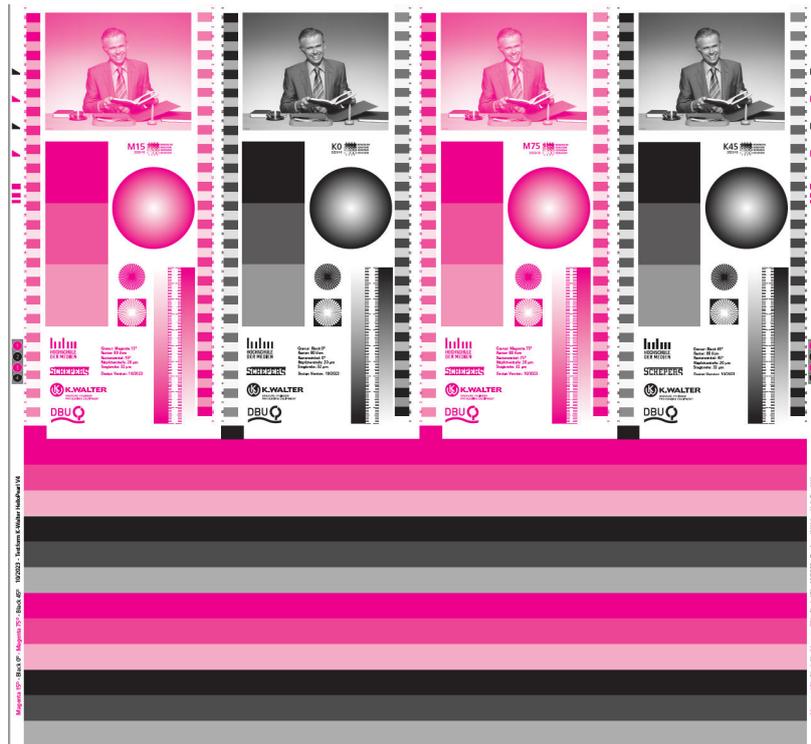


Abbildung 17: in den Druckversuchen verwendetes Testlayout

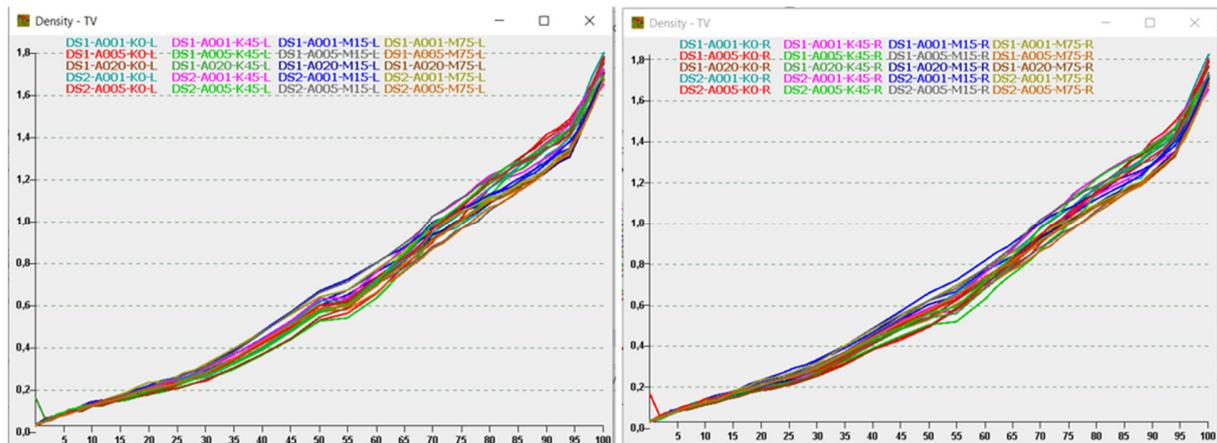


Abbildung 18: harmonische Tonwertverläufe der gedruckten Bildkeile

Im Sinne der tribologischen Systemabstimmung auf die neuen Polymerzylinder wurden nicht nur die schichtspezifischen und farbinduzierten Verschleißigenschaften betrachtet, sondern auch verschiedene Raketkonfigurationen untersucht, um ein optimiertes tribologisches System aus Zylinder, Farbe, Rakel zu finden. Trotz ihrer Verstärkung durch die Nanopartikel war nicht davon auszugehen, dass die Polymeroberfläche inhärent genauso

stabil sein würde, wie eine Chromoberfläche. Zudem war zu erwarten, dass sich das tribologische System mit einem Polymer/Metall-Kontakt deutlich anders verhält als ein Metall/Metall-Kontakt. Eine angepasste Rakelhärte, -geometrie und -beschichtung wurde darum im Vorfeld als einer der wesentlichen Parameter für eine Optimierung der Lauflänge und der Druckqualität identifiziert. Aus diesem Grund wurden Reihenversuche mit verschiedenen Rakeltypen durchgeführt und die Druckqualität jeweils über eine 100.000 Laufmetern analysiert (vgl. Abbildung 18).

In den ersten Druckversuchen zeigte sich, dass Stahlrakel ein nicht zufriedenstellendes Ausdruckverhalten zeigen können, weshalb zunächst ein hartes, keramikbeschichtetes Rakel - SvedCut MicroKote G – getestet wurde. Die verwendete Rakel zeigte im Vergleich zu Chrom einen sehr geringen Verschleiß. Wie bereits oben angesprochen dauerte es allerdings mehrere 10.000 Überrollungen, bis sich das Keramik-Rakel eingeschliffen hatte. Das Ausdruckverhalten veränderte sich in diesem Zeitraum dementsprechend kontinuierlich. Um diesem Verhalten und dem starken Verschleiß des Zylinders entgegenzuwirken wurden verschiedene Rakeltypen getestet.

Hierbei wurde zunächst aus dem Portfolio der getesteten Typen das noch in der Entwicklung befindliche ROTostar Rakel als optimal für die Polymeroberfläche identifiziert. Im weiteren Verlauf traten während der Druckversuche jedoch Probleme mit Tönen auf und es wurde deutlich, dass der Verschleiß auf dem Rakel zu stark war und dieser stärker auf die Zylinderoberfläche übertragen werden sollte. Zudem verschliss Rakel ungleichmäßig, was sich darin äußerte, dass in den Bildbereichen ein stärkerer Verschleiß als in den nichtdruckenden Bereichen sichtbar wurde (vgl. Abbildung 19 + Abbildung 20).

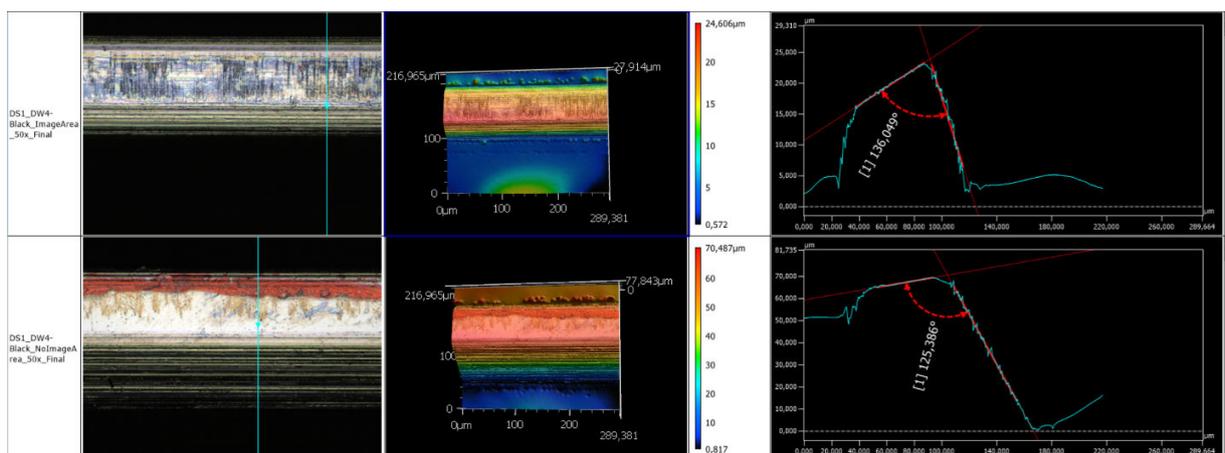


Abbildung 19: Vergleich Bildbereich (oben) gegen nicht-druckenden Bereich (unten) der gleichen Rakel (ROTostar)

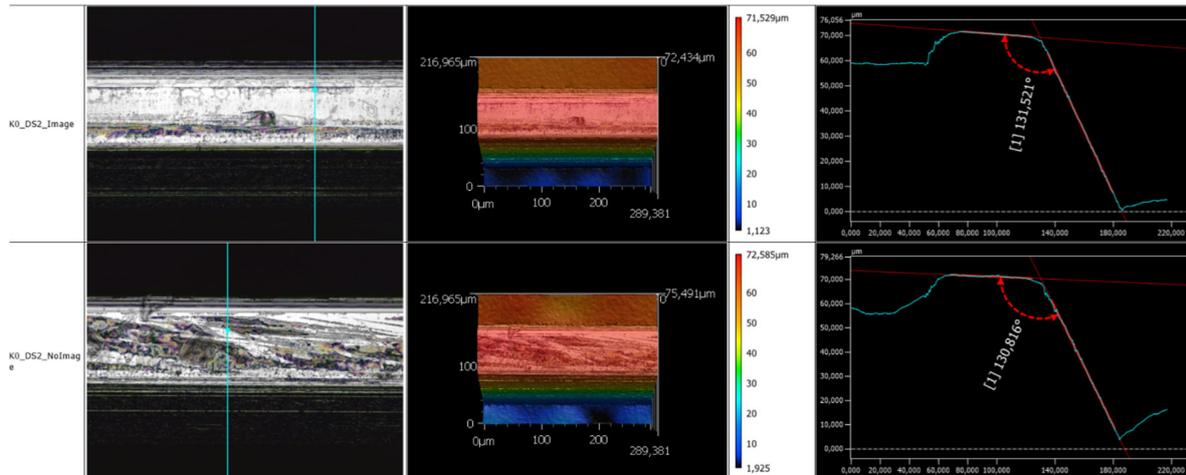


Abbildung 20: Vergleich Bildbereich (oben) gegen nicht-druckenden Bereich (unten) der gleichen Rakel (MDC Longlife)

Vor diesem Hintergrund wurde im letzten Schritt ein lauffstabileres MDC Longlife Rakel getestet, welches – wie erwartet – den Verschleiß von der Rakel weg zur Zylinderoberfläche verschob. Die verwendeten Longlife-Rakel zeigten ein deutlich stabileres Druckverhalten im Vergleich zur ROTOstar Rakel. Es waren deutlich weniger Eingriffe wie Rakelpflege, Erhöhung des Rakeldrucks bzw. Einstellen eines steileren Rakelwinkels notwendig, um ein stabiles Druckbild zu erhalten. In Kombination mit Testzylindern mit sehr glatter Polymeroberfläche ($R_z \sim 0,5$) konnte letztendlich ein sehr gutes und stabiles Druckverhalten nachgewiesen werden, so dass dieses Rakel für die weiteren Schritte der marktvorbereitenden Prozessentwicklung favorisiert wird.

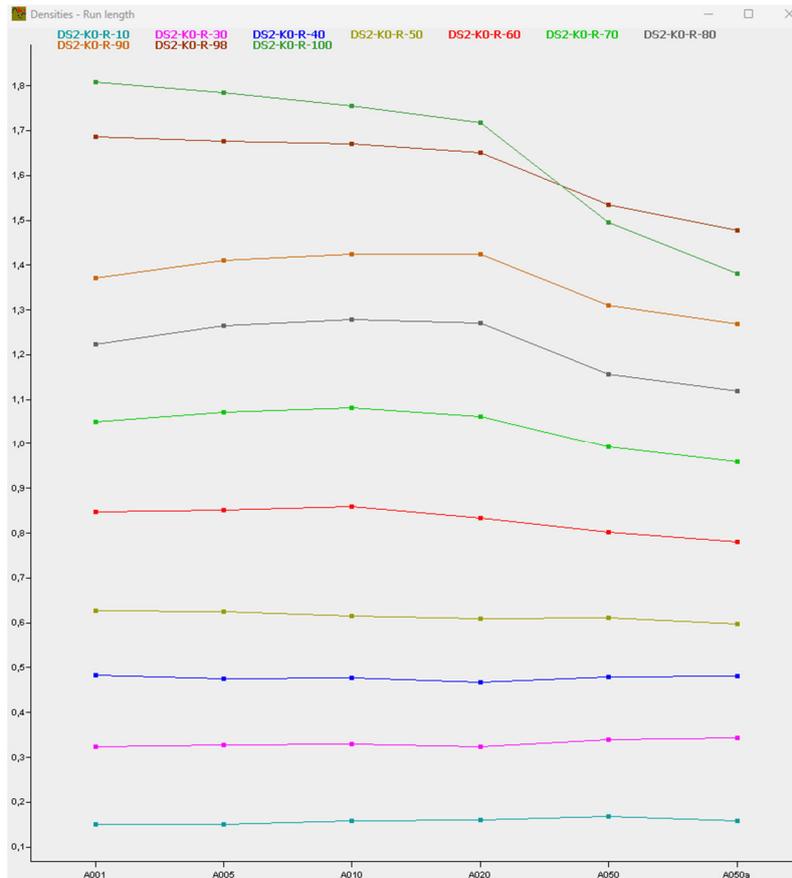


Abbildung 21: Dichtewerte über Laufzeit mit MDC Longlife Rakel

Die Tabelle 2: Vergleich der Rautiefe (Zylinderverschleiß) mit MDC Longlife Rakel zeigt, dass sich die Rauheiten über die Laufzeit in den Bereich entwickelten, der laut Lehrmeinung auch für die Chromoberflächen gilt. Offensichtlich wird dadurch das Tönen verringert bzw. ganz unterbunden. Die für die polymeren Druckformen angestrebte Drucklänge von 100.000 lfm konnte damit bei guter Druckqualität für die eingesetzten Farben erreicht werden.

Tabelle 2: Vergleich der Rautiefe (Zylinderverschleiß) mit MDC Longlife Rakel

<i>Rautiefe vor dem Druck</i>	<i>Rautiefe nach dem Druck</i>
Ra 0,09	Ra 0,04
Rz 0,72	Rz 0,37

1.6 Optimierung des Druckverhaltens mittels elektrostatischer Druckhilfe (ESA)

Weiterführende Versuche zielten darauf ab, die Auswirkungen eines elektrostatischen Assistenzsystems (ESA) auf das Druckergebnis mit den polymeren Druckformen zu beleuchten. Dessen Einsatz ist für den Druck auf Papier unerlässlich, um ein zufriedenstellendes Druckergebnis zu erzielen. Das ESA unterstützt mit Hilfe elektrischer Ladung die vollständige Entleerung der Nöpfchen in der Tiefdruckmaschine und verhindert das Auftreten fehlender Druckpunkte (Missing Dots). Diese entstehen durch nicht auf den Bedruckstoff übertragene Farbe und stehen einer optimalen Druckqualität grundsätzlich entgegen. Die spezielle Herausforderung bei den hier betrachteten polymeren Druckformen bestand darin, dass sie im Gegensatz zu konventionell chrom- bzw. metallbeschichteten Druckzylindern eine elektrisch isolierende Oberfläche aufweisen.

Vor Versuchsbeginn war nicht klar, ob die Zuschaltung der ESA überhaupt funktioniert und gefahrlos, d. h. ohne Funkenbildung oberhalb der Explosionsgrenze stattfinden kann. Getestet wurde die Zuschaltung der ESA in zwei verschiedenen Druckwerken, so dass zwei verschiedene Funktionsweisen untersucht werden konnten (Abbildung 22)

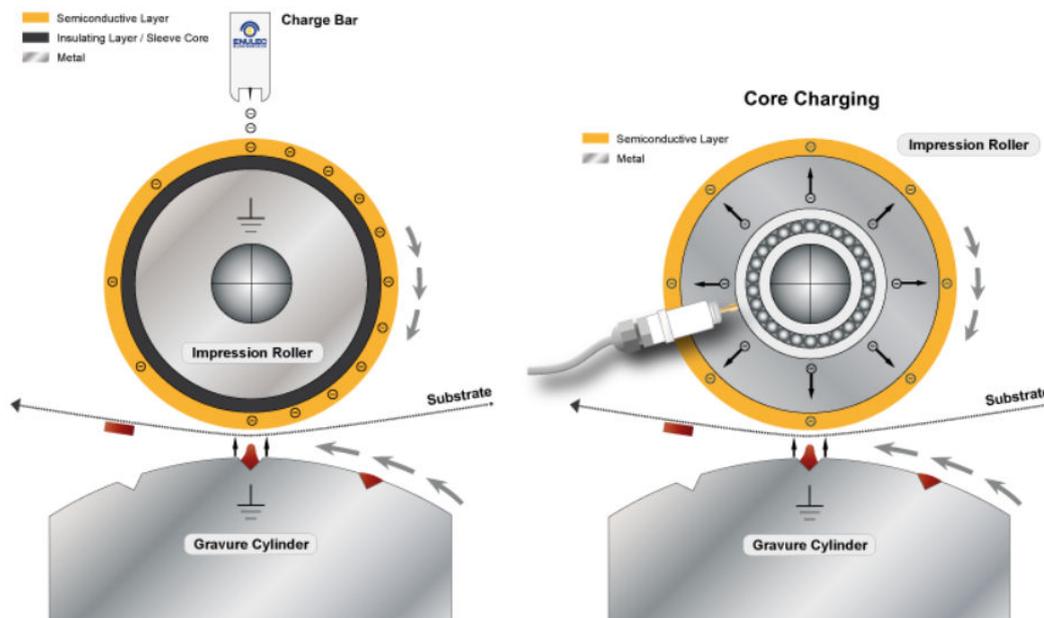


Abbildung 22: Untersuchte ESA-Funktionsweisen – links: Top Loading; rechts: Core Loading (; Quelle: <https://enulec.de/operating-principle/>

In den Untersuchungen zeigte sich, dass nicht nur der Einsatz der ESA mit den Polymerzylindern grundsätzlich möglich ist, sondern auch, dass dadurch eine deutliche Verbes-

serung des Druckbildes bewirkt werden kann. Dies wurde vor allem ab einer ESA Unterstützung von 11 % deutlich, die als Minimalgrenze mit sichtbaren Auswirkungen auf das Druckbild verbunden war. Die weitere Steigerung auf 15 %, d. h. 0,19 mA und 1,52 kV brachte noch weitere Verbesserungen (Abbildung 23).

Darüber hinaus bestätigten sich die primär formulierten Sicherheitsbefürchtungen nicht. Im Druck mit den Polymerformen wurden 3 bis 4 mal so hohe Spannungen (kV) generiert, als sie bei Chromzylinder üblich sind, aber auch ca. 5 bis 6 mal weniger Strom (mA). Daher wurde weniger Energie ins Druckwerk eingebracht. Zudem wurde beobachtet, dass sich der Stromfluss (mA) bei der Top Loading Technologie unregelmäßiger verhielt als bei der Core Charging Technologie, wodurch Letztere zu präferieren wäre. Diese Erkenntnisse basieren jedoch zunächst auf den eigenen Schlussfolgerungen und sind im Hinblick auf den produktionstechnischen Einsatz mit dem ESA-Hersteller noch zu diskutieren.

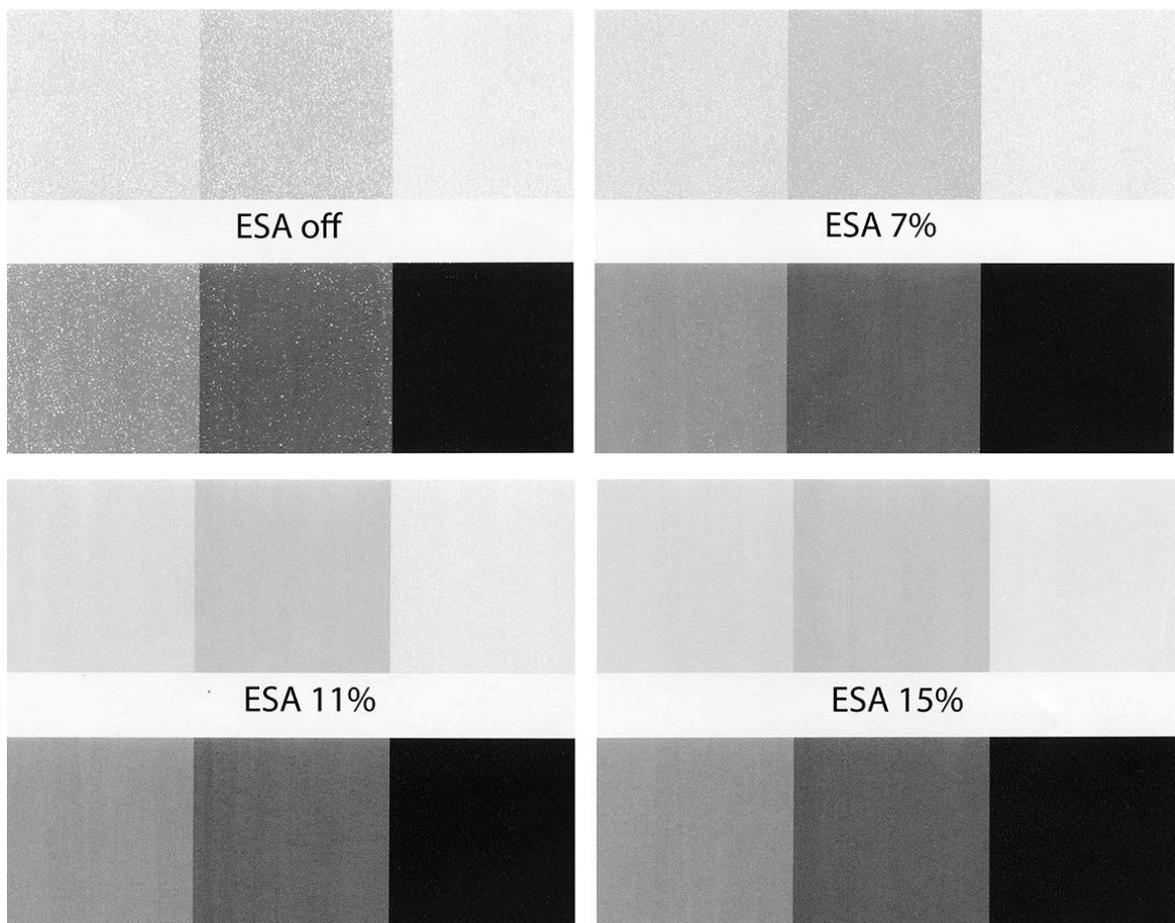


Abbildung 23: Untersuchung des Einflusses der ESA in unterschiedlichen Einstellungen

1.7 Vergleich mit konventioneller Gravur und Beschichtungstechnologie

Neben der generellen Bestätigung der drucktechnischen Eignung der mit der abgestimmten Polymerbeschichtung ausgerüsteten Tiefdruckformen sollten diese den Referenzformen auf elektromechanisch gravierten, verchromten Kupferzylindern bei ansonsten gleichen Druckparametern gegenübergestellt werden. Ziel war es, eine Referenz für die Dichtewerte der gedruckten Tonwerte zu haben und so den Gradationsverlauf von konventionell gravierten Strukturen mit verchromter Oberfläche und lasergravierten Polymeroberflächen zu vergleichen.

Die Auswertung der in den jeweiligen Drucken ermittelten Dichtewerte ergab einen gut vergleichbaren Kurvenverlauf. Interessant war hierbei vor allem die Tatsache, dass sich die Dichtewerte der Polymerbeschichtung über 100.000 Laufmeter sogar etwas stabiler darstellten als der Druck mit einem verchromten Zylinder (vgl. Abbildung 24). Auf dieser Basis konnte ein weiterer gewichtiger Anhaltspunkt für die technologische Wettbewerbsfähigkeit der polymeren Tiefdruckformen herausgearbeitet werden.

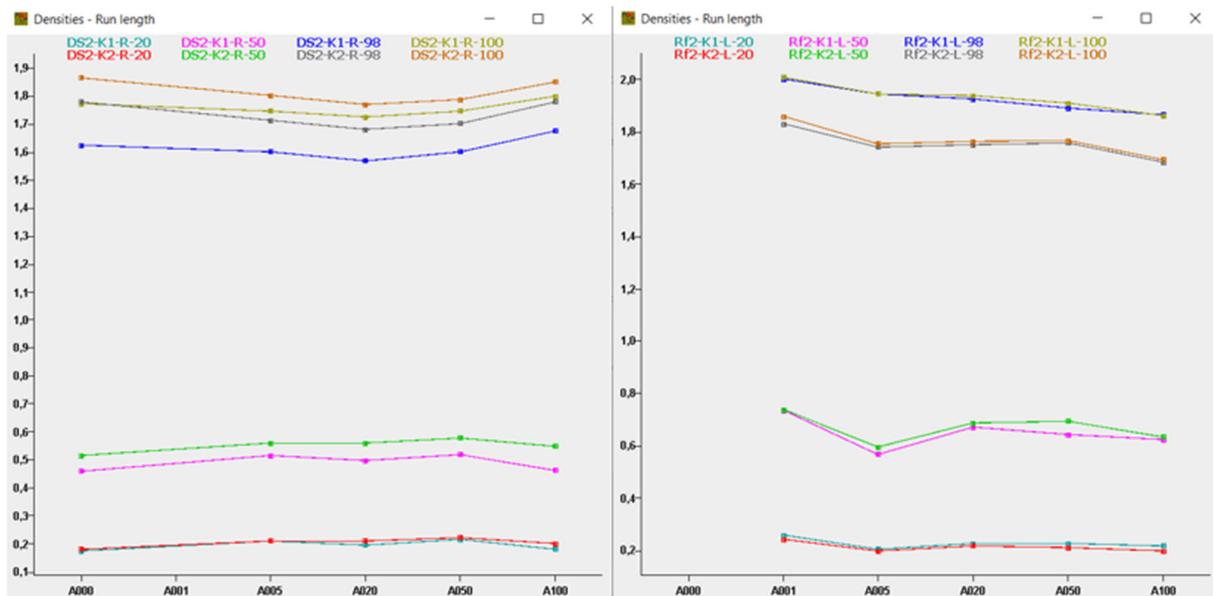


Abbildung 24: Vergleich Dichtewerte über Laufzeit HelioPearl (links) vs. Chrom-Referenz (rechts)

2 Fazit und Ergebnisbewertung

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte bestätigt werden, dass die neue polymere Gravurschicht über 100.000 Laufmeter (Nachweis in einzelnen Versuchen bis zu 200.000 Lfm) eine sehr gute Verschleißbeständigkeit sowie gute mechanische Stabilität mitbringt. Es mussten keine Delaminationen oder beanspruchungsbedingte Materialermüdungen festgestellt werden, die den Einsatz des Polymers im Tiefdruck grundsätzlich in Frage stellen. Selbst bei der Verdruckung hochabrasiver Farben zeigte die Polymerschicht eine sehr gute Funktionsbeständigkeit, wobei hierfür auch die Erarbeitung einer geeigneten Rakelkonfiguration einen entscheidenden Beitrag geleistet hat. Als favorisiertes Rakel konnte das MDC Longlife Rakel identifiziert werden. In dieser Kombination erwies sich die Polymerbeschichtung hinsichtlich Verdruckbarkeit, Verschleißfestigkeit und Druckqualität ebenbürtig zu konventionellen Tiefdruckzylindern und stellt somit eine ernsthafte, umweltverträglichere Alternative zur Chrom-Galvanik dar.

Für die Lasergravur des Polymers ist der Einsatz von Kurzpulslasern mit Pulsen im Pico-sekundenbereich erforderlich. Eine entsprechend für den Produktionsdruck geeignete Druckformstrukturierung erfolgte im Projekt ausschließlich mithilfe eines Versuchslasers der Fa. Schepers, dessen Stabilität und dessen Reproduzierbarkeit hierbei nicht untersucht werden konnten. Die Gründe für die für die Erzeugung niederfrequenter Streifigkeiten im Druckbild müssen daher im Rahmen der marktvorbereitenden Nachentwicklungen untersucht werden. Die Lösung dieser Problemstellung unter direkter Einbeziehung der entsprechenden Laserkompetenzen erscheint jedoch angesichts der bereits identifizierten Ansatzpunkte sehr realistisch.

Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse ergibt sich in der Gegenüberstellung mit den verfolgten Zielen eine positive Projektbewertung:

- ⇒ Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass die neuen polymeren Tiefdruckformen sowohl hinsichtlich ihrer Verschleiß- als auch Druckeigenschaften eine gleichwertige Alternative gegenüber ihren galvanischen Pendanten bieten. Damit eröffnen sie eine nun greifbare Perspektive für die Ablösung der umweltkritischen Prozesse für die Herstellung dieser Druckwerkzeuge, verbunden mit einer deutlichen Reduzierung der dafür erforderlichen Energieaufwände und Fertigungskosten (vgl. Kapitel II).
- ⇒ Es wurde im Projekt die gesamte Prozessfolge zur Herstellung der neuen Tiefdruckformen beleuchtet und im Ergebnis für alle Stufen praktikable sowie anforderungs- bzw. qualitätsgerechte Lösungen erarbeitet werden, in deren Ergebnis druckfähige Tiefdruckzylinder realisiert werden konnten.

⇒ Die mechanische und drucktechnische Beständigkeit der neuen Gravurschicht konnten über die geforderten 100.000 Lfm bestätigt werden, so dass mit den entsprechenden Druckformen heute typische Druckaufträge flexibel bedient werden können und dem Drucker eine sehr flexible Druckformtechnologie zur Verfügung gestellt wird.

Vor diesem Hintergrund konnten auch die diesen Zielen untergeordneten Projektaufgaben erfolgreich gelöst werden:

Entwicklung Gravur-
schichtpolymer

- Kratzbeständigkeit der Polymerschicht deutlich gesteigert
- Schichtrezeptur überarbeitet, so dass nunmehr über abgestimmte Konzentrationsverhältnisse von UV- und IR-Absorbern eine exakt kontrollierte Schichthärtung sowie Lasereinkopplung möglich ist. Dadurch konnten die Voraussetzungen für eine deutlich verbesserte Kratzbeständigkeit als ursprünglich bestimmendes Schichtdefizit und eine hochauflösende Lasergravur geschaffen werden.

Entwicklung Beschich-
tungsprozess

- Es konnten die technischen Voraussetzungen für die Erzeugung geschlossener und homogener Polymerschichten realisiert werden, so dass nunmehr anforderungsgerechte Zylinderbeschichtungen in produktionsrelevanten Druckformdimensionen möglich sind.

Entwicklung Lasergravur

- Es konnten die Laserparameter für die Erzeugung von Gravurrastern in dem neuen Polymer erarbeitet werden, welche sich durch einen stabilen Farbübertrag und definierte Farbtonverläufe auszeichnen.
- Die Polymergravur erfordert den Einsatz eines ps-Lasers, dessen Eignung bestätigt werden konnte, für den die optimalen Gravurparameter jedoch noch in den Nachentwicklungen einzugrenzen sind.
- Für die weiterführenden Untersuchungen gilt es nun, alle Prozessschritte – Beschichtung, Schleifen, Bebildern,

Polieren, Drucken – räumlich und zeitlich enger als bisher möglich zusammenzubringen, um sie optimal aufeinander abzustimmen.

Abstimmung der Druckeigenschaften

- Das Zusammenwirken zwischen Polymer/ Druckraster – Rakel – Verdruck- und Bedruckstoff wurde für die polymere Gravurschicht intensiv untersucht und daraus Vorgaben abgeleitet, welche selbst mit sehr anspruchsvollen Druckfarben sehr gute Druckergebnisse ermöglichen.
- Weiterführend soll auch ein produktionsnaher Vierfarbdruck unter Einhaltung der als praktikabel ermittelten Druckparameter getestet werden, um die Druckformen und -parameter auch hinsichtlich Stabilität und Wiederholbarkeit der gedruckten Tonwerte bewerten zu können.

Mit diesen Ergebnissen liegen zum Abschluss des Vorhabens beste Voraussetzungen vor, um die polymeren Tiefdruckformen nun über wenige Optimierungsschritte in die Marktreife zu überführen. Dies erscheint aktuell im Verlauf der nächsten 12 – 18 Monate realistisch. Dafür spricht, dass heute ein technischer Entwicklungsstand erreicht ist, von dem der verbleibende Schritt bis zu einer marktreifen Tiefdruckform auf jeden Fall als überschau- und machbar eingeschätzt werden kann.

Als zeitliche Hürde stellt sich aktuell die 2023 seitens der EU bestätigte Fristverlängerung für industrielle Chrom(VI)-Prozesse dar, in deren Folge die Bereitschaft der Tiefdruckbranche, einen völlig neuen Fertigungsprozess zu implementieren, vorübergehend ausgebremst werden kann. Da das CrVI-Verbot mit einem mittelfristigen Horizont aber definitiv umgesetzt werden wird und die Polymerdruckformen zudem den Tiefdruckern deutliche Flexibilitäts- und Kostenvorteile offerieren werden, geht man bei Kaspar Walther weiterhin von einer erfolgreichen Markterschließung aus.