

TEXTE

99/2021

Abschlussbericht

Weiterentwicklung und Einsatz mineralölfreier Zeitungsdruckfarben im Zeitungsdruck

von:

Dr. Philipp Stolper

Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologie e.V., Aschheim

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 99/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 31 319 0
FB000463

Abschlussbericht

Weiterentwicklung und Einsatz mineralölfreier Zeitungsdruckfarben im Zeitungsdruck

von

Dr. Philipp Stolper
Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologie e.V., Aschheim

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologie e.V.
Einsteinring 1a
85609 Aschheim b. München

Abschlussdatum:

November 2020

Redaktion:

Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie,
Feuerungsanlagen
Almut Reichart

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

In den letzten Jahren wird zunehmend über die Problematik von Mineralölbestandteilen in Lebensmitteln diskutiert. Dabei spielt die Belastung von graphischen Altpapieren mit gesundheitlich bedenklichen Mineralölbestandteilen eine Rolle, da sie den Einsatz dieses Altpapiers im Lebensmittelkontaktbereich einschränkt. Im Rahmen des Projektes sollten mineralölfreie Zeitungsdruckfarben entwickelt und während eines Langzeitversuchs (drei Monate mit einem Farbsatz) auf ihre Praxistauglichkeit hin getestet werden. Vor diesen Langzeitversuchen mussten die Druckfarben in einem mehrstufigen Testprozedere für den längerfristigen Einsatz an einer Zeitungsdruckmaschine qualifiziert werden. Dazu gehörten Quelltests mit Elastomeren, die in Farb- und Feuchtwerken zum Einsatz kommen sowie kurze Druckversuche an einer Bogenoffset-Druckmaschine (Testen der generellen Verdruckbarkeit) und einer Zeitungsdruckmaschine (Testen des drucktechnischen Verhaltens und der Weiterverarbeitbarkeit der Druckprodukte). Nach diesen kurzen Versuchen erfolgten produktionsbegleitende Langzeitversuche, die zeigen sollten, dass die neuartigen Druckfarben zuverlässig und unter Einhaltung der üblichen Qualitätskriterien über mindestens drei Monate in einer Zeitungsdruckmaschine eingesetzt werden können. Neben der Verdruckbarkeit sollte auch das Deinkingverhalten von Druckprodukten mit den neuartigen mineralölfreien Druckfarben untersucht werden, um sicherzustellen, dass der Altpapierkreislauf nicht negativ durch Druckprodukte mit diesen Druckfarben beeinflusst wird. Um die Mineralölfreiheit zu gewährleisten, wurden die Druckprodukte und Druckfarben auf ihren Mineralölgehalt hin gemäß der Vorschrift des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) zur Bestimmung von aliphatischen (MOSH) und aromatischen (MOAH) Kohlenwasserstoffen auf Mineralölbasis getestet.

Abstract

Over the last years the presence of mineral oil components in foodstuff is increasingly under discussion. One focus of this topic is the load of graphic recovered paper with mineral oil components that bear health risks. Due to these risks the use of recovered paper, especially as food contact material, is severely limited. As part of this project new mineral oil free Coldset inks should be developed and tested towards their every-day use in compliance with the quality standards in a Coldset press for three month in a row. Each ink had to be qualified by several experiments to ensure that these long-term print trials didn't harm the press. These pre-tests included swelling of the elastomer material used in inking units and dampening units as well as printing tests on a Sheetfed press and on a Coldset press. On the Sheetfed press the general printability of the inks was investigated. The short-term tests on a Coldset press were needed to ensure that the post-press process was no problem. After these short term tests production-accompanying print trials were performed for a three months period. Thereby the reliable use of the new inks should be ensured. Besides the general printability the deinkability as well as the mineral oil content had to be determined during this project. The deinkability is necessary to ensure that products printed with these new Coldset inks don't disturb the waste-paper circuit. The determination of the mineral oil content was performed according to the method of the Federal Institute for Risk Assessment (Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) for the determination of aliphatic (MOSH) and aromatic (MOAH) hydrocarbons from mineral oil.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis	15
Glossar	17
1 Hintergrund des Projekts	48
2 Ziel des Projektes	50
3 Durchführung	50
4 Ergebnisse	54
4.1 Verträglichkeitprüfung der neu entwickelten Druckfarben mit Elastomermaterialien	54
4.1.1 Prüfverfahren zur Bestimmung Quellverhaltens nach DIN 53 521	54
4.1.2 Härteprüfung nach Shore A entsprechend DIN 53505	55
4.1.3 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 1	56
4.1.4 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 2	58
4.1.5 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 3	59
4.1.6 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölhaltigen Druckfarben aller Hersteller	60
4.1.7 Zusammenfassung der Elastomerquelltests mit dem etablierten Elastomerpannel	62
4.1.8 Aktivitäten der Druckmaschinen- und Elastomerhersteller zur Überarbeitung der Prüfkriterien zur Zulassung von Druckfarben	63
4.1.8.1 Ergebnisse der Ringversuche mit verschiedenen Referenzölen	64
4.1.8.2 Ergebnisse der Ringversuche mit mineralölfreien Druckfarben	66
4.1.8.3 Zusammenfassung der Weiterentwicklung des Elastomerquelltests	66
4.1.9 Elastomerprüfung mit den in der Frankfurter Societäts-Druckerei eingebauten Elastomermaterialien	67
4.1.10 Zusammenfassung der Elastomerquelltests	70
4.2 Druckversuche von mineralölfreien Druckfarben an einer Bogenoffsetdruckmaschine	71
4.2.1 Drucktechnische Charakterisierung	71
4.2.2 Zusammenfassung der Druckversuche an einer Bogenoffset-Druckmaschine	72
4.3 Kurzzeitdruckversuche mit mineralölfreien Druckfarben an der Zeitungldruckmaschine	73
4.3.1 Farb-/Wassergleichgewicht der mineralölfreien Druckfarben	74
4.3.1.1 Ergebnisse aus den Kurzzeitdruckversuchen	74
4.3.1.2 Tonwertzunahmen mit mineralölfreier Druckfarben im produktionsbegleitenden Druckversuch	75
4.3.2 Farbverbrauch der mineralölfreien Druckfarben	77

4.3.2.1	Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless in Anlehnung an die ISO 2846-2	78
4.3.2.2	Farbverbrauchsbestimmung durch die Cut&Weight-Methode	81
4.3.2.3	Korrelation der unterschiedlichen Verfahren zur Farbverbrauchsmessungen von Zeitungsdruckfarben	84
4.3.2.4	Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben im Vergleich mit mineralölhaltigen Druckfarben	85
4.3.2.5	Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben im produktionsbegleitenden Druckversuch	86
4.3.2.6	Zusammenfassende Betrachtung zum Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben	88
4.3.3	Bewertung des Verschmutzungspotenzials	88
4.3.3.1	Abschmieren der Druckfarbe	88
4.3.3.2	Spritz- und Nebelverhaltens mineralölfreier Druckfarben	89
4.3.4	Test zum Wegschlagverhalten in Verbindung mit den Ergebnissen zum Ablegen und dem Verhalten in den Klammern des Falzapparats und in der Weiterverarbeitung	91
4.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kurzzeitdruckversuchen.....	92
4.4	Produktionsbegleitende Langzeitdruckversuche mit mineralölfreien Druckfarben	93
4.4.1	Erfassung von Veränderungen von den Elastomerwerkstoffen in der Druckmaschine der FSD	93
4.4.2	Verlauf der Druckversuche mit mineralölfreien Druckfarben	100
4.4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Langzeitdruckversuchen	103
4.5	Deinkingtests von Musterdrucken mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben	103
4.5.1	Bestimmung des Deinkability Scores	103
4.5.2	Ergebnisse der Deinkinguntersuchungen	106
4.5.2.1	Deinkbarkeit der mineralölfrei produzierten Muster	107
4.5.2.2	Vergleich von mineralölfrei und konventionell gefertigten Mustern	110
4.5.2.3	Zusammenfassung der Deinkinguntersuchungen	113
4.6	Einhaltung der Spezifikationen zur Mineralölfreiheit der Druckfarben	114
4.6.1	Methode zur Bestimmung der Gehalte an MOSH und MOAH	114
4.6.2	Ergebnisse der Mineralölgehaltsuntersuchungen	115
5	Zusammenfassung und Diskussion	122

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipskizze zur Volumenbestimmung an der Analysenwaage "Sartorius RC210P" mit Wägevorrichtung zur Dichtebestimmung.	55
Abbildung 2:	Massenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Farbhersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.....	56
Abbildung 3:	Volumenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	57
Abbildung 4:	Härteänderung (Shorhärte A) von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	57
Abbildung 5:	Massenänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.	58
Abbildung 6:	Volumenänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.	58
Abbildung 7:	Härteänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.	59
Abbildung 8:	Massenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomer-herstellern geforderten Grenzwerte.	59
Abbildung 9:	Volumenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen	

	Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	60
Abbildung 10:	Härteänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	60
Abbildung 11:	Massenänderung konventioneller mineralölhaltiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	61
Abbildung 12:	Volumenänderung konventioneller mineralölhaltiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	61
Abbildung 13:	Härteänderung konventioneller mineralölhaltiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.	62
Abbildung 14:	Volumenänderung von Feuchtwalzenwerkstoff 3 (links) und Feuchtwalzenwerkstoff 1 (rechts) nach Kontakt mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben verschiedener Farbhersteller.	62
Abbildung 15:	Vergleich der Volumenänderung von Feuchtwalze 3 nach Kontakt mit mineralölfreien (links) und mineralölhaltigen Zeitungsdruckfarben (rechts).	63
Abbildung 16:	Volumen- und Massendifferenz verschiedener Öle mit alten und neuen Prüfkörpern zum Elastomertest.	64
Abbildung 17:	Vergleichstest zu Volumen- und Massendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomertest nach Kontakt mit einem in der ASTM D471 benutzten Mineralöl (IRM 903).	65
Abbildung 18:	Vergleichstest zu Volumen- und Massendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomertest nach Kontakt mit 2 unterschiedlichen vegetabilen Ölen.	65
Abbildung 19:	Vergleichsuntersuchungen zu Volumendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomertest nach Kontakt mit mineralölfreien Druckfarben (Messungen mit N2005-1 wurden von Labor 3 nicht durchgeführt).	66
Abbildung 20:	Vergleichende Quelluntersuchungen verschiedener mineralölhaltiger und mineralölfreier (MÖF) Zeitungsdruckfarben mit Realmustern (A, B, C) und den Referenzwerkstoffen N2004-2, N2005-1 und N2006-1.	67

Abbildung 21:	Volumenänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien durch mineralöfrei Druckfarben der Hersteller 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten). Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wider.....	68
Abbildung 22:	Masseänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien. Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wider.....	69
Abbildung 23:	Härteänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien. Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wider; obere Reihe: Hersteller 1, mittlere Reihe: Hersteller 2, untere Reihe: Hersteller 3.....	70
Abbildung 24:	Fogra Feuchtungskontrollform (links) und Fogra Prozesskontrollform (rechts).....	71
Abbildung 25:	Vergleich der Tonwertzunahmen von konventioneller mineralölhaltiger und neuartiger mineralölfreier Druckfarbe des Herstellers 1.....	72
Abbildung 26:	Vergleich der Tonwertzunahmen von konventioneller mineralölhaltiger und neuartiger mineralölfreier Druckfarbe des Herstellers 3.....	72
Abbildung 27:	Testformen der Frankfurter Societäts-Druckerei zur Qualitätskontrolle (links) und zur Ermittlung der Ergiebigkeit von Druckfarben (mitte und rechts).....	73
Abbildung 28:	Vergleich der Tonwertzunahmen des selben Druckfarbensatzes aus den Versuchen an der Bogen- (links) und der Zeitungsdruckmaschine (rechts).....	74
Abbildung 29:	Tonwertzunahmen der beiden ersten Versionen der mineralölfreien Druckfarbserien an der Zeitungsdruckmaschine.....	75
Abbildung 30:	Tonwertzunahmen der Druckfarbenserien von Hersteller 1 (links) und Hersteller 3 (rechts), mit denen in die Langzeitversuche gestartet wurde.....	75
Abbildung 31:	Tonwertzunahmen der letzten Formulierung von Hersteller 1.....	76
Abbildung 32:	Mittelwerte der Tonwertzunahmen der im produktionsbegleitenden Langzeittest eingesetzten Druckfarbenserien von Hersteller 3. Im Cyan und um Gelb wurden im Versuchszeitraum Anpassungen vorgenommen (Version 2).....	77
Abbildung 33:	Beispiele für zwei ISO-konforme Druckfarben. Das in den Grafiken enthaltene Rechteck kennzeichnet die Grenzen der Konformität mit der Norm ISO 2846-2. Die Messwerte zeigen eine Andruckserie, bei der es ausreicht, wenn ein Messwert innerhalb des Rechtecks ist....	78
Abbildung 34:	Vergleich der Farbergiebigkeit von mineralölfreien Druckfarben des Farbherstellers 1 nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless. Die Punkte zeigen die durchgeföhrten Messungen, die	

	Kurven (Cyan, Magenta, Orange, Schwarz) sind interpolierte Funktionen aus diesen Einzelwerten.....	79
Abbildung 35:	Vergleich der Farbergiebigkeiten von Druckfarben des Farbherstellers 2 nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless als Auftragung der Farbdichte über der verbrauchten Farbmenge. Die Quadratzeichen zeigen die durchgeföhrten Messungen, die eingezeichneten Kurven sind interpolierte Funktionen aus diesen Einzelwerten.....	80
Abbildung 36:	Messstreifen für den Farbverbrauch nach dem Verfahren der FSD (eigene Darstellung, Fogra).	81
Abbildung 37:	Vergleich der Einzelmessungen der FSD (dunkle Säulen) und der Fogra (helle Säulen) zur Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit allen getesteten mineralölfreien Druckfarben nach dem Cut&Weight- Verfahren der FSD. Die Produktion der Muster erfolgte bei einer Druckgeschwindigkeit von 10.000 U/h. Jeweils eine dunkle und eine helle Säule des gleichen Farbtöns stehen für die gleiche Druckfarbe.	83
Abbildung 38:	Vergleich der Farbergiebigkeit verschiedener mineralölfreier Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei verschiedenen Druckgeschwindigkeiten (links 10.000 U/h, rechts 30.000 U/h).....	84
Abbildung 39:	Vergleich der Farbergiebigkeit verschiedener mineralölfreier Druckfarben nach dem Cut&Weight-Verfahren (C&W) der FSD (dunkle Säulen von Fogra gemessen, helle Säulen von FSD gemessen) und dem Labor-Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless (gestreifte Säulen, von der Fogra gemessen); die Säulenfarben entsprechen den jeweiligen Farbtönen.....	85
Abbildung 40:	Vergleich der berechneten Farbergiebigkeit zwischen mineralölhältigen Standardfarben und mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der Druckfarbenhersteller (ISO 2846-2) bei einer Dichte von 1,1 (Schwarz) bzw. 0,9 (CMY).	86
Abbildung 41:	Vergleich der Farbergiebigkeit zwischen mineralölhältigen Standardfarben und mineralölfreien Druckfarben nach dem Cut&Weight-Verfahren der FSD bei angedruckten Dichten von 1,1 (Schwarz) bzw. 0,9 (CMY).	86
Abbildung 42:	Ergiebigkeit der Druckfarben von Hersteller 3 im zeitlichen Verlauf der Druckversuche (links) sowie der Vergleich von Richtwert, Mittelwert vor Nachbesserung und Ergiebigkeit nach Nachbesserung von Cyan und Gelb (rechts).	87
Abbildung 43:	Ergiebigkeit der aktuell verwendeten Druckfarben von Hersteller 1.	87
Abbildung 44:	Falztrichter mit geringer (links) und starker Verschmutzung (rechts).	89
Abbildung 45:	Beispielhafte Anbringung der weißen Papierbögen zur Untersuchung der Spritz- und Nebelneigung in der Zeitungsdruckmaschine (eigene Darstellung, Fogra).	90
Abbildung 46:	Papierbogen zur Bewertung des Spritz- und Nebelverhaltens mineralölfreier Druckfarben nach Abschluss eines Druckversuchs. ..	90

Abbildung 47:	Fließkurven mineralölfreier Druckfarben (links: Hersteller 1, rechts Hersteller 3), die Farben der Kurven entsprechen den Druckfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz.....	91
Abbildung 48:	Abdrücke von Greifern aus dem Falzapparat (eigene Darstellung, Fogra).....	92
Abbildung 49:	Kontaktstreifenmessgerät NIP CON, Display mit Messwert- und LED-Anzeige); eigene Darstellung, SID.....	94
Abbildung 50:	Konstruktionszeichnung mit der Nummerierung der Walzenpaare von Druckwerk 2 (links) und Druckwerk 4 (rechts); Darstellung von Koenig & Bauer AG.	95
Abbildung 51:	Konstruktionszeichnung mit der Nummerierung der Walzenpaare von Druckwerk 1 (links) Druckwerk 3 (rechts); Darstellung von Koenig & Bauer AG.....	95
Abbildung 52:	Feuchtwerk aller Druckwerke; Darstellung von Koenig & Bauer AG..	96
Abbildung 53:	Ergebnisse der Messungen vor Beginn (Jul18) und nach ca. 4 Wochen (Aug18) auf der Antriebsseite (AS) und der Bedienseite (BS);); eigene Darstellung, SID.	98
Abbildung 54:	Differenz der Ergebnisse aus den Messungen vor Beginn (Jul18) und nach ca. vier Wochen (Aug18) der Druckversuche mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben von Hersteller 1.....	99
Abbildung 55:	Differenz der Ergebnisse aus den Messungen vor Beginn (Mai19) und nach ca. acht Wochen (August19) der Druckversuche mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben von Hersteller 3.	100
Abbildung 56:	Schematische Darstellung von Farbwerken mit obenliegenden Farbmessern (links) und untenliegenden Farbmessern (rechts) der Firma Koenig & Bauer Digital & Webfed AG & Co. KG.	102
Abbildung 57:	Schematische Darstellung der Labormethode INGEDE 11 zum Deinking von Druckproben.	104
Abbildung 58:	Beispielhafte Darstellung des Deinkability Scores der vier unterscheidbaren Bewertungsstufen von Deinkingergebnissen.	106
Abbildung 59:	Deinkingergebnisse der getesteten Druckprodukte aus mineralölfreien Druckfarben in Form des Deinkability Scores Die Proben MÖF 11 bis MÖF 13 wurden mit den aktuellsten Druckfarben hergestellt (eigene Darstellung, Fogra).	108
Abbildung 60:	Ergebnisse aus den Deinkinguntersuchungen mit Druckprodukten aus mineralölfreien Druckfarben, aufgeschlüsselt in die einzelnen Parameter. In den Grafiken sind jeweils die Mindestanforderung und der Zielwert bzw. der Zielkorridor eingezeichnet.....	109
Abbildung 61:	Vergleich der Deinkingergebnisse vergleichbarer Druckprodukte aus mineralölfreien (MÖF) und konventionellen (Kony) Druckfarben in Form des Deinkability Scores.....	110
Abbildung 62:	Vergleichende Ergebnisse aus den Deinkinguntersuchungen mit Druckprodukten aus mineralölfreien (MÖF) und konventionellen	

(Konv) Druckfarben, aufgeschlüsselt in die einzelnen Parameter zur Bewertung der Deinkbarkeit.	112
Abbildung 63: Schematisches Vorgehen zur Bestimmung von aliphatischen (MOSH) und aromatischen (MOAH) Kohlenwasserstoffen aus Mineralölen in Anlehnung an die BfR-Methoden ^{xxiv} . Es sind: SPE: Festphasenextraktion, FID: Flammenionisationsdetektor.	115
Abbildung 64: Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der Testdrucke mit mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 (links) und 3 (rechts). Beschriftet sind die Peaks der zugegebenen internen Standards.	117
Abbildung 65: Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der nicht angedruckten mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 (links) und Hersteller 3 (rechts). Beschriftet sind die Peaks der zugegebenen internen Standards.	119
Abbildung 66: Quellen der Analyten in den Chromatogrammen der Buntfarben am Beispiel der Druckfarben von Hersteller 3.....	119
Abbildung 67: Zeitlicher Verlauf der MOSH- (links) und MOAH-Gehalte (rechts) in der Schwarzfarbe (MOSH C16-C35 (K)) sowie in den Buntfarben, dargestellt als Mittelwert (MOSH C16-C35 (CMY)), da der Verlauf jeder einzelnen Buntfarbe keine signifikanten Unterschiede aufweist.	121

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eintrag von Mineralöl in den Altpapierkreislauf ; * 10 % Restmenge nach Hitze-Trocknung, ** Marktanteil mineralölfreier Druckfarben 90 %.	49
Tabelle 2:	Grenzwerte für die Massen- und Volumenänderung von Elastomerwerkstoffen nach 7 Tagen Einwirkung von Druckfarbe bei 50°C.....	55
Tabelle 3:	Grenzwerte für die Härteänderung von Elastomerwerkstoffen nach 7 Tagen Einwirkung von Druckfarben bei 50°C.	56
Tabelle 4:	Vergleich des durchschnittlichen Farbverbrauchs von Druckfarben der Farbhersteller 1 und 3 bei den im Zeitungldruck üblichen Farbdichten nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless..	80
Tabelle 5:	Vergleich der durchschnittlichen Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit zwei mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei einer Druckgeschwindigkeit von 10.000 U/h aus den Messergebnissen der FSD.	81
Tabelle 6:	Vergleich der durchschnittlichen Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit zwei mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei einer Druckgeschwindigkeit von 10 000 U/h aus den Messergebnissen der Fogra und der FSD.....	82
Tabelle 7:	Überwachungspunkte in der Druckmaschine.....	97
Tabelle 8:	Druckintervalle der mineralölfreien Buntfarben (CMY) im Rahmen der Langzeitdruckversuche von Hersteller 1 und Hersteller 3.....	101
Tabelle 9:	Skala zur Bewertung der Deinkbarkeit.	106
Tabelle 10:	Zur Bewertung der Deinkbarkeit herangezogene Druckprodukte; die Abkürzungen sind folgendermaßen codiert: Konv: mineralölhältige Druckfarbe, MÖF: mineralölfreie Druckfarbe, F: Farbhersteller, P: Papier; MÖF1-F1P1 ist also mineralöfrei gedrucktes Muster mit Druckfarbe von Hersteller 1 auf Papier 1.	107
Tabelle 11:	Vergleich der Faserausbeuten nach dem Deinking gemäß der INGEDE Methode 11p von mineralölfreien und konventionellen Druckprodukten. Mit * gekennzeichnete Muster wurden als nicht für das Deinking geeignet eingestuft.	113
Tabelle 12:	MOSH und MOAH Gehalte [ppm] aus den Versuchen in der Bogenoffsetmaschine mit mineralölfreien (MÖF) und konventionellen Druckfarben (mineralölhältig) des Herstellers 1.	116
Tabelle 13:	MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungldruckmaschine der FSD einer konventionellen mineralölhältigen Druckfarbe (konv.) und den beiden aktuellen mineralölfreien Druckfarben (MÖF).	117
Tabelle 14:	MOSH und MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölhältigen (konv.) und mineralölfreien (MÖF) Druckfarben des Herstellers 1.....	118

Tabelle 15:	MOSH und MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölhaltigen (konv.) und mineralölfreien (MÖF) Druckfarben des Herstellers 3.....	118
Tabelle 16:	Korrigierte MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölfreien (MÖF) Druckfarben der Hersteller 3.....	120
Tabelle 17:	MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungsdruckmaschine der FSD mit einem konventionellen mineralölhaltigen Druckfarbsatz (konv. Farbe) und dem aktuellen mineralölfreien Druckfarbensatz (MÖF), beide von Hersteller 1.....	120
Tabelle 18:	MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungsdruckmaschine der FSD einem konventionellen mineralölhaltigen Druckfarbsatz (konv. Farbe) und dem aktuellen mineralölfreien Druckfarbensatz (MÖF), beide von Hersteller 3.....	120

Abkürzungsverzeichnis

AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
ASTM	American Society for Testing and Materials
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
C10, C16, ...	Kohlenstoffkette mit 10/16 Kohlenstoffatomen
c.	Engl.: circa
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow (=Gelb), Karbon (=Schwarz)
DIN	Deutsche Industriennorm
DIP	Deinkter Pulp = rezykliertes Altpapier
Fa	Firma
Fogra	Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V.
FSD	Frankfurter Societäts-Druckerei GmbH
Gew.%	Gewichtsprozent
GC-FID	Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor
iph	Engl.: Impression per hour = Umrollungen pro Stunde
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Kilogramm
MÖF	Mineralölfreie Druckfarbe
MOSH	Mineral Oil Saturated Hydrocarbon = aliphatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl
MOAH	Mineral Oil Aromatic Hydrocarbon = aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl
ppm	Parts per million (10.000 ppm = 1%)
PTS	Papiertechnische Stiftung
SID	Sächsisches Institut für die Druckindustrie GmbH
sog.	sogenannt
t	Tonne
u.a.	unter anderem
U/h	Umrollungen pro Stunde (Geschwindigkeitsangabe der Zeitungsdruckmaschine)

UBA	Umweltbundesamt
UP	Undeinkter Pulp
z.T.	zum Teil

Glossar

- Coldset:** Der Coldset ist ein klassisches Rollenoffset-Druckverfahren zur Zeitungsproduktion.
- Falztrichter:** Der Falztrichter stellt in der Zeitungsdruckmaschine den ersten Längsfalz her; dieser kann aber auch als Wendeeinrichtung Anwendung finden ⁱ.
- Farbabstand ΔE :** Der Farbabstand ΔE ist der Abstand der Koordinaten von zwei Farben im CIE-Lab System ⁱⁱ (genormt durch EN ISO 11664-4 „Colorimetry -- Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space“). Zu den wichtigsten Eigenschaften des L*a*b*-Farbmodells zählen die Geräteunabhängigkeit und die Wahrnehmungsbezogenheit.
- (Farb-)Dichte:** Mit Farbdichte bezeichnet man die optische Dichte von farbig gedruckten Flächen. Dieser Wert lässt sich mit Messgeräten (Densitometer) bestimmen. Dabei kann man aber immer nur Farbdichten eines einzelnen Farbtone aufnehmen ⁱⁱⁱ.
- Freilaufen:** Benetzen der nicht-druckenden Schichten einer Offset-Druckplatte mit Feuchtmittel, so dass nur das Druckbild abgedruckt wird ^{iv}.
- Rheologie:** Die Rheologie ist die Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Materie beschäftigt ^v.
- Schergeschwindigkeit:** Die Schergeschwindigkeit gibt das in der Flüssigkeit vorherrschende Geschwindigkeitsgefälle an und wird zur Berechnung der Viskosität herangezogen. ^{vi}
- Thixotropie:** Thixotropie bezeichnet die Eigenschaft eines Nicht-Newtonischen Fluids (wie es die Druckfarbe ist) bei einer konstanten Scherung über die Zeit die Viskosität abzubauen ^{vii}.
- Tonwertzunahme:** Die Tonwertzunahme, angegeben in Prozent, ergibt sich aus der Differenz des bekannten Rastertonwertes in der Druckvorlage und dem gemessenen Rastertonwert im Druck.
- Walzenstreifen:** Als Walzenstreifen bezeichnet man die Kontaktfläche von zwei aufeinander laufenden Walzen.
- Wegschlagverhalten:** Dieser Begriff beschreibt das Eindringen von flüssigen Bestandteilen der Druckfarbe in die Poren des Papiers ^{viii}.
- Wickel:** Diese Rollen dienen als Zwischenlager für fertig produzierte Teile einer Zeitung. Mit Hilfe von Gummibändern werden diese Teile aufgewickelt und fixiert, um bei Bedarf wieder abgewickelt und weiterverarbeitet zu werden.

Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel

In den letzten Jahren wird zunehmend über die Problematik von Mineralölbestandteilen in Lebensmitteln diskutiert. Nach Erkenntnissen des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ist der Mineralölgehalt in manchen Lebensmitteln gesundheitlich bedenklich. Dabei spielt die Belastung von graphischen Altpapieren mit gesundheitlich bedenklichen Mineralölbestandteilen eine Rolle, da sie den Einsatz dieses Altpapiers im Lebensmittelkontaktbereich einschränkt ^{ix}. Als Eintragsquelle konnten unter anderem Zeitungsdruckfarben identifiziert werden, die über den Recyclingprozess in altpapierbasierte Lebensmittelverpackungen übertragen werden.

Um dieser Problematik zu begegnen werden bereits zwei Entwürfe für die Änderungen der Bedarfsgegenständeverordnung zum Schutz des Lebensmittels diskutiert. Zum einen handelt es sich um die sog. Druckfarbenverordnung, die unter anderem eine Positivliste von zugelassenen Bestandteilen zur Formulierung der Druckfarben für Lebensmittelverpackungen beinhaltet ^x. Zum anderen handelt es sich um die sog. Mineralölverordnung, die den Übergang von Mineralölkomponenten auf Lebensmittel minimieren soll. Dazu sind auch geeignete Barriereschichten vorgesehen. ^{xi} Die Mineralölverordnung wurde im August 2020 durch das BMEL bereits an die EU-Kommission zur Notifizierung eingereicht. ^{xii}

Betrachtet man den Altpapierkreislauf, so können bezüglich des Altpapiers folgende Feststellungen getroffen werden ^{ix}:

- ▶ Graphische Altpapiere werden zunehmend auch im Verpackungspapierbereich verwertet.
- ▶ Bisher fehlen technische bzw. ökonomisch darstellbare Möglichkeiten diese mineralölbasierten Stoffe aus dem Altpapier vollständig zu entfernen.
- ▶ Es existiert keine Möglichkeit, belastete Altpapiere zu 100 % getrennt zu erfassen.

An dieser Stelle verfolgt das Umweltbundesamt (UBA) den Ansatz an der Quelle. Über Fachgespräche mit allen beteiligten Akteuren der Wertschöpfungskette und erste Kurzzeitdruckversuche in der Fogra mündeten diese Bemühungen in einem neuen Umweltzeichen für Druckerzeugnisse (UZ 195 ^{xiii}), dem Blauen Engel. Hier wird der Einsatz mineralöloptimierter Druckfarben gefordert. Das Ziel liegt darin, Druckfarben zu etablieren, die nur solche Mineralölbestandteile enthalten, welche die aus ökologischen und ökonomischen Gründen sinnvolle Verwertung des Altpapiers auch im direkten und indirekten Kontakt mit Lebensmitteln nicht behindern ^{ix}.

Über die letzten sieben Jahre konnte ein Rückgang der Gesamtmenge von eingebrachten Mineralöl in den europäischen Altpapierkreislauf von 77.200 t pro Jahr im Jahr 2012 auf 39.000 t im Jahr 2019 verzeichnet werden ^{xiv}.

Nach aktuellen Zahlen des Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. für das Jahr 2018 erfolgte die Produktion von 860.000 t Druckfarben in ca. 10.000 verschiedenen Formulierungen.

Zum Zeitpunkt des Projektbeginns galten mineralölfreie Druckfarben aufgrund der Ergebnisse aus den vorangegangenen Kurzzeitdruckversuchen der Fogra als prinzipiell zum Drucken von Zeitungen geeignet. Jedoch gab es einige technische Einschränkungen ^{xv}:

- ▶ Branchenüblicher Qualitätsstandard (Prozessstandards Zeitungsdruck, basierend auf ISO 12647-3) mit den getesteten Druckfarben nicht erreichbar
- ▶ Zu geringe Wegschlaggeschwindigkeit der Druckfarben ohne Mineralöle
- ▶ Schwierigkeiten beim Wechsel von Druckfarbe und Feuchtmittel
- ▶ Schlechtere Deinkingergebnisse

Ausgehend von diesem Sachstand sollten im Rahmen eines Forschungsprojekts, aufbauend auf diesen Ergebnissen, folgende Ziele verfolgt werden:

- ▶ Erhöhung des Erfahrungsschatzes in der Herstellung und im Einsatz von mineralöloptimierten Zeitungsdruckfarben
- ▶ Entwicklung von zwei Farbsystemen, die für Langzeitdruckversuche auf einer Praxismaschine geeignet sind
- ▶ Überwinden der bisher noch bestehenden technischen Einschränkungen (Wegschlaggeschwindigkeit, Probleme beim Wechsel von Farb- und Feuchtmitteln, farbrichtige Wiedergabe von Annoncen, Deinkbarkeit)
- ▶ Nachweis der Deinkingbarkeit der mit den Druckfarben produzierten Druckprodukte
- ▶ Überprüfung der Mineralölfreiheit mit standardisierter Messmethode

Das UBA definierte in enger Anlehnung an das Umweltzeichen UZ 195 Kriterien für die im Rahmen des Projektes zu entwickelnden Druckfarben, die keine kritischen Mineralölbestandteile als konstitutionelle Inhaltsstoffe enthalten dürfen. Die detaillierten Anforderungen an die Druckfarben lauteten wie folgt:

1. Von den aliphatischen Kohlenwasserstoffen dürfen in den Druckfarben nur Stoffe der Kettenlänge C10 bis C20 eingesetzt werden, zusätzlich dürfen die folgenden hochmolekularen Verbindungen ohne Löseeigenschaften eingesetzt werden, wenn sie eine Kohlenstoffzahl von mehr als 35 aufweisen und der Anteil C20 bis C35 max. 5 % beträgt: mikrokristalline Wachse, Vaseline, Polyolefin-, Paraffin-, oder Fischer-Tropsch-Wachse.
2. In den Druckfarben sollen als konstitutionelle Bestandteile weniger als 0,1 Gew.% aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl eingesetzt werden. Darüber hinaus gilt für die durch die EU-Verordnung Nr. 1272/2013 geregelten PAK der dort festgelegte Grenzwert.
3. Der Einsatz von Rohstoffen aus Kokos- bzw. Palmkernöl ist nicht zulässig.

Begleitung der Druckfarbenentwicklung

Da es sich im Rahmen des Projektes um die Neuentwicklung von Druckfarben handelt war es notwendig diese Entwicklung intensiv durch Labormesstechnik zu begleiten, um später bei den Versuchen in einer Druckerei eventuelle Schäden in der Zeitungsdruckmaschine zu vermeiden. Die Entwicklung der neuartigen Zeitungsdruckfarben unterlag den am Projekt beteiligten Druckfarbenherstellern.

Es ist bekannt, dass Druckfarbe bei Elastomer-Werkstoffen sowohl Quellung als auch Schrumpfung hervorrufen kann. Diese Effekte sind zumeist irreversibel und verändern damit auf Dauer die Eigenschaften der Gummis vor allem in Bezug auf deren Härte und Dicke. Solche Veränderungen können im schlimmsten Fall dazu führen, dass Walzen nicht mehr funktional sind und ausgetauscht werden müssen, was einen wirtschaftlichen Schaden bedeutet und zu Druckausfällen führen kann. Da die Druckfarbe im Farb- und Feuchtwerk in Kontakt mit unterschiedlichen Elastomeren in Form von Gummibälgen auf den Farb- und Feuchtwalzen kommt, ist es notwendig sicherzustellen, dass keine signifikanten Veränderungen bei den Elastomerwerkstoffen auftreten. Dazu ist in der Branche seit langem ein Verfahren etabliert, dass in Anlehnung an die DIN 53521 (Prüfung von Kautschuk und Elastomeren: Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase) und nach DIN 53505 (Änderung der Shore-Härte A)] bzw. deren nachfolgenden Normen DIN ISO 1817^{xvi} und DIN ISO 7619^{xvii} den Einfluss der Druckfarbe auf Masse, Volumen und die Shore-Härte A der Elastomere prüft, indem ein Modell-Satz an verschiedenen Elastomerprüfkörpern (Scheiben von 36,6 mm Durchmesser und einer Mindestdicke von 6 mm) bei 50°C für eine Woche in Druckfarbe gelagert und durch Differenzbildung der Messwerte (vor und nach dem Einlegen) der Einfluss bestimmt wird.

Unter Verwendung dieses Modell-Satzes konnte sich keine der neuartigen mineralölfreien Druckfarben für die Druckversuche qualifizieren. Vor allem die Modell-Elastomere für Feuchtwalzen zeigten deutlich zu starkes Schrumpfungsverhalten. Um die Druckversuche in einer Zeitungsdruckmaschine wie geplant durchführen zu können, erfolgte daher der Test zur Verträglichkeit von Elastomermaterialien ausschließlich gegen die in der zu verwendenden Druckmaschine verbauten Werkstoffe. Die Verträglichkeit der mineralölfreien Druckfarben mit diesen Elastomeren erfüllten die Kriterien der jeweiligen Elastomerhersteller. Ein Langzeitdruckversuch war somit mit den Druckfarben von zwei Farbherstellern möglich. Auch die letzte Version der Druckfarben eines dritten Druckfarbenherstellers wäre prinzipiell für Langzeitdruckversuche geeignet gewesen. Dieser Druckfarbensatz fand aber im Rahmen des Projektes keine Anwendung.

Durch dieses Vorgehen konnte das Projekt weitergeführt werden, es ist jedoch keine allgemeingültige Aussage über die Verwendbarkeit der neuartigen Druckfarbenserien auf alle Zeitungsdruckmaschinen möglich. Die Quelluntersuchungen müssen für jede Druckmaschine und deren Elastomerkonfiguration separat durchgeführt werden.

Druckversuche an einer Bogenoffset-Druckmaschine

Da der Aufwand für Druckversuche an Zeitungsdruckmaschinen sowohl bezüglich des Personals als auch hinsichtlich der notwendigen Mengen an Papier und Druckfarbe sehr hoch ist, erfolgten erste Druckversuche an einer Heidelberger Bogenoffset-Druckmaschine in der Fogra. Diese Druckversuche sollten sicherstellen, dass die neuartigen Druckfarben grundsätzlich verdruckbar sind, um so das Risiko eines Abbruchs der Druckversuche an der Zeitungsdruckmaschine zu minimieren. Allerdings war es nicht möglich, mit einem für den Coldset optimierten Feuchtmittel in der Bogenoffset-Druckmaschine anzudrucken. Trotzdem konnten vergleichende Untersuchungen zwischen den konventionellen mineralöhlhaltigen Zeitungsdruckfarben und den neuen mineralölfreien Varianten der jeweiligen Hersteller durchgeführt werden. Im Rahmen mehrerer Druckversuche an der Bogenoffset-Druckmaschine erfolgten Farboptimierungen sowohl bezüglich der Tonwertzunahmen als auch des Farb-/Wassergleichgewichts und des Trocknungsverhaltens sowie der physikalischen Eigenschaften der Druckfarbe (z.B. Fließverhalten). Damit konnte eine problemlose Verdruckbarkeit sichergestellt werden. Weiterhin konnten die so hergestellten Druckmuster bereits dazu genutzt werden, um das Deinking-Verhalten der neuen Druckfarben auf einem Standard-Zeitungspapier zu untersuchen, um schon in einem frühen Stadium des Projektes eventuelle Probleme zu erkennen. Alle untersuchten Muster zeigten gute Deinkbarkeit.

Kurzzeitdruckversuche an einer Zeitungsdruckmaschine

Um noch genauere Aussagen über das drucktechnische Verhalten von Zeitungsdruckfarben in einer Bogenoffset-Druckmaschine zu bekommen, waren mehrere eintägige Kurzzeitdruckversuche je Druckfarbenhersteller an der Zeitungsdruckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei (FSD) notwendig. Dafür lieferten die teilnehmenden Druckfarbenhersteller ca. 50 kg Druckfarbe je Farbton, die manuell in die Farbkästen gespachtelt wurden. Während des Versuchstags erfolgte die Produktion von ca. 30.000 bis 60.000 Exemplaren der Druckmuster. Diese Menge erwies sich als notwendig, um auch das Verschmutzungsverhalten der Druckfarben gegenüber der Druckmaschine beurteilen zu können. Bei den Kurzzeitdruckversuchen kamen zwei unterschiedlichen Testformen zur Qualitätskontrolle und zur Ermittlung der Ergiebigkeit der Druckfarben zum Einsatz.

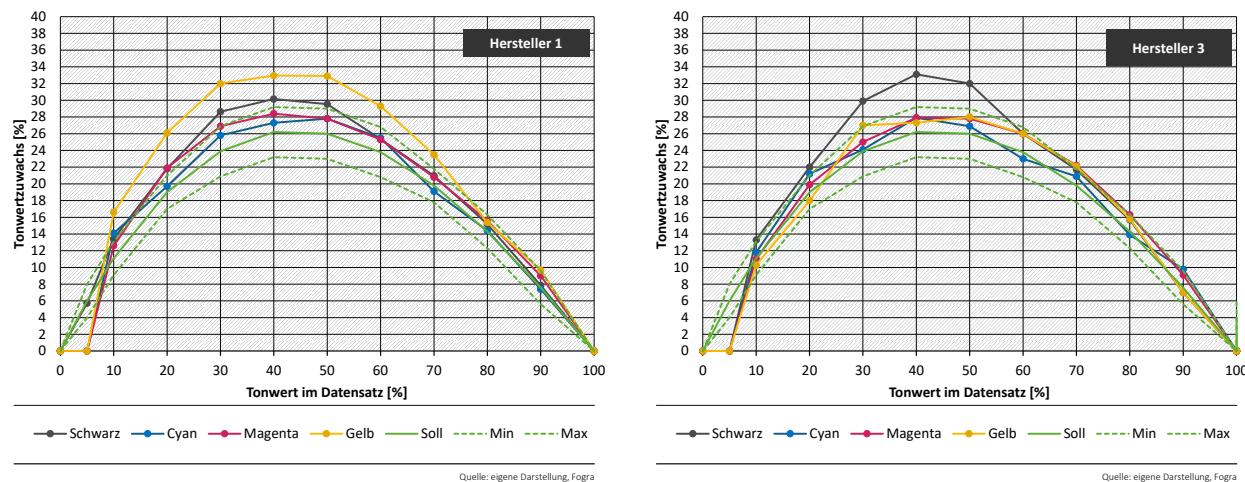
Die Kurzzeitdruckversuche hatten folgende Schwerpunkte:

1. Farb-/Wassergleichgewicht der mineralölfreien Druckfarben,
2. Farbverbrauch der mineralölfreien Druckfarben,

3. Bewertung des Verschmutzungspotenzials,
4. Verhalten in den Klammern und nach Wicklung auf Trommeln in der Weiterverarbeitung.

Bei den Druckversuchen an der Zeitungsdruckmaschine der FSD zeigten sich Unterschiede im Feuchtmittelbedarf zwischen den konventionellen mineralölhaltigen und den neuartigen mineralölfreien Druckfarben. Der Einsatz mineralölfreier Druckfarben beider Hersteller erforderte unabhängig von der Druckgeschwindigkeit eine leicht erhöhte Dosierung des verwendeten Feuchtmittels. Auch die in den Steuerungen der Druckwerke hinterlegte Anpassungskurve zur Veränderung der Feuchtmittelmenge bei Änderungen der Druckgeschwindigkeit musste für die mineralölfreien Druckfarben angepasst werden. Die für diese Anpassungen notwendigen Kennwerte sind bei den Druckversuchen ermittelt worden. Nach Anpassung der Feuchtmitteldosierung und weiterer Optimierung der Druckfarbenserien waren die Tonwertzunahmen der finalen Druckfarbenserien beider Hersteller noch leicht erhöht. Sie zeigten aber in der Mehrzahl der einzelnen Druckfarben akzeptable Übereinstimmung mit den Sollwerten für Tonwertzunahmen im Zeitungsdruck aus der ISO 12647-3.

Abb. 1: Tonwertzunahmen der finalen Druckfarbenserien der Hersteller 1 (links) und 3 (rechts). Die dünnen roten gepunkteten Linien markieren die Grenzen gemäß der ISO 12647-3.



Für die Messung des Farbverbrauchs gibt es mehrere nachvollziehbare Gründe. Ein Farbhersteller muss seinen Kunden (Druckereien) nachweisen können, dass er jede Charge normgerecht produziert. Der Kunde des Farbherstellers wiederum möchte wissen und im Zweifelsfall kontrollieren können, wieviel Druckfarbe er benötigt, um eine normgerechte Produktion für seine Kunden (u.a. Anzeigenkunden) gewährleisten zu können. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verwenden Farbhersteller und Druckereien dazu unterschiedliche Verfahren. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes mineralölfreier Druckfarben bildet neben dem Druckfarben-Preis der Farbverbrauch eine wesentliche Kenngröße. Aus diesem Grund sind sehr ausführliche Untersuchungen zu dieser Thematik erfolgt. Für die Messung der Farbergiebigkeit der mineralölfreien Druckfarbe sind zwei unterschiedliche Verfahren bekannt und üblich: Zum einen werden in den Druckfarbenfabriken die Druckfarben nach der Produktion üblicherweise nach ISO 2846-2 geprüft. Für die Messung der Ergiebigkeit wird das Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless^{xviii} empfohlen. Zum anderen erfolgt in der FSD die Bewertung der Farbergiebigkeit nach dem dort üblichen Standardverfahren: Bei einer reduzierten Druckgeschwindigkeit wird Druckfarbe mit definierten Farbdichten (1,1 im Schwarz, 0,9 in den Buntfarben CMY) vollflächig gedruckt. Die auf das Papier übertragene Farbmenge wird anschließend durch Wägung und einem Vergleich mit unbedrucktem Papier bestimmt.

Beim Vergleich der aus beiden Verfahren generierten Daten zeigt sich, dass sie im Rahmen der Messgenauigkeit zu ähnlichen Ergebnissen kommen und somit als Datenbasis für die Kommunikation zwischen den Druckereien und den Farbherstellern Verwendung finden können. Auf dieser Basis kann

von beiden Seiten überprüft werden, in wie weit es zu vermehrtem Farbverbrauch kommt. Die Durchführung von Messungen mit dem gravimetrischen Verfahren der FSD an Druckmustern, die bei Produktionsgeschwindigkeit (ca. 30.000 U/h) produziert wurden, führte zu technischen Schwierigkeiten bei der Probenahme. Es wird deshalb empfohlen, nur bei 10.000 U/h die Druckprodukte zur Bewertung des Farbverbrauchs herzustellen. Generell ergab die Messung des Farbverbrauchs, dass bei gleicher Pigmentierung die mineralölfreien Druckfarben vergleichbare Werte liefern sollten wie mineral-öhlhaltige Druckfarben. Eine Kontrolle wird aber auch bei der Weiterentwicklung der Druckfarben nach Projektende empfohlen.

Bezüglich der Verschmutzungsneigung der Druckfarben wurden im Rahmen der Kurzzeitdruckversuche das Abschmieren von Druckfarbe, also der ungewollte Druckfarbenübergang vom Bedruckstoff auf Maschinenteile, sowie die Neigung zum Spritzen und Nebeln beobachtet. Das Abschmieren ist besonders deutlich an den Umlenkrollen, Wendestangen und Falztrichtern im Falzapparat zu beobachten. An den Umlenkrollen und Wendestangen tritt die bedruckte Papierbahn in direkten Kontakt mit den Metallrollen. Bei den Falztrichtern reibt die bedruckte Papieroberfläche über eine abgerundete und mit einem Luftkissen geschützte Metallkante. In jedem Fall kommt es zu mechanischer Belastung auf die Druckfarbe, so dass diese sich teilweise vom Papier lösen und die Druckmaschine verschmutzen kann. Diese Bauteile wurden jeweils zu Beginn des Versuchstages gereinigt und am Ende zusammen mit den Druckern der FSD auf die Verschmutzung hin überprüft. Nach der Menge an gedruckten Exemplaren (im Regelfall mehr als 30.000 Exemplare) ist auch bei konventioneller Druckfarbe eine geringfügige Verschmutzung an den beschriebenen Stellen zu erwarten. Zur Kontrolle des Spritz- und Nebelverhaltens platzierte man an den Farbwerken aller Druckfarben weiße Papierbögen. Nach dem Druckversuch konnte so beurteilt werden, ob die Druckfarben eine Nebelneigung besitzen (starke Anschmutzung der Bögen) oder nicht (wenig bis keine Anschmutzung der Bögen). Durch die Kontrolle mit den Druckern sowohl der Falztrichter und Umlenkstangen als auch der aufgehängten Papierbögen konnte festgestellt werden, dass das Verschmutzungsverhalten der mineralölfreien Druckfarben sehr gering ist.

Weiterhin erfolgten mit beiden Druckfarbenserien indirekte Tests zur Farbtrocknung. Dabei wurden Druckprodukte durch die komplette Weiterverarbeitungslinie der FSD gefahren und auf Wickel aufgezogen. Zusammen mit Fachleuten der Fa. FERAG (Weiterverarbeitungsanlagenhersteller) erfolgte die Bewertung. Sie führten zu dem Ergebnis, dass mit den Druckfarben beider Hersteller die Weiterverarbeitung ohne absehbare Probleme erfolgen kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass am Ende der Kurzzeitversuche von zwei Druckfarbenherstellern je ein Druckfarbensatz für den weiteren Fortgang des Projektes, also die Langzeitdruckversuche, zur Verfügung standen. Sie wiesen folgenden Eigenschaften auf:

- ▶ Die Tonwerte (Farb/Wassergleichgewichte) entsprachen den Anforderungen des Prozessstandards Offsetdruck.
- ▶ Die Ergiebigkeit der mineralölfreien Druckfarben wurde auf zwei unterschiedliche Arten bestimmt. Im Vergleich mit den konventionellen Druckfarben zeigten sich keine signifikanten Abweichungen im Verbrauch.
- ▶ Die Neigung zum Verschmutzen (Abschmieren, Nebeln und Spritzen) der mineralölfreien Druckfarben erwies sich für alle Druckfarben als sehr gering.
- ▶ Untersuchungen über das Wegschlagverhalten und somit die problemlose Weiterverarbeitbarkeit der Druckprodukte zeigten bei den letztlich vorliegenden Druckfarben keine Probleme.

Langzeitdruckversuche an einer Zeitungsdruckmaschine

Nach erfolgreich durchlaufenen Kurzzeitversuchen sollten mit jedem Druckfarbensatz Langzeitdruckversuche durchgeführt werden. Dazu bestand in der Druckerei die Möglichkeit, eine Sektion mit den mineralölfreien Druckfarben zu versorgen. Im Fall der Buntfarben (Cyan, Magenta, Gelb) erfolgte die Farbversorgung direkt aus Transportcontainern (500 kg bis 1.000 kg) aus denen die Druckfarben direkt in die Farbkästen gepumpt wurden. Im Fall der Schwarzfarbe musste einer der beiden Bodentanks geleert werden um darin ca. 3.000 kg mineralölfreie Druckfarbe zu lagern und die Farbkästen zu versorgen. Eine komplette Reinigung dieses Bodentanks war nicht möglich, so dass bei den Druckversuchen noch Reste der zuvor verwendeten mineralölhaltigen Druckfarben in Form von Kontamination in die mineralölfreien Druckfarben gelangten. Als Zeitraum für die Langzeitdruckversuche wurden drei Monate gewählt. Dieser Festlegung dieses Zeitraums beruht auf Abstimmungen mit den Druckfarbenherstellern, da sich u.a. Alterungseffekte von Druckfarben erst nach ein paar Wochen manifestieren können. Die Zeit zwischen der Produktion und der Verwendung von Druckfarbe kann zwischen wenigen Wochen und mehreren Monaten (> 9 Monate) variieren. Dies hängt zum einen von der Strategie der Farbhersteller (Produktion auf Nachfrage oder auf Vorrat) und zum anderen von der Praxis der Druckereien („First in, first out“, Vorratshaltung in der Druckerei) ab. Das Zeitintervall von drei Monaten für die Druckversuche ermöglichte die Untersuchung des Druckverhaltens sowohl von neuer, weniger Tage alter Druckfarbe als auch von gealterter Druckfarbe.

Während der Langzeitdruckversuche erfolgte regelmäßig die Kontrolle der Walzenspalte in den Druckwerken, an denen mineralölfreie Druckfarbe zum Einsatz kam, um eventuell frühzeitig auftretenden Veränderungen in den Walzenwerkstoffen erkennen zu können. Diese Messungen bestätigten die im Labor gemessenen Quell- bzw. Schrumpfraten der entsprechenden Elastomere. Die Langzeitdruckversuche liefen produktionsbegleitend, d.h. es wurden Verkaufsexemplare oder Teile von Verkaufsexemplaren produziert. Dadurch unterlag die Produktion ständig der kritischen Kontrolle der Druckerei, um die Druckqualität der Zeitungen zu gewährleisten.

Die Druckfarben wurden im Rahmen von Kurzzeitdruckversuchen bereits auf die Druckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei optimiert. Trotz dieser Optimierungsschritte mussten die Langzeitdruckversuche mehrfach abgebrochen werden, woraus sich die in Tab. 1 dargestellten Zeitintervalle der Druckversuche ergaben. Eine produktionsbegleitende Verwendung der Druckfarben Cyan, Magenta und Gelb von Hersteller 1 über einen Zeitraum von drei Monaten bis zum Ende der Projektlaufzeit war nicht möglich, da die Buntfarben nach einigen Wochen aufgrund von Veränderungen der rheologischen Eigenschaften nicht mehr problemfrei einsetzbar waren. Ein letzter Versuch musste aufgrund der Beendigung des Projektes nach fünf Wochen ohne sonstige Probleme abgeschlossen werden. Die schwarze Druckfarbe von Hersteller 1 fand über einen Zeitraum von drei Monaten Anwendung in der Druckmaschine. Dies liegt vor allem daran, dass im Farbwerk für Schwarz eine andere Farbwerkskonstruktion vorlag, bei der die Druckfarbe kontinuierlich umgepumpt wird und so die problematischen rheologischen Effekte ausbleiben. Die Druckfarben von Hersteller 3 konnten über den Zeitraum von drei Monaten eingesetzt werden. Jedoch waren über den gesamten Testzeitraum die Tonwertzunahmen grenzwertig oder außerhalb der Norm ISO 12647-3 und der Farbverbrauch v.a. von den Buntfarben lag ca. 15 % bis 30 % über dem Verbrauch der konventionellen Druckfarben.

Tab. 1: Druckintervalle der mineralölfreien Buntfarben (CMY) im Rahmen der Langzeitversuche.

Farbhersteller	Intervalldauer	Bemerkung
1	5 Wochen	Drucktechnische Probleme nach 2 Wochen => Nachjustieren der Feuchtmittelversorgung Physikalische Probleme => Abbruch
1	2 Wochen	Drucktechnische und physikalische Probleme => Abbruch
1	5 Wochen	Physikalische Probleme im Gelb => 2,5 Wochen Drucken mit konventionellem Gelb Drucktechnische Probleme => Abbruch
1	1,5 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	1,5 Wochen	Druckfarben ausgegangen
1	3 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	4 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	5 Wochen	kein Abbruch, Beendigung aufgrund des Projektabschlusses
3	6 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
3	1 Woche	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
3	15 Wochen	Tonwertzunahmen und Verbrauch nicht qualitätsgerecht, => kein Abbruch der Versuche

Betrachtet man die Gründe für das jeweilige Abbrechen so kann man erkennen, dass zu Beginn der Langzeitversuche von Hersteller 1 drucktechnischen Probleme (Tonen auf Papier, Streifen auf den Druckplattenkanten sowie Schleierbildung auf den Druckplatten) vorhanden waren, die neben physikalischen Eigenschaften (v.a. zu dünnflüssige bzw. zu zähe Druckfarben) zum Abbruch führten. Durch die Weiterentwicklung konnten die drucktechnischen Eigenschaften der Druckfarben beider Hersteller soweit optimiert werden, dass gegen Ende des Projektes kein Abbruch aufgrund zu schlechter drucktechnischer Bedingungen mehr notwendig wurde. Dies ist als deutliche Verbesserung der Situation zu Beginn des Projektes zu werten, als der Stand der Technik noch so war, dass der branchenübliche Qualitätsstandard (Prozessstandards Zeitungldruck) nicht erreichbar und die Wegschlaggeschwindigkeit der Druckfarben ohne Mineralöle zu gering war. Die Druckfarben von Hersteller 3, die über einen Zeitraum von drei Monaten eingesetzt wurden, entsprechen noch nicht nach den branchenüblichen Standards, da sowohl die Tonwertzunahmen als auch der Farbverbrauch insbesondere bei den Buntfarben etwas zu hoch liegen. Eine neuerliche Anpassung der Druckfarben Cyan und Gelb während der dreimonatigen Druckphase zeigte jedoch deutliche Verbesserungen bei den Tonwertzunahmen und leichte Verbesserungen beim Verbrauch.

Von Hersteller 1 konnten die physikalischen Probleme in Form von sich ändernden rheologischen Eigenschaften über die Zeit der Druckversuche konnten bis zum Projektende nicht endgültig gelöst werden und führten immer wieder zu Abbrüchen der Langzeitversuche, abgesehen vom letzten Druckintervall, das nach fünf Wochen ohne physikalische Probleme aufgrund der Beendigung des Projektes abgeschlossen wurde. Während der Langzeitdruckversuche kam es durch das Altern der Druckfarbe innerhalb von ca. drei bis fünf Wochen nach der Produktion zu einer Viskositätserhöhung, die zumindest anfangs dazu führte, dass die Druckfarbe nicht mehr pumpfähig war und die Rohrleitungen gespült werden mussten, bzw. zum Auftreten von Thixotropie-Effekten, die ein Weiterdrucken nach Stillstand deutlich erschwerten. Im letzteren Fall musste die Druckfarbe händisch in Bewegung versetzt werden.

Die Langzeitversuche in der FSD erstreckten sich insgesamt über einen Zeitraum von ca. 22 Monaten. In diesem Zeitraum war es erstmals möglich das Verhalten der Druckfarben über einen längeren Zeitraum zu untersuchen. Erste Veränderungen in den Druckfarben manifestierten sich im Regelfall erst nach ein paar Wochen. Für die Anpassung der Farbrezeptur, das erneute Produzieren der Druckfarben und die Lieferung in die Druckerei waren im Regelfall ca. 6 Wochen notwendig. Somit war der Zeitraum für die Entwicklung der neuartigen Druckfarben begrenzt und für eine komplette Neuentwicklung relativ kurz. Im Rahmen des Projektes war es letzten Endes den beiden teilnehmenden Druckfarbenherstellern nicht möglich, eine neue Generation an mineralölfreien Druckfarben zur Serienreife zu bringen, jedoch konnte eine gute Ausgangsbasis geschaffen werden, um entsprechende Druckfarbenserien fertig zu entwickeln.

Es konnte im Rahmen der Druckversuche gezeigt werden, dass in dem Zeitraum, in dem die Druckfarben noch nicht zu stark gealtert waren, ein praktikabler Umgang für das Personal gewährleistet war. Die Farbergiebigkeit erwies sich bei Hersteller 1 als vergleichbar mit konventionellen Druckfarben, lediglich die gelbe Druckfarbe hatte einen Mehrverbrauch von ca. 15 %. Bei Hersteller 3 war ein Mehrverbrauch bei allen Bunt-Druckfarben (CMY) um etwa 15 % bis 20 % im Vergleich zu konventionellen Druckfarben notwendig. Die mineralölfreie schwarze Druckfarbe hatte eine Ergiebigkeit, die in etwa den Vorgaben der Druckerei entsprach. Die Makulatur sowie der Feuchtmittelverbrauch unterschieden sich nicht signifikant von konventionellen Druckfarben.

Die entwickelten Druckfarbenserien sind noch nicht ausentwickelt und bedürfen weiterer Optimierungsszyklen. Vor allem die Alterung der Druckfarben und die damit verbundenen Veränderungen der rheologischen Eigenschaften erfordern von Hersteller 1 weitergehende Entwicklungsschritte.

Da im Rahmen der Druckversuche sowohl das Feucht- als auch das Waschmittel, das in der Druckerei generell eingesetzt wird, Verwendung fand und es im Versuchszeitraum keinen Wechsel dieser Mittel gab, ist eine Aussage bezüglich des drucktechnischen Verhaltens der Druckfarben bei andern Feuchtmitteln nicht machbar. Bei dem eingesetzten Feuchtmittel handelte es sich um ein marktübliches Produkt für den Coldset, das keine Optimierung hinsichtlich mineralölfreier Zeitungsdruckfarben erfahren hat.

Durch die Druckversuche konnte der konzeptionelle Beweis für die Verwendung von mineralölfreien Druckfarben für den Zeitungsdruck erbracht werden. Eine Aussage über die Verwendung der Druckfarben auf anderen Zeitungsdruckmaschinen ist derzeit jedoch nicht möglich.

Deinkingtests von Musterdrucken mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben

Neben der Praxistauglichkeit in Bezug auf die Verdruckbarkeit standen zwei weitere Eigenschaften der Druckfarben in diesem Projekt im Vordergrund: Die Deinkbarkeit von Druckprodukten, die mit mineralölfreier Druckfarbe produziert wurden sowie das Verhalten der Druckfarbe bei der Bestimmung des Mineralölgehaltes am fertigen Druckprodukt. Für diese Untersuchungen notwendige Druckmuster wurden sowohl bei den Kurzzeitversuchen als auch bei den Langzeitversuchen entnommen.

Die Bestimmung der Deinkbarkeit mineralöfrei produzierter Druckprodukte erfolgte in Labortests nach der INGEDE-Methode 11. Diese ist eine anerkannte Labormethode und simuliert die zwei Kernprozesse in der Altpapieraufbereitung: die Druckfarbenablösung während der Stoffauflösung und den Druckfarbenaustrag während der Flotation. Nach der Flotation werden verschiedene Testblätter aus dem deinkten Pulp, also aus dem resultierenden Faserbrei, hergestellt und gemäß der INGEDE-Vorgaben die folgenden Parameter bestimmt:

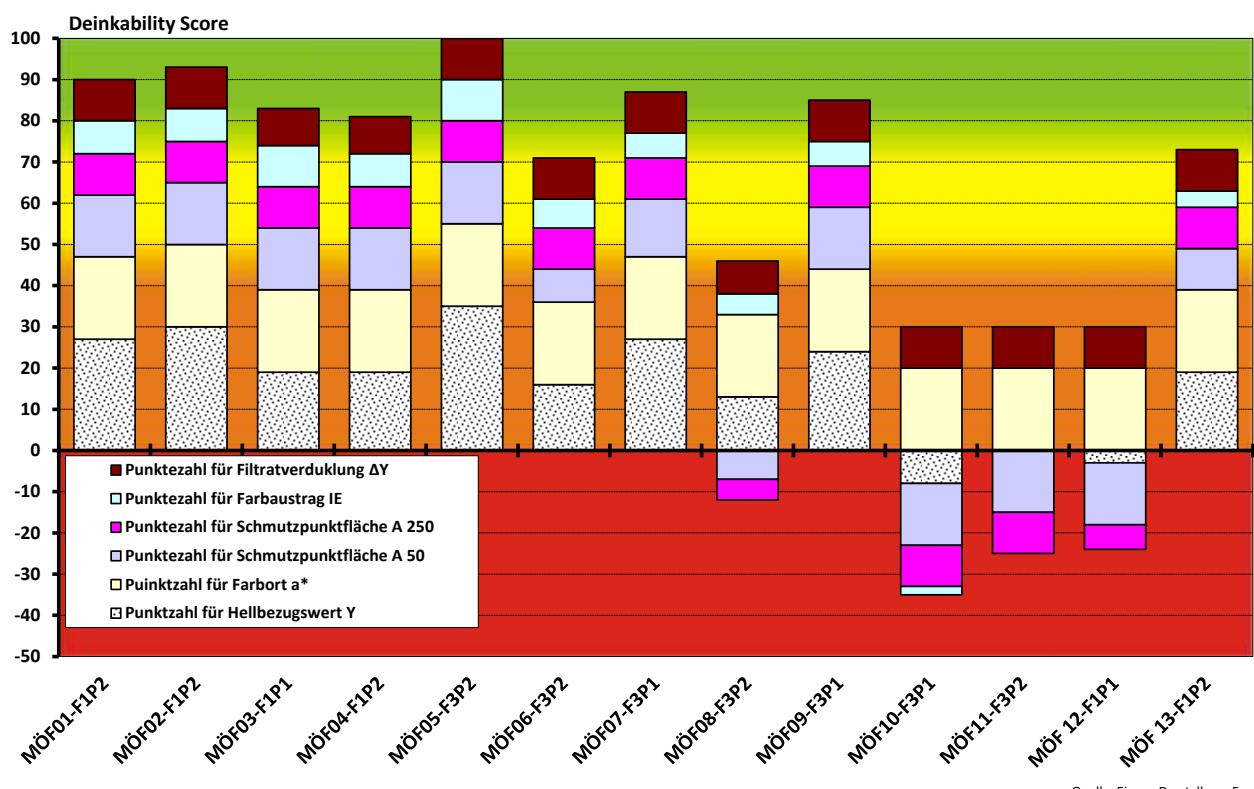
- ▶ Bestimmung des Hellbezugswerts Y und des Farborts a* an den Nutschenblättern des deinkten Faserstoffs gemäß INGEDE-Methode 2 und der DIN 6174. Die Nutschenblätter werden mit Hilfe von „Machinery-Nagel MN 618“ Filtern (Durchmesser 150 mm) hergestellt.

- ▶ Auf Laborblättern werden die nicht durch die Flotation ausgetragenen Druckfarbenpartikel im deinkten Faserstoff als Schmutzpunktfläche A_{50} bzw. A_{250} bestimmt.
- ▶ Bestimmung des Farbaustrags (engl.: Ink Elimination IE) gemäß INGEDE-Methoden 1 und 2 an den Nutschenblättern des undeinkten und deinkten Faserstoffs.
- ▶ An dem Filtrat, welches bei der Gewinnung der Nutschenblätter des deinkten Faserstoffs anfällt, wird die Filtratverdunkelung mit Hilfe von Zellulose-Nitrat-Filtren der Firma Sartorius (Porengröße: 0,45 µm) bestimmt. Dabei ist der Verlust im Hellbezugswert Y des Zellulosefilters als Filtratverdunkelung ΔY zu protokollieren.

Der sog. „Deinkability Score“ ist die Zusammenführung der sechs Bewertungsparameter Hellbezugswert Y, Farbkoordinate a^* , Schmutzpunktflächen A_{50} / A_{250} , Farbaustrag IE und Filtratverdunkelung ΔY . Aus allen sechs Ergebnissen wird der Deinkability Score üblicherweise in Form eines gestapelten Säulendiagramms dargestellt, in dem sich die Gesamtsäule aus den Einzelwerten in Abhängigkeit der erreichten Punktzahlen zusammensetzt. Mit seiner Hilfe können Druckprodukte in vier Kategorien der Deinkbarkeit eingeteilt werden, die von „gut Deinkbar“ über „befriedigend Deinkbar“ und „ausreichend Deinkbar“ hin zu „nicht für Deinking geeignet“ reichen.

Im Verlauf des Projektes wurden verschiedene Druckprodukte auf ihr Deinkingverhalten getestet. Generell zeigte sich, dass die Mehrzahl der untersuchten Produkte gut bis befriedigend deinkbar waren. Vier der 13 Druckprodukte aus mineralölfreier Druckfarbe wurden als nicht Deinkbar eingestuft. Grund hierfür war in allen Fällen die Überschreitung der Grenzwerte für die Schmutzpunktflächen A_{50} und A_{250} .

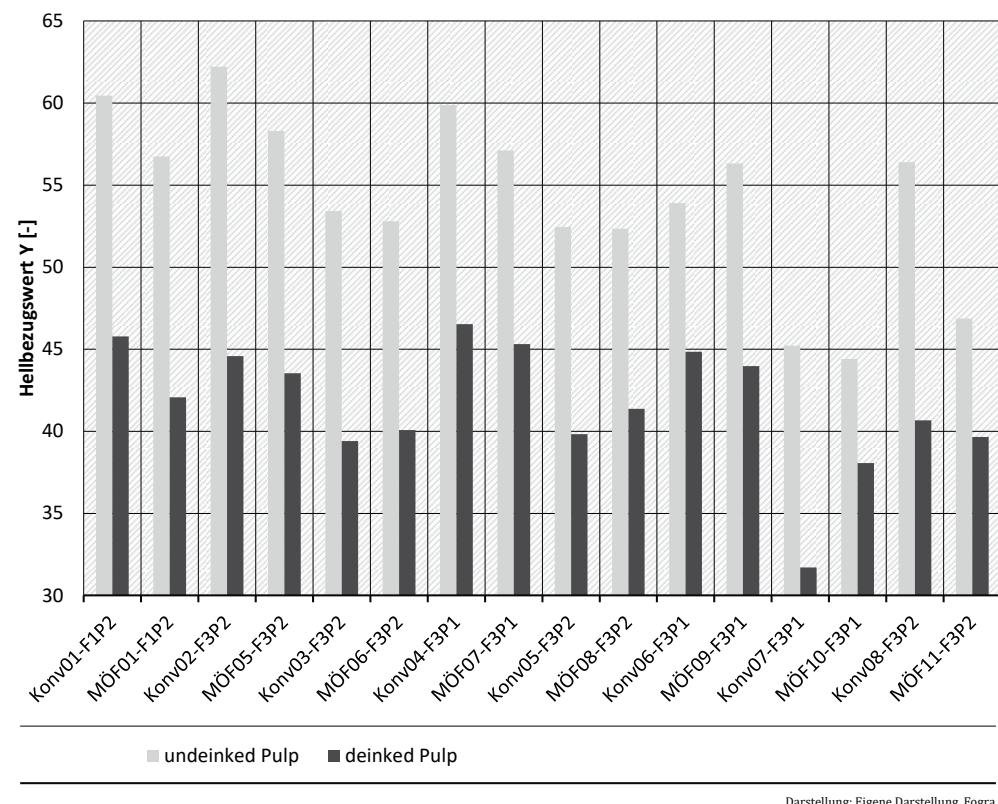
Abb. 2: Deinkingergebnisse der untersuchten Druckprodukte, hergestellt mit mineralölfreier Druckfarbe, in Form des Deinkability Scores. (MÖF: Mineralölfreie Druckfarbe, F: Druckfarbenhersteller, P: Papiersorte).



Die INGEDE-Methode 11 ist jedoch als eine Methode zu verstehen, die lediglich einzelne Produkte betrachtet. Sie wurde etabliert, um sehr schlecht deinkbare Druckprodukte identifizieren zu können. Die

Methode kann nicht den gesamten Rezyklingprozess im industriellen Umfeld abbilden, da hier immer Altpapiergemische rezykliert werden. Betrachtet man unter diesen Gesichtspunkten die einzelnen Ergebnisse, so bedarf vor allem der Helligkeitswert Y einer genaueren Interpretation. Ein Helligkeitswert von 30 entspricht in etwa einem braunen Karton, ein Wert von 65 ist typisch für ein Zeitungsdruktpapier.^{xix} Um einen Helligkeitswert von 65 zu erzielen, ist es bereits jetzt notwendig, das Altpapierge-misch mit Magazinen (hohe Helligkeit) zu versetzen. Die mittlere Helligkeit von Zeitungen nach der INGEDE Methode 11 liegt nach Angaben der INGEDE bei 54 Punkten.^{xx} Betrachtet man die Helligkeit der insgesamt acht Vergleichsprodukte (gleiche Druckprodukte mit gleichem Papier aber konventioneller bzw. mineralölfreier Druckfarbe des gleichen Herstellers) aus dem Projekt miteinander, so liegen die Helligkeitswerte der konventionellen Druckprodukte bei vier Pärchen höher als bei denen mit mineralölfreien Druckfarben. Bei zwei Pärchen unterscheiden sich die jeweiligen Druckprodukte nur unwesentlich und in zwei Fällen zeigten die Druckprodukte mit mineralölfreien Druckfarben höhere Helligkeitswerte (Abb. 3). Geht man davon aus, dass die neuartigen Farben generell zu einem leichten Rückgang der Helligkeit des deinkten Faserstoffs führen, so kann dies deutliche Auswirkungen auf den Stoffkreislauf haben. Dieser geringere Helligkeitswert spielt für das Deinking sicher eine negative Rolle, wenn die gesamten Zeitungen zukünftig mit mineralölfreien Druckfarben produziert würden. Für den Fall, dass mineralöfrei gedruckte Zeitungen nur einen kleinen Teil des Gesamtvolumens ausmachen, sollten die Auswirkungen für den Altpapierkreislauf nicht signifikant ausfallen.

Abb. 3: Hellbezugswerte von Vergleichsmustern, produziert auf jeweils gleichem Papier mit konventioneller und mineralölfreier Druckfarbe des gleichen Farbherstellers. (MÖF: Mineralölfreie Druckfarbe, Konv: konventionelle Druckfarbe, F: Druckfarbenhersteller, P: Papiersorte).



Neben der Bewertung der Druckprodukte nach dem Deinkability Score erfolgte im Rahmen der Untersuchungen auch Bestimmungen der Faserausbeute, also der Menge an Fasern, die nach der Deinking-Labormethode noch zur Verfügung standen.

Hier zeigte sich, dass die Faserausbeute in der Mehrzahl der Fälle (fünf von acht) geringer ausfällt, wenn die Druckprodukte mit mineralölfreien Druckfarben hergestellt wurden. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Faserausbeute im industriellen Umfeld höher liegt als bei dem Laborverfahren, da großtechnisch Rejekte aus der 1. und 2. Flotationsstufe durch Rückführung in eine Sekundärflotation aus dem abgeschöpften Volumenstrom zurückgewonnen werden. Trotzdem steht zu erwarten, dass bei einer Umstellung von konventionellen auf mineralölfreie Zeitungsdruckfarben die Faserausbeute geringer ausfallen dürfte und somit Auswirkungen auf die Altpapierströme entstehen werden.

Tab. 2: Vergleich der Faserausbeuten nach dem Deinking gemäß der INGEDE Methode 11 von mineralölfreien und konventionellen Druckprodukten. Mit * gekennzeichnete Muster wurden als nicht für das Deinking geeignet eingestuft.

Musterpaarung	Farbhersteller	Papier	Faserausbeute [%] konventionell	Faserausbeute [%] mineralölfrei
Paarung 1	Hersteller 1	100 % DIP	85,6	78,2
Paarung 2	Hersteller 3	100 % DIP	84,8	78,7
Paarung 3	Hersteller 3	100 % DIP	71,9	69,4
Paarung 4	Hersteller 3	50 % DIP	85,8	80,4
Paarung 5	Hersteller 3	100 % DIP	69,5	82,5*
Paarung 6	Hersteller 3	50 % DIP	73,0	77,5
Paarung 7	Hersteller 3	50 % DIP	65,2*	65,5*
Paarung 8	Hersteller 3	100 % DIP	80,8	66,6*

Insgesamt wurden 13 mit mineralölfreien Druckfarben gefertigte Druckprodukte auf ihr Deinkingverhalten nach der Methode INGEDE 11 untersucht. Nach der Labormethode konnten neun Muster als gut deinkbar und vier Muster als nicht für das Deinking geeignet eingestuft werden.

Die aktuellen mineralölfreien Formulierungen von Hersteller 1 war auf dem Papier mit 50 % DIP nicht deinkbar, bei Hersteller 3 waren die Muster auf beiden Papiersorten zuletzt nicht deinkbar.

Nach der derzeitigen Datenlage muss davon ausgegangen werden, dass eine umfängliche Deinkbarkeit von Druckerzeugnissen, die mit mineralölfreien Coldset-Druckfarben hergestellt wurden, nicht gegeben ist. Es bedarf noch weiterer Untersuchungen zu diesem Thema.

Einhaltung der Spezifikationen zur Mineralölfreiheit der Druckfarben

Neben der Deinkbarkeit der Druckerzeugnisse und der generellen Verdruckbarkeit stand die Mineralölfreiheit der Druckfarben im Vordergrund des Projektes. Dazu erfolgte die Bestimmung des Mineralölgehalts gemäß der vom BfR¹ vorgeschlagenen Methode. Nach dieser Methode wird aus Druckprodukt oder Druckfarbe ein Extrakt hergestellt und in einem ersten Trennungsschritt in die beiden Fraktionen MOSH (aliphatische Kohlenwasserstoffe mit Ursprung aus Mineralöl) und MOAH (aromatische Kohlenwasserstoffe mit Ursprung aus Mineralöl) aufgetrennt. In einem zweiten Schritt erfolgt die Quantifizierung der Analyten in beiden Fraktionen. Diese Methode wurde 2017 auch als DIN-Norm DIN EN 16995:2017-08 („Lebensmittel - Pflanzliche Öle und Lebensmittel auf Basis pflanzlicher Öle - Bestimmung von gesättigten Mineralöl-Kohlenwasserstoffen (MOSH) und aromatischen Mineralöl-Kohlenwasserstoffen (MOAH) mit online HPLC-GC-FID; Deutsche Fassung EN 16995:2017“) veröffentlicht. Somit erfolgte die Bestimmung der Mineralölgehalte unter Verwendung der derzeit üblichen Verfahren.

Bei den Mustern, die während der kurzzeitigen bzw. zu Beginn der dreimonatigen Druckversuche aus der Zeitungsdruckmaschine der FSD gezogen wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede in den gemessenen Gehalten an MOSH und MOAH zwischen mineralölhältigen und -freien Druckfarben festgestellt werden, obwohl in den Druckfarben nach Aussagen der Druckfarbenhersteller keine Mine-

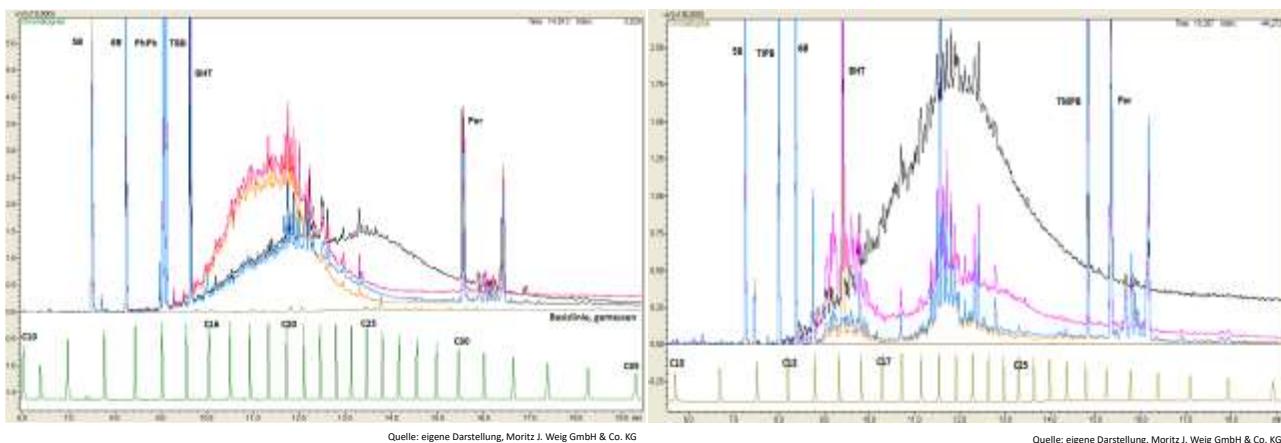
¹ <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi-hsc7j9rlAhXFb1AKHTr-BrQQFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fmobil.bfr.bund.de%2Fcm%2F343%2Fbestimmung-von-kohlenwasserstoffen-aus-mineraloel-oder-kunststoffen.pdf&usg=A0vVaw14es3gBFFXHa43Q07uMDak>

ralöle als konstitutionelle Bestandteile vorhanden sind. Bei Gesprächen mit allen beteiligten Farbherstellern bestätigten diese, dass die Anlagen, auf denen die mineralölfreien Druckfarben produziert wurden, oberflächlich gereinigt wurden, allerdings eine Kontamination durch zuvor produzierten mineralölhaltigen Druckfarben sicher stattfindet. Da die Fertigung der mineralölfreien Druckfarben in kleinen Mengen von maximal 3 t erfolgte, ist mit deutlicher Kontamination im Herstellungsprozess zu rechnen. Als potenzielle Kontaminationsstellen erwiesen sich die folgenden Prozesse und Gegebenheiten:

- ▶ Druckfarbenproduktion bei den Farbherstellern (Herstellung erfolgte auf Anlagen für konventionelle Zeitungsdruckfarben)
- ▶ Transporttanks / Tankzüge
- ▶ Verrohrung von den separaten Tanks in das Druckwerk in der Druckerei (gilt für CMY)
- ▶ Reste von konventioneller Druckfarbe im Bodentank (gilt für Schwarz)

Um zumindest die weitere Kontamination nach der Druckfarbenproduktion auszuschließen, erfolgten Analysen der reinen, nicht angedruckten Druckfarben direkt von den Herstellern im Vergleich zu den korrespondierenden mineralölhaltigen Druckfarbensatz. Bei beiden Herstellern zeigen sich in den mineralölfreien Druckfarben deutlich geringere Werte an MOSH und MOAH, jedoch werden die im Projekt geforderten Höchstmengen ($\text{MOAH} < 0,1\%$) nur von einem Satz an Buntfarben eingehalten, obwohl nach Aussagen der Farbhersteller in den Rezepten beide Druckfarbensätze keine mineralölhaltigen Komponenten enthalten sind. Die Chromatogramme der mineralölfreien Druckfarben (MOAH-Fraktionen) sind in Abb. 4 dargestellt.

Abb. 4: Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der nicht angedruckten mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 (links) und Hersteller 3 (rechts). Beschriftet sind die Peaks der zugegebenen internen Standards.



Aus langjähriger Erfahrung ist den Sachbearbeitern des Projektes bekannt, dass es sich in diesem Fall nicht in der Gesamtheit um MOAH-Komponenten handelt, sondern auch andere Substanzen in dieser analytischen Fraktion enthalten sind: im Bereich C17 bis ca. C26 detektiert man Harzbestandteile und im Bereich ca. C26 bis C30 vorwiegend pflanzliche Bestandteile. Nach der Vorschrift des BfR ist es zur korrekten Quantifizierung der MOSH und MOAH notwendig, bekannte Signale, die nicht aus Mineralöl stammen, aus der dieser herauszurechnen. Durch die korrigierte Auswertung der Messungen ergeben sich die in Tab. 3 zusammengefassten MOAH-Gehalte für die Buntfarben von Hersteller 3. Sowohl für die Schwarzfarbe von Hersteller 3 also auch für den gesamten Druckfarbensatz von Hersteller 1 war diese Korrektur nicht möglich, da die Signale des „echten“ Mineralöls dominant gegenüber der Fremdsignale sind und eine Korrektur nicht ermöglichen.

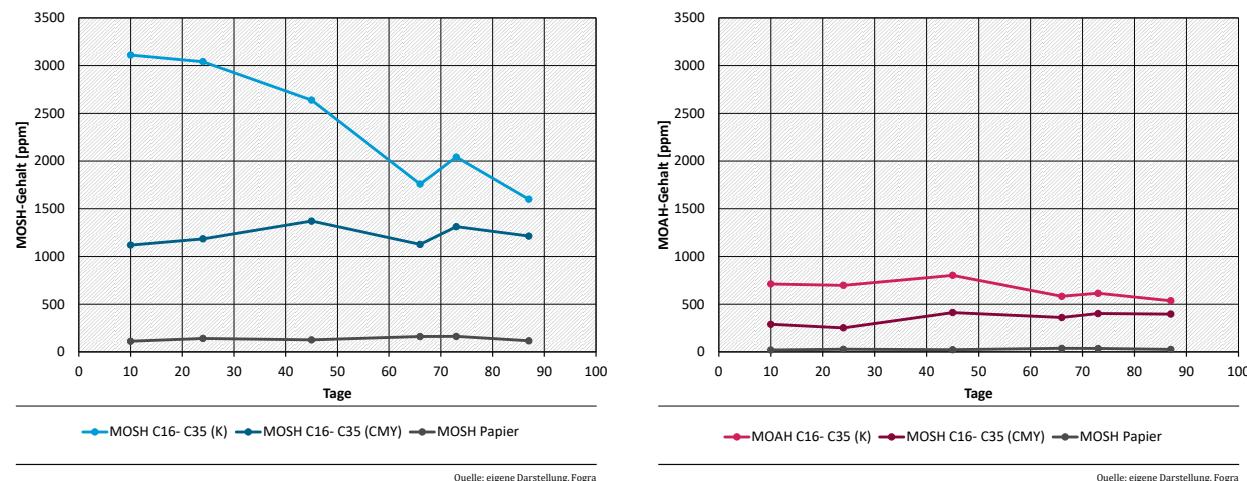
Tab. 3: Korrigierte MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölfreien (MÖF) Druckfarben der Hersteller 3.

Druckfarbenmuster	MOAH [%] C16 – C35	MOAH [%] C13 – C17
Hersteller 3 – Cyan MÖF	0,6	0,09
Hersteller 3 – Magenta MÖF	1,5	0,35
Hersteller 3 – Gelb MÖF	0,6	0,06

Es zeigt sich aber, dass es trotz der Kontamination beim Herstellungsprozess möglich ist, Druckfarben herzustellen, die auch messtechnisch die geforderten Grenzwerte einhalten. Dies ist jedoch stark abhängig vom Herstellungsverfahren und nicht in allen Fällen möglich, wie die anders geartete Herstellung der Schwarzfarbe von Hersteller 3 zeigt.

Während des Intervalls von 15 Wochen, in denen ausschließlich die mineralölfreien Druckfarben des Herstellers 3 in der Sektion der Druckmaschine verwendet wurden, erfolgten periodische Messungen der Mineralölgehalte an unterschiedlichen Stellen von Druckprodukten: Stellen, die zu gleichen Teilen mit allen vier Druckfarben bedruckt waren sowie einfarbig bedruckte Stellen. Die Mineralölgehalte bei den Buntfarben waren bei allen Messungen vergleichbar, so dass zur übersichtlicheren Darstellung jeweils der Mittelwert über die drei Buntfarben gebildet wurde. Das zeitliche Verhalten der Schwarzfarbe differierte stark von dem der Buntfarben: hier konnte eine deutliche Abnahme der Mineralölgehalte beobachtet werden. Mit dieser Testreihe konnte die postulierte Kontamination in der Druckmaschine nachgewiesen werden. Der Mineralölgehalt der Druckprodukte ging über die Versuchsdauer zurück, wie in Abb. 5 gezeigt ist. Durch die deutliche Abnahme im Schwarz konnte der Bodentank, der Hauptunterschied im Schwarz, als primäre Kontaminationsquelle identifiziert werden.

Abb. 5: Mineralölgehalte von Druckprodukten (Druckfarbe von Hersteller 3) als zeitliche Entwicklung. Gezeigt sind jeweils die gesamte MOSH- bzw. MOAH-Fraktion der Schwarzfarbe sowie dem Mittelwert der Buntfarben Druckprodukte und die Gehalte der Referenzmessungen des unbedruckten Papiers (graue Linien).



Zusammenfassung:

Im Rahmen des Projektes konnten weitreichende Erkenntnisse bezüglich mineralölfreier Druckfarben auf der Seite der Druckfarbenhersteller gewonnen werden. Die neu entwickelten Druckfarben haben bezüglich der Elastomerprüfung lediglich die Freigabe für die Druckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei erhalten. Es wird daher empfohlen, im Nachgang zu den beschreibenden Untersuchungen eine neue, aktualisierte Referenzserie für die Prüfung der allgemeinen Materialverträglichkeit von Elastomeren gegen Druckfarben zu entwickeln und am Markt zu etablieren.

Die Druckfarbenserien von zwei Herstellern konnten im Rahmen von Langzeitversuchen produktionsbegleitend eingesetzt werden. Ein Dauereinsatz der Buntfarben über drei Monate war nur im Fall eines Herstellers möglich. Bei dem zweiten Druckfarbenhersteller lag das Problem vor allem in der durch die Alterung bedingten rheologischen Veränderung der Druckfarben und führt immer wieder zum Abbruch der Versuche. Die Schwarzfarben beider Hersteller überdauerten die geforderten drei Monate, was unter anderem an der leicht veränderten Farbwerkskonstruktion liegen dürfte (die Druckfarbe wird beständig gepumpt und in Bewegung gehalten). Die zu Beginn des Projektes bestehenden drucktechnischen Probleme mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben (Tonen, zu geringe Wegschlaggeschwindigkeit, unzureichende farbrichtige Wiedergabe mehrfarbiger Annoncen) konnten über den Projektzeitraum nahezu komplett überwunden werden.

Ein Großteil der im Projektverlauf getesteten Muster zeigten gemäß der INGEDE Methode 11 gute bis befriedigende Deinkbarkeit. Vier der 13 getesteten mineralölfrei produzierten Muster wurden als nicht für das Deinking geeignet eingestuft. Weiterhin zeigte sich, dass die Faserausbeute nach dem Deinkingprozess der Produkte mit mineralölfreien Druckfarben in fünf von acht Fällen geringer ausfiel als bei Produkten mit konventionellen Druckfarben. Der Helligkeitswert Y als einer der für den Deinkability Score getesteten Parameter erwies sich gemäß der Auswertung der INGEDE 11 Methode als gut. Zieht man jedoch in Betracht, dass der Wert bei Druckprodukten im Bereich von ca. 53 bis 58 liegt und in industriellen Maßstab der Helligkeitswert nach dem Deinking bei 65 liegen sollte, ist bei einer umfassenden Umstellung auf mineralölfreie Zeitungsdruckfarben mit Schwierigkeiten beim Erreichen der notwendigen Helligkeit zu rechnen. Die Ergebnisse aus dem Projekt zeigen, dass die zu erwartende Beeinträchtigung des Altpapierkreislaufs in Bezug auf die Deinkbarkeit der Druckprodukte mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben abhängig vom Gesamtvolumen dieser Produkte an der Gesamtmenge an Altpapier sein wird. Eine komplette Umstellung auf diese neuartigen Zeitungsdruckfarben kann zum einen zu Problemen bei der Helligkeit des deinkten Faserstoffs führen, zum anderen würden mehr Fasern aus dem Kreislauf entfernt, da die Ausbeute – zumindest in den Laborversuchen – in der Mehrzahl der Versuche geringer war als bei Zeitungen mit konventionellen Druckfarben. Dieser Effekt wird in der Praxis durch Rückführung deutlich verringert.

Insgesamt konnte eine reduzierte Belastung der Druckerzeugnisse mit kritischen Mineralölbestandteilen durch den Einsatz der neuartigen Druckfarben gezeigt werden. So sank der MOAH-Gehalt in den Zeitungen mit der mineralölfreien Druckfarbe auf ca. 50 % des Gehalts bei vergleichbarer Produktion mit konventioneller Druckfarbe. Trotz der Aussage der Druckfarbenhersteller, dass die Rezepturen der neuartigen Zeitungsdruckfarben keine kritischen Mineralölbestandteile haben, konnten in allen mit der BfR-Methode getesteten Druckfarben und Druckprodukten erhebliche Mengen an Mineralöl (MOSH und MOAH) gefunden werden. Lediglich in den Buntfarben eines Herstellers konnten teilweise Gehalte von weniger als den geforderten 0,1 % MOAH gemessen werden. Aufgrund der genauen Auswertung der Gaschromatogramme ist davon auszugehen, dass es sich nicht um falschpositive Messwerte handelt. Die Ursache für die Mineralölgehalte liegt vor allem in der Kontamination der mineralölfreien Druckfarben mit konventionellen Druckfarben während des Herstellungsprozesses, da die neuartigen Druckfarben auf den gleichen Anlagen gefertigt wurden wie die konventionellen. Trotz oberflächlicher Reinigung kommt es zu deutlichen Verschmutzungen der derzeit nur in kleinen Chargen produzierten neuen Druckfarben. Außerdem konnte im Rahmen dieses Projektes eine Abnahme der Kontamination durch die Druckmaschine (z. B. durch Rohre, Pumpen, Gummiwerkstoffe, Bodentank) über einen Zeitraum von drei Monaten beobachtet werden. Bei der Markteinführung der neuartigen Druckfarben ist aufgrund der Farbrezepte von einer Reduktion des Mineralöleintrags in das Altpapier auszugehen. Über die absoluten Mengen, um die der Eintrag reduzierbar ist, kann derzeit keine Aussage getroffen werden.

Zum Ende des Projektes stehen allerdings keine fertig entwickelten mineralölfreien Druckfarben zur Verfügung, die die Praxisreife erreicht haben. Beide derzeitig verfügbaren Druckfarbensätze müssen noch weiter optimiert und angepasst werden. Da es sich bei den mineralölfreien Zeitungsdruckfarben

um eine komplette Neuentwicklung handelt ist der Zeitraum von ca. 22 Monaten für die Entwicklung als kurz zu bewerten.

Summary

In recent years there has been ever an increasing amount of discussion of the problem of mineral oil components in foodstuffs. According to the findings of Germany's risk assessment institute (Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR) and Germany's Ministry of Food and Agriculture (BMEL) the mineral oil content of many foodstuffs gives rise to health concerns. The contamination of graphic recycled paper with mineral oil components that are a harmful to health therefore plays a role in limiting the use of this waste paper where it might come into contact with foodstuffs ^{ix}. Newspaper inks that can be transferred through the recycling process into recycled paper-based foodstuff packaging are one of the possible sources.

In order to address this problem, two draft amendments of the regulations governing materials that come into contact with foodstuffs are already being discussed. One relates to the so-called ink regulation, which, inter alia, proposes a list of permitted components for the formulation of inks to be used with foodstuff packaging ^x, whilst the other relates to the so-called mineral oil regulation, which is designed to minimize the transfer of mineral oil components to foodstuffs. This also envisages appropriate barrier layers ^{xi}. The mineral oil regulation was submitted by the BMEL to the EU commission to be notified in August 2020. ^{xii}

When one looks at the recycling of paper the following facts become apparent in relation to recycled paper ^{ix}:

- ▶ Recycled graphic papers are increasingly being used in the packaging paper segment.
- ▶ Currently it is neither technically nor economically feasible to completely remove these substances originating from mineral oil from the recycled paper.
- ▶ It is not possible to keep contaminated waste paper completely separated during collection.

At this point, the German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) addressed matters at source through discussions with all those involved in the value-added chain and initial short-term printing trials at Fogra. These have resulted in a new Ecolabel for printed products (UZ 195 ^{xiii}), the Blue Angel ("Blauer Engel"), which requires the use of mineral oil optimized inks. The goal has been to establish inks that only contain such mineral oil components that would not prohibit the use of the recycled paper in direct and indirect contact with foodstuffs on environmental and economic grounds ^{ix}.

Over the last seven years it has been possible to achieve a reduction of the overall quantity of mineral oil entering the European paper recycling system from 77,200 t per annum in 2012 to 39,000 t in 2019 ^{xiv}.

According to the latest figures from the Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. (German Coating and Ink Industry Federation) 860,000 t of ink was produced in 2018 in c. 10,000 different formulations.

At the time when this project started, mineral oil free inks were known to be suitable in principle for the printing of newspapers on the basis of the results of the preceding short-term print trials carried out at Fogra. There were, however, a number of technical limitations ^{xv}.

- ▶ The accepted industry quality standard (ProcessStandard Newspaper Printing, based on ISO 12647-3) was not achievable with the tested inks
- ▶ The ink setting without mineral oils was too slowly
- ▶ Difficulties when changing ink or fountain solution
- ▶ Poor deinking performance

On the basis of this state, a research project should, building on these results, pursue the following objectives:

- ▶ To increase the body of experience in the production and use of mineral oil optimized newspaper inks
- ▶ To develop two ink systems suitable for long-term printing trials on a production press
- ▶ To overcome the existing technical limitations (ink setting speed, problems with ink and fountain solution, true colour rendering of advertisements)
- ▶ To prove deinkability of print products produced with the new inks
- ▶ To confirm the absence of mineral oils using standardized measurement methods

Drawing closely on the Ecolabel UZ 195, the UBA defined criteria for the inks to be developed within the framework of this project. These inks should not contain any critical mineral oil components as constitutional contents. The detailed ink requirements were:

1. The aliphatic hydrocarbons used in the inks should only range from C10 to C20. In addition, the following high molecular weight compounds that are not solvents may be used if they contain more than 35 carbon atoms and the fraction from C20 to C35 does not exceed 5 %: micro-crystalline waxes, vaseline, polyolefin-, paraffin-, or Fischer-Tropsch-waxes.
2. Less than 0.1 % by weight of aromatic hydrocarbons from mineral oil should be used as constitutional components in inks. Furthermore, the maximum value laid down for polycyclic aromatic hydrocarbons in EU Regulation No. 1272/2013 shall apply.
3. The use of raw materials from coconut or palm oil is not permitted.

Contribution to the ink development

The development of new inks as part of the project required intensive monitoring through laboratory measurements in order to avoid any damage to the newspaper press during the subsequent trials in a printing plant. The ink manufacturers involved in the project undertook the development of the new types of newspaper inks.

It is known that inks can cause both swelling and shrinking of elastomer materials. These effects are largely irreversible and therefore lead to a permanent change in the properties of the rubbers in terms of their hardness and thickness. In the worst case, such changes can lead to rollers becoming unusable and having to be changed. This in turn leads to an economic cost and can result in printing failures. Since the ink comes into contact with various elastomers in the form of the rubber coverings of the rollers in the ink and fountain units, it is necessary to ensure that no significant alterations occur in the elastomers. There is a long-established industry method based on DIN 53521 (Testing of rubber and elastomers: determining their behaviour when exposed to liquids, vapours and gases) and on DIN 53505 (Changes in Shore-hardness A) or their following standards DIN ISO 1817 and DIN ISO 7619 for testing the effect of ink on the dimensions, volume and Shore hardness A of elastomers. This involves a model set of various elastomer test bodies (36.6 mm diameter discs with a minimum thickness of 6 mm) being placed in the ink for one week at 50 °C and the effect being characterized by the difference in the values measured before and after exposure.

When this model set was used it was not possible to approve any of the new mineral oil free inks for print trials. First and foremost, the model elastomers for damping rollers exhibited shrinkage that was clearly excessive. In order to be able to carry out the planned trials on a newspaper press, the elastomer compatibility test was performed only on the specific materials used in the press. The compatibil-

ity of the mineral oil free inks with these elastomers was found to lie within the tolerances of the elastomer manufacturer in question. It was therefore possible to conduct a long-term print trial with inks from two ink manufacturers. The final version of the inks from a third ink manufacturer were also suitable in principle for long-term print trials, but these were not actually conducted as part of the project.

However, this approach means that it is not possible to come to any general conclusion about the suitability of the new ink series for use with all newspaper presses. The swelling investigations need to be carried out individually for each press and its various elastomers.

Print trials on a web offset press

Since print trials on newspaper presses make very considerable demands in terms of staffing and the quantities of ink and paper consumed, the initial print trials were performed on a Heidelberg sheet-fed offset press in the Fogra pressroom. These print trials should determine that it is possible to print with the new types of inks and so minimize the risk of having to break off the print trial on the newspaper press. It was not possible to print on the sheet-fed offset press with a damping solution optimized for coldest but it was possible to carry out comparative investigations of the conventional newspaper inks containing mineral oils and the new mineral oil free variants from the relevant manufacturers. In the course of several print trials on the sheet-fed offset press the inks were optimized in terms of tone value increases, the ink/water balance and their drying behaviour, as well as the ink's physical properties (its flow behaviour, for example). This allowed a problem-free runability to be guaranteed and also meant that the resulting printed specimens could be used to start to investigate the deinking behaviour of the new inks on a standard newsprint and to identify any problems at an early stage in the project. All the specimens that were investigated exhibited good deinkability.

Short-term print trials on a newspaper press

In order to arrive at more precise conclusions regarding the printing behaviour of newspaper inks on a sheet-fed offset press, it was necessary to carry out a number of one-day, short-term print trials of the inks from each ink manufacturer on the newspaper press of the Frankfurter Societäts-Druckerei (FSD). The ink manufacturers each supplied c. 50 kg of ink per colour for these trials and the ink ducts were filled by hand with the inks. In the course of the trial day between c. 30,000 and 60,000 copies of the specimen were printed. This quantity proved to be necessary in order that the soiling behaviour of the inks could also be investigated. Two different test forms were used in the short-term print trials for quality control and to determine the mileage of the inks.

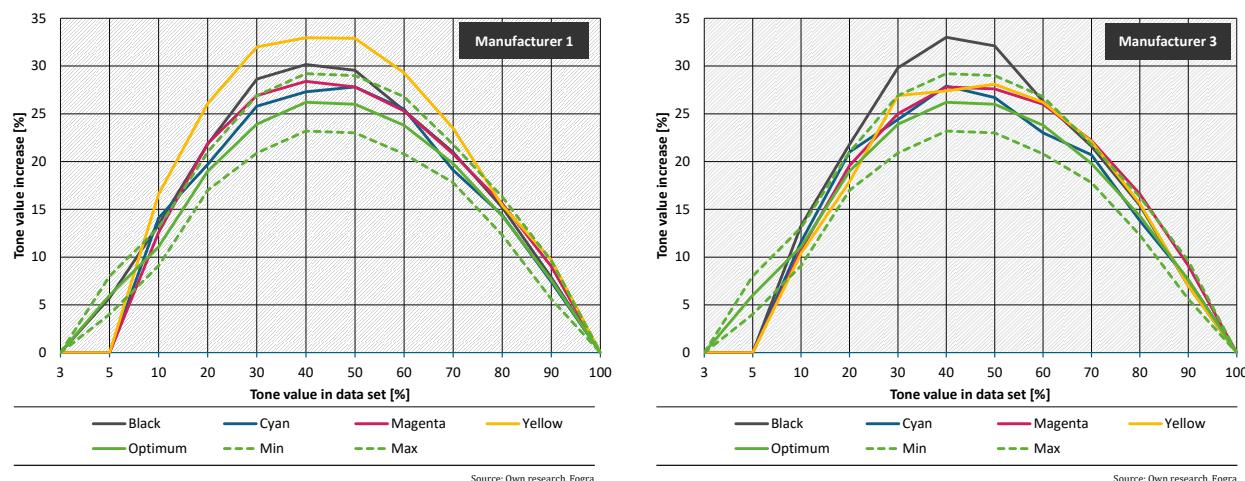
The short-term print trials focused on the following points:

1. Ink/water balance of the mineral oil free inks
2. Ink consumption of the mineral oil free inks
3. Evaluation of the potential soiling
4. Behaviour in the staplers and after winding on the drums in postpress

Differences in fountain solution requirements between conventional inks containing mineral oils and the new ones that didn't became apparent during printing trials on the FSD newspaper press. Irrespective of the printing speed, mineral oil free inks generally required a slightly higher metering of the fountain solution being used. In addition, the compensation curve entered into the press unit controls to alter the quantity of damping solution as press speed changes also had to be adjusted for the mineral oil free inks. The characteristic values required for these adjustments were determined by means of the print trials. Following adjustment of the fountain solution metering and further improvements

to the ink series, the final ink series from both manufacturers showed slightly elevated tone value increases. However, for most of the inks the tone value increases were within the limits for newspaper printing according to the ISO 12647-3.

Figure 1: Tone value increases of the final ink series of manufacturer 1 (left) and manufacturer 3 (right). The dotted red lines indicate the limits of the tone value increases according to ISO 12647-3.



There are several understandable reasons for measuring ink consumption. An ink manufacturer must be able to prove to its customers (printers) that each batch is produced in accordance with the standards. For its part, the ink manufacturer's customer wants to know, and in the event of doubt to be able to check, how much ink it needs in order to be able to guarantee its customers (including advertising customers) that production will comply with the standards. Currently, ink manufacturers and printers use different methods to measure consumption. Along with price for inks, ink consumption is a fundamental factor when it comes to evaluating the economic viability of using mineral oil free inks. Consequently, this was investigated in great detail. There are two different accepted methods for measuring the mileage of mineral oil free inks. In the first, the inks are tested in the ink factory after production, usually on the basis of ISO 2846-2, and the Bertholdt, Zins and Schless method is recommended for measuring the mileage ^{xviii}. In the second, the mileage is evaluated at the FSD plant using its standard method of printing at reduced speed and applying solid ink at a defined colour density (1.1 for the black, 0.9 for the chromatic colours CMY). The quantity of ink transferred to the paper is then calculated by weighing the printed paper and comparing it with unprinted paper.

When the results generated by the two methods are compared it is found that they are so similar that they lie within the margin of error for the measurements and are therefore able to serve as the basis for communication between printers and ink manufacturers. Using them, it is possible for both parties to check the extent to which ink consumption increases. There were technical difficulties in extracting samples when measurements were made using FSD's gravimetric method with printed specimens being printed at production speed (c. 30,000 iph). It is therefore recommended that printed products being evaluated for ink consumption be produced at just 10,000 iph. In general, the measurement of ink consumption found that for the same pigmentation the mineral oil free inks should yield similar values to inks containing mineral oils. However, it is recommended that this should be checked after the end of the project following the further development of the inks.

With regards to the inks' propensity for soiling, ink smearing, that is the undesirable transfer of ink from the substrate to parts of the press, as well as the tendency to produce spray and mist were observed during the short-term print trials. Smearing can be observed particularly clearly on the idler rollers and the formers in the folder. The printed web makes direct contact with the metal idler rollers,

whereas in the formers the printed surface moves over a rounded metal edge shielded by an air cushion. In both cases, the ink is subjected to mechanical stress meaning that it can partially separate from the paper and soil the press. These components were each cleaned at the start of the trial day and then checked for soiling in conjunction with FSD's printers at the end. Depending upon the number of printed copies (generally more than 30,000) slight soiling is to be expected on the aforementioned parts even with conventional inks. In order to check the spray and misting behaviour white paper sheets were placed in the ink units for all the inks. After the print trial it was then possible to judge whether the inks exhibited a tendency to mist (heavy soiling of the sheets) or whether they did not (little or no soiling of the sheets). Checks carried out in conjunction with the printers of both the former and the idler bars as well as the suspended sheets of paper showed that the soiling behaviour of the mineral oil free inks is very low.

Indirect tests of ink drying were carried out on both ink series in the course of the short-term print trials. The tests involved feeding the printed products through the full FSD finishing line and then evaluating them in conjunction with experts from FERAG (the system manufacturer). The results indicate that there are no foreseeable finishing problems with the inks of either manufacturer.

To sum up, at the end of the short-term print trials involving two ink manufacturers, each had one ink set ready for the next stage of the project, which is the long-term printing trials. They exhibited the following properties:

- ▶ The tone values (ink/water balance) correspond to the requirements of ProcessStandard Offset.
- ▶ The mileage of the mineral oil free inks was determined in two different ways and exhibited no significant differences in consumption compared with conventional inks.
- ▶ The propensity for soiling (smearing, misting and spray) of mineral oil free inks was very low for all inks.
- ▶ Investigations of the ink setting behaviour and therefore the problem-free finishing of printed products revealed no problems with the inks in their final formulations.

Long-term print trials on a newspaper press

After the successful completion of the short-term print trials, long-term print trials were carried out with each ink set. The printing plant offered the possibility of supplying one section with the mineral oil free inks. In the case of the chromatic colours (cyan, magenta, yellow) ink was pumped from transport containers (500 kg to 1,000 kg) though a system of pipes directly to the ink ducts. In the case of the black ink, one of the two underground tanks had to be emptied and c. 3,000 kg mineral oil free ink stored in it and then pumped to the ink ducts. It was not possible to fully clean this underground tank, meaning that residues of inks containing mineral oil were present in the mineral oil free inks during the print trials. Three months was chosen as the time frame for the long-term print trials. This time frame was decided on in agreement with the ink manufacturers, since ageing effects in the ink and other phenomena may only manifest themselves after a couple of weeks. The time between an ink's production and its use for printing can vary from a few weeks to several months (>9 months), depending, on the one hand, on the strategy of the ink manufacturer (production on demand or supplied from stock) and, on the other hand, the way in which printing plants operate ("first in, first out", stock holding strategy in the plant). Since the aim is to test both the printing behaviour of fresh ink that is only a few days old and also that of older ink, the time interval of three months printing time for each ink makes sense.

Over the course of the long-term printing trials the roller nips in the press units on which the mineral oil free inks were being used were regularly checked in order to be able to detect any changes that

might arise in the roller materials at an early stage. These measurements confirmed the swelling or shrinking rates for the elastomers in question measured in the laboratory. The long-term print trials were integrated into production, which means that they were producing copies for sale or parts of copies for sale and production was subject to constant critical monitoring by the printing plant in order to maintain the print quality of the newspapers.

The inks had already been optimized on the Frankfurter Societäts-Druckerei press in the course of the short-term print trials but, despite having been optimized in this way, the long-term print trials had to be broken off on several occasions, resulting in the time intervals shown in the table below. It was not possible to achieve continuous use of cyan, magenta and yellow inks of manufacturer 1 for long-term print trials accompanying production for a period of three months until the end of the project. The tests had to be stopped due to changes in the rheological properties after a few weeks. One last attempt had to be completed after five weeks without any other problems due to the termination of the project. This was in contrast to the black ink, where it was possible to print for an unbroken period of more than three months. The primary reason for this was that the ink unit design for the black ink was different and the ink was continuously pumped around, so preventing the problematic rheological effects from materializing. The printing inks from manufacturer 3 could be used over a period of three months. However, over the entire test period the dot gain was borderline or outside the ISO 12647-3 standard, and ink consumption, especially of the chromatic inks, was around 15 % to 30 % higher than that of conventional inks.

Table 1: Time spans for printing with chromatic inks CMY) during the long-term print trials.

Ink manufacturer	Time span	Comments
1	5 weeks	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Printing problems after 2 weeks => readjustment of fountain solution supply ▶ Physical problems => <i>Cancelation</i>
1	2 weeks	Printing and physical problems => <i>Cancelation</i>
1	5 weeks	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Physical problems with yellow ink => 1.5 weeks printing with conventional yellow ink ▶ Printing problems => <i>Cancelation</i>
1	1.5 weeks	Physical problems (Thixotropic effects) => <i>Cancelation</i>
1	1.5 weeks	Plant ran out of inks
1	3 weeks	Physical problems (Thixotropic effects) => <i>Cancelation</i>
1	4 weeks	Physical problems (Thixotropic effects) => <i>Cancelation</i>
1	5 weeks	No <i>Cancelation</i> , termination due to project completion
3	6 weeks	Physical problems (Thixotropic effects) => <i>Cancelation</i>
3	1 week	Physical problems (Thixotropic effects) => <i>Cancelation</i>
3	15 weeks	Dot gain and ink consumption not in accordance with expected quality => No cancelation of the trials

If one looks at the reasons for the various breaks it becomes apparent that at the beginning of the long-term print trials for ink manufacturer 1 there were printing problems (scumming on the paper, streaks on the plate edges as well as halation on the plate) that, along with physical properties (including inks that were too runny or too tacky), lead to the trial being broken off. Further refinement enabled the printing properties of the inks from both manufacturers to be optimized to the extent that towards the end of the project there was no further need to break off the trials on the grounds of poor printing conditions. This marked a clear improvement over the situation at the start of the project,

when the industry's accepted quality standard (Process Standard Newspaper Printing) was not yet achievable and the ink setting of mineral oil free inks was too slow. The printing inks from manufacturer 3, which were used over a period of three months, do not yet comply with the usual industry standards, as both dot gain and ink consumption are somewhat too high, especially for the chromatic inks. However, a further adjustment of the cyan and yellow inks during the three-month printing period revealed significant improvements in dot gain and slight improvements in consumption.

Manufacturer 1 could not finally solve the physical problems in the form of rheological properties that altered over the course of the print trials by the time the project ended. A last attempt had to be finished after five weeks because the project ended. In this period no rheological anomalies could be observed. This repeatedly led to the long-term trials being cancelled after three to five weeks. During of the long-term print trials (especially in the first trials) there was an increase in viscosity as a result of the ageing of the ink within about four to six weeks of production. This resulted in it ceasing to be possible to pump the ink and the pipes had to be flushed. Later a thixotropic effect was observed causing problems at the start of a print job.

The long-term trials at the FSD stretched out over a total period of around 22 months. During this period, it was possible to investigate the behaviour of the inks over a longer time span for the first time. The initial changes in the inks generally only manifested themselves after a couple of weeks. The adjustment of the formulation, resumed production of the inks and delivery to the printing plant usually required around six weeks. This meant that the time span for the development of new types of inks was limited and was relatively short for a completely new development. Ultimately, the two ink manufacturers participating in the project were unable to bring a new generation of mineral-oil-free printing inks to production maturity.

During the period in the print trials when the inks had not yet aged too greatly, it was possible to show that the operators could be sure that printing was practical. As had already been found in the preliminary investigations, the ink mileage was similar to that of conventional inks for manufacturer 1. Only the yellow ink caused a higher consumption of about 15 %. The ink consumption of the inks (CMY) of manufacturer 3 was about 15 % to 30 % higher compared to conventional inks. Only the mineral oil free black ink caused a consumption corresponding to the requirements of the plant. Wastage and fountain solution consumption were also not significantly different from that of conventional inks.

The ink series in question are not yet fully developed and require further cycles of optimization. Above all, the ageing of the inks and the associated changes in the rheological properties require further investigations especially for inks of manufacturer 1.

Since, during the print trials, both the fountain solution and the washing agents used in the printing plant continued to be used and no changes were made to these solutions during the period of the trial, it is not possible to say what the printing behaviour of the inks might be with other damping solutions. The damping solution that was used was a standard commercial product for coldest that was not optimized in any way for mineral oil free newspaper inks.

The print trials were able to provide evidence in principle for the use of mineral oil-free inks in newspaper printing. It is not currently possible to reach any conclusion about runability on other newspaper presses.

Deinking tests on specimens printed with mineral oil-free newspaper inks

Besides their practical suitability in terms of runability, this project also focused on two other aspects of the inks: the deinkability of printed products produced with mineral oil free ink as well as the behaviour of the ink when determining the mineral oil content of the finished printed product. The printed specimens required for these investigations were taken from both the short-term and the long-term trials.

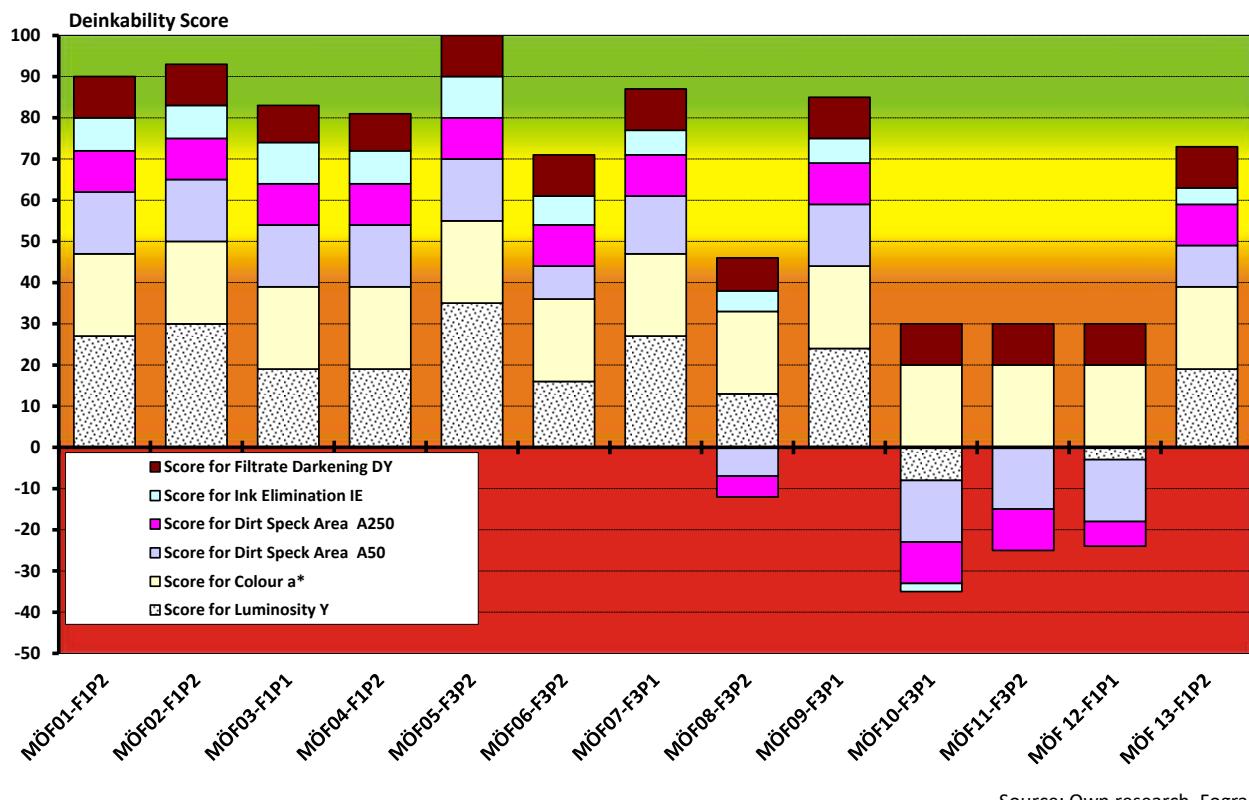
The deinkability of printed products produced using mineral oil free inks was determined in laboratory tests using INGEDE Method 11. This is a recognized laboratory method and simulates two core processes in the treatment of old paper: ink separation during fibre dispersal and ink elimination during flotation. After flotation, various test sheets are produced from the resulting deinked pulp and the following parameters are determined in accordance with INGEDE guidelines:

- ▶ Determination of the luminosity Y and the colour value a^* on the filter pads of the deinked pulp in accordance with INGEDE Method 2 and DIN 6174.
- ▶ The ink particles not eliminated from the deinked pulp by flotation are quantified by measuring the dirt particle area A on the laboratory sheets.
- ▶ Determination of the ink elimination in accordance with INGEDE Methods 1 and 2 on the filter pads for the undeinked and the deinked pulp.
- ▶ The darkening of the filtrate that results from the retention of the deinked pulp by the filter pads is determined by means of Sartorius cellulose nitrate filters (pore size: 0.45 μm). The drop ΔY in the luminosity Y of the cellulose filter provides a measure of the filtrate darkening.

The so-called "Deinkability Score" is the aggregate of these six parameters: luminosity Y, colour coordinate a^* , dirt particle area A_{50} / A_{250} , ink elimination IE and filtrate darkening ΔY . The Deinkability Score is usually represented as a bar chart that integrates all six results and where the height of the bar is determined by the scores recorded for the six individual values (Y, a^* , A_{50} , A_{250} , IE and ΔY). Using this score, it is possible to grade the deinkability of printed products in four categories: "Good deinkable", "Satisfyingly deinkable", "Sufficiently deinkable" and "Deinking not applicable".

The deinking behaviour of various printed products was tested during the project. In general, most of the investigated products exhibited good or satisfactory deinkability. Four out of the 13 print products produced with mineral oil free inks were rated not suitable for deinking. The reason for this was the fact that the dirt particle areas A_{50} and A_{250} didn't meet the limits.

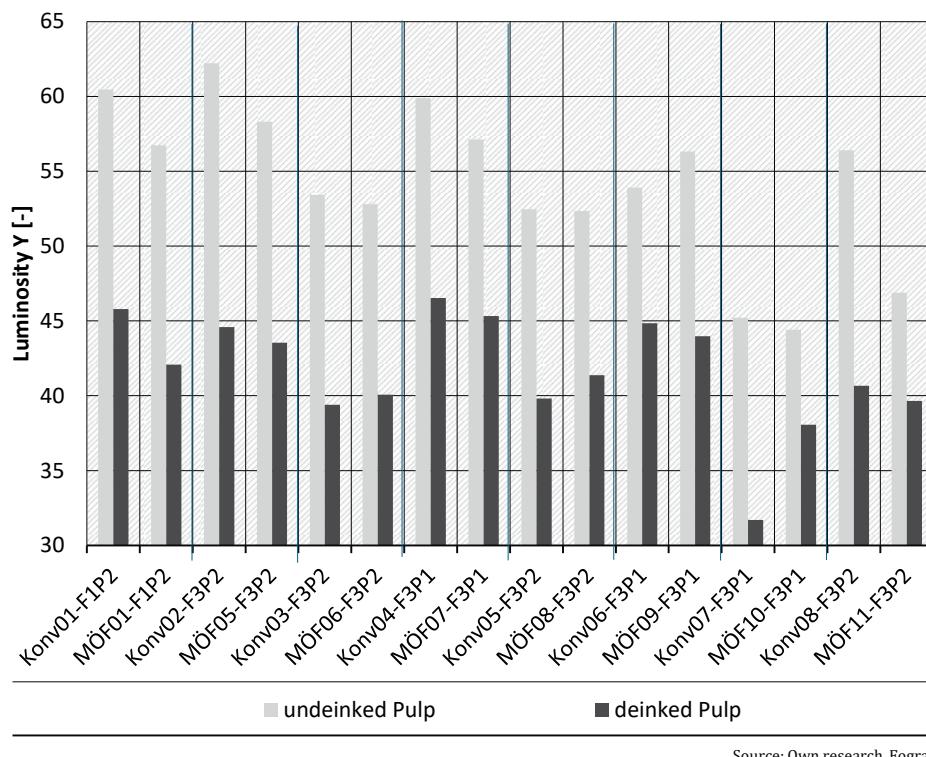
Figure 2: Deinking results for the tested printed products with mineral oil free inks displayed as Deinkability Scores. (MÖF: mineral oil free ink, F: Ink manufacturer, P: paper grade).



Source: Own research, Fogra

However, it should be borne in mind that INGEDE Method 11 is a method that only deals with individual products. It was developed in order to be able to identify very poorly deinkable printed products. The method cannot simulate the entire recycling process and industry practice, since here a mixture of old papers is always recycled. Given this, then, if one considers the individual results, the luminosity Y requires more detailed interpretation. A luminosity of 30 roughly corresponds to brown board, whilst a value of 65 is typical of newsprint^{xix}. In order to achieve a luminosity of 65 it is already necessary to include magazines (high luminosity) in the old paper mix. According to INGEDE, the average luminosity score for newspapers measured using INGEDE Method 11 is 54^{xx}. If one looks at the brightness of the eight comparison products (the same print products with the same paper but conventional or mineral oil free ink from the same manufacturer) from the project, the luminosity values Y of the conventional print products are higher than those with mineral oil free inks in four comparable pairings. In two pairs the respective printed products differ only slightly and in two cases the printed products with mineral oil free inks showed higher brightness values (Figure 3). If one accepts that in general the new types of inks result in a slight drop in luminosity of the deinked pulp, then this could have clear consequences for recycling. This lower luminosity would definitely have a negative impact on deinking if all newspapers were to be produced in future with mineral oil free inks. In the event that newspapers printed with mineral oil free inks only account for a small proportion of the overall volume then the consequences for the recycling of waste paper should not be significant.

Figure 3: Luminosity of comparable print samples, produced on the same paper with conventional and mineral oil free inks of the same ink manufacturer (MÖF: mineral oil free ink, Konv: conventional ink, F: Ink manufacturer, P: paper grade).



Source: Own research, Fogra

As well as evaluating the printed products according to the deinkability score, the investigations also included determining the fibre yield, i.e. the quantity of fibres still available after the deinking laboratory method.

Here it was found that in the majority of cases (five out of eight) the fibre yield was lower if the printed products were produced with mineral-oil-free inks. However, it should be noted that the fibre yield in the industrial environment is higher than in the laboratory process, since industrial-scale rejects from the first and second flotation stages are recovered from the skimmed volume flow by being returned to a secondary flotation stage. Nevertheless, it is likely that switching from conventional to mineral-oil-free newspaper inks will reduce the fibre yield and thus impact on the waste paper streams.

Table 2: Comparison of the fibre yield after the deinking process according to INGEDE 11 method of print products produced with mineral oil free inks and conventional inks. Samples marked with * have been classified not suitable for deinking.

Sample pairing	Ink manufacturer	Paper	Fibre yield [%] conventional	Fibre yield [%] Mineral oil free
Pairing 1	Manufacturer 1	100 % DIP	85,6	78,2
Pairing 2	Manufacturer 3	100 % DIP	84,8	78,7
Pairing 3	Manufacturer 3	100 % DIP	71,9	69,4
Pairing 4	Manufacturer 3	50 % DIP	85,8	80,4
Pairing 5	Manufacturer 3	100 % DIP	69,5	82,5*
Pairing 6	Manufacturer 3	50 % DIP	73,0	77,5
Pairing 7	Manufacturer 3	50 % DIP	65,2*	65,5*
Pairing 8	Manufacturer 3	100 % DIP	80,8	66,6*

A total of 13 print products produced with mineral oil free inks were tested for their deinking behaviour according to the INGEDE 11 method. According to the laboratory method, nine samples could be classified as good deinkable and four samples as not suitable for deinking.

The current mineral oil free formulations of manufacturer 1 were not deinkable on paper with 50 % DIP, while for manufacturer 3 the samples were not deinkable on both paper grades in the end.

According to the current data situation it must be assumed that there is no extensive deinkability of printed products produced with mineral oil free Coldset inks. Further investigations on this subject are still required.

Adherence to the specifications for the absence of mineral oil from the inks

Besides the deinkability of the printed products and their general runability, the project also focused on the extent to which mineral oils were absent from the inks. This involved determining the mineral oil content in accordance with the method proposed by the BfR². In this method an extract is made from the printed product or the ink and initially separated into two fractions: MOSH (mineral oil aliphatic hydrocarbons) and MOAH (mineral oil aromatic hydrocarbons). In a second stage the analytes of the two fractions are quantified. This method was also published in 2017 as a German standard DIN EN 16995:2017-08 ("Foodstuffs – plant oils and plant oil-based foodstuffs – determination of mineral oil saturated hydrocarbon (MOSH) and mineral oil aromatic hydrocarbons (MOAH) with online HPLC-GC-FID; German edition EN 16995:2017"). The mineral oil contents were therefore determined in accordance with the currently usual method.

In the case of the samples taken from the FSD newspaper press during the short term print trials and in the beginning of the long term print trials it was not possible to find any significant differences in the measured MOSH and MOAH contents between the inks containing mineral oils and the mineral oil free ones, although, according to the ink manufacturers, no mineral oils were present as constitutional components of the inks. Discussions with all the ink manufacturers taking part confirmed that the systems that had been used to produce the mineral oil free inks had been superficially cleaned but that contamination by the previously produced inks containing mineral oils had certainly taken place. Since the mineral oil free inks were produced in small quantities that did not exceed 3 tonnes, significant contamination in the manufacturing process needs to be considered. The following processes and conditions were potential sources of contamination:

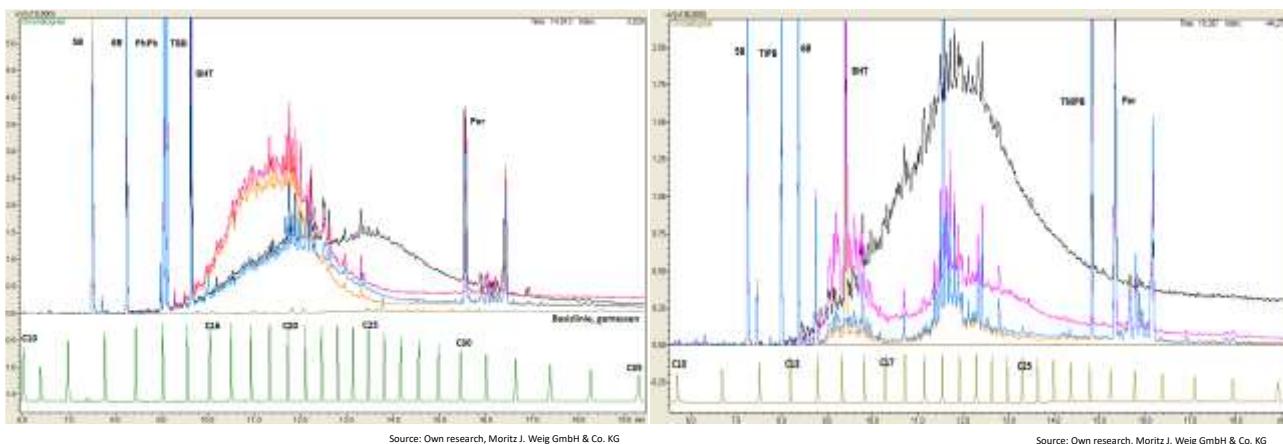
- ▶ Ink production by the ink manufacturers (production took place using systems used for conventional newspaper inks)
- ▶ Transport tanks / tankers
- ▶ Piping from the separate tanks to the press unit at the printing plant (the case for CMY)
- ▶ Residues of conventional ink in the underground tank (in the case of black)

In order to at least exclude further contamination after ink production, the fresh unprinted ink was analysed directly from the manufacturers and compared with the corresponding ink set containing mineral oils. In the case of both manufacturers, the values for MOSH and MOAH were clearly lower but only one set of chromatic inks met the maximum permitted concentration for the project (MOAH < 0.1 %), although the ink manufacturers stated that the formulations for the two ink sets did

² <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi-hsc7j9rlAhXFb1AKHTr-BrQQFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fmobil.bfr.bund.de%2Fcm%2F343%2Fbestimmung-von-kohlenwasserstoffen-aus-mineraloel-oder-kunststoffen.pdf&usg=A0vVaw14es3gBFFXHa43Q07uMDak>

not include any mineral oil containing components. The chromatograms of the mineral oil free inks (MOAH fractions) are reproduced in the figure below.

Figure 4: Chromatograms of the MOAH fractions of the unprinted, mineral oil free inks from manufacturer 1 (left) and manufacturer 3 (right). The peaks of the permitted internal standards are labelled.



From many years of experience, the project's leader is well aware that in this case MOAH components did not account for all of this analytical fraction. It contained other substances: in the C17 to c. C26 segment resin components were detected, and in the c. C26 to C30 segment there were predominantly components originating from plants. According to the BfR regulation, known signals that do not originate from mineral oil are required for the correct quantification of the MOSH and MOAH and these need to be excluded. The table below summarizes the MOAH contents for the chromatic inks from manufacturer 3 following the corrections to the measurements. Such a correction was not possible for either the black ink from manufacturer 3 or the entire ink set of manufacturer 1, since the signals of the "genuine" mineral oil dominate the reference signals and do not permit a correction.

Table 3: Corrected MOAH contents [%] of fresh unprinted inks (MOF) of manufacturer 3.

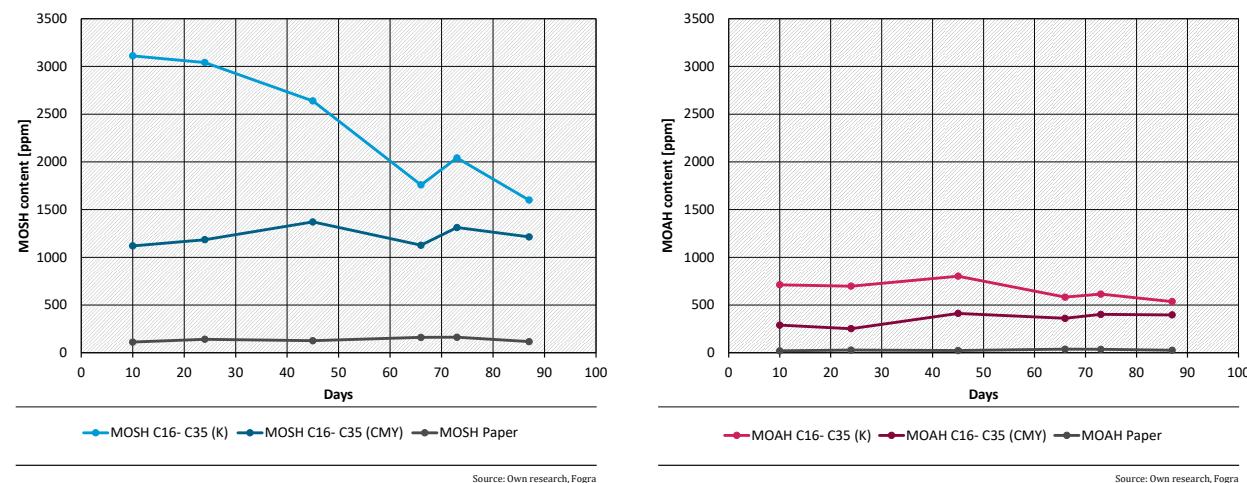
Ink type	MOAH [%] C16 – C35	MOAH [%] C13 – C17
Manufacturer 3 – Cyan MOF	0.6	0.09
Manufacturer 3 – Magenta MOF	1.5	0.35
Manufacturer 3 – Yellow MOF	0.6	0.06

What this does show is that despite contamination during the manufacturing process it is possible to produce inks that in quantitative terms adhere to the specified limits. However, this is very much dependent upon the manufacturing process and is not possible in all cases, as the different method used to produce the black ink of manufacturer 3 shows.

During the 15-week interval in which only the mineral oil free inks from manufacturer 3 were used in the press, periodic measurements of the mineral oil content were carried out on different areas of a printed product: Areas that were printed in equal parts with all four printing inks and areas that were printed in one colour. The mineral oil contents of the chromatic inks were comparable in all measurements, so that for a clearer presentation the average value was calculated for the three chromatic inks. The temporal behaviour of the black ink differed greatly from that of the chromatic inks: here, a clear decrease in the mineral oil content was observed. With this test series the postulated contamination in the printing press and could be proven. The mineral oil content of the printed products decreased over

the test period, as shown in Figure 5. Due to the significant decrease in black, the bottom tank, the main difference in black, could be identified as the primary source of contamination.

Figure 5: Mineral oil content of printed products as a development over a time period of 86 days. Shown here are the total MOSH and MOAH fractions of black ink and the mean value of the chromatic inks in printed products and the contents of the reference values of unprinted paper (grey).



Summary:

The project enabled far-reaching findings to be obtained in relation to mineral oil free inks on the part of the ink manufacturers. As regards elastomer testing, the newly developed inks have only received approval for use with the Frankfurter Societäts-Druckerei press. It is therefore recommended that the present project should be followed up by developing an updated reference series for testing the general compatibility of elastomers and inks and establishing this commercially.

During the long-term trials it was possible to use inks from two manufacturers in actual production. Continuous use of the chromatic inks over a period of three months was possible with the inks of one manufacturer. For the second ink manufacturer, the main problem was the rheological change in inks caused by ageing. This led to cancelations of the long-term print trials every time. The black inks from both manufacturers lasted for longer than the required three months, which might be due, amongst other things, to the slightly different ink unit design (the ink is pumped constantly and kept moving). On the other hand, over the course of the project, it was possible to almost completely overcome the printing problems with mineral oil free newspaper inks (scumming, absorption too slow, rendering of colours insufficiently accurate in full colour advertisements) that were present at its start.

Most of the print products tested over the course of the project for deinkability using INGEDE 11 method exhibited satisfactory to good deinkability. Four out of 13 samples printed with mineral oil free inks were rated not suitable for deinking. Furthermore, the fibre yield after the deinking process from products with mineral oil free inks was lower than for products with conventional inks in five out of eight pairings. The luminosity Y was rated as good when considered as one of the tested parameters that contributes to the Deinkability Score. However, bearing in mind that the value for the printed products lay in the range from c. 53 to 58 whereas on an industrial scale the luminosity after deinking should be 65, problems are to be anticipated in achieving the necessary luminosity if there is a switch to mineral oil free newspaper inks. The results from the project indicate that the detrimental impact on paper recycling of the deinkability of products printed with mineral oil free newspaper inks will depend upon the overall volume of these products in relation to the total quantity of old paper. A complete switch to these new types of newspaper inks could lead, on the one hand, to problems with the luminosity of the deinked pulp and, on the other hand, would result in significantly more fibre being

removed from circulation, since the yields - at least in laboratory trials - were lower than for newspapers printed with conventional inks. On an industrial scale, this effect is significantly reduced by repeating the flotation stage.

Overall, it was possible to achieve a reduced contamination of printed products with critical mineral oil components through the use of new types of ink. The MOAH content of newspapers printed with mineral oil free inks fell to about 50% of the content of comparable products printed with conventional inks. Despite the statement by the manufacturers that the formulations of the new types of newspaper inks contain no mineral oil components, considerable quantities of mineral oil (MOSH and MOAH) could be found in all the inks and printed products tested using the BfR method. Only some of the chromatic inks from one manufacturer had MOAH contents that were less than the required 0.1%. Based on the detailed evaluation of the gas chromatograms it does not appear that these measurements are false positives. The primary cause of the mineral oil contents is the contamination of mineral oil free inks with conventional inks during the manufacturing process, since the new types of inks were produced on the same systems as the conventional inks. Despite superficial cleaning, the new inks, which are currently only produced in small batches, were contaminated to a significant degree. Additionally, the contamination caused by the press (pipes, pumps, elastomers, underground tank) could be observed over a period of three months. Due to the formulations of the new inks, one may anticipate a reduction in the input of mineral oil into recycled paper once mineral oil free inks are launched commercially. However, no figure can currently be put on the absolute figure by which this input could be reduced.

However, at the end of the project there are no fully developed mineral oil free inks ready for industrial use. Both the currently available ink sets need to be further optimized and adjusted. The time frame of around 22 months is a short one for the completely new development that mineral oil free newspaper inks represent.

1 Hintergrund des Projekts

In den letzten Jahren wurde immer häufiger über die Problematik von Mineralölbestandteilen in Lebensmitteln diskutiert. Nach Erkenntnissen des BfR und des BMEL ist der Mineralölgehalt in machen Lebensmitteln gesundheitlich bedenklich. Dabei spielt die Belastung von graphischen Altpapieren mit gesundheitlich bedenklichen Mineralölbestandteilen eine Rolle, da sie den Einsatz dieses Altpapiers im Lebensmittelkontaktbereich einschränkt ^{ix}. Als Eintragsquelle konnten unter anderem Zeitungsdruckfarben identifiziert werden, die über den Recyclingprozess in altpapierbasierte Lebensmittelverpackungen übertragen werden.

Um dieser Problematik zu begegnen werden bereits zwei Entwürfe für die Änderungen der Bedarfsgegenständeverordnung zum Schutz des Lebensmittels diskutiert. Zum einen handelt es sich um die sog. Druckfarbenverordnung, die unter anderem eine Positivliste von zugelassenen Bestandteilen zur Formulierung der Druckfarben für Lebensmittelverpackungen beinhaltet. ^x Zum anderen handelt es sich um die sog. Mineralölverordnung, die den Übergang von Mineralölkomponenten auf Lebensmittel minimieren soll. Dazu sind auch geeignete Barriereschichten vorgesehen. ^{xi} Die Mineralölverordnung wurde im August 2020 durch das BMEL bereits an die EU-Kommission zur Notifizierung eingereicht ^{xii}.

Betrachtet man den Altpapierkreislauf können bezüglich des Altpapiers folgende Feststellungen getroffen werden ^{ix}:

- ▶ Graphische Altpapiere werden zunehmend auch im Verpackungspapierbereich verwertet.
- ▶ Bisher fehlen technische bzw. ökonomisch darstellbare Möglichkeiten diese Stoffe aus dem Altpapier vollständig zu entfernen.
- ▶ Es existiert keine Möglichkeit, belastete Altpapiere zu 100 % getrennt zu erfassen.

An dieser Stelle verfolgt das UBA den Ansatz an der Quelle, der bisher über Fachgespräche mit allen beteiligten Akteuren der Wertschöpfungskette und erste Kurzzeitdruckversuche in der Fogra in einem neuen Umweltzeichen für Druckerzeugnisse UZ 195 ^{xiii} mündete, dem Blauen Engel, mit dem der Einsatz mineralöloptimierter Farben gefordert wird. Das Ziel ist es hierbei, Druckfarben zu etablieren, die nur solche Mineralölbestandteile enthalten, welche die aus ökologischen und ökonomischen Gründen sinnvolle Verwertung des Altpapiers auch im direkten und indirekten Kontakt mit Lebensmitteln nicht behindern.

Über die letzten sieben Jahre konnte ein Rückgang der Gesamtmenge von eingebrachten Mineralöl in den europäischen Altpapierkreislauf von 77.200 t pro Jahr im Jahr 2012 auf 39.000 t verzeichnet werden ^{xiv}.

Nach aktuellen Zahlen des Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. für das Jahr 2018 erfolgte die Produktion von 860.000 t Druckfarben in ca. 10.000 verschiedenen Formulierungen. Tabelle 1 fasst die Mengen bezogen auf die einzelnen Druckverfahren zusammen.

Tabelle 1: Eintrag von Mineralöl in den Altpapierkreislauf^{xxi}; * 10 % Restmenge nach Hitze-Trocknung, ** Marktanteil mineralölfreier Druckfarben 90 %.

Druckverfahren	Druckobjekte	Druckfarbe	Absatz Europa Gesamt 2018 [t]	Mineralölgehalt => ins Altpapier [t]
Flexo-/Tiefdruck	Verpackungen Papier/Karton	Wasserbasiert	150.000	-
Flexo-/Tiefdruck	Verpackungen Folien	Lösemittelbasiert	275.000	-
Illustrations- tiefdruck	Zeitschriften, Kataloge	Toluolbasiert	65.000	-
Rollenoffset - Coldset	Zeitungen	Mineralölbasiert	80.000	35-50 % (40 %) 32.000
Rollenoffset – Heatset	Zeitschriften, Werbung	Mineralölbasiert	190.000	30-40 % (35 %)* 6.700
Bogenoffset	Beliebige Druck- sachen, Kartonagen	Ölbasiert, Pflanzen-/Mineralöl	60.000	0-25 % (20 %)** 1.200
Diverse	Diverse Folien	UV-härtend	40.000	-

Die erwähnten Kurzzeitdruckversuche in der Fogra wurden 2012 durchgeführt. Im Rahmen dieser Druckversuche wurden Druckfarben, basierend auf vegetabilen Ölen und Estern, auf die Verträglichkeit gegenüber Polymerwerkstoffen in Druckmaschinen, die Verdruckbarkeit und ihrem Recyclingverhalten hin untersucht. Dabei kam man zu dem Schluss, dass mineralölfreie Druckfarben prinzipiell zum Drucken von Zeitungen geeignet sind. Jedoch gab es ein paar technische Einschränkungen^{xv}:

- ▶ Branchenüblicher Qualitätsstandard (Prozessstandards Zeitungsdruck, basierend auf ISO 12647-3) mit den getesteten Druckfarben nicht erreichbar
- ▶ Zu geringe Wegschlaggeschwindigkeit der Druckfarben ohne Mineralöle
- ▶ Schwierigkeiten beim Wechsel von Druckfarbe und Feuchtmittel
- ▶ Schlechtere Deinkingergebnisse

Ausgehend von diesem Sachstand sollten im Rahmen eines Forschungsprojekts, aufbauend auf diesen Ergebnissen, folgende Ziele verfolgt werden:

- ▶ Erhöhung des Erfahrungsschatzes in der Herstellung und im Einsatz von mineralöloptimierten Zeitungsdruckfarben
- ▶ Entwicklung von zwei Farbsystemen, die für Langzeitdruckversuche auf einer Praxismaschine geeignet sind
- ▶ Überwinden der bisher noch bestehenden technischen Einschränkungen (Wegschlaggeschwindigkeit, Probleme beim Wechsel von Farb- und Feuchtmitteln, farbrichtige Wiedergabe von Annoncen, Deinkbarkeit)
- ▶ Nachweis der Deinkbarkeit
- ▶ Überprüfung der Mineralölfreiheit mit standardisierter Messmethode

Das UBA definierte in enger Anlehnung an die Vorgaben des Umweltzeichens UZ 195 Kriterien an die im Rahmen des Projektes zu entwickelnden Druckfarben, die keine kritischen Mineralölbestandteile als konstitutionelle Inhaltsstoffe enthalten. Die detaillierten Anforderungen an die Druckfarben sind im folgenden Kapitel aufgeführt.

2 Ziel des Projektes

Ausgehend von der beschriebenen Situation sollten im vorliegenden Forschungsprojekt, aufbauend auf diesen Ergebnissen, folgende Ziele verfolgt werden:

- ▶ Erhöhung des Erfahrungsschatzes in der Herstellung und im Einsatz von mineralöloptimierten Zeitungsdruckfarben
- ▶ Entwicklung von zwei Farbsystemen, die für Langzeitdruckversuche auf einer Praxismaschine geeignet sind
- ▶ Überwinden der bisher noch bestehenden technischen Einschränkungen (Wegschlaggeschwindigkeit, Probleme beim Wechsel von Farb- und Feuchtmitteln, farbrichtige Wiedergabe von Annoncen, Deinkbarkeit)
- ▶ Nachweis der Deinkingbarkeit von Druckprodukten, die mit neuen Druckfarben gefertigt wurden
- ▶ Überprüfung der Mineralölfreiheit mit standardisierter Messmethode

Im Rahmen des Projektes sollten die Druckfarbenhersteller Zeitungsdruckfarben entwickeln, die keine kritischen Mineralölbestandteile als konstitutionelle Inhaltsstoffe enthalten.

Folgende Kriterien sollten dabei eingehalten werden:

- ▶ Von den aliphatischen Kohlenwasserstoffen dürfen in den Druckfarben nur Stoffe der Kettenlänge C10 bis C20 eingesetzt werden, zusätzlich dürfen die folgenden hochmolekularen Verbindungen ohne Löseeigenschaften eingesetzt werden, wenn sie eine Kohlenstoffzahl von mehr als 35 aufweisen und der Anteil C20 bis C35 max. 5% beträgt: mikrokristalline Wachse, Vaseline, Polyolefin-, Paraffin-, oder Fischer-Tropsch-Wachse.
- ▶ In den Druckfarben sollen als konstitutionelle Bestandteile weniger als 0,1 Gew.% aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl eingesetzt werden. Darüber hinaus gilt für die durch die EU-Verordnung Nr. 1272/2013 geregelten PAK der dort festgelegte Grenzwert.
- ▶ Der Einsatz von Rohstoffen aus Kokos- bzw. Palmkernöl ist nicht zulässig.

Weiterhin erfolgten 2016 Anpassungen an die Vorgehensweise, um die Projektziele erfolgreich erreichen zu können. Der Auftrag dazu ist am 16.08.2017 erteilt worden. Die Konformität der finalen Druckfarbenserien bezüglich dieser Anforderungen liegt der Fogra von beiden Druckfarbenherstellern vor.

3 Durchführung

Da es sich im Rahmen des Projektes um die Neuentwicklung von Druckfarben handelt war es notwendig diese Entwicklung intensiv durch Labormesstechnik zu begleiten, um später bei den Versuchen in einer Druckerei eventuelle Schäden in der Zeitungsdruckmaschine zu vermeiden. Die Entwicklung der neuartigen Zeitungsdruckfarben unterlag den am Projekt beteiligten Druckfarbenherstellern.

Es ist bekannt, dass Druckfarbe bei Elastomer-Werkstoffen sowohl Quellung als auch Schrumpfung hervorrufen kann. Diese Effekte sind zumeist irreversibel und verändern damit auf Dauer die Eigenschaften der Gummis vor allem in Bezug auf deren Härte und Dicke. Solche Veränderungen können im schlimmsten Fall dazu führen, dass Walzen nicht mehr funktional sind und ausgetauscht werden müssen, was einen wirtschaftlichen Schaden bedeutet und zu Druckausfällen führen kann. Da die Druckfarbe im Farb- und Feuchtwerk in Kontakt mit unterschiedlichen Elastomeren in Form von Gummibälgen auf den Farb- und Feuchtwalzen kommt, ist es notwendig sicherzustellen, dass keine signifikanten Veränderungen im Elastomerwerkstoff auftreten. Dazu ist in der Branche seit langem ein Verfah-

ren etabliert, dass in Anlehnung an die DIN 53521 (Prüfung von Kautschuk und Elastomeren: Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase) und nach DIN 53505 (Änderung der Shore-Härte A) bzw. deren nachfolgenden Normen DIN ISO 1817 und DIN ISO 7619 den Einfluss der Druckfarbe auf Masse, Volumen und die Shore-Härte A der Elastomere prüft. Dabei kommt ein Modellsatz an verschiedenen Elastomeren zum Einsatz, die Wasch-, Farb- und Feuchtauftragswalzen repräsentieren. Prüfkörper (Scheiben von 36,6 mm Durchmesser und einer Mindestdicke von 6 mm) dieser Werkstoffe werden bei 50°C für eine Woche in Druckfarbe gelagert und durch Differenzbildung der Messwerte (vor und nach dem Einlegen) der Einfluss bestimmt. Diese Messungen erfolgen in der Fogra und bei den Gummiherstellern.

Es zeigte sich im Rahmen dieser Untersuchungen, dass die neuartigen mineralölfreien Druckfarben gegenüber manchen Werkstoffen aus dem Modellsystem ein starkes Schrumpfverhalten aufwiesen. Um den Fortgang des Projektes nicht zu gefährden erfolgten für die Freigabe der Druckfarben nur Kompatibilitätsprüfungen gegen die Werkstoffe, die tatsächlich in der für die Druckversuche ausgewählten Druckmaschine eingesetzt werden. Damit war es möglich, von zwei Herstellern Druckfarben für den Einsatz an der Zeitungldruckmaschine zu qualifizieren.

Der Aufwand für Druckversuche an Zeitungldruckmaschinen ist sowohl bezüglich des Personalaufwandes als auch hinsichtlich der notwendigen Mengen an Papier und Druckfarbe sehr hoch verglichen zu Druckversuchen an einer Bogenoffset-Druckmaschine. Da es sich bei der Zeitungldruckmaschine, auf der die Druckversuche erfolgen sollten, um eine in den Produktionsprozess eingebundene Praxisdruckmaschine handelt, mussten für die Koordination produktionsbedingte zeitliche Freiräume genutzt werden. Um sicherzustellen, dass diese aufwendigeren Druckversuche nicht durch unvorhergesehene Ereignisse vorzeitig abgebrochen werden mussten erfolgten erste Druckversuche an der Heidelberger Bogenoffset-Druckmaschine in der Fogra. Zwar war es nicht möglich, mit einem Feuchtmittel für den Coldset anzudrucken aber es wurden vergleichende Untersuchungen zwischen den konventionellen mineralölhaltigen Zeitungldruckfarben und den neuen mineralölfreien Varianten der jeweiligen Hersteller durchgeführt. So konnten im Rahmen mehrerer Druckversuche an der Bogenoffset-Druckmaschine Farboptimierungen bezüglich Tonwertzunahmen aber auch des Farb-/Wassergleichgewichts und dem Trocknungsverhalten sowie der physikalischen Eigenschaften der Druckfarbe (z.B. Fließverhalten) erfolgen und eine problemlose Verdruckbarkeit sichergestellt werden. Weiterhin nutzte man die hergestellten Druckmuster bereits dazu, das Deinking-Verhalten der neuen Druckfarben auf einem Standard-Zeitungspapier zu untersuchen, um schon in einem frühen Stadium des Projektes eventuelle Probleme zu erkennen. Alle so untersuchten Muster zeigten gute Deinkbarkeit.

Um noch genauere Aussagen über das drucktechnische Verhalten der Druckfarben in einer Zeitungldruckmaschine zu erhalten erfolgten in einem nächsten Schritt mehrere eintägige Kurzzeitdruckversuche je Druckfarbenhersteller an der Zeitungldruckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei (FSD). Dafür lieferten die Druckfarbenhersteller je ca. 50 kg Druckfarbe pro Farbton, die manuell in die Farbkästen gespachtelt wurden. Es erfolgte die Produktion von ca. 30.000 bis 60.000 Exemplaren der Druckmuster. Diese Menge erwies sich als notwendig, um auch das Verschmutzungsverhalten der Druckfarben beurteilen zu können. Bei den Kurzzeitdruckversuchen kamen zwei unterschiedlichen Testformen zur Qualitätskontrolle und zur Ermittlung der Ergiebigkeit der Druckfarben zum Einsatz.

Die Kurzzeitdruckversuche hatten folgende Schwerpunkte:

1. Farb-/Wassergleichgewicht der mineralölfreien Druckfarben,
2. Farbverbrauch der mineralölfreien Druckfarben,
3. Bewertung des Verschmutzungspotenzials,
4. Verhalten in den Klammern und nach Wicklung auf Trommeln in der Weiterverarbeitung.

Die ersten Versuche dienten zum einen dazu, die generelle Verdruckbarkeit der neuartigen mineralöl-freien Zeitungsdruckfarben v.a. in Bezug auf das Farb-/Wassergleichgewicht und die Tonwertzunahmen zu beurteilen und zum anderen dazu, die Farbrezepturen durch die Druckfarbenhersteller weiter zu optimieren. Im Rahmen dieser Druckversuche erfolgten auch Bestimmungen der Farbergiebigkeit im Vergleich zu den konventionellen Druckfarben. Dabei kamen zwei verschiedene Methoden zum Einsatz: die bei den Druckfarbenherstellern gängige Methode, bei der Laborandrucke hergestellt und ausgewertet werden, und die in der FSD etablierten Methode, bei der Vollflächen mit bestimmter Dichte angedruckt und anschließend ausgewogen werden. Im Rahmen dieses Projektes wurden beide Methoden angewendet und miteinander korreliert. Da davon auszugehen, das mineralölfreie Druckfarben nicht zu den gleichen Preisen angeboten werden können wie die konventionellen mineralölhältigen Druckfarben ist die Veränderung des Farbverbrauchs zwischen mineralölhältigen und mineralöl-freien Druckfarben eine wichtige Fragestellung im Rahmen dieses Projektes. Bei späteren Kurzzeitver suchen wurde zusätzlich die komplette Weiterverarbeitung mit einbezogen, um sicherzustellen, dass bei den Langzeitversuchen keine Probleme auftreten. Vor allem das Verhalten der Druckprodukte in den Klammern der Ketten sowie beim Auf- und Abwickeln von Wickelrollen (Lagerung von Vorproduktionen) wurde zusammen mit den Druckern und einem Vertreter der Firma Ferag AG (Anlagenbauer für Weiterverarbeitung) begutachtet. Neben dem drucktechnischen Verhalten von Druckfarben ist das Potenzial, dass die Druckfarben zur Verschmutzung der Druckmaschine führen eine wichtige Druckfarbeneigenschaft. Dabei sind vor allem das Spritz- und Nebelverhalten sowie das Abschmieren der Druckfarbe wichtige Indikatoren. Daher stellte während aller Kurzzeitdruckversuche auch die Beurteilung des Verschmutzungspotenzials der Druckfarben einen wichtigen Parameter dar. Vor jedem Druckversuch erfolgte die Reinigung der Falztrichter, über die die Druckprodukte liefen. Ferner wurden an den Farbkästen weiße Papierbogen positioniert, um das Nebelverhalten der Druckfarbe zu visualisieren.

Nach erfolgreich durchlaufenen Kurzzeitversuchen sollten mit jedem Druckfarbensatz Langzeitdruckversuche durchgeführt werden. Dazu bestand in der Druckerei die Möglichkeit, eine Sektion mit den mineralölfreien Druckfarben zu versorgen. Im Fall der Buntfarben (Cyan, Magenta, Gelb) erfolgte die Farbversorgung direkt aus Transportcontainern (500 kg bis 1.000 kg) aus denen die Druckfarben direkt in die Farbkästen gepumpt wurden. Im Fall der Schwarzfarbe musste einer der beiden Bodentanks geleert werden um darin ca. 3.000 kg mineralölfreie Druckfarbe zu lagern und von da aus in die Farbkästen zu pumpen. Eine komplette Reinigung dieses Bodentanks war nicht möglich, so dass bei den Druckversuchen noch Reste der mineralölhältigen Druckfarben in die mineralöl-freien Druckfarben gelangten. Als Zeitraum für die Langzeitdruckversuche wurden drei Monate gewählt. Dieser Zeitraum wurde in Abstimmung mit den Druckfarbenherstellern definiert, da sich u.a. Alterungseffekte der Druckfarbe erst nach ein paar Wochen manifestieren können. Die Zeit zwischen Produktion und Verdrucken von Druckfarbe kann zwischen wenigen Wochen und mehreren Monaten (>9 Monate) variieren. Dies hängt zum einen von der Strategie der Farbhersteller (Produktion auf Nachfrage oder auf Vorrat) und zum anderen von der Praxis der Druckereien („First in, first out“, Vorrat in der Druckerei) ab. Da sowohl das Druckverhalten von neuer, weniger Tage alter Druckfarbe ebenso getestet werden sollte wie das Verhalten gealterter Druckfarbe, erwies sich das Zeitintervall von drei Monaten Druckzeit je Druckfarbe als sinnvoll. Während der Langzeitdruckversuche erfolgte regelmäßig die Kontrolle der Walzenspalte in den Druckwerken, an denen mineralölfreie Druckfarbe im Einsatz war, um eventuell frühzeitig auftretenden Veränderungen in den Walzenwerkstoffen erkennen zu können. Diese Messungen bestätigten die im Labor gemessenen Quell- bzw. Schrumpfraten der entsprechenden Elastomere. Die Langzeitdruckversuche liefen produktionsbegleitend, d.h. es wurden Verkaufsexemplare oder Teile von Verkaufsexemplaren produziert. Dadurch unterlag die Produktion ständig der kritischen Kontrolle der Druckerei, um die Druckqualität der Zeitungen aufrecht zu erhalten.

Neben der Praxistauglichkeit in Bezug auf die Verdruckbarkeit standen zwei weitere Eigenschaften der Druckfarben in diesem Projekt im Vordergrund: Die Deinkbarkeit von Druckprodukten, die mit

mineralölfreier Druckfarbe produziert wurden sowie das Verhalten der Druckfarbe bei der Bestimmung des Mineralölgehaltes am fertigen Druckprodukt. Für diese Untersuchungen notwendige Druckmuster wurden sowohl bei den Kurzzeitversuchen als auch bei den Langzeitversuchen entnommen.

Die Bestimmung der Deinkbarkeit mineralölfrei produzierter Druckprodukte erfolgte in Labortests nach der INGEDE-Methode 11. Dies ist eine anerkannte Labormethode und simuliert die zwei Kernprozesse in der Altpapieraufbereitung: die Druckfarbenablösung während der Stoffauflösung und den Druckfarbenaustausch während der Flotation. Nach der Flotation werden verschiedene Testblätter aus dem deinkten Pulp, also aus dem resultierenden Faserbrei, hergestellt und gemäß der INGEDE-Vorgaben die folgenden Parameter bestimmt:

- ▶ Hellbezugswert Y und Farbort a* an Nutschenblättern des deinkten Faserstoffs gemäß INGEDE-Methode 2 und der DIN 6174.
- ▶ Schmutzpunktfläche A, also die nicht durch die Flotation ausgetragenen Druckfarbenpartikel im deinkten Faserstoff, auf Laborblättern.
- ▶ Farbaustausch (engl.: Ink Elimination IE) gemäß INGEDE-Methoden 1 und 2 an den Nutschenblättern des undeinkten und deinkten Faserstoffs.
- ▶ Filtratverdunkelung mit dem Filtrat, welches bei der Gewinnung der Nutschenblätter des deinkten Faserstoffs anfällt mit Hilfe von Zellulose-Nitrat-Filttern der Firma Sartorius (Porengröße: 0,45 µm). Dabei ist der Verlust im Hellbezugswert Y des Zellulose Filters als Filtratverdunkelung ΔY zu protokollieren.

Der sog. „Deinkability Score“ ist die Zusammenführung der sechs Bewertungsparameter Hellbezugswert Y, Farbkoordinate a*, Schmutzpunktflächen A₅₀ / A₂₅₀, Farbaustausch IE und Filtratverdunkelung ΔY. Aus allen sechs Ergebnissen wird der Deinkability Score üblicherweise in Form eines gestapelten Säulendiagramms dargestellt, in dem sich die Gesamtsäule aus den sechs Einzelwerten (Y, a*, A₅₀, A₂₅₀, IE und ΔY) in Abhängigkeit der erreichten Punktzahlen zusammensetzt. Mit seiner Hilfe können Druckprodukte in 4 Kategorien der Deinkbarkeit eingeteilt werden, die von „gut Deinkbar“ über „befriedigend Deinkbar“ und „ausreichend Deinkbar“ hin zu „nicht für Deinking geeignet“ reichen.

Neben der Deinkbarkeit der Druckerzeugnisse und der generellen Verdruckbarkeit stand die Mineralölfreiheit der Druckfarben im Vordergrund des Projektes. Dazu erfolgte die Bestimmung des Mineralölgehalts gemäß der vom BfR³ vorgeschlagenen Methode. Nach dieser Methode wird aus Druckprodukt oder Druckfarbe ein Extrakt hergestellt und in einem ersten Trennungsschritt in die beiden Fraktionen MOSH (aliphatische Kohlenwasserstoffe) und MOAH (aromatische Kohlenwasserstoffe) aufgetrennt. In einem zweiten Schritt erfolgt die Quantifizierung der Analyten in beiden Fraktionen. Diese Methode wurde 2017 auch als DIN-Norm DIN EN 16995:2017-08 („Lebensmittel - Pflanzliche Öle und Lebensmittel auf Basis pflanzlicher Öle - Bestimmung von gesättigten Mineralöl-Kohlenwasserstoffen (MOSH) und aromatischen Mineralöl-Kohlenwasserstoffen (MOAH) mit online HPLC-GC-FID; Deutsche Fassung EN 16995:2017“) veröffentlicht. Somit erfolgte die Bestimmung der Mineralölgehalte nach dem derzeit üblichen Verfahren.

³ <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi-hsc7j9rlAhXFb1AKHTr-BrQQFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fmobil.bfr.bund.de%2Fcm%2F343%2Fbestimmung-von-kohlenwasserstoffen-aus-mineraloel-oder-kunststoffen.pdf&usg=A0vVaw14es3gBFFXHa43Q07uMDak>

4 Ergebnisse

4.1 Verträglichkeitprüfung der neu entwickelten Druckfarben mit Elastomermaterialien

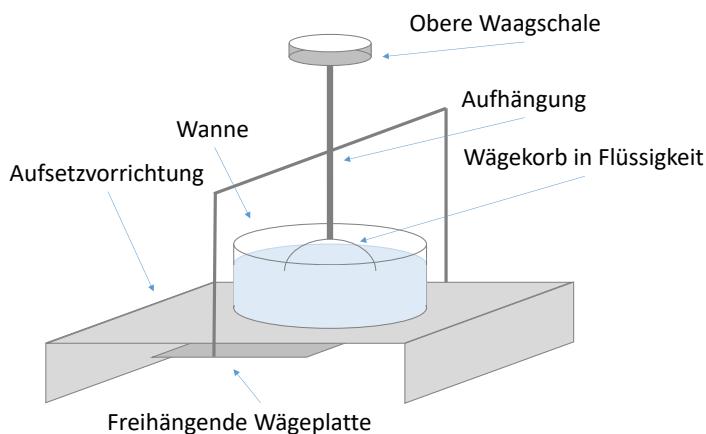
Verbrauchsmaterialien, die in Druckmaschinen eingesetzt werden, dürfen die in diesen Maschinen eingebauten Werkstoffe nicht beschädigen. Aus diesem Grund haben die Druckmaschinenhersteller eine Reihe von Schnelltests entwickelt, mit denen es möglich ist abzuschätzen, ob ungewollte Wechselwirkungen stattfinden. Im Fall von Druckfarben sind dies Tests zur Beständigkeit von Wasch-, Farb- und Feuchtauftragswalzen in Anlehnung an die DIN 53521 (Prüfung von Kautschuk und Elastomeren: Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase) und Messungen zur Änderung der Shore-Härte A nach DIN 53505 bzw. deren nachfolgenden Normen DIN ISO 1817 und DIN ISO 7619. Es handelt sich hierbei um Tests zur Feststellung des Quellverhaltens von einigen in den Druckmaschinen befindlichen Gummiwerkstoffen durch eine Bewertung der Massen- und Volumenänderung. Die Prüfbedingungen (50 °C, 1 Woche) sind von allen Herstellern von Gummimaterialien anerkannt und werden in deren Labors nach dem gleichen Verfahren durchgeführt. Alle Prüfungen erfolgten als Doppelbestimmung. Bei den Prüfkörpern handelt es sich um Gummiproben der jeweiligen Wasch-, Farb- und Feuchtauftragswalzen nach DIN 53502, die als Scheiben von 36,6 mm Durchmesser und einer Mindestdicke von 6 mm eingesetzt werden.

Die Auswahl der Gummimaterialien enthält nicht alle Werkstoffe, die sich in den verschiedensten Druckmaschinen des Marktes befinden, sondern stellt ein Modellsystem dar. Anhand der Ergebnisse von Tests mit diesem Modellsystem können die Maschinenhersteller abschätzen, ob es Probleme im Markt geben wird oder nicht. Aus diesem Grund kann es möglich sein, dass sich in der für die Tests ausgewählten Praxismaschine andere Werkstoffe befinden, die Druckmaschinenhersteller jedoch trotzdem keine Freigabe geben. Auf Wunsch der Hersteller der Gummimaterialien wurde eine Codierung von Herstellernamen und Elastomertyp vorgenommen. Den Herstellern von Druckmaschinen sind die Hersteller und Typen bekannt.

4.1.1 Prüfverfahren zur Bestimmung Quellverhaltens nach DIN 53 521

Die von den Druckmaschinen- und Elastomerherstellern vorgegebenen Elastomerprüfkörper werden, nach vorhergehender Bestimmung von Masse, Volumen und Shore-Härte A in die zu prüfende Druckfarbe eingebracht. Druckfarben und Prüfklappen befinden sich während der Einlagerungszeit in einem mit einem Deckel verschlossenen Gefäß. Durch Abstandshalter zwischen den Prüfklappen wird gewährleistet, dass sie vollständig mit Druckfarbe umgeben sind. Die Einlagerung der Prüfklappen findet über 7 Tage bei 50 °C statt. Nach dieser Zeit werden die Prüfkörper entnommen und die anhaftende Druckfarbe mit nicht fusselnden Haushaltstüchern möglichst vollständig entfernt. Direkt nach der Reinigung erfolgt die Bestimmung von Masse, Volumen und Shore-Härte A der Prüfkörper auf einer Analysenwaage vom Typ "Sartorius RC 210P" mit einer Wägevorrichtung für Dichtebestimmung analog zu den Messungen vor der Einlagerung.

Abbildung 1: Prinzipskizze zur Volumenbestimmung an der Analysenwaage "Sartorius RC210P" mit Wägevorrichtung zur Dichtebestimmung.



Quelle: Eigene Darstellung, Fogra

Auswertung der Quelltests:

Die Bestimmung der Masse der Prüfkörper erfolgt innerhalb von 5 Minuten nach Entnahme aus der Druckfarbe. Aus der Masse vor und nach dem Einlagerungszeitraum kann die Massenveränderung bestimmen werden.

Um die Volumenänderung bestimmen zu können werden die Prüfkörper neben der Wägung an Luft noch zusätzlich in einer mit Isopropanol gefüllten Wanne gewogen. Durch den Zusatz eines Detergens wird dabei die Luftblasenbildung am Probekörper vermieden. Der Prüfkörper liegt dabei vollständig unter dem Flüssigkeitsmeniskus. Aus der Differenz der Massenänderung an Luft und in Wasser lässt sich das Volumen berechnen. Da diese Messungen vor und nach der Einlagerung erfolgen, kann die Volumenänderung auf diese Weise bestimmt werden.

Als bestanden gilt die Prüfung, wenn die folgenden Grenzwerte nicht überschritten werden:

Tabelle 2: Grenzwerte für die Massen- und Volumenänderung von Elastomerwerkstoffen nach 7 Tagen Einwirkung von Druckfarbe bei 50°C.

Werkstoff	Massenänderung [%]	Volumenänderung [%]
Farbwalze 1	-3 bis +5	-3 bis +5
Farbwalze 2	-3 bis +5	± 4
Farbwalze 3	-3 bis +2	-3 bis +2
Feuchtwalze 1	-3 bis +5	-3 bis +5
Feuchtwalze 2	-3 bis +5	± 4
Feuchtwalze 3	-3 bis +2	-3 bis +2

4.1.2 Härteprüfung nach Shore A entsprechend DIN 53505

Die Bestimmung der Härte nach Shore A erfolgte gemäß der nachfolgenden Prozedur:

Vor und nach der Einlagerung wird der jeweilige Prüfkörper flach auf die Bodenplatte der Prüfeinrichtung gelegt und die Meßspitze des Durometers stoßfrei bis zum satten Aufliegen auf den Prüfkörper herabgelassen. Das Gewicht vom Durometer und seiner Halterung erzeugt eine Anpresskraft von 12,5 N.

Fünf Sekunden nach dem Aufsetzen wird der Härtewert abgelesen.

Je Prüfkörper werden 3 Messungen an verschiedenen Stellen im Abstand von 5 mm voneinander und 13 mm von den Kanten vorgenommen.

Als bestanden gilt die Prüfung, wenn die folgenden Grenzwerte nicht überschritten werden:

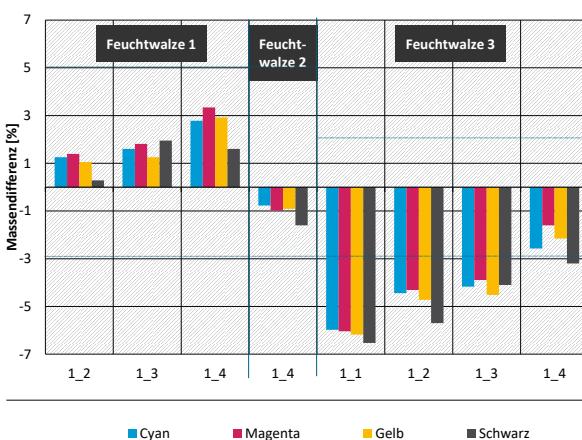
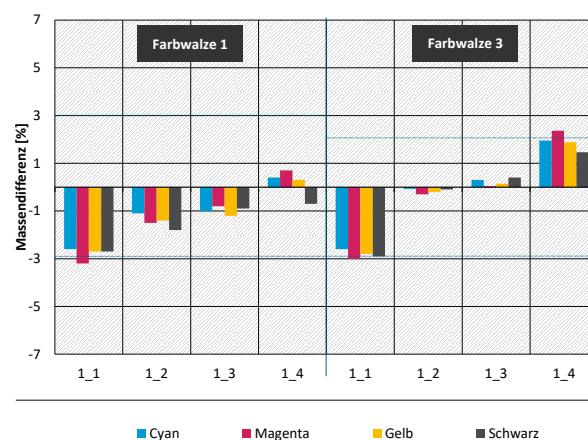
Tabelle 3: Grenzwerte für die Härteänderung von Elastomerwerkstoffen nach 7 Tagen Einwirkung von Druckfarben bei 50°C.

Werkstoff	Härteänderung [ShA]
Farbwalze 1	± 3
Farbwalze 2	± 3
Farbwalze 3	± 3
Feuchtwalze 1	± 3
Feuchtwalze 2	± 4
Feuchtwalze 3	± 3

4.1.3 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 1

In den nachfolgenden drei Abbildungen sind jeweils die Massen-, Volumen- und Härteänderungen als Differenz der Bestimmung vor und nach dem Einlegen der Prüfkörper von verschiedenen Farb- und Feuchtwalzen dargestellt.

Abbildung 2: Massenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Farbhersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Abbildung 3: Volumenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.

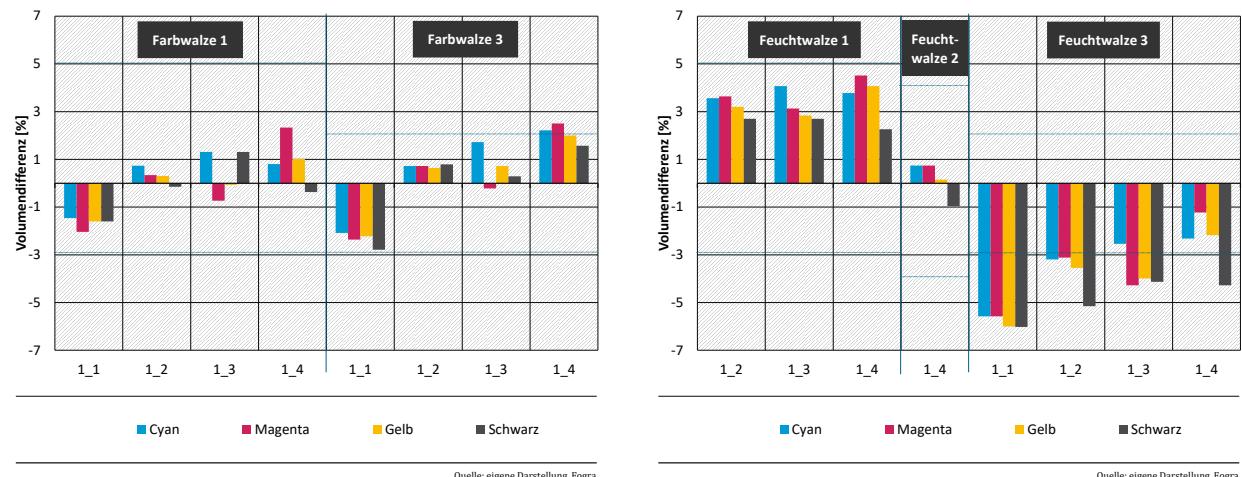
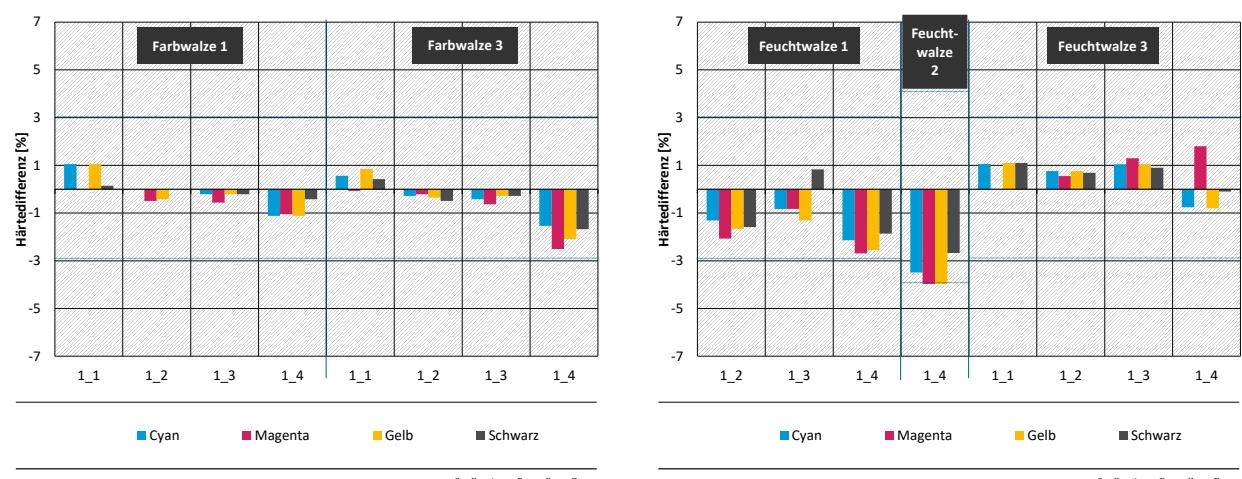


Abbildung 4: Härteänderung (Shorhärte A) von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 1; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.

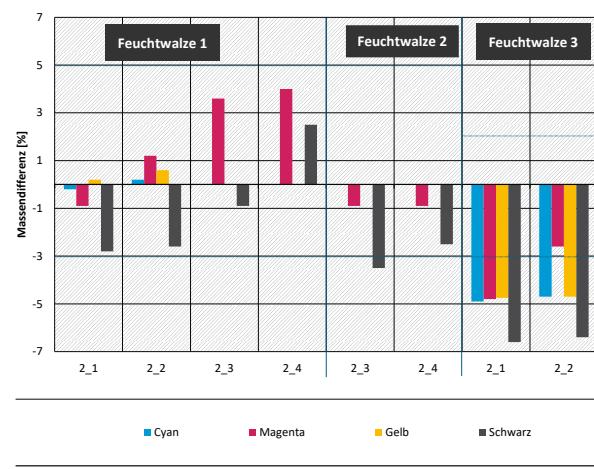


Die horizontalen roten Linien zeigen die von den Gummiherstellern definierten Grenzwerte. Balken, die negative Werte zeigen bedeuten, dass die Materialien durch den Druckfarbeneinfluss schrumpfen (Massen- und Volumenbestimmung) bzw. weicher werden (Härtebestimmung). Positive Werte zeigen Quellung bzw. Verhärten des jeweiligen Werkstoffs. Vor allem bei Farbwälze 3 und Feuchtwälze 3 konnten diese Grenzwerte bei den Massen- und Volumenbestimmungen nur selten eingehalten werden. Bei den Härteänderungen konnten die Grenzwerte eingehalten werden, hier zeigte sich der Werkstoff „Feuchtwälze 2“ als grenzwertig. Eine generelle Tendenz in Bezug auf die Farben (CMYK) konnte nicht nachgewiesen werden. Die Probenbezeichnungen 1_1 bis 1_4 beziffern die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Druckfarben. Insgesamt konnte keine der von Hersteller 1 produzierten Farbsorten aufgrund der deutlichen Schrumpfung von Feuchtwälze 3 für die Druckversuche an einer Zeitungsdruckmaschine freigegeben werden.

4.1.4 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 2

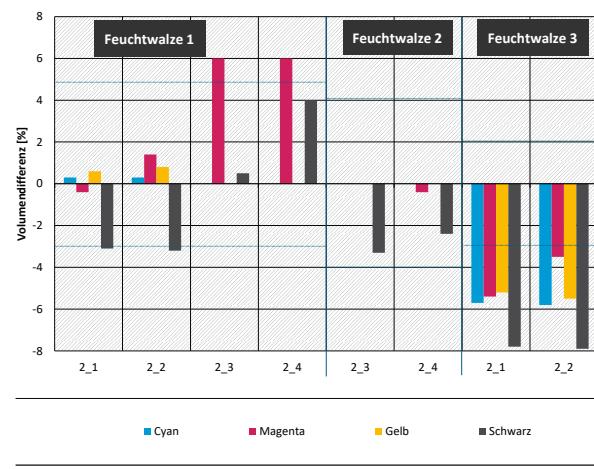
In den nachfolgenden drei Abbildungen sind jeweils die Massen-, Volumen- und Härteänderungen als Differenz der Bestimmung vor und nach dem Einlegen der Farb- und Feuchtwalzen dargestellt. Wie in den Abbildungen in Kapitel 4.1.3 sind die Grenzwerte als horizontale blaue Striche eingezeichnet.

Abbildung 5: Massenänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.



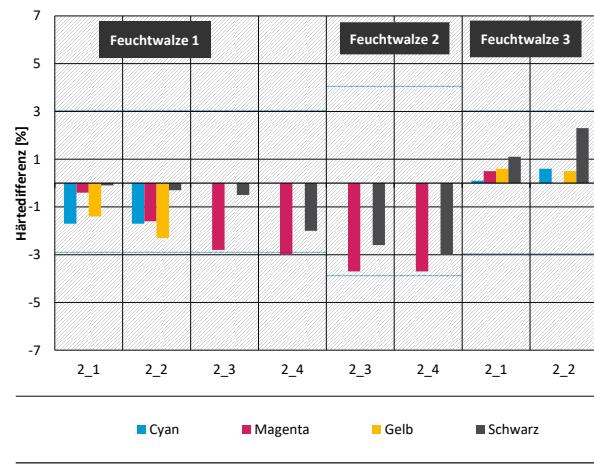
Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Abbildung 6: Volumenänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Abbildung 7: Härteänderung von Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 2; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte; Aufgrund der großen Grenzwertüberschreitungen der Feuchtwalzen wurden die Farbwalzen nicht getestet.



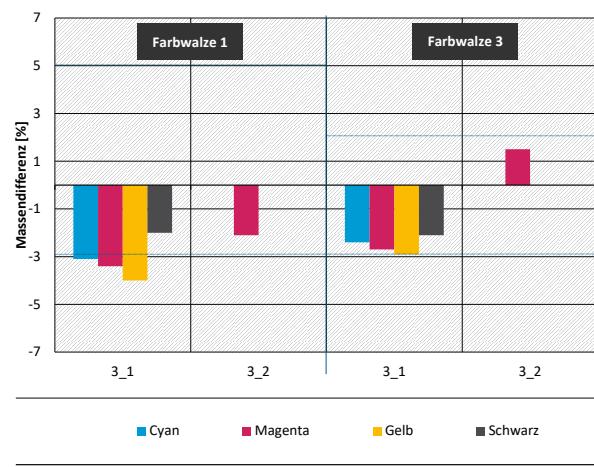
Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Ähnlich der Druckfarben von Hersteller 1 verhielten sich die Druckfarben von Hersteller 2. Feuchtwalze 3 zeigte im Rahmen der Untersuchungen zu Massen- und Volumenänderungen ein signifikantes Schrumpfungsverhalten von bis zu 8 % bei Volumenmessungen, bei denen der Grenzwert bei 3 % liegt. Solche Schrumpfungen von Feuchtwalzen in einer Druckmaschine können nicht mehr kompensiert werden. Aufgrund dieser hohen Schrumpfungsrraten konnte auch von Hersteller 2 keine der produzierten Druckfarbenserien für den Einsatz in einer Zeitungsdruckmaschine qualifiziert werden.

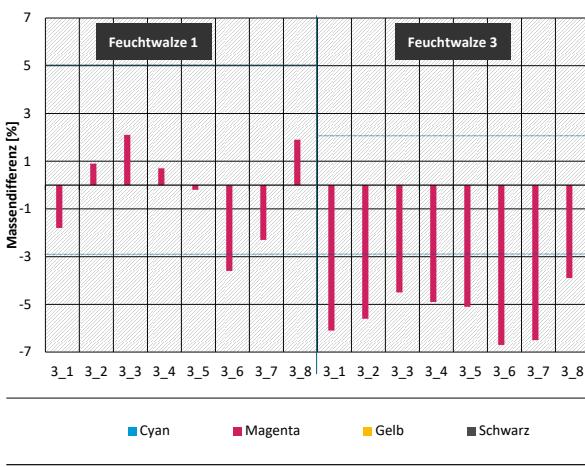
4.1.5 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölfreier Druckfarbe von Hersteller 3

In den nachfolgenden drei Abbildungen sind jeweils die Massen-, Volumen- und Härteänderungen als Differenz der Bestimmung vor und nach dem Einlegen der Farb- und Feuchtwalzen dargestellt. Wie in den Abbildungen in den Kapiteln 4.1.3 und 4.1.4 sind die Grenzwerte als horizontale blaue Striche eingezeichnet.

Abbildung 8: Massenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Abbildung 9: Volumenänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.

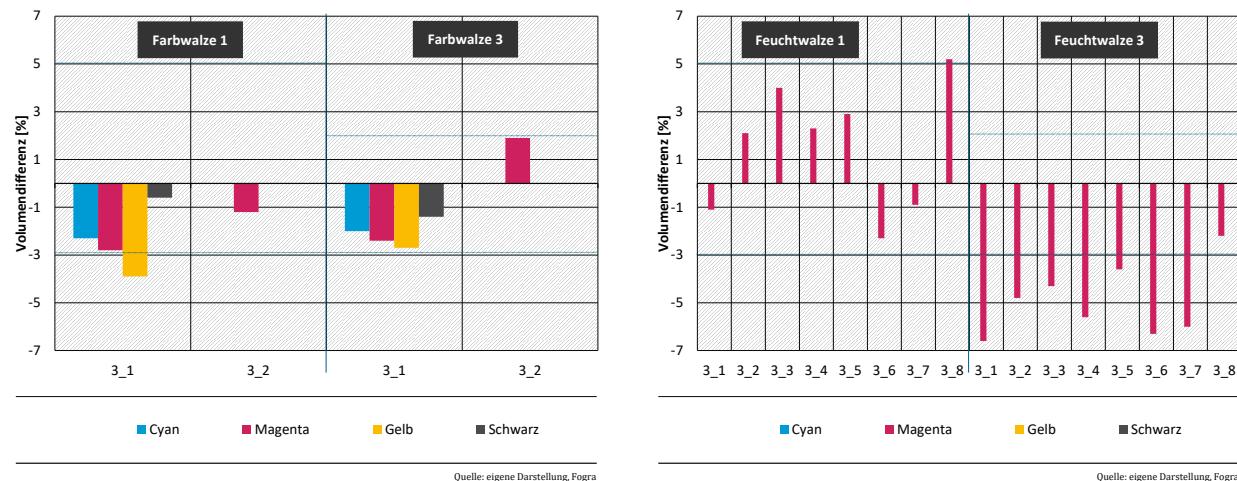
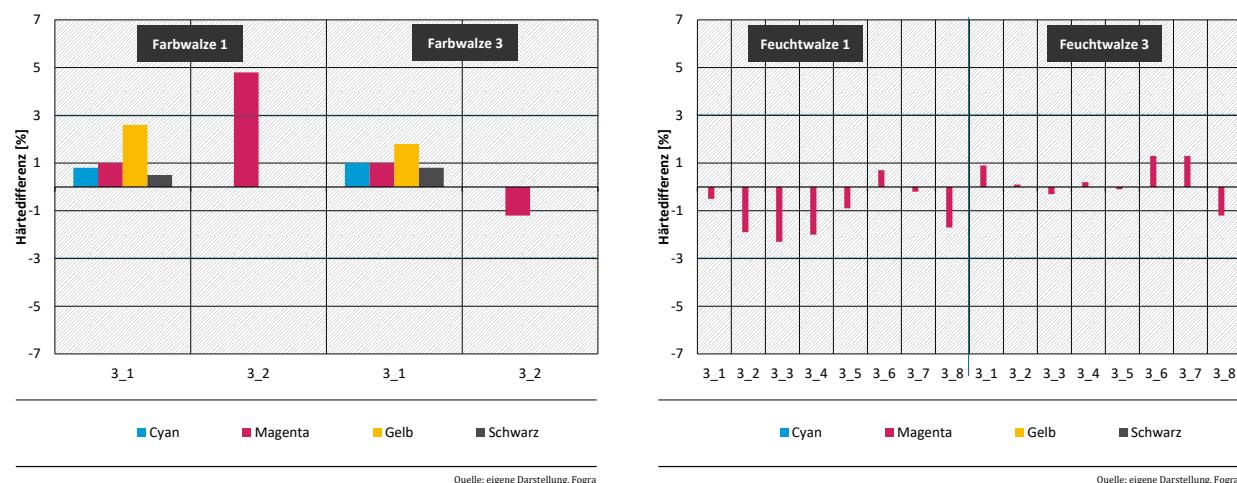


Abbildung 10: Härteänderung von Farb- und Feuchtwalzen nach dem Standardquelltest unterschiedlicher Stadien der Druckfarbenentwicklung von Hersteller 3; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.



Die Durchführung der Quelluntersuchungen erfolgte bei den Feuchtwälzen lediglich mit den Magenta-Druckfarben aus den verschiedenen Entwicklungsstufen der Druckfarben. Auch bei den Druckfarben des Herstellers 3 wurden die Grenzwerte für die Feuchtwälze 3 überschritten und zu starke Schrumpfung des Materials beobachtet, was diese Druckfarben ebenfalls nicht für die Druckversuche an der Zeitungsdruckmaschine qualifizierte.

4.1.6 Ergebnisse der Prüfungen mit mineralölhaltigen Druckfarben aller Hersteller

Nachdem sämtliche Untersuchungen mit allen zur Verfügung gestellten mineralölfreien Druckfarben zu Grenzwertüberschreitungen geführt hatten, erfolgte ein Test mit den mineralölhaltigen Standardfarben aller Hersteller unter identischen Prüfbedingungen mit dem gleichen Testverfahren. Ziel dieses Versuchs war es festzustellen, wie groß der Unterschied der Testergebnisse zwischen mineralölhaltigen und mineralölfreien Druckfarben ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Abbildungen in Form von Balkendiagrammen in gleicher Form wie schon in den vorangegangenen Kapiteln 4.1.3 bis 4.1.5 dargestellt und aufgeteilt in Massen-, Volumen- und Härtebestimmung der Prüfkörper.

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass auch die konventionellen Druckfarbensysteme aller drei Hersteller, die etabliert auf dem Markt sind, die Quelltests nicht bestehen und, wie auch die mineralölfreien Druckfarben, vor allem bei den Feuchtwalzen die Grenzwerte nicht einhalten konnten. Diese Beobachtung führte dazu, dass der Standardquelltest hinterfragt und im letzten Ende mit allen Beteiligten beschlossen wurde, für den Fortgang des Projektes nur die in der Druckmaschine real verbauten Materialien hinsichtlich der Verträglichkeit zu testen.

Abbildung 11: Massenänderung konventioneller mineralölhältiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.

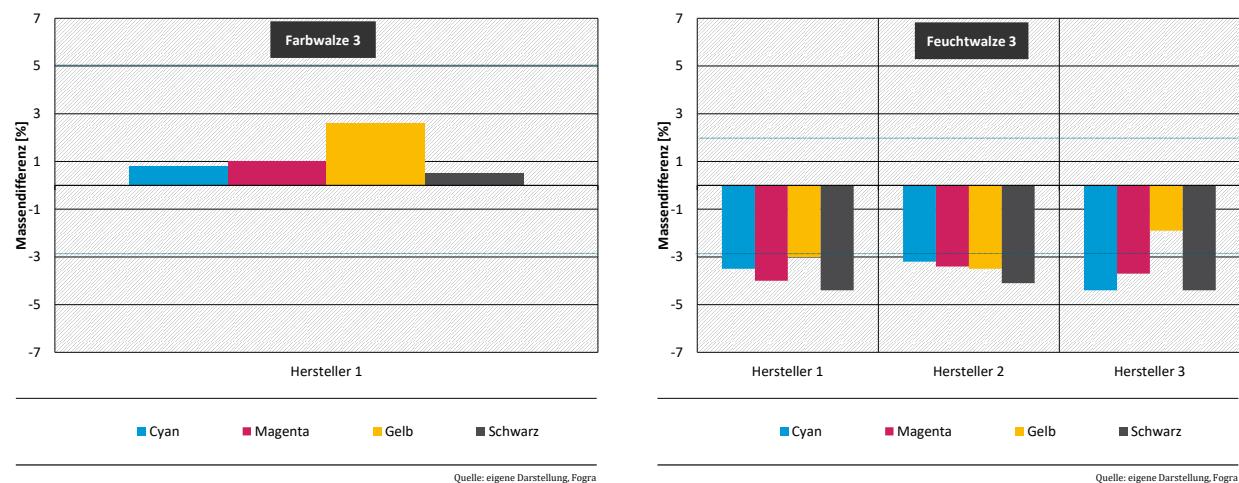


Abbildung 12: Volumenänderung konventioneller mineralölhältiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.

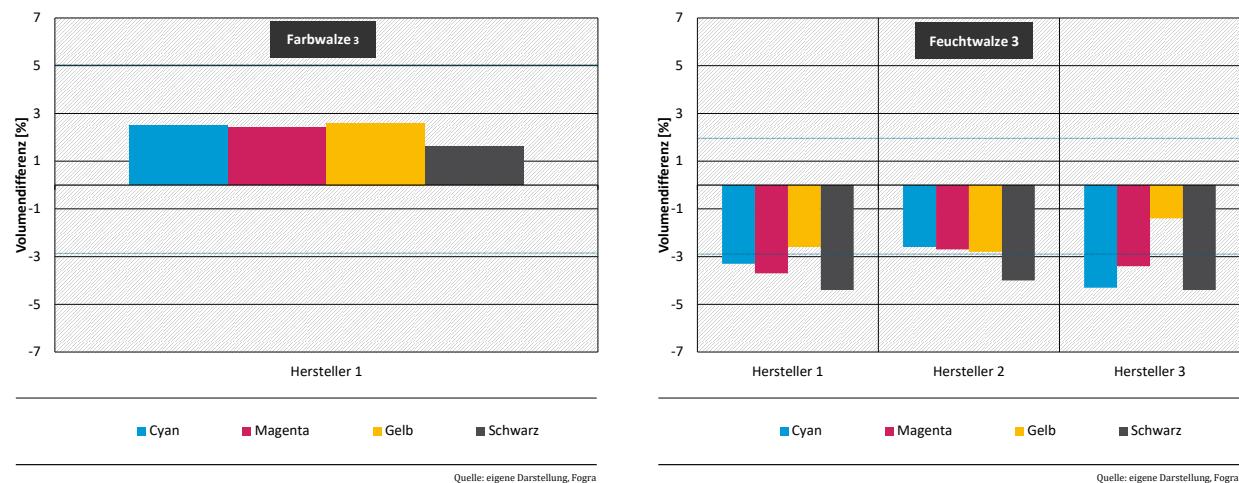
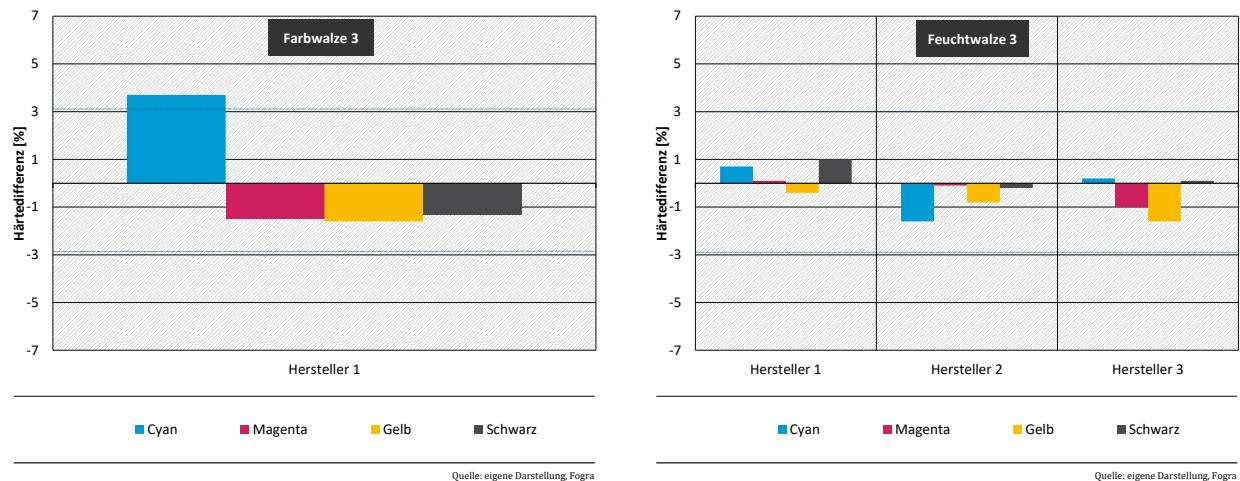


Abbildung 13: Härteänderung konventioneller mineralölhaltiger Zeitungsdruckfarben der Druckfarbenhersteller 1, 2 und 3 bei einer Farb- und einer Feuchtwalze; die horizontalen blauen Linien kennzeichnen die von den Elastomerherstellern geforderten Grenzwerte.



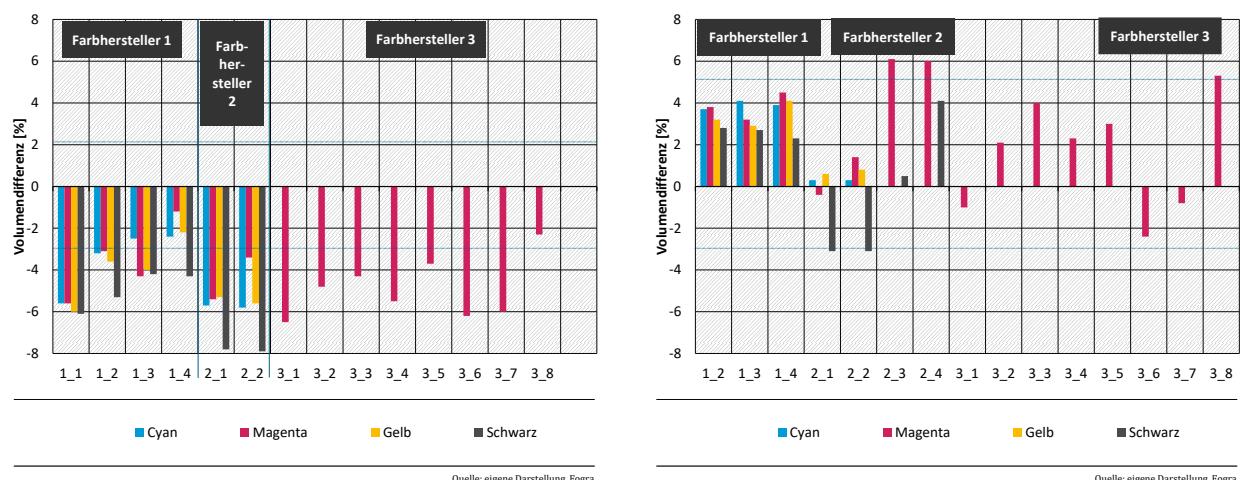
Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Quelle: eigene Darstellung, Fogra

4.1.7 Zusammenfassung der Elastomerquelltests mit dem etablierten Elastomerpannel

Betrachtet man exemplarisch die Resultate der Volumenquellung von mineralölfreien Druckfarben, die bei einem Kontakt mit den unterschiedlichen Feuchtwalzenmaterialien erhalten worden sind, so zeigt sich, dass die Mehrzahl der Grenzwertüberschreitungen beim Kontakt der Druckfarben mit dem Feuchtwalzenmaterial 3 auftreten aber auch vereinzelt mit dem Feuchtwalzenmaterial 1 (Abbildung 14). Um beurteilen zu können, in welchem Umfang Probleme im Markt mit diesem Werkstoff auftreten, sind weitreichende Marktkenntnisse erforderlich. Vom Anbieter des Feuchtwalzenwerkstoffs 3 wurde mitgeteilt, dass sich der Werkstoff nur noch in einer sehr geringen Anzahl von Druckmaschinen befinden dürfte. Der Hersteller dieses Werkstoffes verfügt über Alternativwerkstoffe und empfiehlt den Kunden schon seit Jahren bei der nach drei bis sechs Jahren erforderlichen Regummierung einen Ersatz durch die neuen Werkstoffe.

Abbildung 14: Volumenänderung von Feuchtwalzenwerkstoff 3 (links) und Feuchtwalzenwerkstoff 1 (rechts) nach Kontakt mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben verschiedener Farbhersteller.



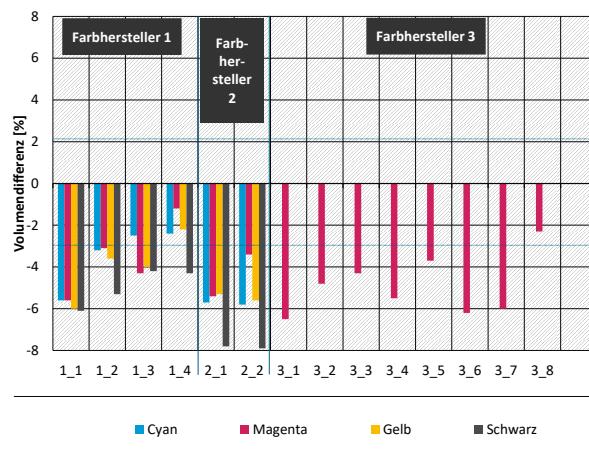
Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Quelle: eigene Darstellung, Fogra

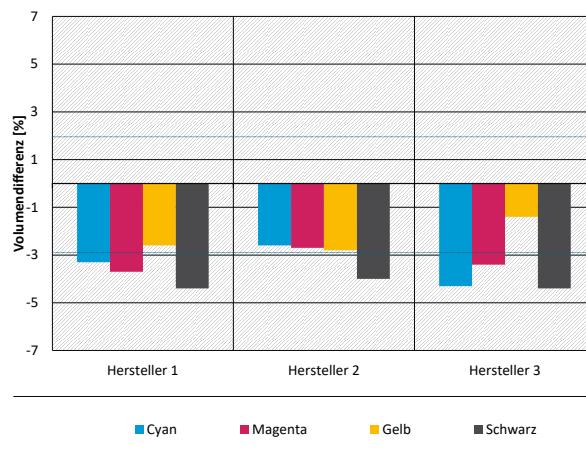
Um einen Vergleichsmaßstab zum gegenwärtigen Zustand der Elastomere in den Druckmaschinen zu bekommen sind die mineralölhaltigen Farbserien aller drei im Projekt involvierten Farbhersteller wie

in Kapitel 4.1.1 beschrieben nach dem identischen Prüfregime getestet worden. Es zeigte sich überraschend, dass auch der Kontakt der gegenwärtig marktüblichen mineralölhaltigen Farbserien aller drei Hersteller beim Feuchtwalzenmaterial 3 zu Grenzwertüberschreitungen führt.

Abbildung 15: Vergleich der Volumenänderung von Feuchtwalze 3 nach Kontakt mit mineralölfreien (links) und mineralölhaltigen Zeitungsdruckfarben (rechts).



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Nach dem Vorliegen dieser Daten war es notwendig zu hinterfragen, ob die Auswahl der Prüfmateriale noch sachgerecht ist bzw. verändert werden muss. Zur Klärung dieser Fragestellung hat am 7.11.2017 eine kurzfristig angesetzte Zusammenkunft der Druckmaschinen- und Elastomerhersteller in der Fogra stattgefunden (s. Kapitel 4.1.8).

Um den weiteren Verlauf des vorliegenden Projekts nicht zu behindern wurde auf den Test des bisherigen Prüfpanels verzichtet. Stattdessen erfolgen Tests in der Fogra und bei den Elastomeranbietern mit den Gummimaterialien, die in der Testmaschine tatsächlich eingebaut sind (s. Kapitel 4.1.9). Mit dieser Maßnahme konnte die ursprünglich geplante uneingeschränkte Übertragbarkeit auf andere Druckmaschinen des Marktes nicht mehr sichergestellt werden. Bis zum Vorliegen eines neuen Testpanels müssen somit die Quellwerte neuer Druckfarben für die in der jeweiligen Druckmaschine eingesetzten Elastomere vor einer Freigabe bestimmt werden. Ein ähnliches Prozedere ist bei Neuinstalltionen von Druckmaschinen marktüblich.

4.1.8 Aktivitäten der Druckmaschinen- und Elastomerhersteller zur Überarbeitung der Prüfkriterien zur Zulassung von Druckfarben

Da auch die mit mineralölhaltigen Druckfarben erhaltenen Resultate von den Grenzwerten der Prüfvorgaben der Druckmaschinen- und Elastomerhersteller abweichen, war es notwendig, die aktuell gültigen Prüfvorgaben zu überarbeiten. Dazu ist ein neu gebildeter Arbeitskreis Elastomerprüfung von der Fogra gegründet worden. In diesem Kreis fand am 7.11.2017 eine Diskussion der Prüfverfahren und Grenzwerte mit dem Ziel der Entwicklung eines verbesserten Prüfverfahrens statt.

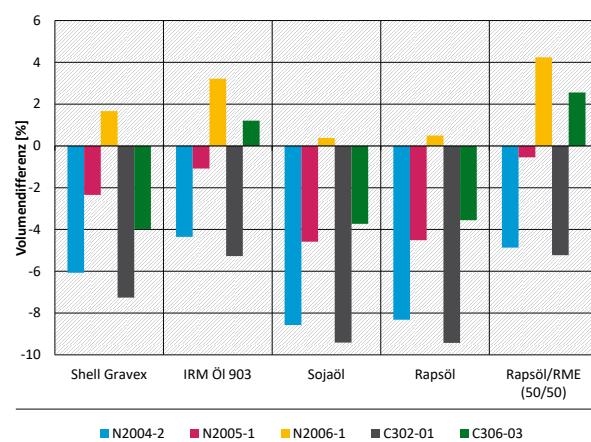
Um den Fortgang der geplanten Weiterentwicklung der Druckfarben zu gewährleisten, wurde im Arbeitskreis Elastomerprüfung vereinbart, ein neues Panel von Elastomermaterialien zu entwickeln. Die Diskussion führte dann zur Empfehlung von 3 Standardqualitäten von Gummimaterialien.

Mit den neu entwickelten Standardreferenzmaterialien ist analog zu ISO 13226 geprüft worden, ob diese Materialien für eine verbesserte Prüfmethode benutzt werden können. Die Fa. WEROS hat die Prüfklappen produziert und an alle beteiligten Labors verteilt. Die Referenzmaterialien sind in den folgenden Grafiken mit dem Kürzel N gekennzeichnet. Aus den vorliegenden Daten ist zu erkennen, dass das Panel aus diesen 3 Materialien sehr unterschiedlich reagiert.

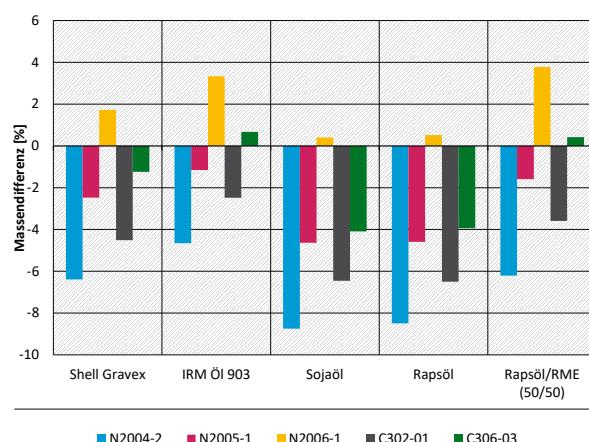
- Werkstoff N2004-2 führt generell zu sehr starken Volumen- und Gewichtsveränderungen.
- Werkstoff N 2005-1 führt zu moderaten Volumen- und Gewichtsveränderungen.
- Werkstoff N2006-1 führt zu moderaten Schrumpfungen.

Vergleicht man das Verhalten dieser Werkstoffe mit den vergleichend geprüften Realwerkstoffen von Farbwälzen aus den Offsetdruckmaschinen (C302-01 bzw. C 306-03), so ist das Verhalten des Werkstoffs N2004-2 mit dem Farbwälzenwerkstoff C302-01 vergleichbar. Das Verhalten des Werkstoffs C306-03 erfasst keine der Musterrezepturen. Die Empfindlichkeit der Musterrezeptur N2006-1 für Quellvorgänge deutet darauf hin, dass dieser Werkstoff als Marker für alle in der Druckmaschine verbauten NBR-Kautschuke (Schläuche, Dichtungen etc.) einsetzbar sein könnte.

Abbildung 16: Volumen- und Massendifferenz verschiedener Öle mit alten und neuen Prüfkörpern zum Elastomertest.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

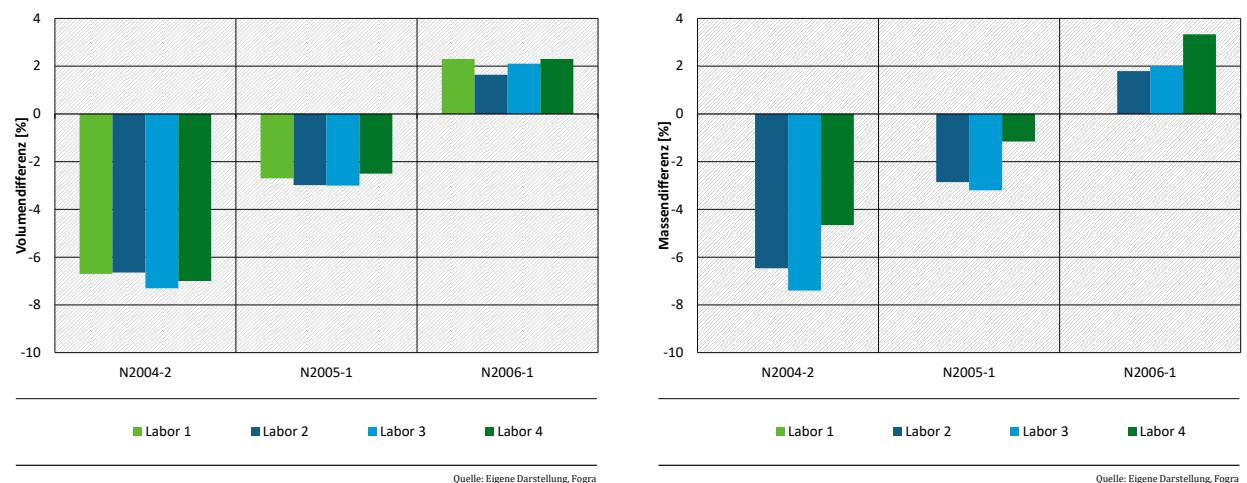
Für die geplante Einführung der neuen Prüfmaterien sind folgende Vorarbeiten notwendig:

- Ringtests zwischen den beteiligten Labors zur Festlegung von Toleranzen des Messverfahrens durch Messungen mit verschiedenen Referenzölen
- Ringversuche zwischen den beteiligten Labors zur Festlegung von Toleranzen des Messverfahrens durch Messungen mit verschiedenen Druckfarben
- Tests von mineralölfreien Druckfarben parallel mit den neuen und alten Elastomermaterialien zur Ermittlung von Grenzwerten

4.1.8.1 Ergebnisse der Ringversuche mit verschiedenen Referenzölen

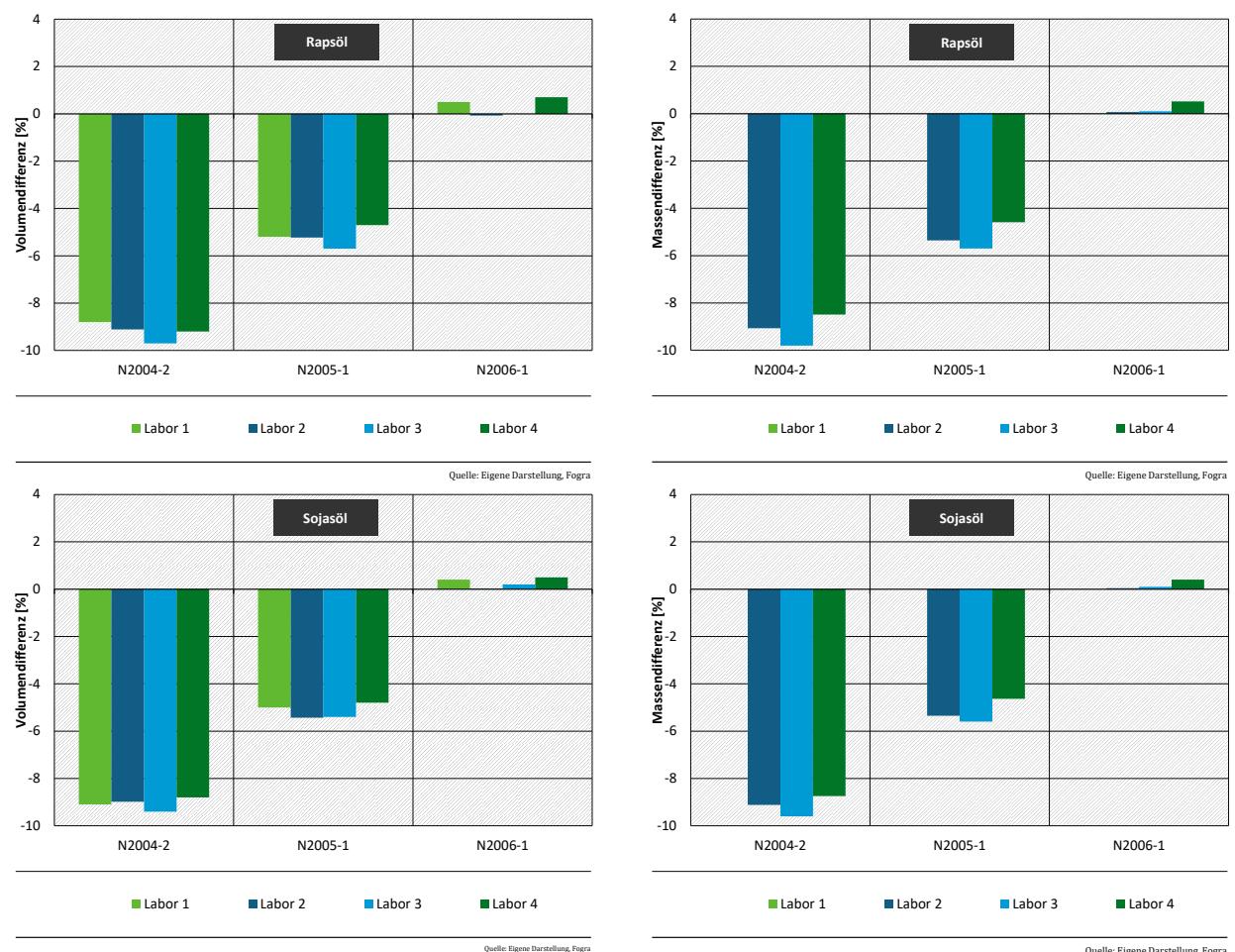
Die Ringversuche zwischen den Labors der Elastomerhersteller und der Fogra sind mit 3 Referenzölen begonnen worden. Die Tests beschränkten sich auf Änderungen von Masse und Volumen. Bei dem mineralöhlhaltigen Öl (IRM 903) handelt es sich um ein Standardöl, das für die Qualitätskontrolle von Gummimaterialien nach ASTM D471 benutzt wird.

Abbildung 17: Vergleichstest zu Volumen- und Massendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomer-test nach Kontakt mit einem in der ASTM D471 benutzten Mineralöl (IRM 903).



Um einschätzen zu können, ob vegetable Öle kritisch mit den Referenzmaterialien reagieren, sind Raps- und Sojaöl als Standardöle für Druckfarben auf Basis vegetabiler Öle in den Ringtest integriert worden. Da bei diesen Ölen Unterschiede zwischen verschiedenen Lieferqualitäten auftreten können, erfolgte eine zentrale Beschaffung und Verteilung dieser Ölqualitäten.

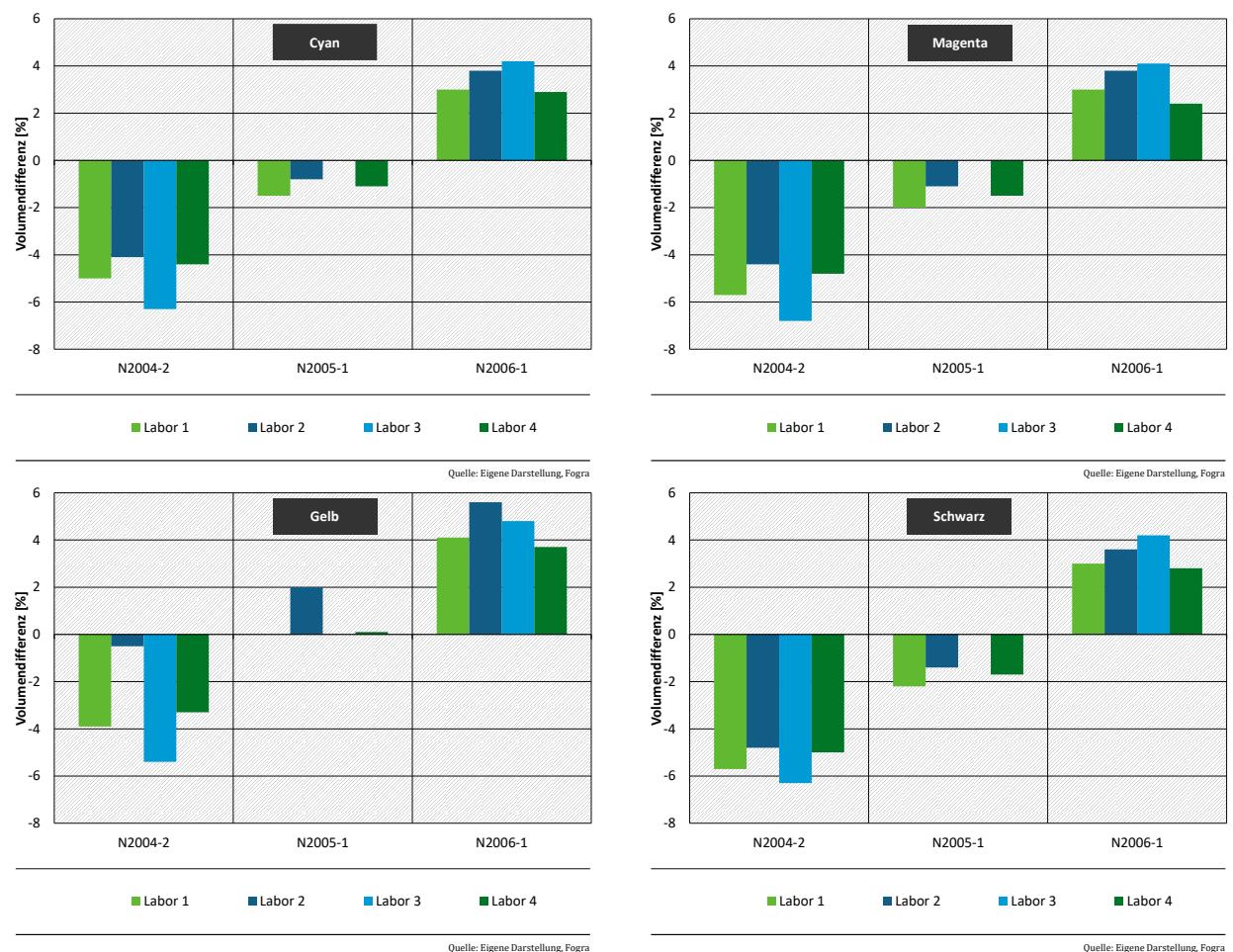
Abbildung 18: Vergleichstest zu Volumen- und Massendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomer-test nach Kontakt mit 2 unterschiedlichen vegetabilen Ölen.



4.1.8.2 Ergebnisse der Ringversuche mit mineralölfreien Druckfarben

In einem weiteren Ringversuch erfolgte ein Test der Reaktion mineralölfreier Druckfarben auf die ausgewählten Referenzmaterialien. Da sich gezeigt hatte, dass Unterschiede zwischen den Labors vor allem in den Volumenänderungen zu beobachten waren beschränkte sich der erste Test auf Messungen des Volumens bzw. der Volumenveränderungen.

Abbildung 19: Vergleichsuntersuchungen zu Volumendifferenz der neuen Prüfkörper zum Elastomer-test nach Kontakt mit mineralölfreien Druckfarben (Messungen mit N2005-1 wurden von Labor 3 nicht durchgeführt).



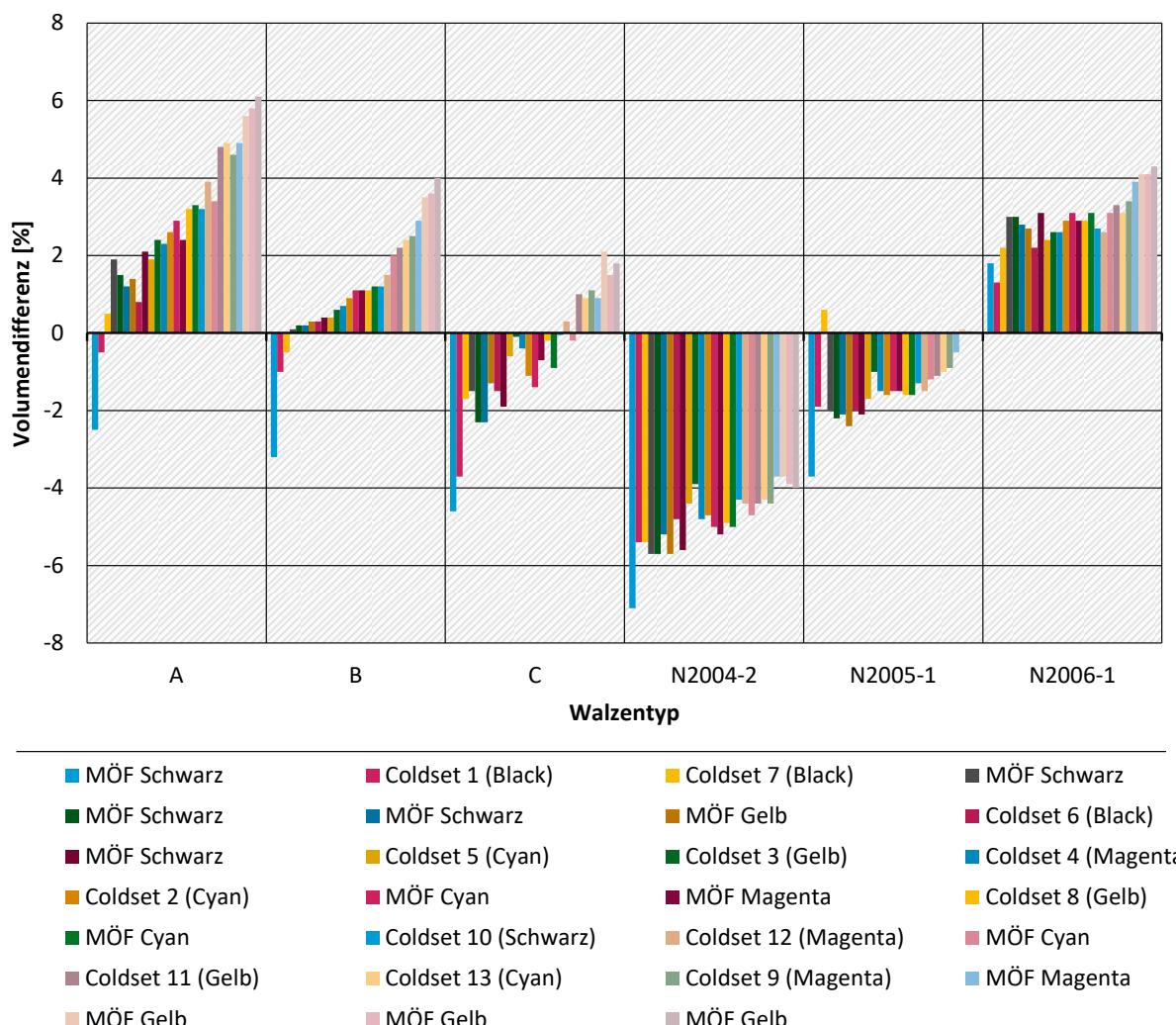
Die Quell- bzw. Schrumpfwerte der Referenzmaterialien sind beim Kontakt mit Druckfarben geringer als beim Kontakt mit vegetabilen Referenzölen. Auffällig waren beim Farbtest die größeren Abweichungen zwischen den einzelnen Labors. Um diese Ursachen eingrenzen zu können, sind eine Reihe weiterer Tests erfolgt.

4.1.8.3 Zusammenfassung der Weiterentwicklung des Elastomerquelltests

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse eines Walzenherstellers dargestellt, bei denen diverse Zeitungsdruckfarben (mineralölhaltig und mineralölfrei) getestet und mit den Referenzwerkstoffen des Herstellers verglichen wurden. Es zeigt sich, dass die maximale Differenzierbarkeit mit den Realwerkstoffen deutlich höher liegt als mit den Modellwerkstoffen N2004-2, N2005-1 und N2006-1. Somit könnte der Modellsatz zum derzeitigen Stand der Ergebnisse lediglich dazu dienen, Druckfarben zu identifizieren, die ein sehr hohes Quell- oder Schrumpfverhalten aufweisen. Eine Differenzierung im Grenzbereich ist derzeit nicht möglich.

Da das Etablieren einer neuen Referenzserie an Gummiwerkstoffen für die Elastomerquellung von Druckfarben im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich war, wurde bei einem Expertenkreistreffen von Elastomer- und Druckfarbenherstellern sowie des Umweltbundesamtes und der Fogra beschlossen, für den Fortgang des Projektes lediglich die real in der Druckmaschine für die Langzeitversuche verbauten Elastomermaterialien zu testen.

Abbildung 20: Vergleichende Quelluntersuchungen verschiedener mineralölhaltiger und mineralölfreier (MÖF) Zeitungsdruckfarben mit Realmustern (A, B, C) und den Referenzwerkstoffen N2004-2, N2005-1 und N2006-1.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

4.1.9 Elastomerprüfung mit den in der Frankfurter Societäts-Druckerei eingebauten Elastomermaterialien

Die für die Praxisversuche vorgesehene Druckmaschine ist nicht mit den Elastomermaterialien bestückt, die für den Standard Quelltest empfohlen und verwendet werden. In Abbildung 21 bis Abbildung 23 sind die Ergebnisse der Quelltests an den in der Druckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei eingebauten Materialien dargestellt. Es zeigte sich, dass die Grenzwerte der jeweiligen Elastomeranbieter mit den mineralölfreien Druckfarben aller Farbhersteller eingehalten werden.

Abbildung 21: Volumenänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien durch mineralölfrei Druckfarben der Hersteller 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten). Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wieder.

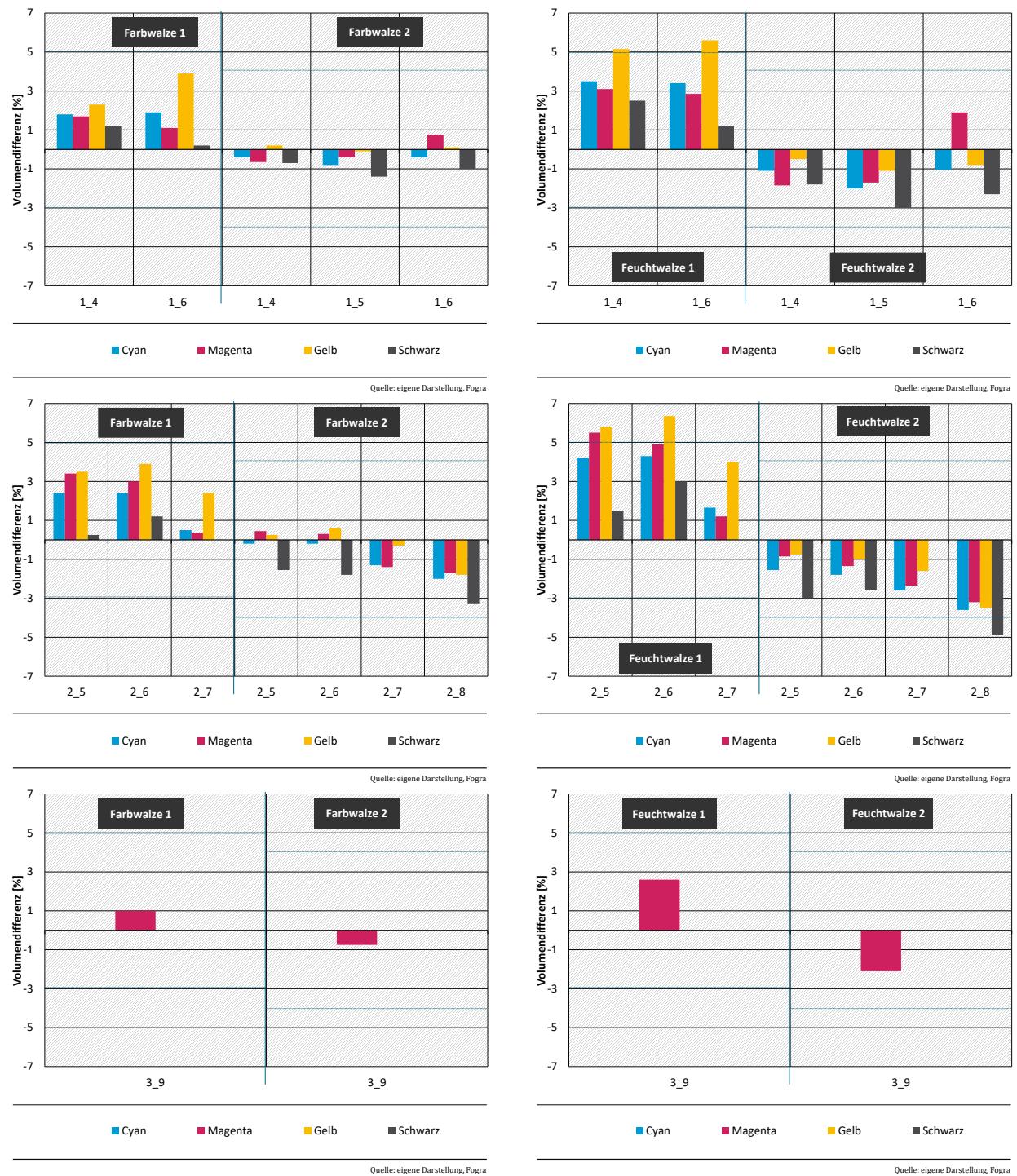


Abbildung 22: Masseänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien. Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wider.

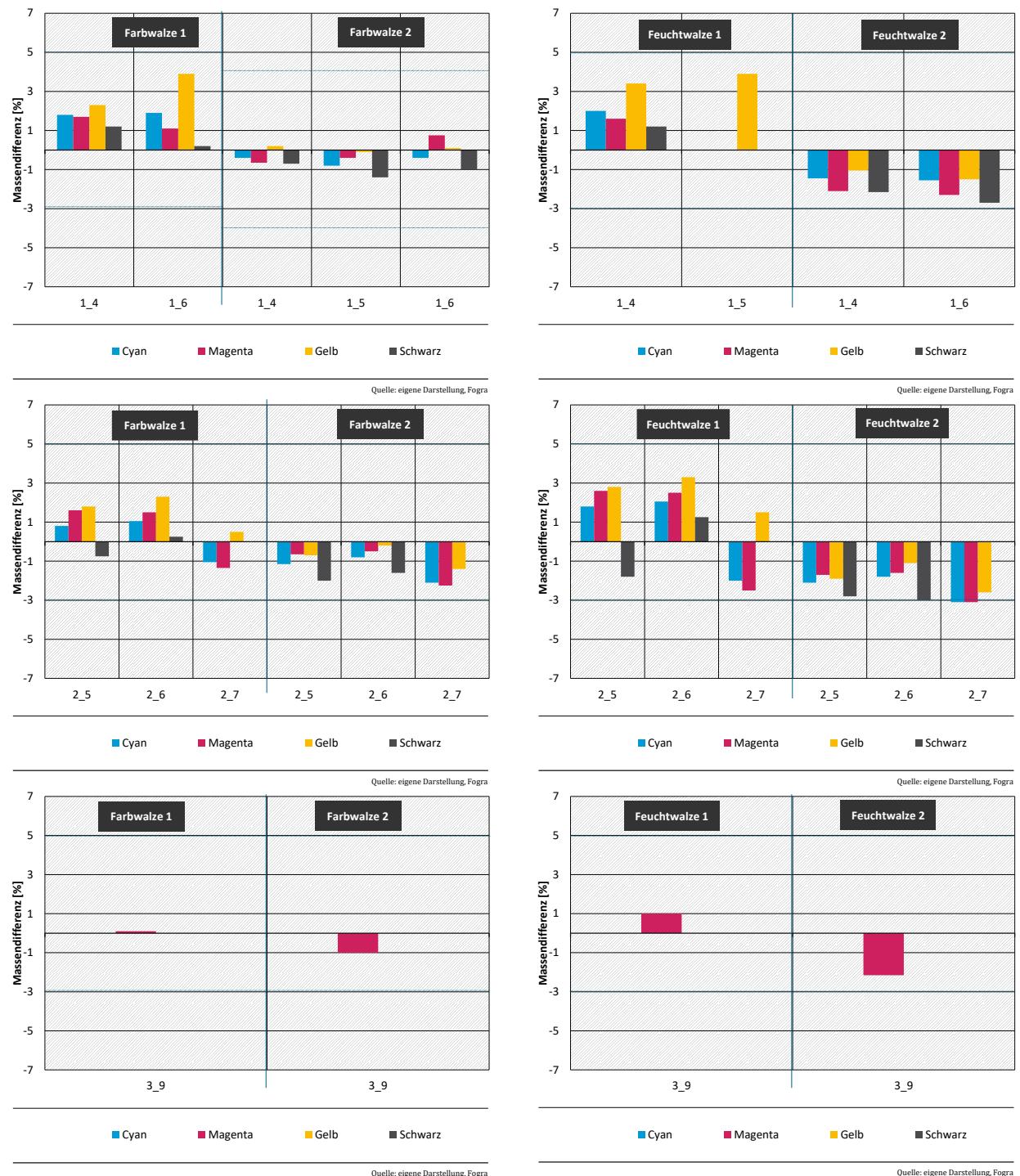
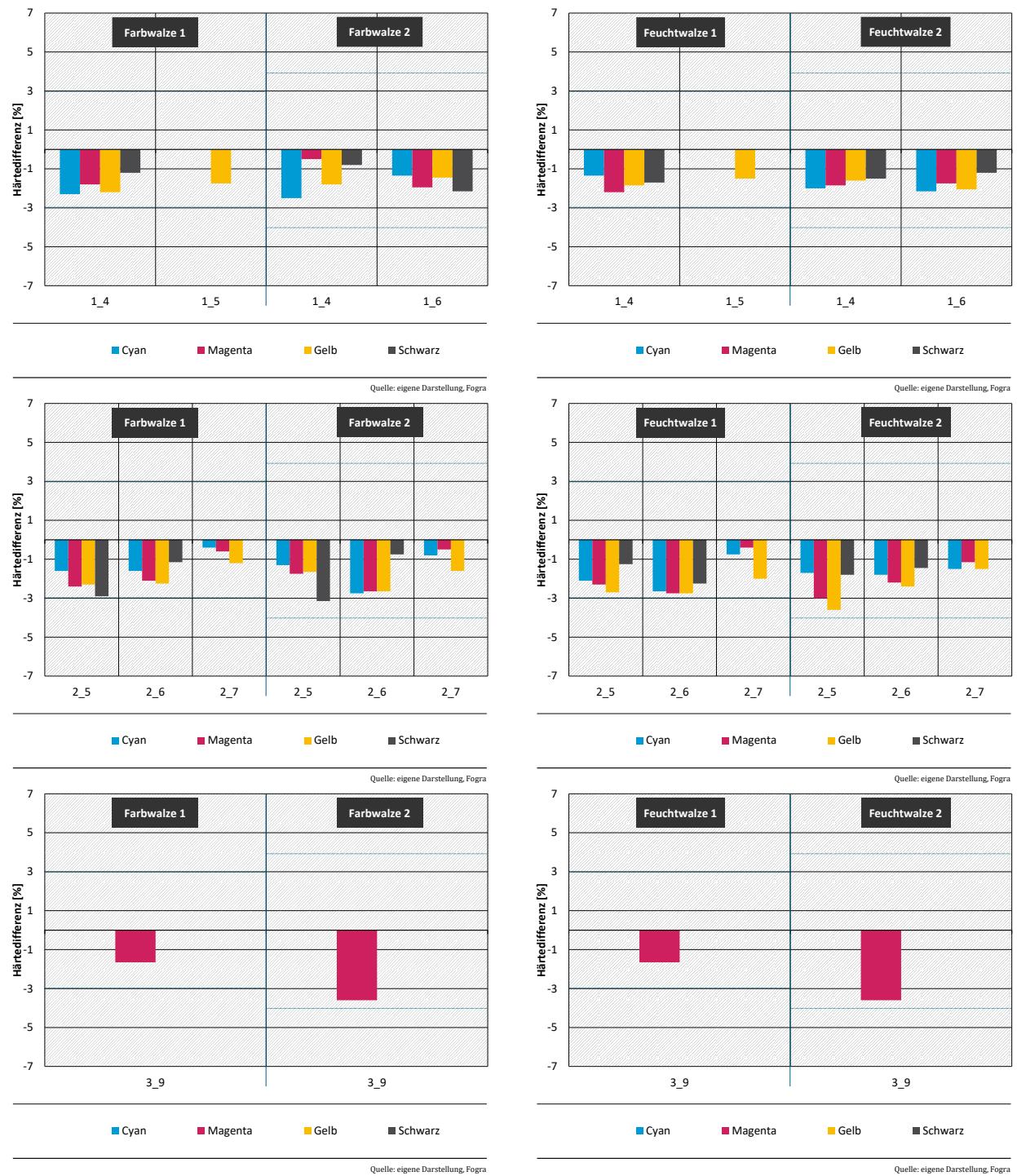


Abbildung 23: Härteänderung der in der Druckmaschine der FSD eingebauten Elastomermaterialien. Die Farben der Balken in den Diagrammen spiegeln die gleichfarbigen Druckfarben (CMYK) wider; obere Reihe: Hersteller 1, mittlere Reihe: Hersteller 2, untere Reihe: Hersteller 3.



4.1.10 Zusammenfassung der Elastomerquelltests

Um die Langzeitdruckversuche wie geplant durchführen zu können, erfolgte eine Umstellung in den Untersuchen vor Beginn der Druckversuche. An Stelle der Tests zur Verträglichkeit von Elastomermaterialien nach einem Standardquelltest ist nur die Beständigkeit der Elastomerwerkstoffe geprüft worden, die sich in der Testmaschine befinden. Die Verträglichkeit der mineralölfreien Druckfarben mit diesen Elastomeren befindet sich innerhalb der Toleranzen der jeweiligen Elastomerhersteller. Ein

Langzeitdruckversuch war somit mit den Druckfarben der Farbhersteller 1 und 3 möglich. Auch die letzte Version der Druckfarben des Farbherstellers 2 wäre prinzipiell für Langzeitdruckversuche geeignet.

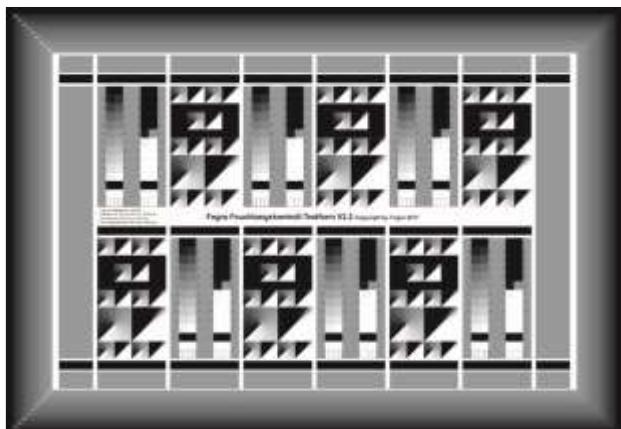
Durch dieses Vorgehen ist jedoch keine allgemeingültige Aussage über die Verwendbarkeit der neuartigen Druckfarbenserien auf alle Zeitungsdruckmaschinen möglich. Die Quelluntersuchungen müssen für jede Druckmaschine und deren Elastomerkonfiguration separat durchgeführt werden. Es wird daher empfohlen, im Nachgang zu dem vorliegenden Projekt eine neue, aktualisierte Referenzserie für die Prüfung der allgemeinen Materialverträglichkeit von Elastomeren gegen Druckfarben zu entwickeln und am Markt zu etablieren.

4.2 Druckversuche von mineralölfreien Druckfarben an einer Bogenoffsetdruckmaschine

4.2.1 Drucktechnische Charakterisierung

Vor Druckversuchen auf einer großen Zeitungsdruckmaschine waren Versuche zur drucktechnischen Charakterisierung und Farb-Optimierungen an einer Bogendruckmaschine der Fogra erforderlich. Diese bestanden aus dem Vergleich des drucktechnischen Verhaltens einer mineralfreien und einer mineralölhaltigen Druckfarbe und Versuchen zur Ermittlung des Farb-/Wassergleichgewichts. Zusätzlich dazu sollte versucht werden, die Spritz- und Nebelneigung im Vergleich zu einer Standardfarbe zu bewerten. Für diese Druckversuche wurden die folgenden Druckformen verwendet:

Abbildung 24: Fogra Feuchtungskontrollform (links) und Fogra Prozesskontrollform (rechts).



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



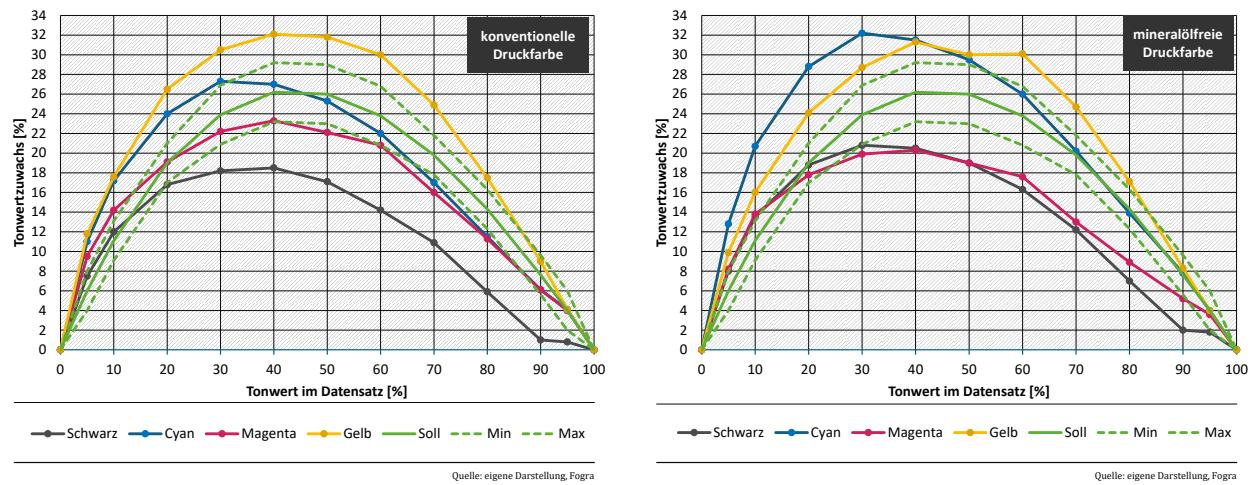
Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Die Feuchtungskontrollform wendet man üblicherweise zur Optimierung des Farb-/Wassergleichgewichts an. Sie reagiert sehr sensibel auf die Zugabe unterschiedlicher Feuchtmittelmengen und man kann damit sehr exakt die optimalen Feuchtungseinstellungen bestimmen. Mit der Standardisierungstestform ist es möglich Tonwertzunahmen für alle 4 Grundfarben zu messen. Setzt man die Standardisierungstestform bei unterschiedlichen Feuchtungseinstellungen ein, so ist zu erkennen, wie schnell sich die Tonwerte bei Abweichungen von den optimalen Einstellungen verändern. Diese Toleranzschwelle ist ein Marker für die Stabilität der Produktion. Je größer das Feuchtungsfenster ohne Auswirkungen auf die Tonwertzunahmen ist, umso stabiler ist die spätere Produktion.

Auf Grund von Freilaufproblemen war es nicht möglich die Druckversuche mit dem für Zeitungsdruckfarben optimierten Feuchtmittel zu verdrucken. Damit sind die Ergebnisse mit der Feuchtungskontrollform nicht direkt auf die Verhältnisse an Zeitungsdruckmaschinen übertragbar. Bei Verwendung eines Standard-Bogenfeuchtmittels war ein erhöhter Feuchtmittelbedarf für die Verdruckbarkeit von mineralölfreien Druckfarben erkennbar, die jedoch in einem üblichen Toleranzfenster lag.

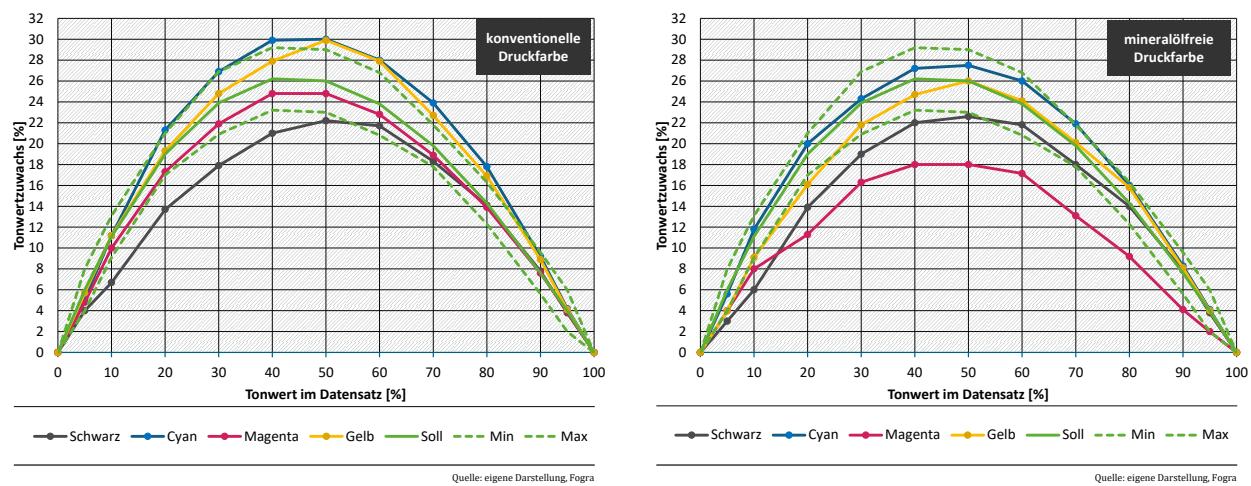
Vergleicht man die Tonwertzunahmen von mineralölfreier und mineralölhältiger Druckfarbe, so hatten bei Firma 1 die Druckfarben Gelb und Cyan Tonwertzunahmen oberhalb der Vorgaben des Prozessstandards Offsetdruck. Besonders groß waren die Abweichungen bei niedrigen Flächendichten. Durch die Verwendung eines Bogenfeuchtmittels sind allerdings die Abweichungen nicht vollständig auf eine Zeitungsdruckmaschine übertragbar. Sie können lediglich als Anhaltswert für einen Vergleich der Farben untereinander genutzt werden.

Abbildung 25: Vergleich der Tonwertzunahmen von konventioneller mineralölhältiger und neuartiger mineralölfreier Druckfarbe des Herstellers 1.



Ein anderes drucktechnisches Verhalten zeigten die mineralölfreien Druckfarben der Firma 3. Die Tonwertzunahme der mineralölfreien Druckfarben im Cyan und Gelb sind bei den kritischen Tonwerten zwischen 20% und 40% deutlich näher an den Vorgaben des Prozessstandards Offsetdruck.

Abbildung 26: Vergleich der Tonwertzunahmen von konventioneller mineralölhältiger und neuartiger mineralölfreier Druckfarbe des Herstellers 3.



4.2.2 Zusammenfassung der Druckversuche an einer Bogenoffset-Druckmaschine

Druckversuche an einer Bogenoffsetmaschine sind mit einer Reihe unterschiedlicher Farbserien erfolgt. Auf Grund der Tatsache, dass es nicht möglich war, die Druckfarben in Kombination mit den an Zeitungsdruckmaschinen üblicherweise verwendeten Feuchtmitteln zu verdrucken, ist keine direkte Korrelation der Tonwertzunahmen zu den Resultaten an Zeitungsdruckmaschinen möglich. Generelle Trends sind jedoch mit diesen Versuchen durchaus erkennbar. Die Druckversuche ergaben eine weit-

gehend problemlose Verdruckbarkeit mineralölfreier Druckfarben. Der leicht erhöhte Feuchtmittelbedarf dieser Druckfarben lag innerhalb des Regelspielraums von Zeitungsdruckmaschinen. Diese Feststellung hat sich bei den Folgetests an der Zeitungsdruckmaschine bestätigt.

4.3 Kurzzeitdruckversuche mit mineralölfreien Druckfarben an der Zeitungsdruckmaschine

Im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgten zum einen Kurzzeitdruckversuche über einen Tag und zum anderen Langzeitdruckversuche an der Zeitungsdruckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei (FSD). Die Kurzzeitdruckversuche sollten v.a. die generelle Verdruckbarkeit der neuartigen mineralölfreien Zeitungsdruckfarben sicherstellen und gegebenenfalls den Druckfarbenherstellern dazu dienen die Farbrezepte weiter zu optimieren. Bei den Langzeitversuchen sollten die Druckfarben auf die Langzeitstabilität hin getestet werden. Dabei sollte produktionsbegleitend auf einer Sektion der Druckmaschine die mineralölfreie Zeitungsdruckfarbe verdruckt und die Praxistauglichkeit festgestellt werden. Die Durchführung und die Ergebnisse zu den Langzeitdruckversuchen sind in Kapitel 4.4 (ab Seite 93) beschrieben.

Es waren mehrere 1-tägige Druckversuche zur Farboptimierung mit Druckfarben der Hersteller 1 und 3 erforderlich. Die kurzzeitigen Drucktests an der Praxismaschine sollten die prinzipielle Einsetzbarkeit der mineralölfreien Druckfarben an der für die Langzeittests ausgewählten Druckmaschine nachweisen und eventuelle Druck- oder Weiterverarbeitungsprobleme aufzeigen.

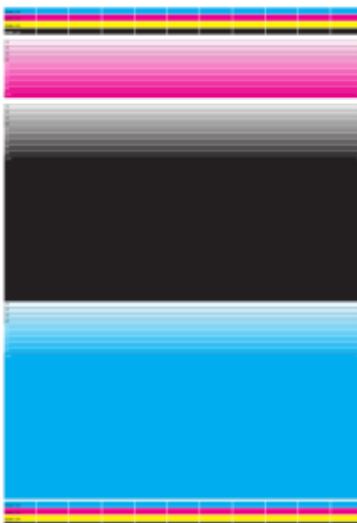
Alle Druckversuche erfolgten mit den Druckformen, die in der Praxisdruckerei üblicherweise zur Qualitätskontrolle verwendet werden (Abbildung 27). Ziel war es die vorliegenden Erfahrungen mit mineralölhaltigen Farbserien auf den Druck mit mineralölfreien Druckfarben übertragen zu können.

Für die Durchführung der Druckversuche wurden die Druckfarben manuell in die Farbkästen gefüllt. Bei jedem Druckversuch wurden der Druckerei ca. 50 kg jeder Druckfarbe geliefert und es wurden ca. 30.000 bis 60.000 Exemplare der Druckmuster hergestellt.

Abbildung 27: Testformen der Frankfurter Societäts-Druckerei zur Qualitätskontrolle (links) und zur Ermittlung der Ergiebigkeit von Druckfarben (mitte und rechts).



Quelle: Frankfurter Sozietäts-Druckerei



Quelle: Frankfurter Sozietäts-Druckerei



Quelle: Frankfurter Sozietäts-Druckerei

Die Kurzzeitdruckersuche hatten folgende Schwerpunkte:

1. Optimierung des Farb/Wassergleichgewichts der Druckfarben bei einer Testdruckgeschwindigkeit.

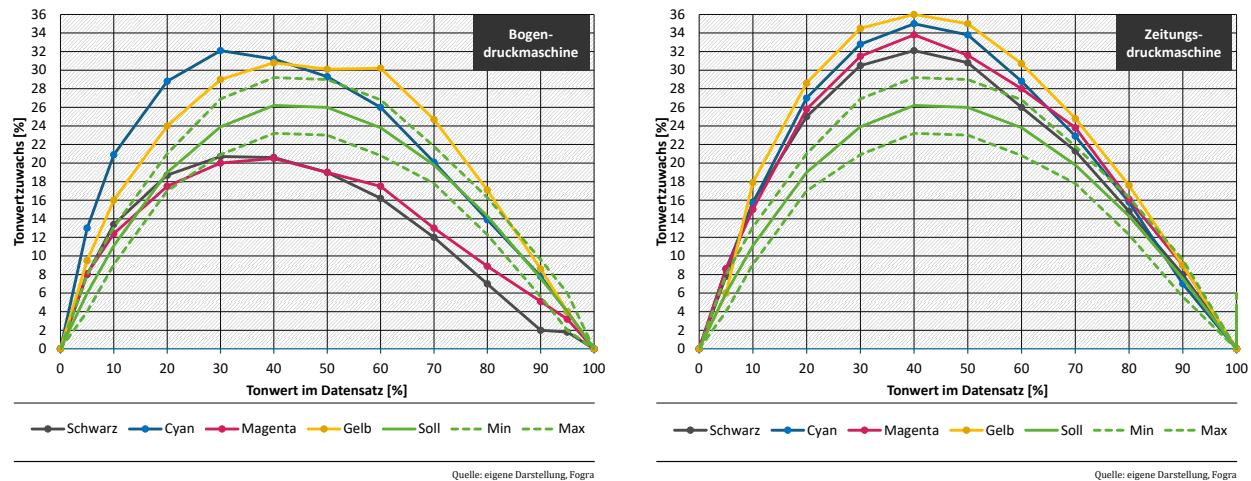
2. Prüfung der Anwendbarkeit der in der Druckmaschine befindlichen Anpassungskurve für das Farb/Wassergleichgewicht bei Geschwindigkeitserhöhungen für die Verwendung von mineralölfreien Zeitungsdruckfarben.
3. Ermittlung der Einstellungen des Farb/Wassergleichgewichts für mineralölfreie Zeitungsdruckfarben bei der üblichen Produktionsgeschwindigkeit.
4. Bewertung des Farbverbrauchs von mineralölfreien Druckfarben.
5. Prüfung des Nebelverhaltens aller mineralölfreier Einzelfarben.
6. Prüfung der Schmier- und Ablegogeneigung der mineralölfreien Druckfarben.
7. Verhalten in den Klammern und nach Wicklung auf Trommeln in der Weiterverarbeitung.
8. Prüfungen zur Übertragbarkeit der ermittelten Kennwerte auf weitere Papiersorten.

4.3.1 Farb-/Wassergleichgewicht der mineralölfreien Druckfarben

4.3.1.1 Ergebnisse aus den Kurzzeitdruckversuchen

Betrachtet man die Tonwertzunahmen von Druckfarbe von Firma 1 aus den Versuchen im Bogenoffset im Vergleich zu den an der Zeitungsdruckmaschine bei einer üblichen Fortdruckgeschwindigkeit von 30.000 U/h gemessenen Werten, so zeigen sich signifikante Abweichungen, wie in Abbildung 28 zu erkennen ist. Hierfür kann es mehrere Ursachen geben. Eine sehr wahrscheinliche Erklärung dürfte in dem verwendeten Feuchtmittel liegen. Ein Zeitungsfeuchtmittel ist nicht in identischer Zusammensetzung an einer Bogenoffsetmaschine einsetzbar. Versuche an der Bogendruckmaschine können somit nur zum Test einer prinzipiellen Verdruckbarkeit einer Zeitungsdruckfarbe herangezogen werden. Überraschend sind allerdings die Unterschiede in der Reaktion der Farben Schwarz und Magenta im Vergleich zum Cyan und Gelb.

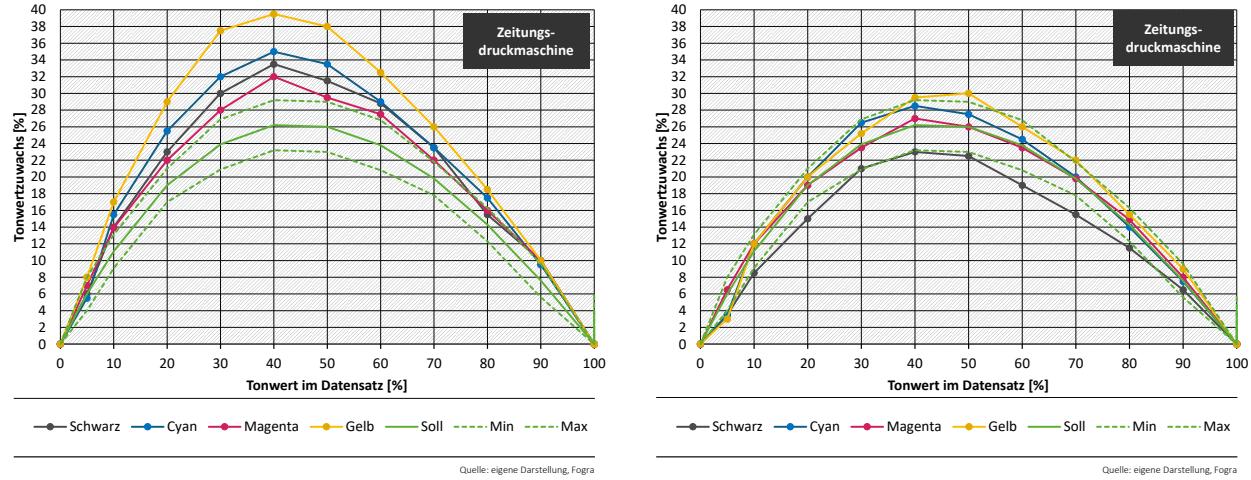
Abbildung 28: Vergleich der Tonwertzunahmen des selben Druckfarbensatzes aus den Versuchen an der Bogen- (links) und der Zeitungsdruckmaschine (rechts).



Bei den Druckversuchen an der Zeitungsdruckmaschine der FSD zeigten sich Unterschiede im Feuchtmittelbedarf zwischen mineralölhaltigen und mineralölfreien Druckfarben. Die mineralölfreien Druckfarben brauchten unabhängig von der Druckgeschwindigkeit generell eine leicht erhöhte Dosierung vom Feuchtmittel. Auch die in den Steuerungen der Druckwerke hinterlegte Anpassungskurve zur Veränderung der Feuchtmittelmenge bei Änderungen der Druckgeschwindigkeit musste für die mineralölfreien Druckfarben angepasst werden. Die für diese Anpassungen notwendigen Kennwerte sind bei den Druckversuchen ermittelt worden. Nach Anpassung der Feuchtmitteldosierung ergaben sich

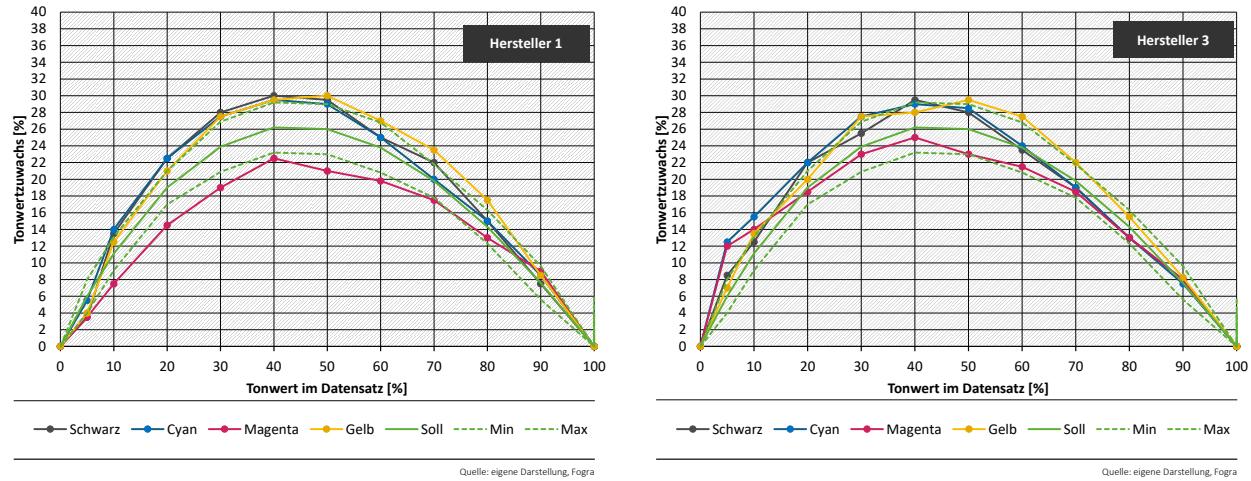
die folgenden Tonwertzunahmen (Abbildung 29) für die ersten Farbserien der Druckfarbenhersteller 1 und 3.

Abbildung 29: Tonwertzunahmen der beiden ersten Versionen der mineralölfreien Druckfarbserien an der Zeitungsdruckmaschine.



In den Folgeserien war auch hier eine Optimierung bis zu einer Farbserie notwendig, die für einen problemlosen Langzeitdruckversuch geeignet ist. Dementsprechend konnten die für den Langzeitdruckversuch qualifizierten Druckfarbenserien eine gute Übereinstimmung mit den Sollwerten für Tonwertzunahmen im Zeitungsdruck aufweisen (Abbildung 30).

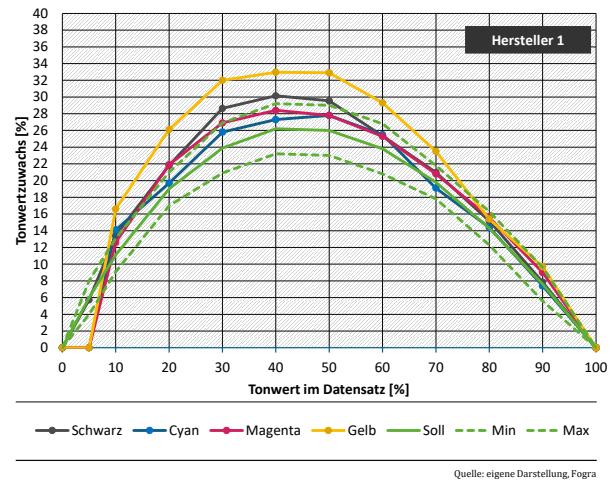
Abbildung 30: Tonwertzunahmen der Druckfarbenserien von Hersteller 1 (links) und Hersteller 3 (rechts), mit denen in die Langzeitversuche gestartet wurde.



4.3.1.2 Tonwertzunahmen mit mineralölfreier Druckfarben im produktionsbegleitenden Druckversuch

Während der produktionsbegleitenden Langzeitversuche erfolgte eine regelmäßige Überprüfung der Tonwertzunahmen der Druckfarben. Bei Hersteller 3 konnten so Daten über 3 Monate gesammelt werden. Innerhalb dieses Zeitraums forderte die Druckerei eine Nachbesserung der Druckfarben in Bezug auf Tonwertzunahmen und Farbverbrauch. Daher erfolgten bei den beiden Farben Cyan und Gelb Anpassungen in der Pigmentierung. Bei Hersteller 1 war lediglich die Messung der Tonwertzunahme in der zuletzt verwendeten Druckfarbe möglich (Abbildung 31). Die Werte für Cyan und Magenta liegen im oberen Bereich des Zulässigen, Schwarz zeigt eine leichte Überschreitung und Gelb liegt deutlich über den nach der ISO 12647-3 erlaubten Grenzen.

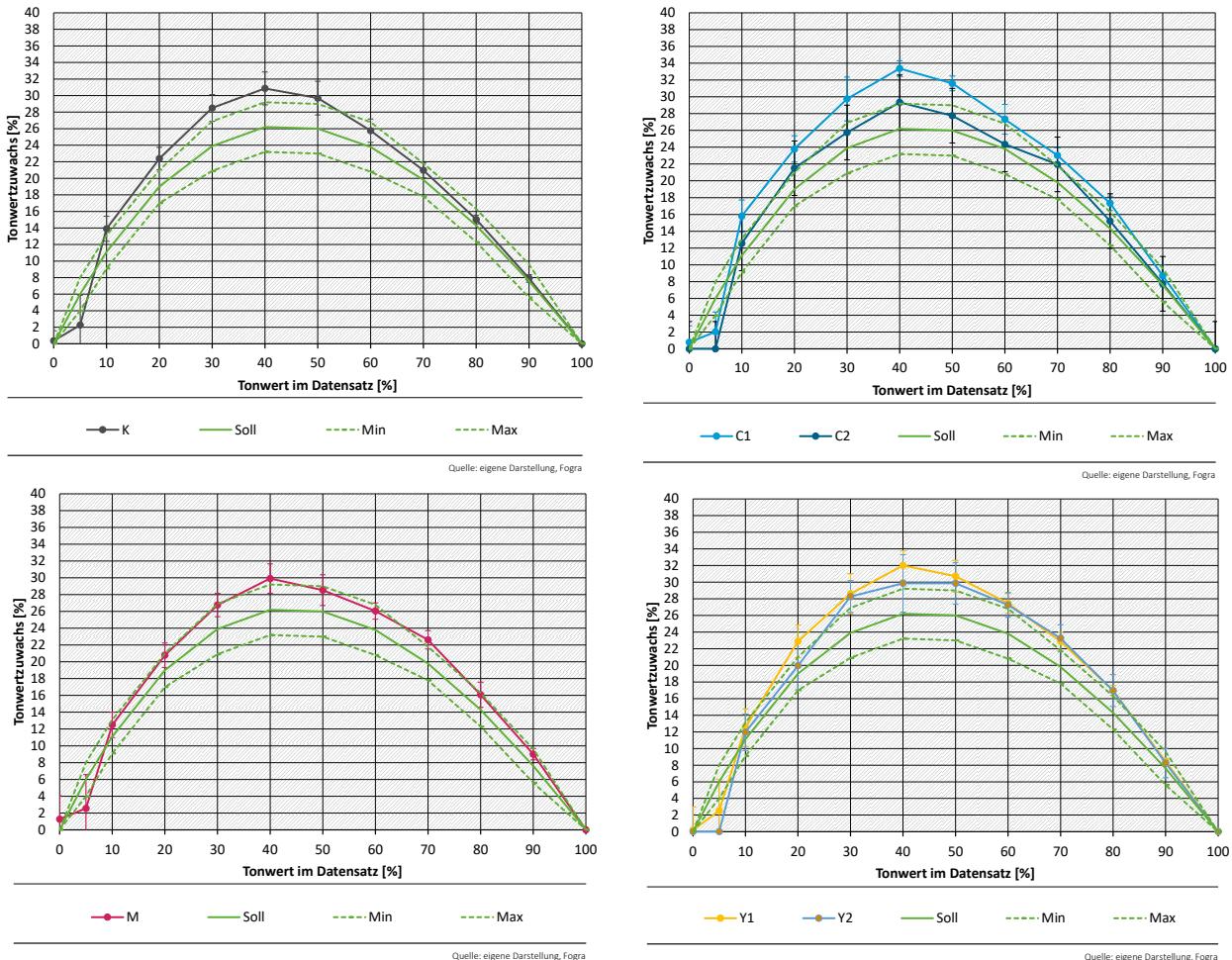
Abbildung 31: Tonwertzunahmen der letzten Formulierung von Hersteller 1.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Abbildung 32 zeigt die Mittelwerte der über den Zeitraum ermittelten Tonwertzunahmen, aufgeteilt nach Farbtönen. Nach ca. zehn Wochen Druckversuch wurden von der Druckerei Nachbesserungen der Druckfarben in Bezug auf Ergiebigkeit und Tonwertzunahmen gefordert. Die daraufhin von dem Farbhersteller durchgeführten Anpassungen im Cyan und im Gelb zeigen eine deutliche Verbesserung der Tonwertzunahmekurven. Allerdings sind alle Druckfarben im Be3zug auf ihre Tonwertzunahmen am oberen Grenzwert der ISO 12647-3 bzw. darüber, so dass eine weitere Anpassung notwendig ist, um mit der notwendigen Qualität drucken zu können.

Abbildung 32: Mittelwerte der Tonwertzunahmen der im produktionsbegleitenden Langzeittest eingesetzten Druckfarbenserien von Hersteller 3. Im Cyan und um Gelb wurden im Versuchszeitraum Anpassungen vorgenommen (Version 2).



4.3.2 Farbverbrauch der mineralölfreien Druckfarben

Für die Messung des Farbverbrauchs gibt es zwei nachvollziehbare Gründe.

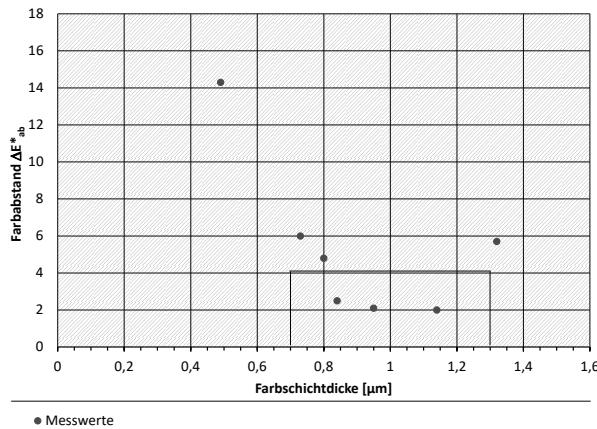
Ein Farbhersteller muss seinen Kunden (Druckereien) nachweisen können, dass er jede Charge normgerecht produziert. Der Kunde des Farbherstellers möchte wissen und im Zweifelsfall kontrollieren können, wie viel Druckfarbe er benötigt, um eine normgerechte Produktion für seine Kunden (u.a. Anzeigenkunden) gewährleisten zu können. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verwenden Farbhersteller und Druckereien dazu unterschiedliche Verfahren. Im Rahmen dieses Projekts erfolgten von einigen Farbchargen Messungen nach beiden Verfahren.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes mineralölfreier Druckfarben am Ende des Projekts bildet neben dem Preis der Farbverbrauch eine wesentliche Kenngröße. Aus diesem Grund sind sehr ausführliche Untersuchungen zu dieser Thematik erfolgt. Für die Messung der Farbergiebigkeit der mineralölfreien Druckfarbe sind zwei unterschiedliche Verfahren bekannt und üblich:

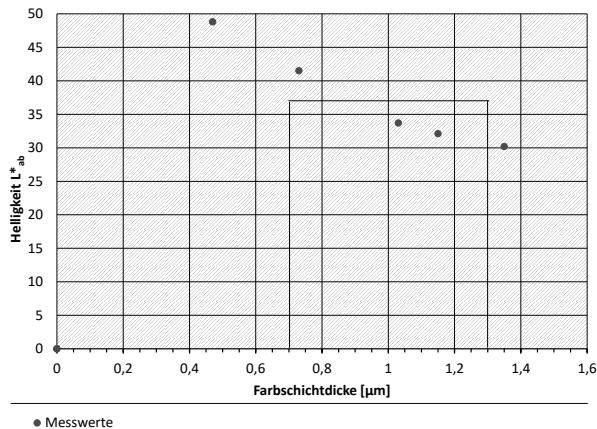
1. Druckfarben werden nach der Herstellung in den Druckfarbenfabriken üblicherweise nach ISO 2846-2 geprüft. Für die Messung der Ergiebigkeit wird das Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless^{xviii} empfohlen. In Abbildung 33 sind die Messwerte für eine ISO-konforme Buntfarbe sowie eine ISO-konforme Schwarzfarbe als Beispiel abgebildet.
2. In der FSD erfolgte die Bewertung der Farbergiebigkeit nach dem dort üblichen Standardverfahren unter Verwendung der in Abbildung 27 (mitte und rechts) abgebildeten Druckformen.

Bei einer reduzierten Druckgeschwindigkeit wird Druckfarbe mit definierten Farbdichten vollflächig gedruckt. Die auf das Papier übertragene Farbmenge wird anschließend durch Wägung und einem Vergleich mit unbedrucktem Papier bestimmt.

Abbildung 33: Beispiele für zwei ISO-konforme Druckfarben. Das in den Grafiken enthaltene Rechteck kennzeichnet die Grenzen der Konformität mit der Norm ISO 2846-2. Die Messwerte zeigen eine Andruckserie, bei der es ausreicht, wenn ein Messwert innerhalb des Rechtecks ist.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

4.3.2.1 Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless in Anlehnung an die ISO 2846-2

Auch aus den Labormessungen in Anlehnung an die ISO 2846-2 ist es möglich, die Ergiebigkeit zu berechnen. Dazu trägt man die Farbmenge in Relation zu der erzielten Farbdichte auf. Aus der Grafik und deren Ausgleichskurve kann man die Farbmenge berechnen, die bei der gedruckten Standardfarbdichte verbraucht wird.

Abbildung 34: Vergleich der Farbergiebigkeit von mineralölfreien Druckfarben des Farbherstellers 1 nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless. Die Punkte zeigen die durchgeführten Messungen, die Kurven (Cyan, Magenta, Orange, Schwarz) sind interpolierte Funktionen aus diesen Einzelwerten.

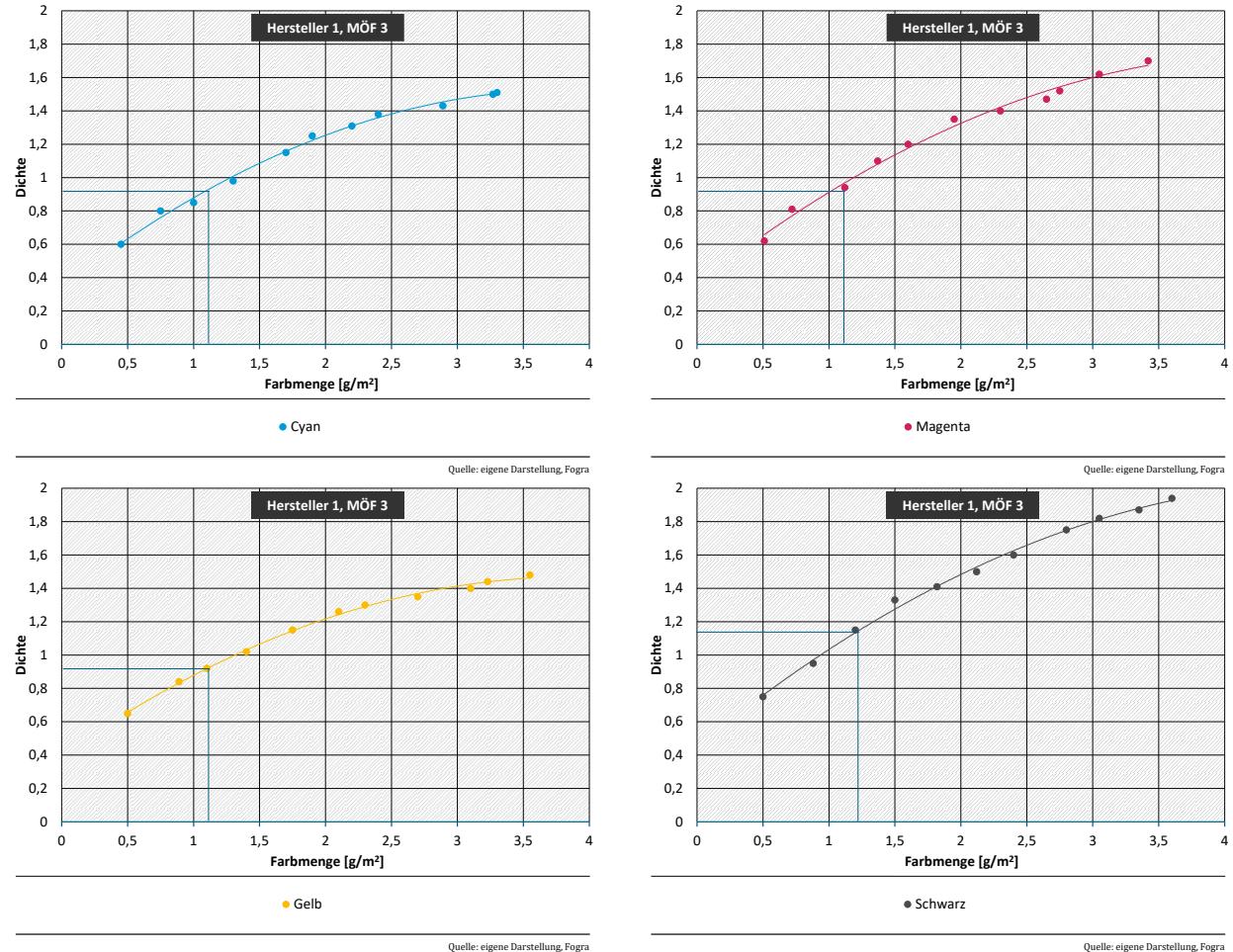
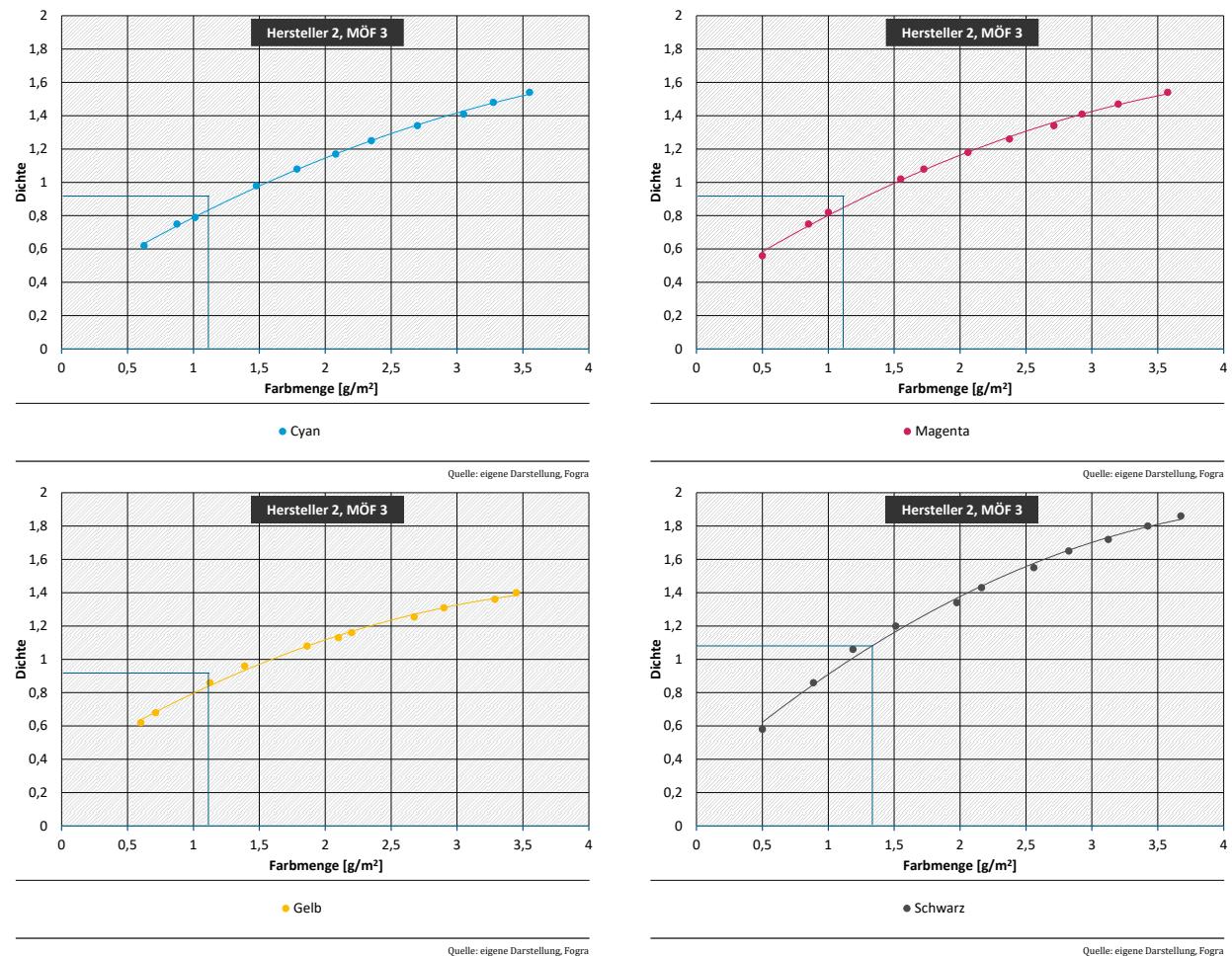


Abbildung 35: Vergleich der Farbergiebigkeiten von Druckfarben des Farbherstellers 2 nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless als Auftragung der Farbdichte über der verbrauchten Farbmenge. Die Quadrate zeigen die durchgeföhrten Messungen, die eingezeichneten Kurven sind interpolierte Funktionen aus diesen Einzelwerten.



Aus den Kurven lässt sich der Farbverbrauch (Farbmenge, die zur Bedruckung von 1 m² benötigt wird) bei gegebener Farbdichte ablesen. Aus den durchgeföhrten Versuchen ergaben sich die in der nachfolgenden Tabelle zusammengefassten Farbverbrauchswerte der einzelnen Druckfarben beider Farbhersteller.

Tabelle 4: Vergleich des durchschnittlichen Farbverbrauchs von Druckfarben der Farbhersteller 1 und 3 bei den im Zeitungsdruk üblichen Farbdichten nach dem Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless.

Farbton	Menge Druckfarbe [g/m ²] Farbhersteller 1	Menge Druckfarbe [g/m ²] Farbhersteller 3
Schwarz (bei einer Farbdichte von 1,1)	1,18	1,35
Gelb (bei einer Farbdichte von 0,9)	1,14	1,27
Magenta (bei einer Farbdichte von 0,9)	1,03	1,24
Cyan (bei einer Farbdichte von 0,9)	1,13	1,30

Das Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless ist das Standardlaborverfahren der Druckfarbenfabriken in der Qualitätskontrolle. Ringversuche in der Vergangenheit haben gezeigt, dass Differenzen beim Vergleich der Ergebnisse zwischen einzelnen Labors bestehen. Die Durchführung der Prüfung durch

die gleiche Person mit identischem Equipment führt jedoch zu weitgehend reproduzierbaren Ergebnissen.

4.3.2.2 Farbverbrauchsbestimmung durch die Cut&Weight-Methode

Die Ermittlung des Farbverbrauchs durch die Cut&Weight-Methode nach dem Verfahren der FSD basiert auf einer Differenzwägung zwischen jeweils 20 Stück $0,05 \text{ m}^2$ großen, bedruckten bzw. unbedruckten Flächen. Die dazu verwendete Druckform entspricht dem mittleren und rechten Bild in Abbildung 27. Sie wird bei einer Druckgeschwindigkeit von 10.000 U/h verdrückt, bis sich ein stabiles Farb-/Wassergleichgewicht eingestellt hat. Da im Gegensatz zur Labormethode ISO 2846-2 nur eine Farbdichte angedrückt wird, ist es notwendig, diese Farbdichte so genau wie möglich einzuhalten und zu kennen. Dazu wird beim Andruck die Dichte von 1,1 für Schwarz und die Dichte von 0,9 für die Buntfarben eingestellt und bei der späteren Auswertung stichprobenartig durch Messungen verifiziert.

Abbildung 36: Messstreifen für den Farbverbrauch nach dem Verfahren der FSD (eigene Darstellung, Fogra).



Quelle: Frankfurter Soziätäts-Druckerei

Die Ermittlung des Farbverbrauchs nach diesem Verfahren ist im laufenden Projekt mit zwei mineralölfreien Druckfarben durch die Fogra und die FSD sowie teilweise auch durch die Farbhersteller erfolgt. Dabei wurde der Farbverbrauch für jeden Farbton der beiden Druckfarbenserien ermittelt. Die Ergebnisse, die in der FSD nach diesem Verfahren ermittelt wurden, sind in Tabelle 5 dargestellt. Verglichen mit dem Richtwert zum Farbverbrauch der FSD mit den gemessenen Werten zeigt sich, dass die mineralölfreien Druckfarben ähnliche Farbverbräuche aufweisen wie die konventionellen Druckfarben.

Tabelle 5: Vergleich der durchschnittlichen Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit zwei mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei einer Druckgeschwindigkeit von 10.000 U/h aus den Messergebnissen der FSD.

Farbton	Menge Druckfarbe [g/m ²] Farbhersteller 1	Menge Druckfarbe [g/m ²] Farbhersteller 3	Richtwert der FSD [g/m ²]
Schwarz (Dichte: 1,1)	1,05 ± 0,15	1,02 ± 0,10	1,00
Gelb (Dichte: 0,9)	0,92 ± 0,13	1,11 ± 0,08	1,10
Magenta (Dichte: 0,9)	1,04 ± 0,17	1,07 ± 0,08	1,10
Cyan (Dichte: 0,9)	1,11 ± 0,16	1,27 ± 0,09	1,00

Parallel zu den Messungen in der FSD wurden Druckmuster aus dem gleichen Druckauftrag in der Fogra nach diesem Verfahren auf den Farbverbrauch hin untersucht. Vergleicht man die Daten der Fogra (Tabelle 6, 1. und 2. Spalte) mit den Ergebnissen der FSD (Tabelle 5), so können vor allem bei den Druckfarben von Hersteller 1 z.T. erhebliche Differenzen festgestellt werden (Tabelle 6, 4. und 5. Spalte):

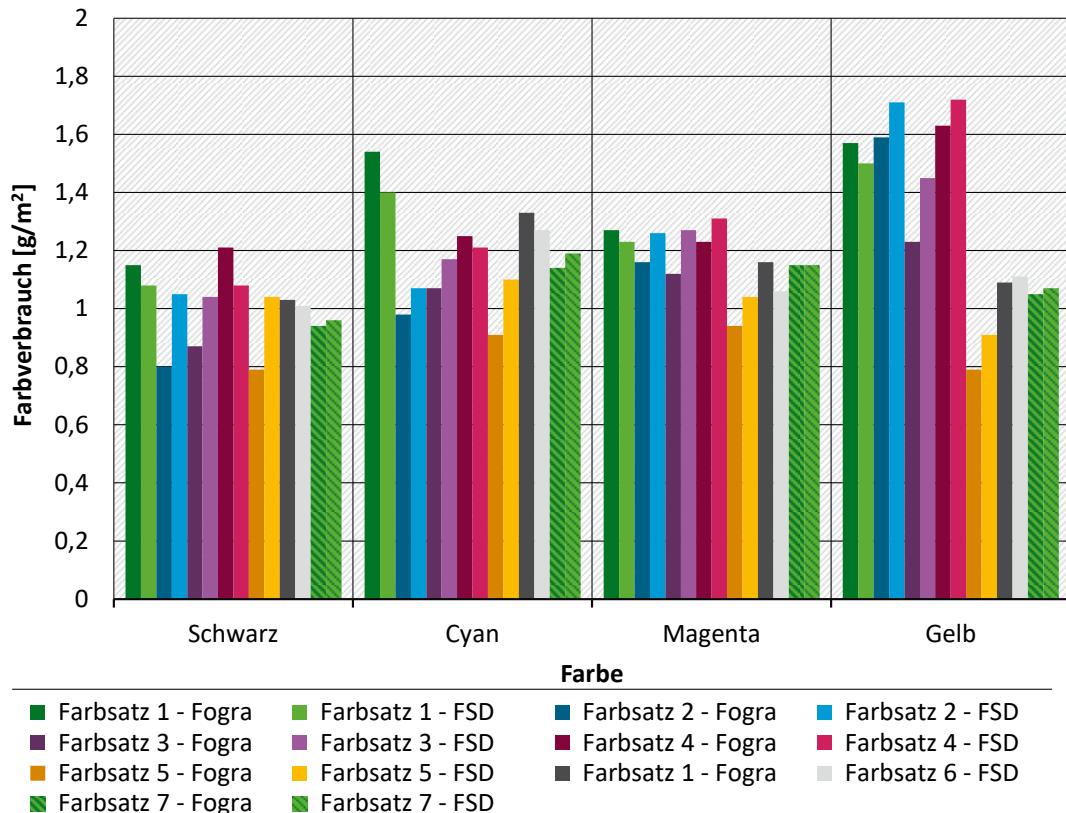
Tabelle 6: Vergleich der durchschnittlichen Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit zwei mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei einer Druckgeschwindigkeit von 10 000 U/h aus den Messergebnissen der Fogra und der FSD.

Farbton	Menge Druckfarbe [g/m ²] Hersteller 1	Menge Druckfarbe [g/m ²] Hersteller 3	Differenz FSD – Fogra [g/m ²] Hersteller 1	Differenz FSD – Fogra [g/m ²] Hersteller 3
Schwarz (Dichte 1,1)	0,74 ± 0,19	1,02 ± 0,14	0,31	0,00
Gelb (Dichte 0,9)	0,79 ± 0,19	1,10 ± 0,21	0,2	0,01
Magenta (Dichte 0,9)	0,94 ± 0,22	1,16 ± 0,14	0,1	0,09
Cyan (Dichte 0,9)	0,91 ± 0,18	1,33 ± 0,16	0,2	0,05

Je geringer die gemessene Menge an Druckfarbe ist, umso geringer ist auch der Farbverbrauch. Dies bedeutet, dass für die Druckfarben von Hersteller 1 bei der Fogra ca. 20 % weniger Farbverbrauch gemessen wurden. Für die Ergiebigkeit der Druckfarben von Hersteller 2 konnte eine gute Übereinstimmung zwischen den Messungen der Fogra und der FSD beobachtet werden.

Um diese Differenzen in den Ergebnissen zwischen der Fogra und der FSD aufzuklären, muss man die Einzelwerte (Abbildung 37) betrachten. In dieser Abbildung repräsentieren jeweils ein massiver Balken (Fogra) und der gestrichelte Balken links daneben (FSD) die Ergebnisse von chargengleichen Druckprodukten. Es ist nicht erkennbar, dass die Messwerte der Fogra systematisch höher oder niedriger waren als die bei der FSD gemessenen. Ergebnisse, die bei den Druckfarbenherstellern ermittelt wurden zeigen ebenfalls keine eindeutige Tendenz hin zu einer gemessenen Ergiebigkeit von FSD oder Fogra. Eine Erklärung für diese Schwankungen konnte im Rahmen des Projektes nicht gefunden werden.

Abbildung 37: Vergleich der Einzelmessungen der FSD (dunkle Säulen) und der Fogra (helle Säulen) zur Farbergiebigkeit aus Druckversuchen mit allen getesteten mineralölfreien Druckfarben nach dem Cut&Weight-Verfahren der FSD. Die Produktion der Muster erfolgte bei einer Druckgeschwindigkeit von 10.000 U/h. Jeweils eine dunkle und eine helle Säule des gleichen Farbtone standen für die gleiche Druckfarbe.

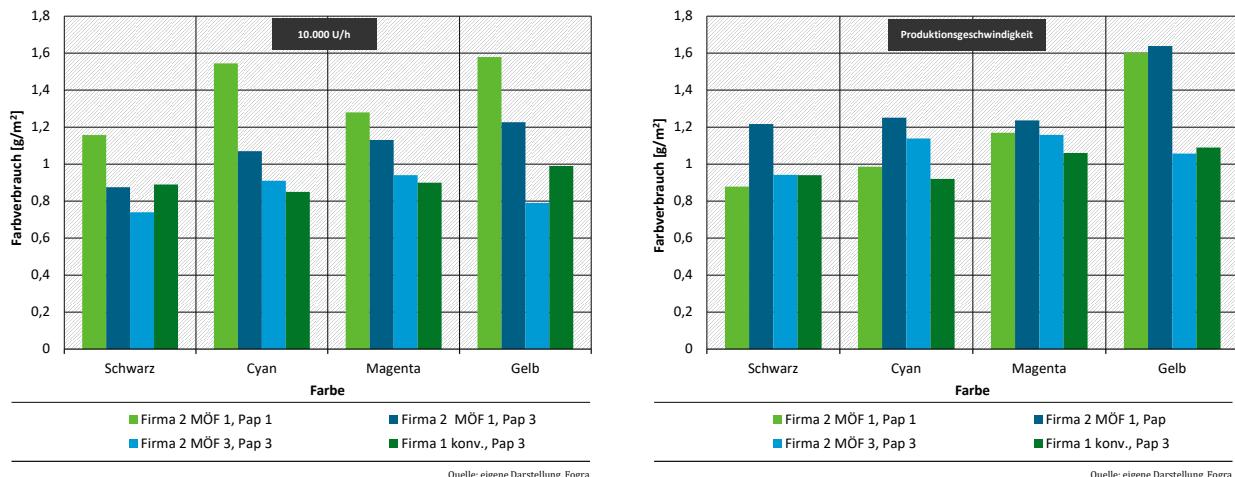


Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Grundsätzlich zeigte sich mit diesem Verfahren, dass sich die Farbergiebigkeit der Druckfarbenserien beider Hersteller im Rahmen der Messgenauigkeit nicht signifikant voneinander unterscheiden lassen.

Einen weiteren Einfluss auf den Farbverbrauch hat die Druckgeschwindigkeit. Vergleicht man den ermittelten Farbverbrauch bei Druckgeschwindigkeiten 10.000 U/h und 30.000 U/h bei identischen Maximaldichten, so ergeben sich auch hier Differenzen zwischen beiden Messstellen, aber auch bei der verbrauchten Farbmenge.

Abbildung 38: Vergleich der Farbergiebigkeit verschiedener mineralölfreier Druckfarben nach dem Verfahren der FSD bei verschiedenen Druckgeschwindigkeiten (links 10.000 U/h, rechts 30.000 U/h).



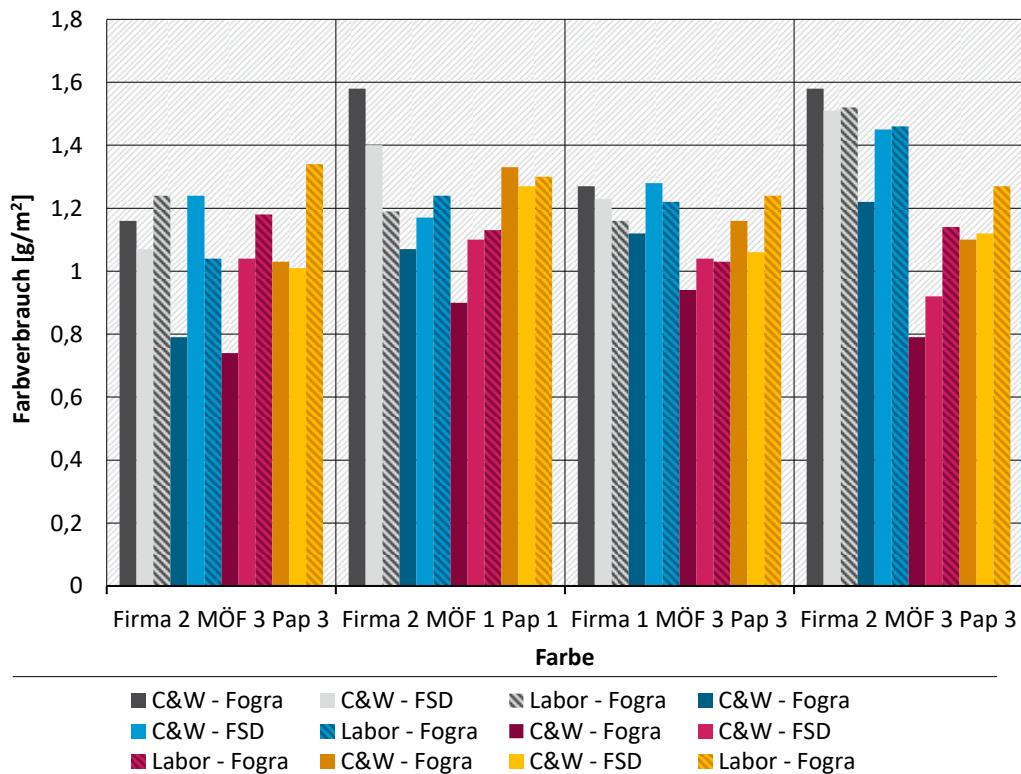
Auf Grund der schwierigen Probenahme und der erhöhten Kosten ist ein Verbrauchstest bei 30.000 U/h nicht zu empfehlen. Die Versuche bei 2 Druckgeschwindigkeiten zeigen jedoch, dass der beschriebene Verbrauchstest nur eine eingeschränkte Genauigkeit hat. Trotz intensiver Recherche kann kein alternatives Verfahren empfohlen werden.

4.3.2.3 Korrelation der unterschiedlichen Verfahren zur Farbverbrauchsmessungen von Zeitungsdrukfarben

Die Bestimmung des Farbverbrauchs ist sowohl für Druckereien als auch Druckfarbenhersteller wichtig. Farbhersteller müssen ihren Kunden nachweisen können, dass er jede Charge normgerecht produziert und Druckereien möchten sicherstellen und kontrollieren können, wie viel Druckfarbe für eine normgerechte Produktion für Kundenaufträge (u.a. Anzeigenkunden) notwendig ist.

Wie in den vorigen Kapiteln 4.3.2.1 und 4.3.2.2 wurden die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Messmethoden zur Bestimmung der Farbergiebigkeit dargestellt und diskutiert. In Abbildung 39 sind vergleichend die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Messverfahren dargestellt.

Abbildung 39: Vergleich der Farbergiebigkeit verschiedener mineralölfreier Druckfarben nach dem Cut&Weight-Verfahren (C&W) der FSD (dunkle Säulen von Fogra gemessen, helle Säulen von FSD gemessen) und dem Labor-Verfahren nach Bertholdt, Zins und Schless (gestreifte Säulen, von der Fogra gemessen); die Säulenfarben entsprechen den jeweiligen Farbtönen.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Beim Vergleich der Daten zeigt sich, dass die beiden Verfahren im Rahmen der Messgenauigkeit zu ähnlichen Ergebnissen kommen und somit eine aussagekräftige Datenbasis für die Kommunikation zwischen den Druckereien und den Farbherstellern besteht. Auf dieser Basis kann an beiden Seiten überprüft werden, in wie weit es zu vermehrtem Farbverbrauch kommt.

4.3.2.4 Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben im Vergleich mit mineralölhaltigen Druckfarben

Es ist davon auszugehen, dass mineralölfreie Druckfarben nicht zu den gleichen Preisen angeboten werden können wie die konventionellen mineralölhaltigen Druckfarben. Eine wichtige Fragestellung im Rahmen der Untersuchungen im vorliegenden Projekt ist deshalb die Veränderung des Farbverbrauchs zwischen mineralölhaltiger und mineralölfreier Druckfarbe. Wenn zu den Mehrkosten für die Farblieferungen auch noch Mehrkosten durch einen höheren Verbrauch kommen, wirkt sich das negativ auf die Akzeptanz aus.

Für vergleichende Untersuchungen hinsichtlich des Farbverbrauchs von konventionellen mineralölhaltigen und neuartigen mineralölfreien Druckfarben erfolgten Druckversuche, bei denen beide Farbtypen der teilnehmenden Druckfarbenhersteller auf identischen Papieren angedruckt wurden, um den Einfluss des Bedruckstoffs zu minimieren. Die Farbergiebigkeit wurde sowohl nach der FSD-Methode (gravimetrische Bestimmung mit Andrucken aus der Zeitungsdruckmaschine) als auch nach der Labormethode in der Fogra bestimmt. Die Werte sind in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt. Um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten ist in Abbildung 40 der jeweilige Farbverbrauch bei der Standarddichte (1,1 für Schwarz und 0,9 für die Buntfarben) aufgetragen.

Generell zeigt sich bei der Auswertung der Ergebnisse beider Messmethoden, dass der Farbverbrauch von Hersteller 3 (massive Balken in Abbildung 40 und Abbildung 41) etwas höher liegt als der von

Hersteller 1 (jeweils die gestrichelten Balken). Diese Beobachtung gilt sowohl für die mineralölhältigen als auch für die mineralölfreien Druckfarben.

Vergleicht man die erzielten Werte mit den von der FSD als Richtwert etablierten Verbrauchswerten von 1,0 für Schwarz und Cyan bzw. 1,1 für Magenta und Gelb, so liegen bei diesen Versuchen die mineralölfreien Druckfarben vor allem bei Hersteller 3 etwas höher. Auch bei den mineralölhältigen Druckfarben, die in der Art auch in den Zeitungsdruckereien eingesetzt werden, zeigten sich teilweise leichte Überschreitungen der Richtwerte.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Druckfarben von Hersteller 1 die Anforderungen größtenteils erfüllen ist davon auszugehen, dass durch zukünftige Optimierungsschritte der Druckfarbe von Hersteller 3 die Ergiebigkeit der mineralölfreien Druckfarben gesteigert werden kann.

Abbildung 40: Vergleich der berechneten Farbergiebigkeit zwischen mineralölhältigen Standardfarben und mineralölfreien Druckfarben nach dem Verfahren der Druckfarbenhersteller (ISO 2846-2) bei einer Dichte von 1,1 (Schwarz) bzw. 0,9 (CMY).

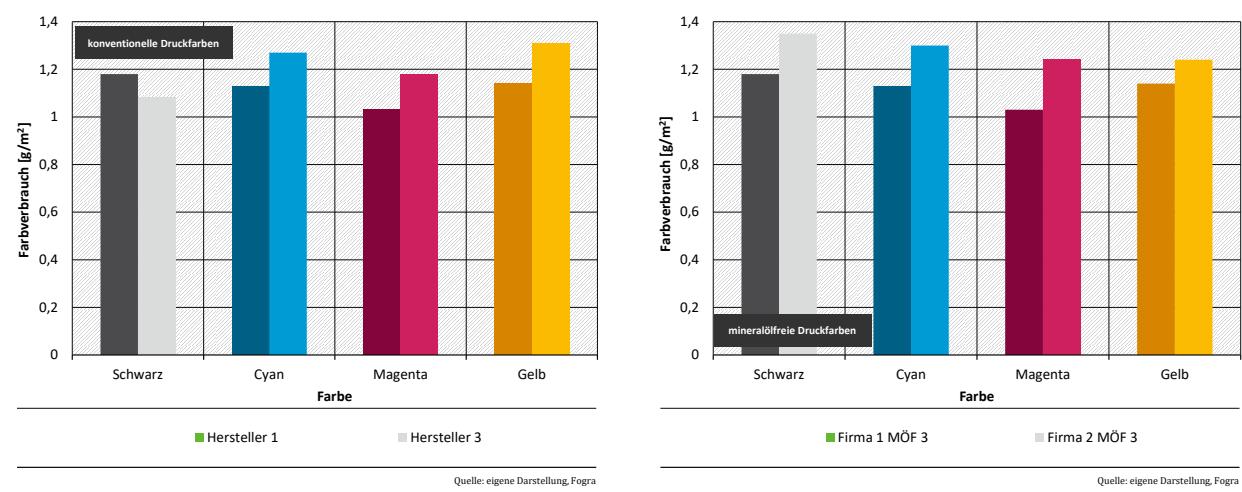
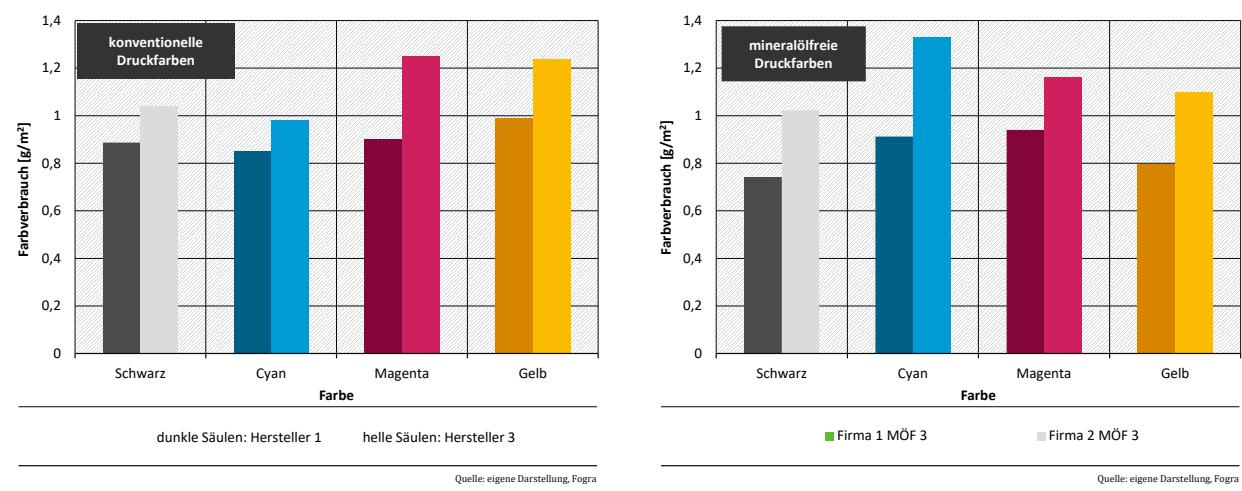


Abbildung 41: Vergleich der Farbergiebigkeit zwischen mineralölhältigen Standardfarben und mineralölfreien Druckfarben nach dem Cut&Weight-Verfahren der FSD bei angedruckten Dichten von 1,1 (Schwarz) bzw. 0,9 (CMY).



4.3.2.5 Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben im produktionsbegleitenden Druckversuch

Während der produktionsbegleitenden Langzeitversuche erfolgte eine regelmäßige Überprüfung der Farbergiebigkeit der Druckfarben. Bei Hersteller 3 konnten so Daten über 3 Monate gesammelt werden. Innerhalb dieses Zeitraums forderte die Druckerei eine Nachbesserung der Druckfarben in Bezug

auf Farbverbrauch und Tonwertzunahmen. Durch die Tatsache, dass die Druckfarben von Hersteller 1 nur maximal fünf Wochen zum Einsatz kamen war eine derartig umfangreiche Datenerfassung nicht möglich.

Aufgrund der über zehn Wochen ermittelten Ergiebigkeitswerte (Abbildung 42) zeigte sich, dass der Farbverbrauch aller drei Buntfarben zu hoch liegt. Dies zeigt sich vor allem bei Magenta und Gelb, bei Cyan ist die Ergiebigkeit als grenzwertig einzustufen. Lediglich die schwarze Druckfarbe erfüllt im Rahmen der Messungen den von der Druckerei vorgegebenen Verbrauch. Es zeigt sich in der allerdings auch, dass die Messungen eine Schwankungsbreite von ca. 0,05 g/m² aufweisen. Aufgrund dieser Ergebnisse war eine Anpassung der beiden Farben Cyan und Gelb notwendig. Messungen der Ergiebigkeit mit den angepassten Druckfarben zeigten eine leichte Verbesserung. Die Anpassungen reichten jedoch nicht aus, um mit den Druckfarben auf die von der Druckerei angestrebten Richtwerten zu kommen. Die Werte lagen weiterhin ca. 20 % über diesen Richtwerten.

Die Druckfarben von Hersteller 1 entsprachen gut den Vorgaben der Druckerei, nur bei der gelben Druckfarbe lag der Farbverbrauch mit 1,27 g/m² etwa 15 % zu hoch (Abbildung 43).

Abbildung 42: Ergiebigkeit der Druckfarben von Hersteller 3 im zeitlichen Verlauf der Druckversuche (links) sowie der Vergleich von Richtwert, Mittelwert vor Nachbesserung und Ergiebigkeit nach Nachbesserung von Cyan und Gelb (rechts).

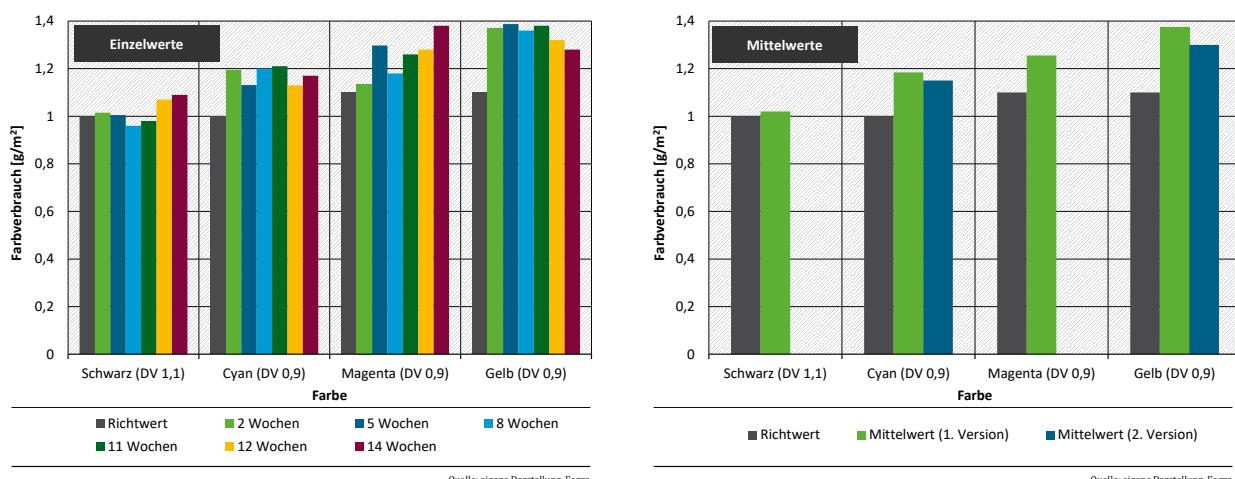
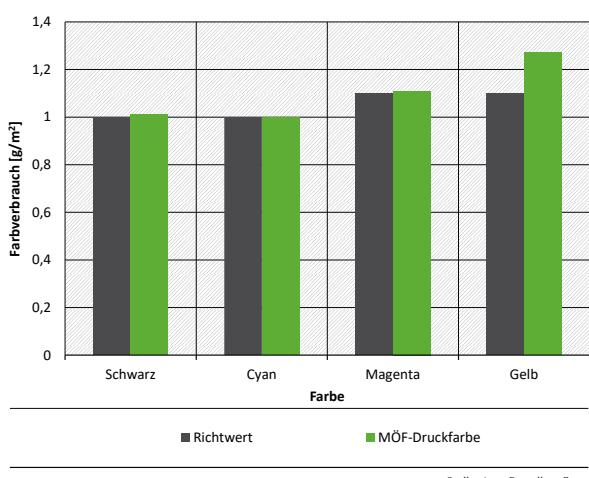


Abbildung 43: Ergiebigkeit der aktuell verwendeten Druckfarben von Hersteller 1.



4.3.2.6 Zusammenfassende Betrachtung zum Farbverbrauch mineralölfreier Druckfarben

Die Messungen der Farbverbräuche der getesteten Druckfarbentypen führten zu folgendem Ergebnissen:

- ▶ Das Messverfahren in Anlehnung an die ISO 2846-2 und das Messverfahren der FSD führen zu leicht unterschiedlichen Kenngrößen für den Farbverbrauch.
- ▶ Die Durchführung von Messungen mit Druckmustern, die bei Produktionsgeschwindigkeit (ca. 30.000 U/h) produziert wurden, führt zu technischen Schwierigkeiten bei der Probenahme. Es wird deshalb empfohlen, nur bei 10.000 U/h die Druckprodukte zur Bewertung des Farbverbrauchs herzustellen.
- ▶ Nach den Ergebnissen aus den durchgeführten Kurzzeitdruckversuchen sollte der Verbrauch an mineralölfreier Druckfarbe bei gleicher Pigmentierung vergleichbar mit dem von mineralölhaltigen Druckfarben sein. Die Überprüfung während der produktionsbegleitenden Langzeitversuche ergab, dass die Ergiebigkeit v.a. in den Buntfarben von Hersteller 3 bis ca. 20 % zu hoch lag. Auch in der für das Projekt finalen Version der Druckfarben von Hersteller 3 konnte dies nicht behoben werden. Der Farbverbrauch ist für die Buntfarben als zu hoch anzusehen.

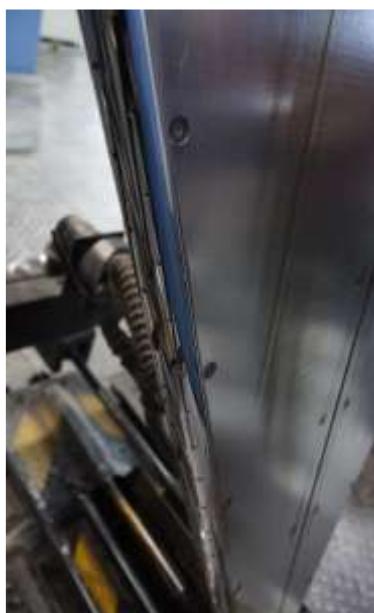
4.3.3 Bewertung des Verschmutzungspotenzials

Eine wichtige Eigenschaft neben dem drucktechnischen Verhalten von Druckfarben ist das Potenzial, dass die Druckfarben zur Verschmutzung der Druckmaschine führen. Dabei sind vor allem das Spritz- und Nebelverhalten sowie das Abschmieren der Druckfarbe wichtige Indikatoren.

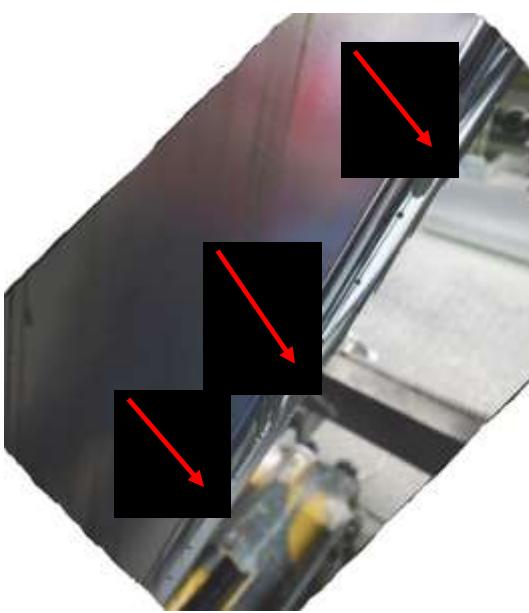
4.3.3.1 Abschmieren der Druckfarbe

Das Abschmieren von Druckfarbe, also der ungewollte Druckfarbenübergang vom Bedruckstoff auf Maschinenteile ist besonders deutlich an den Umlenkrollen und Falztrichtern im Falzapparat zu beobachten. An den Umlenkrollen tritt die bedruckte Papierbahn in direkten Kontakt mit den Metallrollen. Bei den Falztrichtern reibt die bedruckte Papieroberfläche über eine abgerundete und mit einem Luftkissen geschützte Metallkante. In beiden Fällen kommt es zu mechanischer Belastung auf die Druckfarbe, so dass diese sich teilweise vom Papier lösen und die Druckmaschine verschmutzen kann. Diese Bauteile wurden jeweils zu Beginn des Versuchstages gereinigt und am Ende zusammen mit den Druckern der FSD auf die Verschmutzung hin überprüft. Nach der Menge an gedruckten Exemplaren (im Regelfall mehr als 30.000 Exemplare) ist auch bei konventioneller Druckfarbe eine geringfügige Verschmutzung an den beschriebenen Stellen zu erwarten. Durch die Kontrolle mit den Druckern konnte beurteilt werden, ob die durch die mineralölfreie Druckfarbe hervorgerufene Verschmutzung stärker ist oder nicht. Abbildung 44 zeigt exemplarisch einen Falztrichter mit geringer und mit starker Verschmutzung nach einem Kurzzeitdruckversuch.

Abbildung 44: Falztrichter mit geringer (links) und starker Verschmutzung (rechts).



Quelle: eigene Darstellung, Fogra



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Am Ende der Kurzzeitdruckversuche waren die mineralölfreien Druckfarben in Bezug auf die Abschmierneigung auf einem ähnlichen Stand wie die konventionellen Zeitungsdruckfarben.

4.3.3.2 Spritz- und Nebelverhaltens mineralölfreier Druckfarben

Ein im Zeitungsdruck gelegentlich auftretendes Problem ist das sog. Spritzen bzw. Nebeln der Druckfarben. Unter Spritzen versteht man das „Abschleudern größerer Farbteilchen von Farbwerkswalzen oder von der Druckform ...“^{xxii}, als Nebeln bezeichnet Kipphan das „Lösen sehr kleiner Farbtröpfchen aus den Farbschichten am auslaufenden Walzenspalt bei schnelllaufenden Farbwälzen. Die Farbtröpfchen bilden mit der Umgebungsluft ein Aerosol, können zu Druckstörungen führen und tragen zur Verschmutzung der Maschine bei. Nebeln ist stark abhängig von der Rheologie ...“^{xxii}

Bei den Druckversuchen in Frankfurt sind zur Kontrolle des Spritz- und Nebelverhaltens unbedruckte Papierbögen an verschiedenen Stellen der Druckmaschine platziert worden.

Abbildung 45: Beispielhafte Anbringung der weißen Papierbögen zur Untersuchung der Spritz- und Nebelneigung in der Zeitungsdruckmaschine (eigene Darstellung, Fogra).

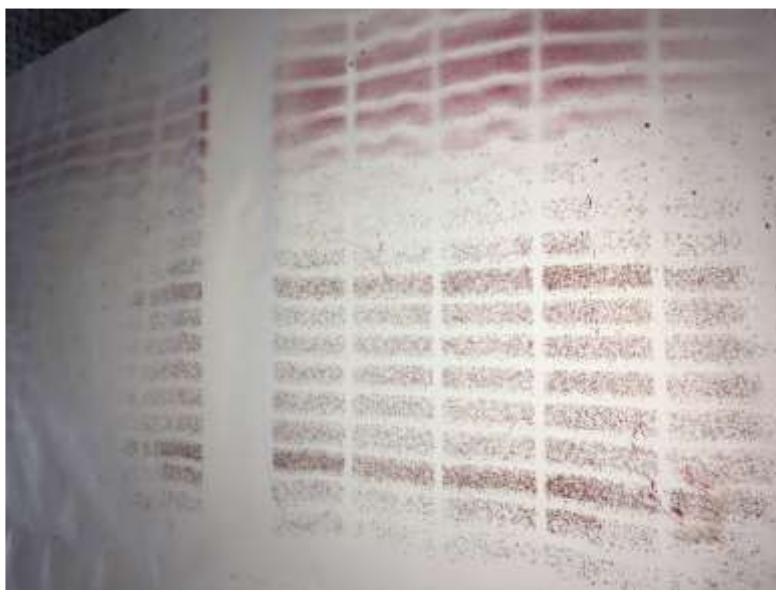


Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Nach dem Druckversuch wurden die Druckbögen entfernt und optisch begutachtet. Ein nicht akzeptables Beispiel zeigt die folgende Abbildung:

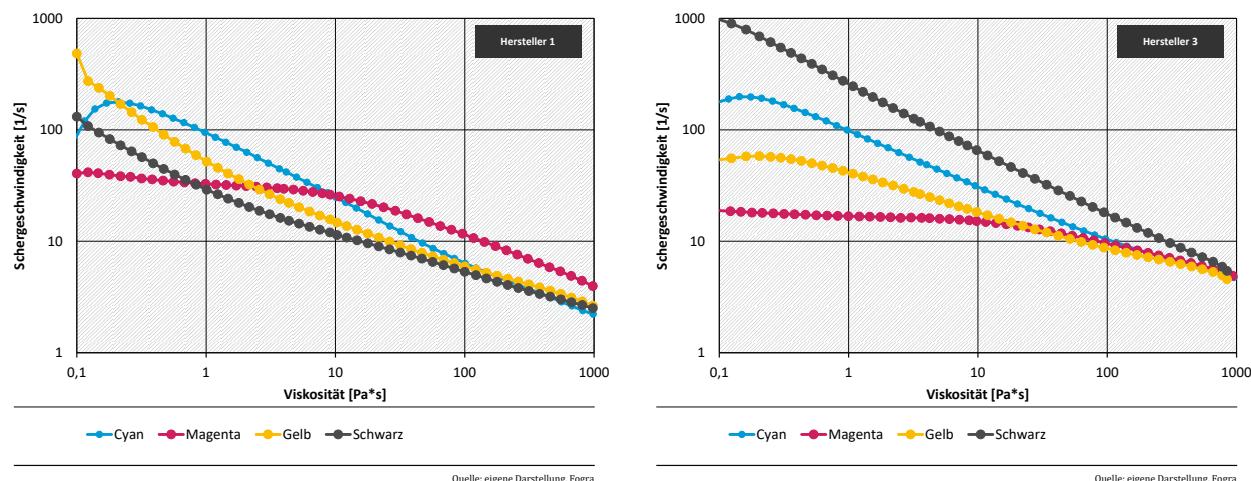
Abbildung 46: Papierbogen zur Bewertung des Spritz- und Nebelverhaltens mineralölfreier Druckfarben nach Abschluss eines Druckversuchs.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Neben dem Verhalten in Druckversuchen sind Rückschlüsse auf die Spritz- und Nebelneigung aus rheologischen Messungen möglich. Die Darstellung der Fließkurven erfolgt als Abhängigkeit der Viskosität von der sog. Schergeschwindigkeit. Die Schergeschwindigkeit ist ein Messwert, der die Abhängigkeit des Fließverhaltens von den auf die Druckfarbe einwirkenden Kräften wiedergibt.

Abbildung 47: Fließkurven mineralölfreier Druckfarben (links: Hersteller 1, rechts Hersteller 3), die Farben der Kurven entsprechen den Druckfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz.



Betrachtet man die Fließkurven in der Abbildung 47, so charakterisiert der Bereich zwischen den Schergeschwindigkeiten von $0,1$ und 1 s^{-1} die Viskosität der Druckfarbe ohne die Einwirkung merklicher äußerer Kräfte. Die Werte oberhalb von 100 s^{-1} beschreiben den Zustand der Druckfarbe, wenn merkliche Scherkräfte auf sie einwirken. Die in der Druckmaschine auftretenden Scherbelastungen dürften sich oberhalb von Schergeschwindigkeiten von 1000 s^{-1} bewegen. Sie sind allerdings mess-technisch nicht mehr sicher und reproduzierbar zugänglich.

Die in Frankfurt verwendeten mineralölfreien Druckfarben sind nach dem o.g. Verfahren rheologisch charakterisiert worden. Das in Abbildung 46 dargestellte kritische Resultat beim Spritz- und Nebelverhalten in der Druckmaschine hat die in der Farbe Magenta markierte Fließkurve in Abbildung 47 rechts. Wie unschwer zu erkennen ist, befindet sich die Fließkurve bei niedrigen Scherkräften unterhalb der Werte von den anderen Farben. Vergleichbares Verhalten zeigten auch andere Farbsätze. Die Fließkurven von Cyan und Gelb aus beiden Diagrammen in Abbildung 47 zeigen in ihrem Verlauf und den Viskositätswerten das typische Verhalten von konventionellen Zeitungsdruckfarben.

Aus den Resultaten der rheologischen Messungen lässt sich das zu erwartende Verhalten der jeweiligen Druckfarben in der Druckmaschine bereits vor dem Druckversuch bei der FSD abschätzen:

- ▶ Die Schwarzfarbe aus Abbildung 47 rechts ist nicht ausreichend fließfähig. Sie wird im Farbkasten stehenbleiben und nicht nachfließen. Sie erwies sich auch nach Einwirkung hoher Scherkräfte im Druckwerk nur sehr schwer verdruckbar und ergab ein sehr unruhiges Druckbild und schwankende Dichten.
- ▶ Die Magenta-Druckfarbe aus Abbildung 47 rechts ist sehr dünnflüssig. Hier ist das Risiko für Spritz- oder Nebeleffekte sehr hoch.

Nachdem es im Verlauf der Langzeitversuche zu einem Nachdicken verschiedener Farbtypen kam, sind von den Folgechargen rheologische Messungen im Labor der Fogra erfolgt, um möglichst bereits im Vorfeld das Risiko von hoher Verschmutzungsneigung bzw. schlechter Verdruckbarkeit der Druckfarbe erkennen zu können.

4.3.4 Test zum Wegschlagverhalten in Verbindung mit den Ergebnissen zum Ablegen und dem Verhalten in den Klammern des Falzapparats und in der Weiterverarbeitung

Eine sehr wichtige Kenngröße für Druckfarben im Zeitungsdruck ist das sog. Wegschlagverhalten. Mit dieser Kenngröße charakterisiert man üblicherweise das Eindringverhalten der Druckfarbe in das Papier. Es ist abhängig von der Sauggeschwindigkeit des Papiers, den Benetzungeigenschaften der

Druckfarbe für das Papier und der Viskosität der Druckfarbe zu dem Zeitpunkt, in dem sie mit dem Papier in Kontakt kommt. Im Zeitungsdruck muss dieser Prozess sehr schnell gehen, da die Druckfarbe bereits einige Sekunden nach dem Farübertrag auf das Papier in Kontakt mit Falzblechen und Wendestangen der Druckmaschine kommt und nach dem Falzprozess auch noch Druck in den Greifern der Falztrommel auf den Farbfilm und das auf ihm befindliche Konterpapier ausgeübt wird. Abdrücke von Greifern im Falzapparat sehen wie folgt aus:

Abbildung 48: Abdrücke von Greifern aus dem Falzapparat (eigene Darstellung, Fogra).



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Im Lauf des Projekts sind im Labor der Fogra die branchenüblichen Verfahren zur Beurteilung des Trocknungsvorgangs von Druckfarben (Trockenzeittest, Wegschlagtest) angewandt worden, um vorab erkennen zu können, ob es Risiken mit bestimmten Farbchargen geben wird. Es konnten keine Korrelationen zwischen den Laborergebnissen und dem Verhalten an der Druckmaschine gefunden werden.

Bei den Druckversuchen in der FSD sind mit den Druckfarben beider Hersteller 1 und 3 indirekte Tests zur Farbtrocknung erfolgt. Druckprodukte mit diesen Druckfarben sind durch die komplette Weiterverarbeitungslinie der FSD gefahren worden. Anschließend erfolgte zusammen mit den Fachleuten der Fa. FERAG (Anlagenhersteller) die Bewertung. Sie führten zu dem Ergebnis, dass mit den Druckfarben beider Hersteller die Weiterverarbeitung ohne absehbare Probleme erfolgen kann.

4.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Kurzzeitdruckversuchen

Im Rahmen der Kurzzeitdruckversuche wurden neben dem drucktechnischen Verhalten auch der Farbverbrauch und die rheologischen Eigenschaften der Druckfarbe untersucht. Die Druckversuche fanden auf den Standardpapieren der Frankfurter Societäts-Druckerei statt. Dabei handelt es sich vor allem um Papier mit 50% bis 100% Altpapieranteil.

Es fanden für jeden Farbhersteller drei bis fünf dieser Kurzzeitdruckversuche statt. Dabei konnten die Druckfarben beständig Weiterentwicklungs- und Optimierungsschritte durchlaufen. Am Ende dieser Versuche standen für den weiteren Fortgang des Projektes, also die dreimonatigen Langzeitdruckversuche, von zwei Druckfarbenherstellern je ein Druckfarbensatz zur Verfügung, die die folgenden Eigenschaften aufwiesen:

- ▶ Die Tonwerte (Farb- / Wassergleichgewichte) entsprachen den Anforderungen gemäß des Prozessstandards Offsetdruck.
- ▶ Die Ergiebigkeit der mineralölfreien Druckfarben wurde auf zwei unterschiedliche Arten bestimmt. Im Vergleich mit den konventionellen Druckfarben zeigten sich keine signifikanten Abweichungen im Verbrauch.
- ▶ Die Neigung zum Verschmutzen (Abschmieren, Nebeln und Spritzen) der mineralölfreien Druckfarben erwies sich für alle Druckfarben als sehr gering.

- ▶ Untersuchungen über das Wegschlagverhalten und somit die problemlose Weiterverarbeitbarkeit der Druckprodukte zeigten bei den letztlich vorliegenden Druckfarben keine Probleme.

4.4 Produktionsbegleitende Langzeitdruckversuche mit mineralölfreien Druckfarben

Nach erfolgreich durchlaufenen Kurzzeitversuchen sollten mit jedem Druckfarbensatz produktionsbegleitende Langzeitdruckversuche an der Zeitungsdruckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei durchgeführt werden.

Dazu bestand in der Druckerei die Möglichkeit, eine Sektion mit den mineralölfreien Druckfarben zu versorgen. Im Fall der Buntfarben (Cyan, Magenta, Gelb) erfolgte die Farbversorgung aus an ein Rohrsystem angeschlossenen Transportcontainern (500 kg bis 1.000 kg) aus denen die Druckfarben mittels Pumpen direkt in die Farbkästen transportiert wurden. Im Fall der Schwarzfarbe musste einer der beiden Bodentanks geleert werden um darin ca. 3.000 kg mineralölfreie Druckfarbe zu lagern und von da aus in die Farbkästen zu pumpen. Eine komplette Reinigung dieses Bodentanks war nicht möglich, so dass bei den Druckversuchen noch Reste der mineralölhaltigen Druckfarben in die mineralölfreien Druckfarben gelangten.

Auf dieser Sektion konnten über den Zeitraum der Versuche produktionsbegleitend verschiedene Teile der im Portfolio der Druckerei befindlichen Druckprodukte gedruckt werden. Vor allem beim Drucken der Regionalteile war der direkte Vergleich von Produkten mit mineralölfreien und konventionellen Druckfarben möglich. Da es sich bei den mineralölfrei gedruckten Zeitungen um reguläre Verkaufsexemplare handelte mussten sie den hohen Standards und Anforderungen an die Druckprodukte der FSD stets gerecht werden und unterlagen so einer permanenten Qualitätskontrolle.

4.4.1 Erfassung von Veränderungen von den Elastomerwerkstoffen in der Druckmaschine der FSD

Zwar erfolgten im Vorfeld Laboruntersuchungen bezüglich der Materialverträglichkeit der in der Druckmaschine eingesetzten Elastomerwerkstoffe (siehe Kapitel 4.1, Seite 54 ff), um jedoch sicherzustellen, dass auch während der Langzeitversuche in der Druckmaschine keine Quell- oder Schrumpfefekte auftraten musste eine regelmäßige Überwachung der sog. Walzenstreifen erfolgen. Für die Überwachung des Zustands der Gummiwalzen in der Druckmaschine ist der FSD ein Kontaktstreifenmessgerät vom Typ NIP CON der PITSID GmbH zur Verfügung gestellt worden. Dieses Gerät misst die Walzenbeistellung von Farb- und Feuchtwerkswalzen mit 2 Sensoren für die gleichzeitige Messung von Antriebs- und Bedienseite in der Druckmaschine. Es ist sowohl für die Kontrolle von Veränderungen bei vorgegebenen Einstellungen, als auch zur Einstellung der Walzen einsetzbar.

Abbildung 49: Kontaktstreifenmessgerät NIP CON, Display mit Messwert- und LED-Anzeige); eigene Darstellung, SID.



Quelle: eigene Darstellung, SID



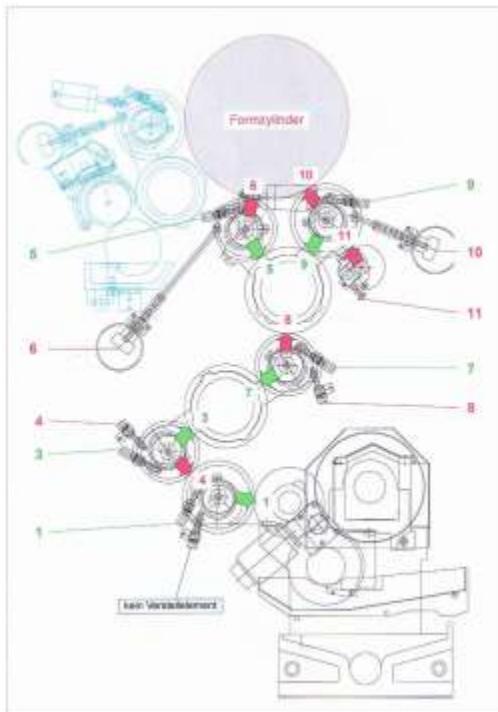
Quelle: eigene Darstellung, SID

Zur Messung werden die beiden Sensoren zwischen zwei Walzen positioniert. Abhängig von dem Bereich, in dem sich die Walzen berühren, wird ein Signal erzeugt. Digital zur Anzeige gebracht wird die Kontaktstreifenbreite in Millimetern als ein in der Druckindustrie übliches Maß für die Pressung zwischen zwei benachbarten Walzen.

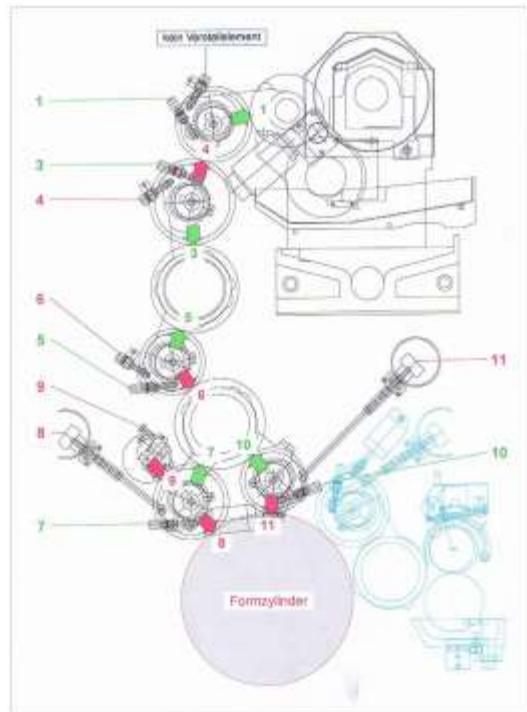
Während der Walzenjustage verbleiben die Sensoren zwischen den Walzen, sodass bei der Korrektur sofort die Messwertänderung ablesbar ist. Damit ist eine sehr schnelle und genaue Walzenjustage sichergestellt, ohne dass ein Farbfilm auf den Walzen sein muss.

Um die Genauigkeit der Messung zu gewährleisten, müssen vorher die relevanten Parameter der Walzenpaarung (Durchmesser beider Walzen, Gummihärte und Gummidicke der weichen Walze) erfasst werden. Zusätzlich werden zu den Walzenpaarungen die Sollwerte und die zulässigen Toleranzen eingegeben. Damit ist die Einstellung der Walzenstreifen entsprechend der LED-Anzeige am Gerät möglich. Bei einem Besuch in der FSD sind die Werte für alle Messstellen erfasst worden:

Abbildung 50: Konstruktionszeichnung mit der Nummerierung der Walzenpaare von Druckwerk 2 (links) und Druckwerk 4 (rechts); Darstellung von Koenig & Bauer AG.

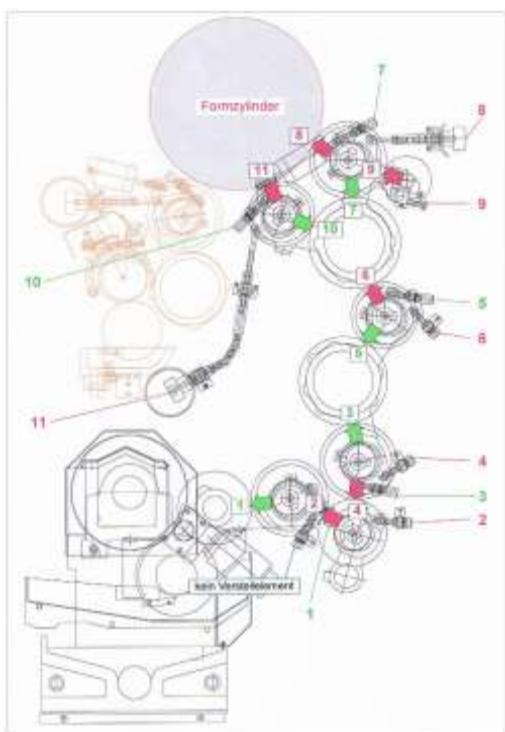


Quelle: Koenig & Bauer AG

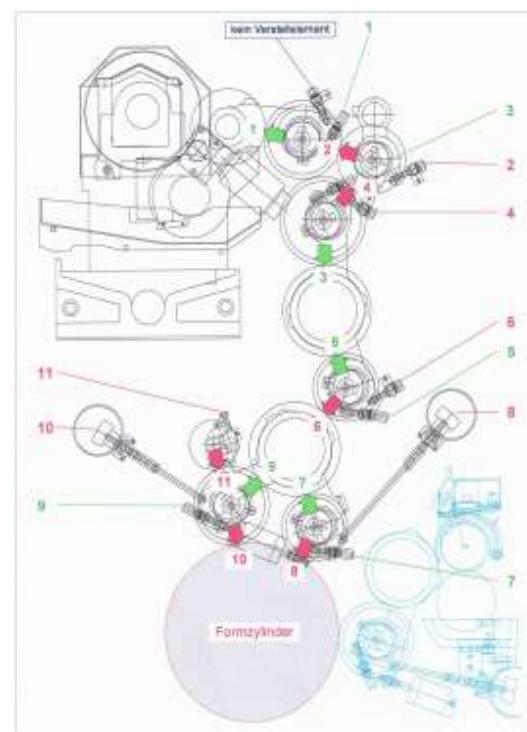


Quelle: Koenig & Bauer AG

Abbildung 51: Konstruktionszeichnung mit der Nummerierung der Walzenpaare von Druckwerk 1 (links) Druckwerk 3 (rechts); Darstellung von Koenig & Bauer AG.

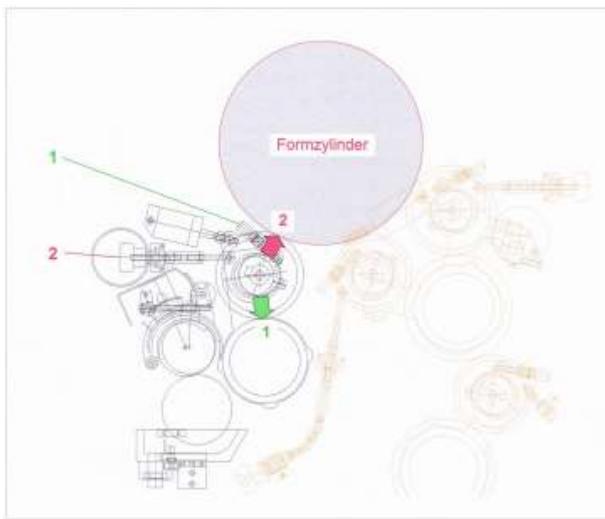


Quelle: Koenig & Bauer AG



Quelle: Koenig & Bauer AG

Abbildung 52: Feuchtwerk aller Druckwerke; Darstellung von Koenig & Bauer AG.



Quelle: Koenig & Bauer AG

An der Druckmaschine sind folgende Spaltstellen an den Druckwerken 1, 2, 3 und 4 der Drucktürme 31, 32 und 33 überwacht worden. Dazu war es notwendig sicherzustellen, dass die Einstellung der Walzen über den Zeitraum der Druckversuche unverändert blieb, um die Messergebnisse im Nachgang miteinander vergleichen zu können. Die Nummern der Walzenpaarung (Kennung) in Tabelle 7 entsprechen den Ziffern in Abbildung 50 bis Abbildung 52.

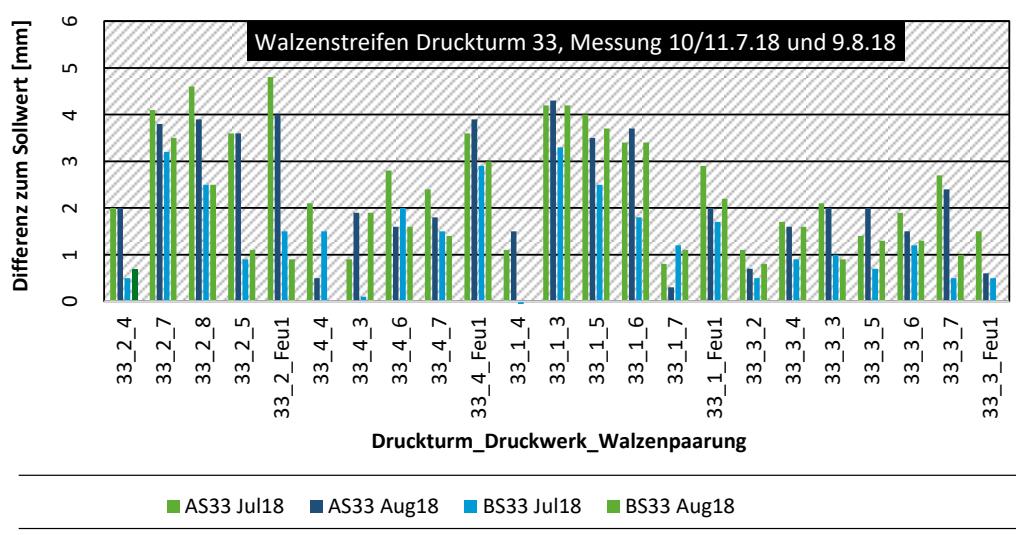
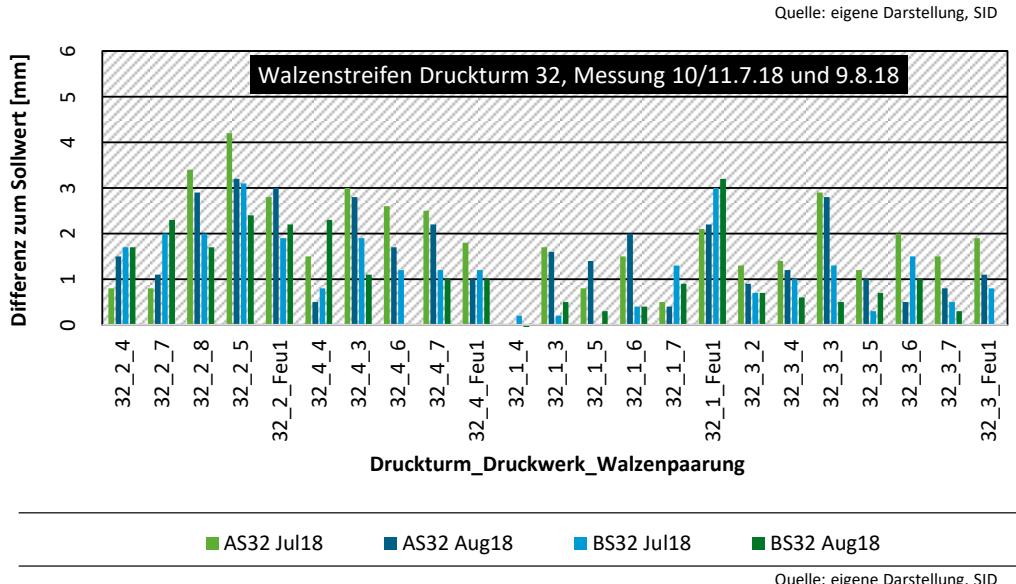
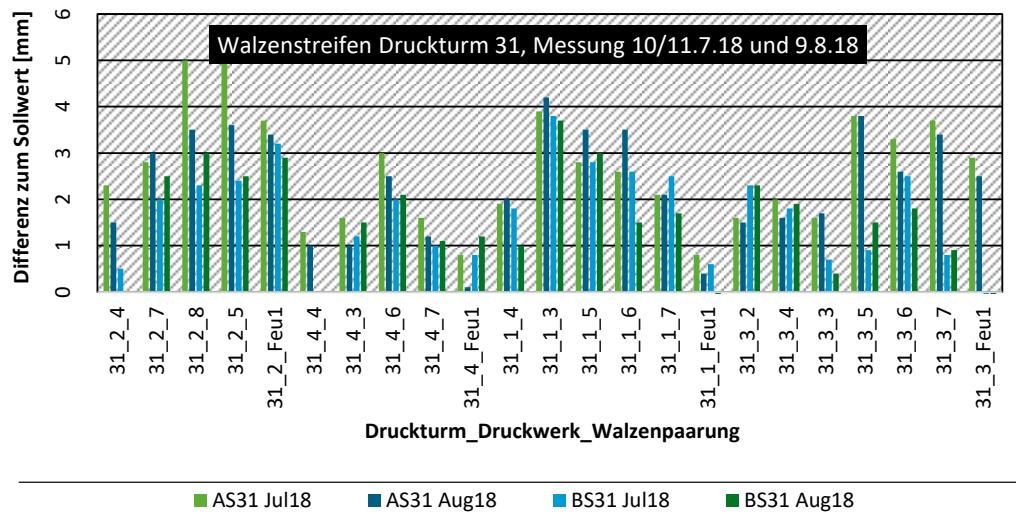
Die Messungen der Walzenspalte erfolgten immer jeweils auf der Antriebs- und Bedienseite. Um eventuelle Abweichungen der beiden Sensoren zu kontrollieren, wurde immer auf der Antriebs- bzw. Bedienseite mit dem gleichen Sensor gemessen.

Der erste Überwachungszyklus der Druckmaschine erfolgte im Zeitraum der ca. vierwöchigen Langzeitversuche mit mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 zwischen dem 11.07.2018 und dem 09.08.2018. In Abbildung 53 sind die Messergebnisse aus dem einmonatigen Überwachungszeitraum zu Beginn und nach Ende des Zeitintervalls in Abhängigkeit des überwachten Druckturms (oben: Druckturm 31; mitte: Druckturm 32; unten: Druckturm 33) dargestellt. Jedes Diagramm zeigt die Messwerte als Differenz zu den Sollwerten. Bei genauer Einhaltung des Sollwertes würde sich ein Messwert von „0“ ergeben. Im Fall, dass die Walzenstreifen größer als die Sollwerte sind ergeben sich positive Werte, im Fall von zu kleinen Walzenstreifen negative Werte. Aus den Diagrammen zeigt sich, dass die Walzenstreifen durchweg höhere Werte aufwiesen (Balken im positiven Bereich). In Blau gekennzeichnet sind die Werte der Antriebsseite (AS) und in Rot die der Bedienseite (BS). Jeder einzelne Wert spiegelt den Ist-Zustand zum Zeitpunkt der Messung dar. Die Beschriftung der x-Achse in den Diagrammen entspricht der Spalte „Kennung“ aus der Tabelle 7, ergänzt um die Druckturmnummer (erste Zahl). Die Werte zeigen die Abweichungen zu den Sollwerten für die Kontaktstreifenbreite zu Beginn der Versuche im Juli und nach einigen Wochen im August 2018.

Tabelle 7: Überwachungspunkte in der Druckmaschine.

Druckwerk	Walzenpaarung	Kennung	Sollwert
2	4 (Gummi/Gummi)	2_4	8 mm
2	7 (Reibzyl./Gummi)	2_7	8 mm
2	8 (Gummi/Reibzyl.)	2_8	8 mm
2	5 (Reibzyl./FAW1)	2_5	8 mm
2	<i>Feu1 (12) Reibzyl./FeuAW</i>	2_Feu1	8 mm
4	4 (Gummi/Gummi)	4_4	8 mm
4	3 (Gummi/Reibzyl.)	4_3	8 mm
4	6 (Gummi/Reibzyl)	4_6	8 mm
4	7 (Reibzyl./FAW2)	4_7	8 mm
4	<i>Feu1 (12) Reibzyl./FeuAW</i>	4_Feu1	8 mm
1	3 (Gummi/Reibzyl.)	1_3	8 mm
1	5 (Reibzyl./Gummi)	1_5	8 mm
1	6 (Gummi/Reibzyl.)	1_6	8 mm
1	7 (Reibzyl./FAW2)	1_7	8 mm
1	<i>Feu1 (12) Reibzyl./FeuAW</i>	1_Feu1	8 mm
3	2 (Gummi/Zwischenw.)	3_2	8 mm
3	4 (Zwischenw./Gummi)	3_4	8 mm
3	3 (Gummi/Reibzyl.)	3_3	8 mm
3	5 (Reibzyl./Gummi)	3_5	8 mm
3	6 (Gummi/Reibzyl.)	3_6	8 mm
3	7 (Reibzyl./FAW1)	3_7	8 mm
3	<i>Feu1 (12) Reibzyl./FeuAW</i>	3_Feu1	8 mm

Abbildung 53: Ergebnisse der Messungen vor Beginn (Jul18) und nach ca. 4 Wochen (Aug18) auf der Antriebsseite (AS) und der Bedienseite (BS); ; eigene Darstellung, SID.

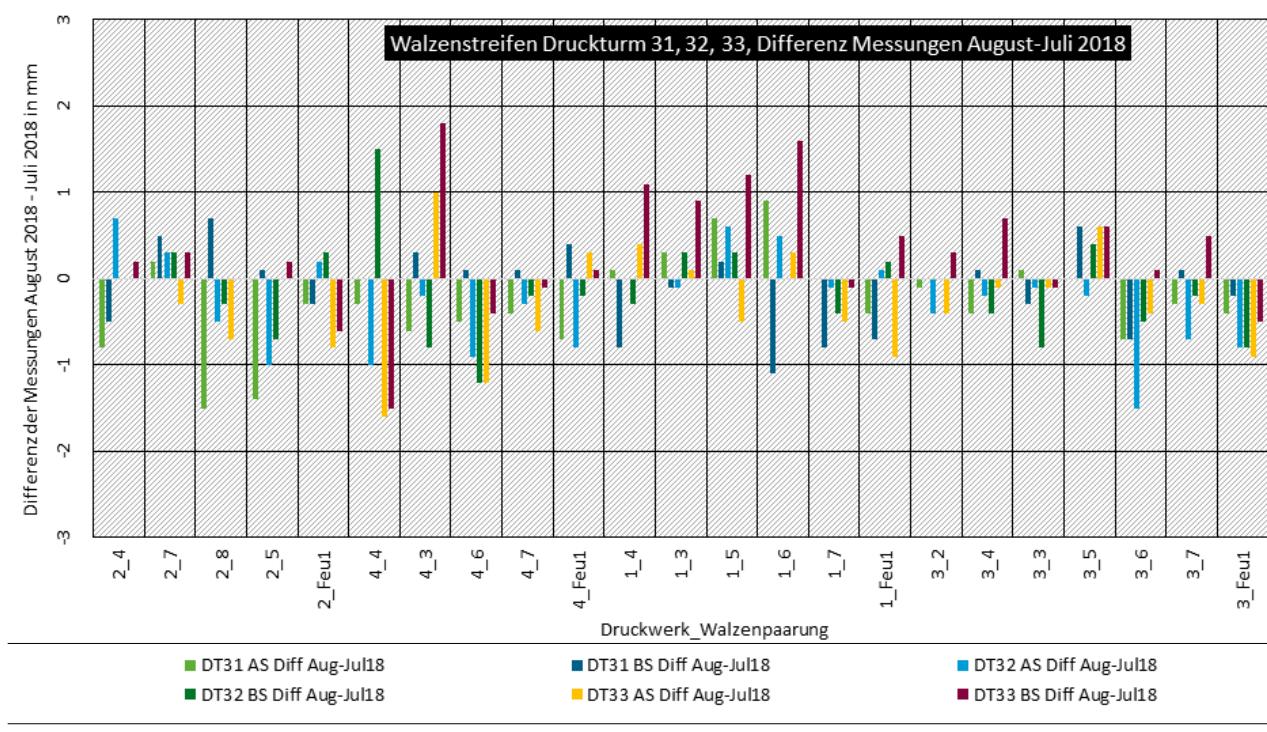


Tendenziell sind die gemessenen Walzenstreifen breiter als die Vorgaben und auf der Antriebsseite höher als auf der Bedienseite.

Man kann erkennen, dass es bestimmte Walzenpaarungen gibt, bei denen es bereits im Ausgangszustand zu größeren Abweichungen kommt. Die Abweichungen für die Messstellen 31_2_5, 31_2_8, 32_2_5, 33_2_5 und 33_2_8 vom Juli 2018 liegen alle über 4 mm. Das wird als relativ große Abweichung zum vorgegebenen Sollwert eingeschätzt. Ob das an der Zugänglichkeit oder an unzutreffenden Annahmen für die Messung liegt (die Gummidicken der Walzen wurde nicht einzeln nachgemessen), war nicht nachzuvollziehen.

Um die Veränderung der Walzenspalten über die Zeit des Druckversuchs besser beurteilen zu können werden die Messwerte vor dem Versuch von den jeweiligen Messwerten nach dem Versuch abgezogen (Abbildung 54). Verändern sich die Walzenspalten nicht, so ergibt sich ein Wert von „0“, im Falle einer Quellung über den Zeitraum ergeben sich positive Änderungswerte, im Fall von Schrumpfung negative Änderungswerte.

Abbildung 54: Differenz der Ergebnisse aus den Messungen vor Beginn (Jul18) und nach ca. vier Wochen (Aug18) der Druckversuche mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben von Hersteller 1.



Quelle: eigene Darstellung, SID

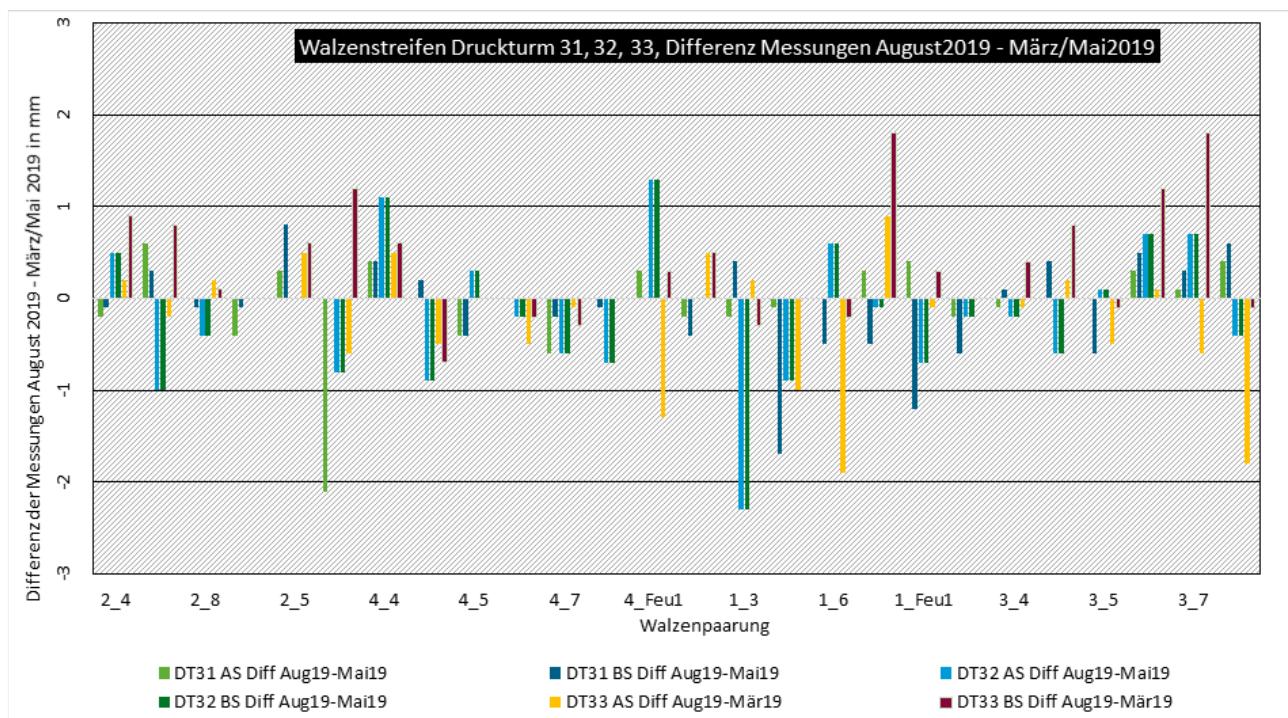
Es zeigt zeigte sich, dass es Paarungen gibt, bei denen der Kontaktstreifen breiter geworden ist und Paarungen, bei denen er schmäler geworden ist. Auch sind Paarungen zu finden, bei denen sich keine Änderung ergeben haben.

Generell weichen die Ergebnisse bei der zweiten Messung nur gering von der ersten Messung ab. Dadurch ergeben sich in Abbildung 54 nur leichte Differenzen von unter 2 mm, in den meisten Fällen sogar unter 1 mm. Diese Ergebnisse bestätigen die Messergebnisse aus den Laboruntersuchungen bezüglich der Walzenquellungen, nämlich, dass keine signifikanten Änderungen zu beobachten waren.

Bei den Druckversuchen mit den Druckfarben von Hersteller 3 erfolgten analoge Messungen im Zeitraum von Mai bis August. Erste Messungen im März zeigten keine signifikanten Unterschiede zu den

Messungen im Mai. Abbildung 55 zeigt die Ergebnisse aus der Differenzbildung der Messwerte vor und nach dem Druckversuch.

Abbildung 55: Differenz der Ergebnisse aus den Messungen vor Beginn (Mai19) und nach ca. acht Wochen (August19) der Druckversuche mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben von Hersteller 3.



Auch bei Verwendung der Druckfarben von Hersteller 3 zeigte sich, dass es Walzenpaarungen gibt, bei denen der Kontaktstreifen breiter geworden ist und Paarungen, bei denen er schmäler geworden ist. Bei fast 30 % der Paarungen konnten keine Änderung festgestellt werden.

Generell weichen die Ergebnisse bei der zweiten Messung nur gering von der ersten Messung ab. Dadurch ergeben sich in Abbildung 55 in den meisten Fällen nur leichte Differenzen von unter 1 mm. Lediglich in 13 Fällen waren Abweichungen zwischen 1 und 2 mm feststellbar, in 3 Fällen von leicht über 2 mm. Auch für diese Druckfarbe bestätigen sich die Messergebnisse aus den Laboruntersuchungen bezüglich der Walzenquellung. Es konnten keine signifikanten Änderungen beobachtet werden.

4.4.2 Verlauf der Druckversuche mit mineralölfreien Druckfarben

Die Druckfarben wurden im Rahmen von Kurzzeitdruckversuchen bereits auf die Druckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei optimiert. Trotz dieser Optimierungsschritte mussten die Langzeitdruckversuche mehrfach abgebrochen werden, woraus sich die in Tabelle 8 dargestellten Zeitintervalle ergaben. Eine produktionsbegleitende Verwendung der Druckfarben Cyan, Magenta und Gelb von Hersteller 1 über einen Zeitraum von 3 Monaten bis zum Ende der Projektlaufzeit war nicht möglich, da die Buntfarben nach ein paar Wochen aufgrund von Veränderungen der rheologischen Eigenschaften nicht mehr problemfrei verdruckbar waren. Ein letzter Versuch musste aufgrund der Beendigung des Projektes nach fünf Wochen ohne sonstige Probleme abgeschlossen werden. Die schwarze Druckfarbe von Hersteller 1 fand über einen Zeitraum von drei Monaten Anwendung in der Druckmaschine. Dies liegt vor allem daran, dass im Farbwerk für Schwarz eine andere Farbwerkskonstruktion vorlag, bei der die Druckfarbe kontinuierlich umgepumpt wird und so die problematischen rheologischen Effekte ausbleiben. Die Druckfarben von Hersteller 3 konnten letztendlich über den Zeitraum von drei Monaten eingesetzt werden. Jedoch waren über den gesamten Testzeitraum die Tonwertzunahmen grenzwertig oder außerhalb der Norm ISO 12647-3 und der Farbverbrauch v.a. von den Buntfarben

lag ca. 15 % bis 30 % über dem Verbrauch der konventionellen Druckfarben. Daher wurden die Druckfarben Cyan und Gelb innerhalb der 3 Monate durch den Hersteller angepasst (siehe auch Kapitel 4.3.1.2 (Seite 75) bzw. Kapitel 4.3.2.5 (Seite 86)).

Tabelle 8: Druckintervalle der mineralölfreien Buntfarben (CMY) im Rahmen der Langzeitdruckversuche von Hersteller 1 und Hersteller 3.

Farbhersteller	Intervalldauer	Bemerkung
1	5 Wochen	<ul style="list-style-type: none"> ► Drucktechnische Probleme nach 2 Wochen => Nachjustieren der Feuchtmittelversorgung ► Physikalische Probleme => Abbruch
1	2 Wochen	Drucktechnische und physikalische Probleme => Abbruch
1	5 Wochen	<ul style="list-style-type: none"> ► Physikalische Probleme im Gelb 2,5 Wochen Drucken mit konventionellem Gelb ► Drucktechnische Problem => Abbruch
1	1,5 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	1,5 Wochen	Druckfarben ausgegangen
1	3 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	4 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
1	5 Wochen	kein Abbruch, Beendigung aufgrund des Projektabschlusses
3	6 Wochen	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
3	1 Woche	Physikalische Probleme (Thixotropie) => Abbruch
3	15 Wochen	Tonwertzunahmen und Verbrauch nicht qualitätsgerecht, => kein Abbruch der Versuche

Betrachtet man die Gründe für das jeweilige Abbrechen so kann man erkennen, dass zu Beginn der Langzeitversuche bei Hersteller 1 drucktechnischen Probleme (Tonen auf Papier, Streifen auf den Druckplattenkanten sowie Schleierbildung auf den Druckplatten) vorhanden waren, die neben physikalischen Eigenschaften (v.a. zu dünnflüssige bzw. zu zähe Druckfarben, Thixotropie-Effekte) zum Abbruch führten. Durch die Weiterentwicklung konnten die drucktechnischen Eigenschaften der Druckfarben beider Hersteller soweit optimiert werden, dass gegen Ende des Projektes keinen Abbruch aufgrund zu schlechter drucktechnischer Bedingungen mehr notwendig wurde. Dies ist als deutliche Verbesserung der Situation zu Beginn des Projektes zu werten, als der Stand der Technik noch so war, dass der branchenübliche Qualitätsstandard (Prozessstandards Zeitungldruck) nicht erreichbar und die Wegschlaggeschwindigkeit der Druckfarben ohne Mineralöle zu gering war. Die Druckfarben von Hersteller 3, die über einen Zeitraum von 15 Wochen eingesetzt wurden und keine physikalischen Probleme mehr verursachten, entsprechen noch nicht den branchenüblichen Standards, da sowohl die Tonwertzunahmen als auch der Farbverbrauch insbesondere bei den Buntfarben etwas zu hoch liegen. Eine neuerliche Anpassung der Druckfarben Cyan und Gelb während der dreimonatigen Druckphase zeigte jedoch deutliche Verbesserungen bei den Tonwertzunahmen und leichte Verbesserungen beim Verbrauch, wie oben beschrieben.

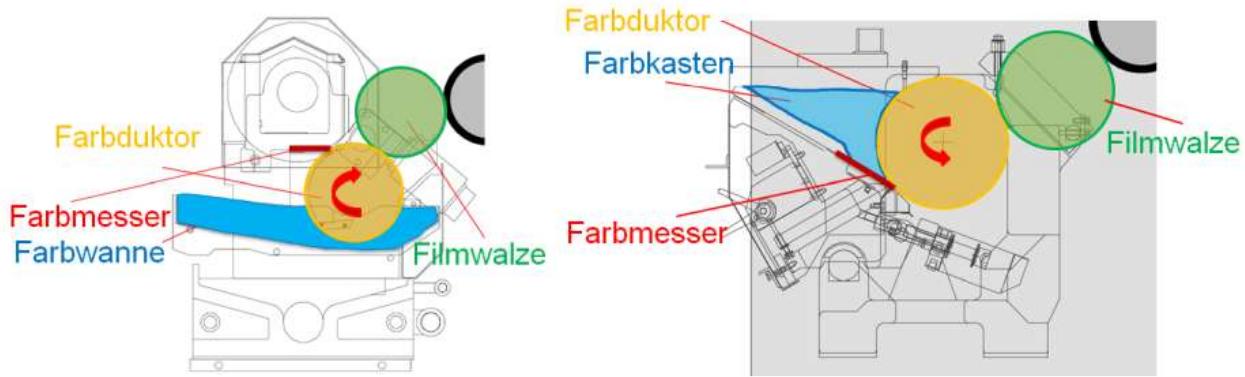
Die physikalischen Probleme bei **Hersteller 1** in Form von sich ändernden rheologischen Eigenschaften über die Zeit der Druckversuche konnten bis zum Projektende nicht endgültig gelöst werden und führten immer wieder zu Abbrüchen der Langzeitversuche, abgesehen vom letzten Druckintervall, das nach 5 Wochen ohne physikalische Probleme aufgrund der Beendigung des Projektes abgeschlossen wurde. Zu Beginn der Langzeitdruckversuche kam es durch das Altern der Druckfarbe innerhalb von

ca. vier Wochen nach der Produktion zu einer Viskositätserhöhung, die dazu führte, dass die Druckfarbe nicht mehr pumpfähig war und die Rohrleitungen gespült werden mussten. Diese Erhöhung der Viskosität der Druckfarben durch die Alterung konnte durch die Veränderung der Rezepturen verringert, aber nicht vermieden werden. Außerdem konnte beobachtet werden, dass das Altern der Druckfarben auch zu einer Verstärkung des thixotropen Effekts führte. Unter Thixotropie versteht man das Abbauen der Viskosität einer Nicht-Newtonschen Flüssigkeit (wie Druckfarbe) über einen Zeitraum konstanter Scherung. Nach Aussetzen der Scherung auf die Flüssigkeit wird die Ausgangsviskosität wieder aufgebaut.^{xxiii} Diese Effekte sind bei Coldsetdruckfarben bislang nicht bekannt. Somit konnte auf keine Erfahrung mit diesem Effekt zurückgegriffen werden. Eine Übertragung mit den Erfahrungen beispielsweise aus dem Bogenoffset ist nicht möglich, da die Druckfarben grundsätzlich unterschiedlich aufgebaut sind.

Das Druckwerk für die Schwarzfarben unterscheidet sich in der Druckwerkskonstruktion von denen für die Buntfarben: Bei der Schwarzfarbe wird die Druckfarbe ständig umgepumpt, so dass sie nicht in dem Maße auf hohe Viskositätsniveaus kommt, wie es bei den Buntfarben der Fall war. Der Thixotropie-Effekt konnte sich nicht entwickeln.

Der beschriebene thixotrope Effekt wird je nach Konstruktion der Farbwerke unterschiedlich starke Effekte auf den Druckprozess haben. Die Druckversuche in der Frankfurter Societäts-Druckerei wurden auf einer Commander-Druckmaschine der Firma Koenig & Bauer Digital & Webfed AG & Co. KG durchgeführt. Das Farbwerk ist bei dieser Druckmaschine so konstruiert, dass die Rakelmesser oben liegen (Abbildung 56). Eine alternative Konstruktionsweise besteht darin, dass das Farbmesser unten liegt und somit auch die Druckfarbe nach unten aus dem Farbkasten entnommen wird. Ob mit einer derartig konstruierten Druckmaschine auf die derzeitig verfügbaren Druckfarben problemlos verdruckbar sind ist im Rahmen des Projektes nicht getestet worden.

Abbildung 56: Schematische Darstellung von Farbwerken mit obenliegenden Farbmessern (links) und untenliegenden Farbmessern (rechts) der Firma Koenig & Bauer Digital & Webfed AG & Co. KG.



Quelle: eigene erweiterte Darstellung der Konstruktionszeichnungen von Koenig & Bauer Digital & Webfed AG & Co. KG, Fogra

Quelle: eigene erweiterte Darstellung der Konstruktionszeichnungen von Koenig & Bauer Digital & Webfed AG & Co. KG, Fogra

Der Langzeitdruckversuch mit der Druckfarbe von **Hersteller 3** konnte über 15 Wochen mit den Buntfarben bzw. und über 15 Wochen mit Bunt- und Schwarzfarben produktionsbegleitend durchgeführt werden. Während der Zeit wurden regelmäßig sowohl die Tonwertzunahme (Kapitel 4.3.1.2, Seite 75) als auch die Druckfarbenergiebigkeit (Kapitel 4.3.2.5, Seite 86) als messbares Qualitätskriterium der Druckfarben gemessen. Da die Druckversuche stets produktionsbegleitend ablaufen und daher Verkaufsexemplare produziert werden, ist eine strenge Qualitätskontrolle seitens der Drucker gewährleistet. Nach 10 Wochen produktionsbegleitenden Druckens mit den mineralölfreien Druckfarben forderte die Frankfurter Societäts-Druckerei eine Nachbesserung der Druckfarben, da beide Parameter, Tonwertzunahme und Ergiebigkeit, nicht in dem druckereiüblichen Rahmen lagen. Daher erfolgt

durch Hersteller 3 eine Anpassung der beiden Druckfarben Cyan und Gelb. Diesen Druckfarben wurden weitere vier Wochen produktionsbegleitend eingesetzt und Tonwertzunahme und Ergiebigkeit bestimmt.

4.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Langzeitdruckversuchen

Die Langzeitversuche in der FSD zogen sich insgesamt über einen Zeitraum von ca. 22 Monaten hin. In diesem Zeitraum war es erstmals möglich, das Verhalten der Druckfarben über einen längeren Zeitraum zu untersuchen. Veränderungen in den Druckfarben manifestierten sich im Regelfall erst nach ein bis zwei Wochen. Für die Anpassung der Rezepturen, das erneute Produzieren der Druckfarben und Liefern an die Druckerei waren im Regelfall ca. 6 Wochen notwendig. Somit war der Zeitraum für die Entwicklung der neuartigen Druckfarben begrenzt. Da es sich bei den mineralölfreien Zeitungsdruckfarben um eine komplette Neuentwicklung handelt ist der Zeitraum der Entwicklung als kurz zu bewerten. Im Rahmen des Projektes war es letzten Endes den beiden teilnehmenden Druckfarbenherstellern nicht möglich, eine neue Generation an mineralölfreien Druckfarben zur Serienreife zu bringen.

Es konnte im Rahmen der Druckversuche gezeigt werden, dass in dem Zeitraum, in dem die Druckfarben noch nicht zu stark gealtert waren, ein praktikabler Umgang für das Personal gewährleistet war. Die Farbergiebigkeit erwies sich bei Hersteller 1 als vergleichbar mit konventionellen Druckfarben. Bei Hersteller 3 war ein Mehrverbrauch an Bunt-Druckfarbe (CMY) um etwa 15 % bis 20 % im Vergleich zu den von konventionellen Druckfarben notwendig. Die Makulatur sowie der Feuchtmittelverbrauch unterschieden sich nicht signifikant von konventionellen Druckfarben.

Die entwickelten Druckfarbenserien sind noch nicht ausentwickelt und bedürfen weiterer Optimierungszyklen. Vor allem die Alterung der Druckfarben und die damit verbundenen Veränderungen der rheologischen Eigenschaften erfordern insbesondere von Hersteller 1 weitergehende Entwicklungs-schritte.

Da im Rahmen der Druckversuche sowohl das Feucht- als auch das Waschmittel, das in der Druckerei eingesetzt wird, Verwendung fand und es im Versuchszeitraum keinen Wechsel dieser Mittel gab, ist eine Aussage bezüglich des drucktechnischen Verhaltens der Druckfarben bei andern Feuchtmitteln nicht machbar. Bei dem eingesetzte Feuchtmittel handelte es sich um ein marktübliches Produkt für den Coldset, das keine Optimierung hinsichtlich mineralölfreier Zeitungsdruckfarben erfahren hatte.

Da die Kompatibilität nur gegen die konkreten Elastomermaterialien getestet wurde ist eine Übertragbarkeit auf andere Druckmaschinen nicht möglich. Sollten Die Druckfarben auf anderen Druckmaschinen zum Einsatz kommen, bedarf es zuvor der Klärung, welche Elastomere in der Druckmaschine verbaut sind, und einer Freigabe durch die Elastomerhersteller bzw. die Druckmaschinenhersteller.

Durch die Druckversuche konnte der konzeptionelle Beweis für die Verwendung von mineralölfreien Druckfarben für den Zeitungsdruck erbracht werden. Eine Aussage über die Verdruckbarkeit auf anderen Zeitungsdruckmaschinen ist derzeit nicht möglich.

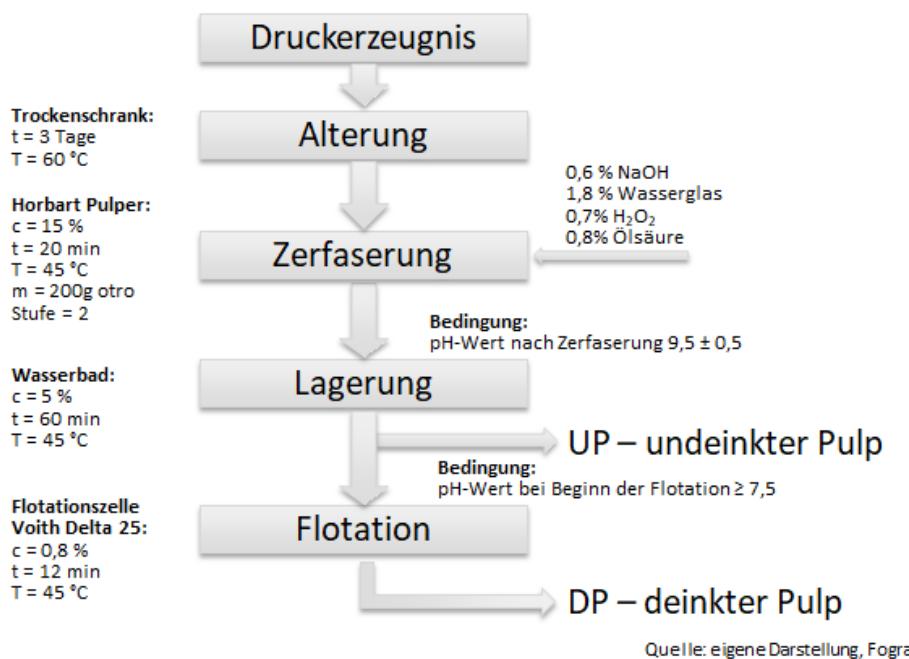
4.5 Deinkingtests von Musterdrucken mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben

4.5.1 Bestimmung des Deinkability Scores

Für die Bewertung der Rezyklierbarkeit bzw. Deinkbarkeit von Druckerzeugnissen steht die INGEDE-Methode 11 als Labormethode zur Verfügung. Sie simuliert die zwei Kernprozesse in der Altpapieraufbereitung: die Druckfarbenablösung während der Zerfaserung und den Druckfarbenaustausch während der Flotation.

Das Schema in Abbildung 57 zeigt den prinzipiellen Ablauf der Labormethode.

Abbildung 57: Schematische Darstellung der Labormethode INGEDE 11 zum Deinking von Druckproben.



Das zu untersuchende Druckerzeugnis wird im Trockenschrank bei 60 °C für drei Tage beschleunigt gealtert. Dies entspricht einer natürlichen Alterung von drei Monaten und damit der durchschnittlichen Umlaufzeit (vom Druck bis zur Altpapieraufbereitung) eines Zeitungs-Druckprodukts.

Für die Stoffzerfaserung sieht die INGEDE-Methode den Einsatz einer Hobart N50 Planetenrührmaschine als Labor-Pulper vor. Diese simuliert die in Papierfabriken häufig zum Einsatz kommenden Hochkonsistenzpulper (HC Pulper), welche bei Stoffkonzentrationen von bis zu 19 % zerfasern können. Unter Zugabe der Deinkingchemikalien erfolgt die Desintegration im Hobart-Pulper bei einer Stoffkonzentration von 15 % für 20 min und einer mittleren Geschwindigkeitsstufe (Stufe 2 entspricht einer Drehzahl des Planetenantriebs von 285 min⁻¹).

In der, nach der Zerfaserung folgenden, Lagerung des Faserstoffs bei 45 °C unterstützen die zugegebenen Deinkingchemikalien (Natronlauge, Ölsäure, Wasserglas und Wasserstoffperoxid) die Ablösung und Stabilisierung des Druckfarbenfilms. Der Austrag der abgelösten Druckfarbenpartikel wird durch ein physikalisch-chemisches Trennverfahren, die Flotation, realisiert. Dieses Trennverfahren wird von der Industrie eingesetzt, um feinkörnige, hydrophobe Partikel aus einer Suspension auszutragen. Dabei lagern sich die hydrophoben Partikel an Gasblasen an und werden so selektiv an die Oberfläche der Suspension getragen, wo sie schließlich abgetrennt werden. Das Flotationsverfahren stammt zwar ursprünglich aus der Erzindustrie, stellt aber seit langem auch einen wesentlichen Prozessschritt beim Papierrecycling in Europa dar.

Für die Flotation empfiehlt die INGEDE-Methode 11 den Einsatz einer Voith Delta 25™ oder einer PTS Flotationszelle. Für die Versuche im Rahmen dieses Projekts wurde die Voith Delta 25TM verwendet. Hier wurde mit einer Stoffkonzentration von 0,8 %, einem Lufteintrag von 60 l/h und einer Rührgeschwindigkeit von 1 200 min⁻¹ gearbeitet.

Der Austrag der Druckfarbenpartikel in der Flotationsstufe hängt von einer Reihe verschiedener Faktoren ab. So beeinflussen u. a. folgende Parameter entscheidend die Güte des Druckfarbenaustrags:

- Eigenschaften der Druckfarbenpartikel (Partikelgröße, Partikelform, hydrophober Charakter des Druckfarbenpartikels): beispielsweise können zu große Druckfarbenpartikel aufgrund ih-

rer Schwerkraft nur unzureichend ausgetragen werden. Ebenso wenig eignet sich das Flotationsverfahren für hydrophile Druckfarben (insbesondere wasserbasierende Druckfarbensysteme).

- ▶ Größenspektrum der in der Flotationszelle vorhandenen Luftblasen (Durchmesser und Anzahl) und die vorherrschenden Strömungsverhältnisse: beide Kenngrößen nehmen Einfluss auf die Kollisionswahrscheinlichkeit mit Druckfarbenpartikeln sowie deren Haftung an den aufsteigenden Luftblasen.
- ▶ Stoffdichte in der Flotationszelle: Zu hohe Stoffdichten behindern das freie Aufsteigen der an den Luftblasen anhaftenden Druckfarbenpartikel.

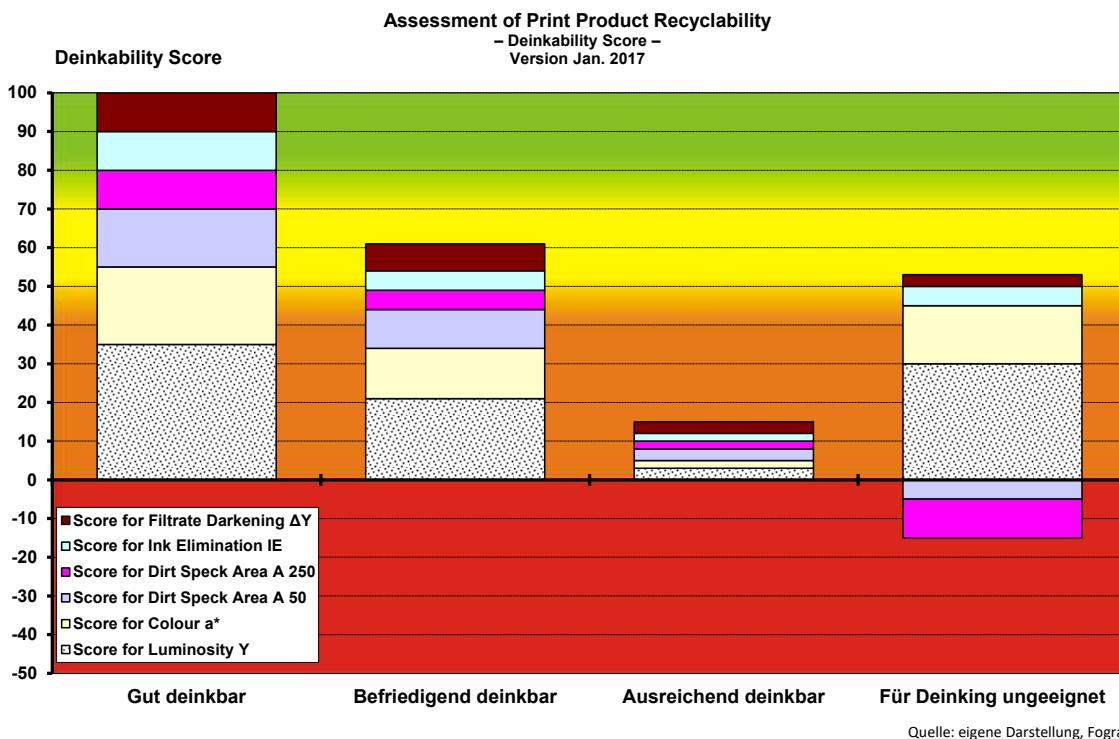
Für eine Bewertung der Deinkbarkeit gemäß der INGEDE-Methode 11 werden folgende optische Messungen an den gewonnenen Musterblättern verlangt:

- ▶ Bestimmung des Hellbezugswerts Y und des Farborts a^* an den Nutschenblättern des deinkten Faserstoffs gemäß INGEDE-Methode 2 und der DIN 6174. Diese Nutschenblätter werden mit Hilfe von „Machinery-Nagel MN 618“ Filtern (Durchmesser 150 mm) hergestellt.
- ▶ Die während der Flotation nicht ausgetragenen Druckfarbenpartikel sollen an den Laborblättern des deinkten Faserstoffs als Schmutzpunktfläche A bestimmt werden. Die Laborblätter werden dabei mit einem Rapid-Köthen Blattbildner gewonnen.
- ▶ Bestimmung des Farbaustrags (engl.: Ink Elimination IE) gemäß INGEDE-Methoden 1 und 2 an den Nutschenblättern des undeinkten und deinkten Faserstoffs. Die Nutschenblätter werden mit Hilfe von „Machinery-Nagel MN 618“ Filtern (Durchmesser 150 mm) gewonnen.
- ▶ An dem Filtrat, welches bei der Gewinnung der Nutschenblätter des deinkten Faserstoffs anfällt, wird die Filtratverdunkelung mit Hilfe von Zellulose-Nitrat-Filtern der Firma Sartorius (Porengröße: 0,45 µm) bestimmt. Dabei ist der Verlust im Hellbezugswert Y des Zellulose Filters als Filtratverdunkelung ΔY zu protokollieren.

Zur vergleichenden Bewertung der Deinkingbarkeit von Druckprodukten ist es gegenwärtig üblich, die zur Charakterisierung des Erfolgs vom Deinkingtest beschriebenen sechs Bewertungsparameter (Hellbezugswert Y, Farbkoordinate a^* , Schmutzpunktflächen A50 / A250, Farbaustrag IE und Filtratverdunkelung ΔY) in den sogenannten „Deinkability Score“ zusammenzuführen, welcher die Deinkbarkeit in 4 Kategorien einteilt. Aus allen 5 Ergebnissen wird der Deinkability Score üblicherweise in Form eines gestapelten Säulendiagramms dargestellt, in dem sich die Gesamtsäule aus den sechs Einzelwerten (Y, a^* , A₅₀, A₂₅₀, IE und ΔY) in Abhängigkeit der erreichten Punktzahlen zusammensetzt.

Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt die Abstufung an vier fiktiven Beispielen.

Abbildung 58: Beispielhafte Darstellung des Deinkability Scores der vier unterscheidbaren Bewertungsstufen von Deinkingergebnissen.



Bei der Bewertung der erreichten Maßzahl (Score) werden die Druckprodukte gemäß Tabelle 9 klassifiziert. Bei Erreichen oder Überschreiten des Zielwerts bekommt das Produkt die Höchstzahl der Punkte. Für den Fall, dass die Mindestanforderung eines Bewertungskriteriums nicht erfüllt ist erfolgte eine negative Bewertung.

Tabelle 9: Skala zur Bewertung der Deinkbarkeit.

Score	Bewertung
100 - 71	Gut deinkbar
70 - 51	Befriedigend deinkbar
50 - 0	Ausreichend deinkbar
Ab einem negativen Werte (unabhängig von weiteren positiven Scores)	Nicht geeignet für das Deinking

4.5.2 Ergebnisse der Deinkinguntersuchungen

Die Deinkinguntersuchungen erfolgten projektbegleitend über den Zeitraum der Druckversuche. Zur endgültigen Bewertung der Deinkbarkeit der mit mineralölfreien Druckfarben hergestellten Druckprodukte erfolgten die Untersuchungen an produktionsbegleitend gedruckten Zeitungen. Weiterhin wurde ein Testdruck zu der Untersuchung hinzugezogen, bei dem die Belegung mit Druckfarbe deutlich höher war als es bei einer normalen Zeitungsproduktion der Fall ist.

Bei dem Papier zur Zeitungsproduktion handelte es sich um die Standardpapiere, die bei der Frankfurter Societäts-Druckerei zum Einsatz kommen, nämlich um eine Papiersorte, die aus 50 % rezyklierten Altpapier (DIP) und um eine weitere Papiersorte, die aus 100 % DIP besteht.

Über die Dauer der Druckversuche wurde mehrere Deinkinguntersuchungen an verschiedenen Druckprodukten durchgeführt. Zusätzlich zu den mineralölfrei gedruckten Produkten wurden insgesamt acht jeweils parallel erstellte Druckmusterpaare mit praktisch identischen Druckbild genommen, die sich nur in der Druckfarbe (konventionell bzw. mineralölfrei) unterscheiden. Anhand dieser Musterpaare ist ein unmittelbarer Vergleich der Deinkbarkeit in Abhängigkeit der Druckfarbe möglich. Bei allen Mustern handelt es sich um Zeitungsausgaben mit einer für diese Druckprodukte durchschnittlichen Bedruckung mit viel Schwarz und mittleren Mengen an den Buntfarben. Eine Übersicht über die Druckprodukte, an denen das Deinkingverhalten untersucht wurde ist in Tabelle 10 dargestellt.

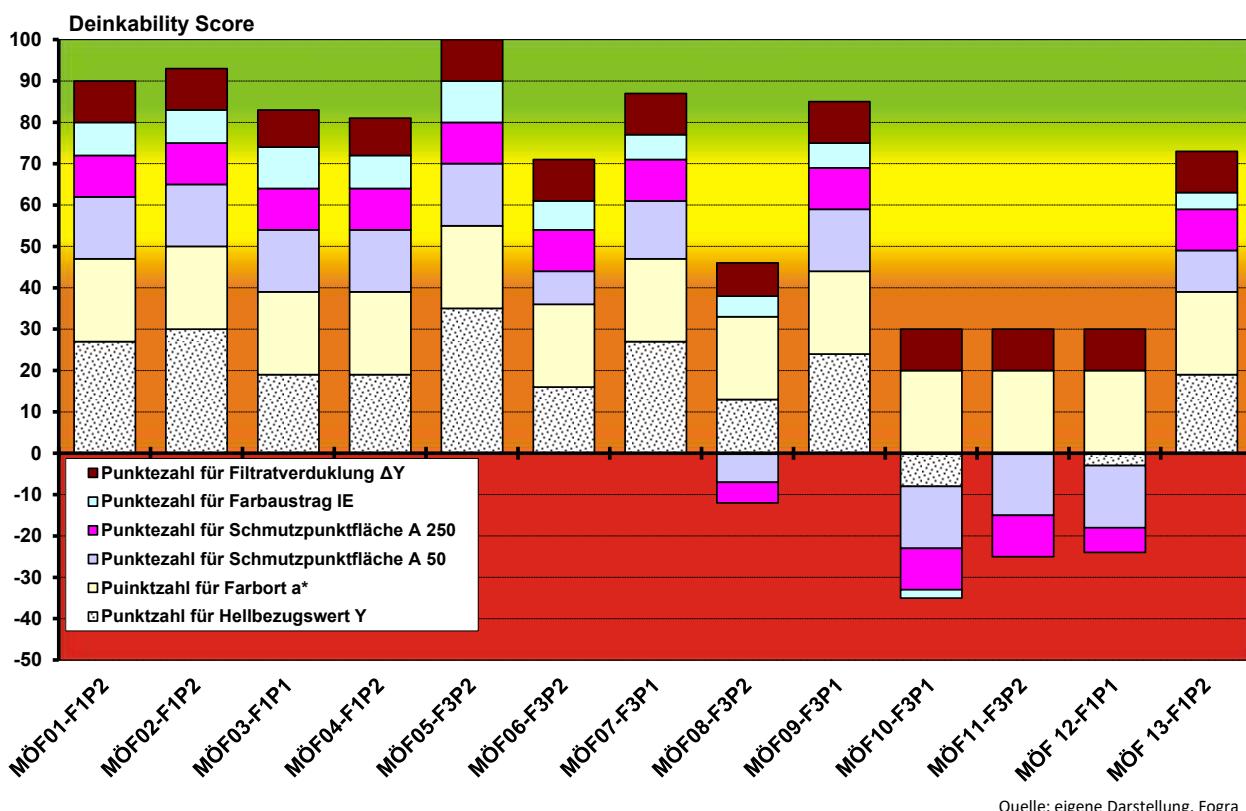
Tabelle 10: Zur Bewertung der Deinkbarkeit herangezogene Druckprodukte; die Abkürzungen sind folgendermaßen codiert: Konv: mineralölhältige Druckfarbe, MÖF: mineralölfreie Druckfarbe, F: Farbhersteller, P: Papier; MÖF1-F1P1 ist also mineralöfrei gedrucktes Muster mit Druckfarbe von Hersteller 1 auf Papier 1.

Musterpaarung	Muster mit mineralöl-freier Druckfarbe	Muster mit kon-ventioneller Druck-farbe	Farbhersteller	Papier
Paarung 1	MÖF01-F1P2	Konv01-F1P2	Hersteller 1	100% DIP
	MÖF02-F1P2		Hersteller 1	100% DIP
	MÖF03-F1P1		Hersteller 1	50% DIP
	MÖF04-F1P2		Hersteller 1	100% DIP
Paarung 2	MÖF05-F3P2	Konv02-F3P2	Hersteller 3	100% DIP
Paarung 3	MÖF06-F3P2	Konv03-F3P2	Hersteller 3	100% DIP
Paarung 4	MÖF07-F3P1	Konv04-F3P1	Hersteller 3	50% DIP
Paarung 5	MÖF08-F3P2	Konv05-F3P2	Hersteller 3	100% DIP
Paarung 6	MÖF09-F3P1	Konv06-F3P1	Hersteller 3	50% DIP
Paarung 7	MÖF10-F3P1	Konv07-F3P1	Hersteller 3	50% DIP
Paarung 8	MÖF11-F3P2	Konv08-F3P2	Hersteller 3	100% DIP
	MÖF12F1P1		Hersteller 1	50% DIP
	MÖF12F1P2		Hersteller 1	100% DIP

4.5.2.1 Deinkbarkeit der mineralölfrei produzierten Muster

Die Ergebnisse der Deinkinguntersuchungen der einzelnen mit den neuartigen, mineralölfreien Druckfarben produzierten Druckprodukte sind in Abbildung 59 (Gesamtresultat als Deinkability Score) und in Abbildung 60 (aufgeschlüsselt nach den einzelnen Parametern) dargestellt.

Abbildung 59: Deinkingergebnisse der getesteten Druckprodukte aus mineralölfreien Druckfarben in Form des Deinkability Scores Die Proben MÖF 11 bis MÖF 13 wurden mit den aktuellsten Druckfarben hergestellt (eigene Darstellung, Fogra).



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

Betrachtet man die Deinkability Scores der Druckprodukte mit mineralölfreien Druckfarben, so können etwa zwei Drittel der Produkte mit einem Gesamtergebnis von mindestens 70 Punkten als gut deinkbar eingestuft werden (Produkte ohne negative Balkenanteile in Abbildung 59).

Signifikante Unterschiede bei der Deinkbarkeit der unterschiedlichen Papiere konnten dabei nicht beobachtet werden. Unabhängig vom Recyclingfaseranteil (Papier 1 mit 50% DIP und Papier 2 mit 100 % DIP) erwiesen sich bei jeder Papiersorte zwei Muster als nicht deinkbar.

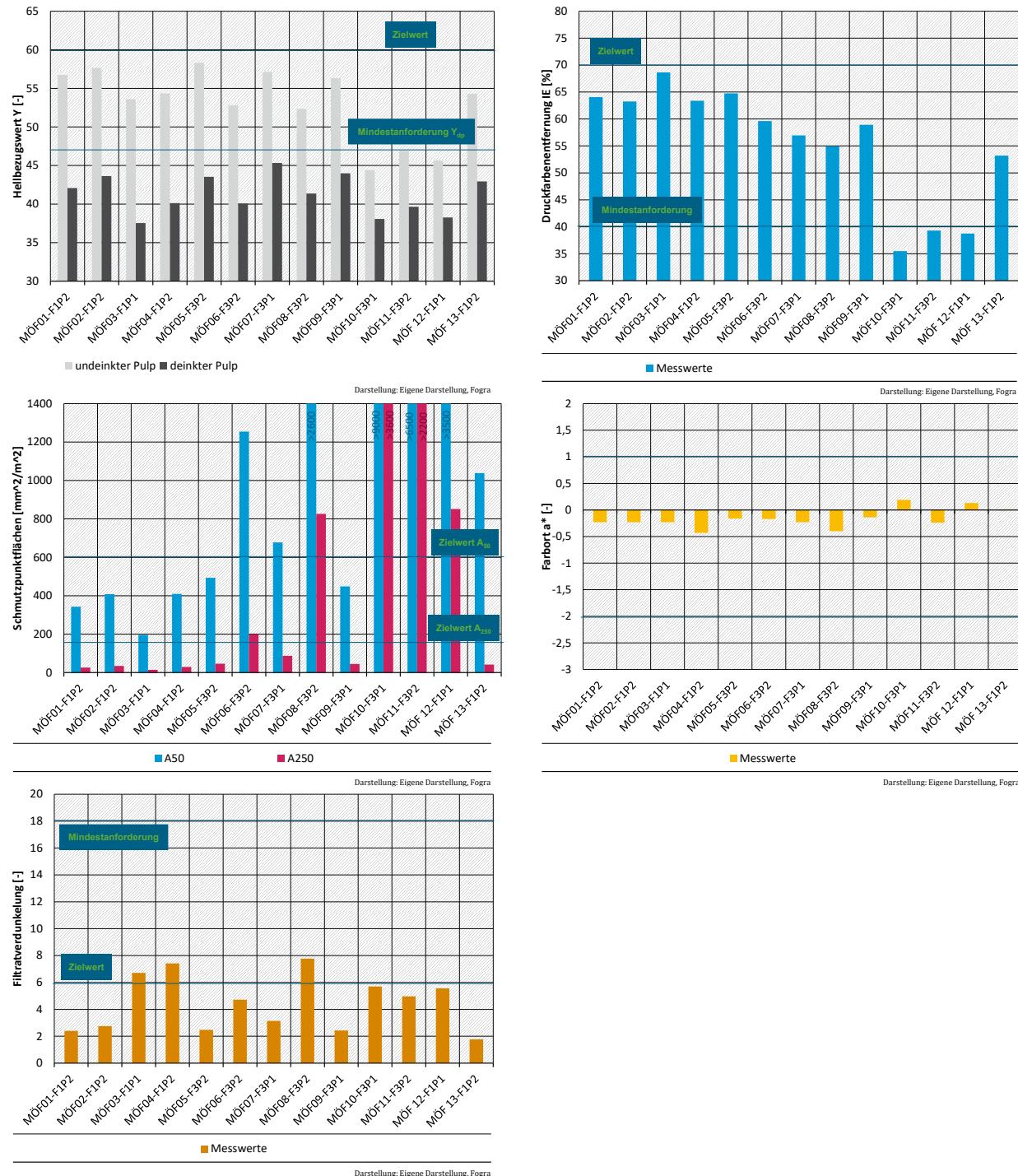
Bei sämtlichen Mustern, die als nicht für das Deinking geeignet eingestuft sind, waren vor allem die Schmutzpunktflächen ausschlaggebend für diese Einstufung. So lagen die Schmutzpunktflächen A₅₀ bei Werten zwischen 2668 mm²/m² und 9230 mm²/m² (Grenzwert: 2000 mm²/m²) und die Schmutzpunktflächen A₂₅₀ zwischen 826 mm²/m² und 3681 mm²/m² (Grenzwert: 600 mm²/m²). Zusätzlich erwies sich der Hellbezugswert Y des deinkten Pulps bei zwei dieser Muster als zu niedrig (44,4 bzw. 45,6 bei einem Mindestwert von 47). In einem Fall konnte auch die Minimalanforderung des Farbaustrags IE von 40 % nicht erreicht werden.

Betrachtet man zusammenfassend die einzelnen Parameter, die in Abbildung 60 dargestellt sind, so können folgende generelle Aussagen getroffen werden:

- ▶ Bei der Helligkeit Y des deinkten Pulps wird der Zielwert von keinem Muster erreicht, die Werte liegen zwischen 47 und 58, zwei Muster erreichen die Minimalanforderungen nicht.
- ▶ Bei der Druckfarbenentfernung (IE) liegen die Werte zwischen 40 % und 65 %. Ein Muster erreichte mit 69 % fast den Zielwert, ein Muster erreicht die Minimalanforderung nicht.
- ▶ Die Schmutzpunkte A₅₀ und A₂₅₀ liegen im mittleren Bereich, lediglich bei 4 Proben sind die Grenzwerte für beide Parameter überschritten worden.

- Die Werte für den Farbort a^* liegen bei allen Mustern im Zielkorridor und erreichen minimale Werte von -0,4.
- Bei der Filtratverdunklung ΔY erreichten lediglich 3 Muster nicht den Zielwert, liegen aber mit maximal ca. 8 Einheiten deutlich unter der Mindestanforderung.

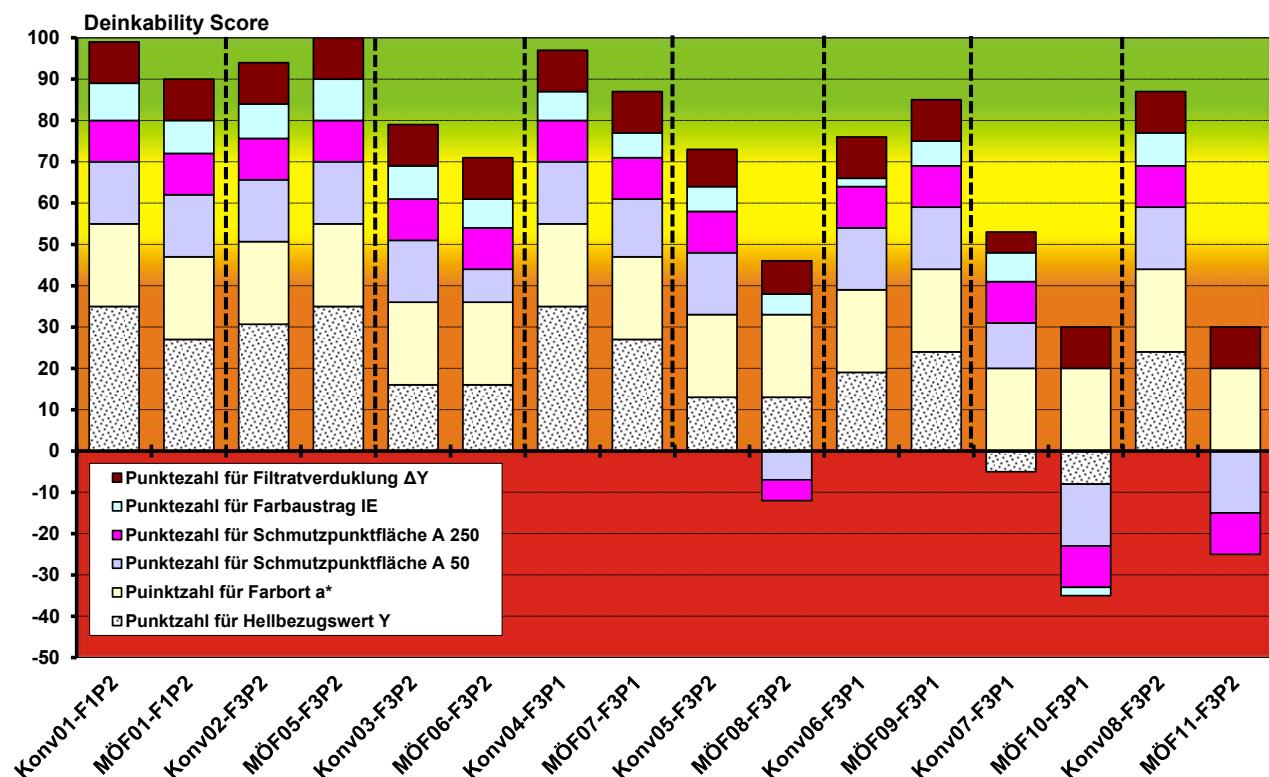
Abbildung 60: Ergebnisse aus den Deinkinguntersuchungen mit Druckprodukten aus mineralölfreien Druckfarben, aufgeschlüsselt in die einzelnen Parameter. In den Grafiken sind jeweils die Mindestanforderung und der Zielwert bzw. der Zielkorridor eingezeichnet.



4.5.2.2 Vergleich von mineralölfrei und konventionell gefertigten Mustern

Neben dem Deinkingverhalten von Druckprodukten mit mineralölfreien Druckfarben ist es wichtig abzuschätzen, wie sich diese Produkte von jeweils vergleichbaren Produkten, die mit konventionellen Druckfarben gefertigt wurden, unterscheiden. Dazu wurden acht vergleichbare Musterpaare angefertigt und das Deinkingverhalten getestet. Der Deinkability Score sowie die Einzelergebnisse sind in Abbildung 61 und Abbildung 62 als Vergleich konventionell - mineralölfrei dargestellt.

Abbildung 61: Vergleich der Deinkingergebnisse vergleichbarer Druckprodukte aus mineralölfreien (MÖF) und konventionellen (Konv) Druckfarben in Form des Deinkability Scores.



Quelle: eigene Darstellung, Fogra

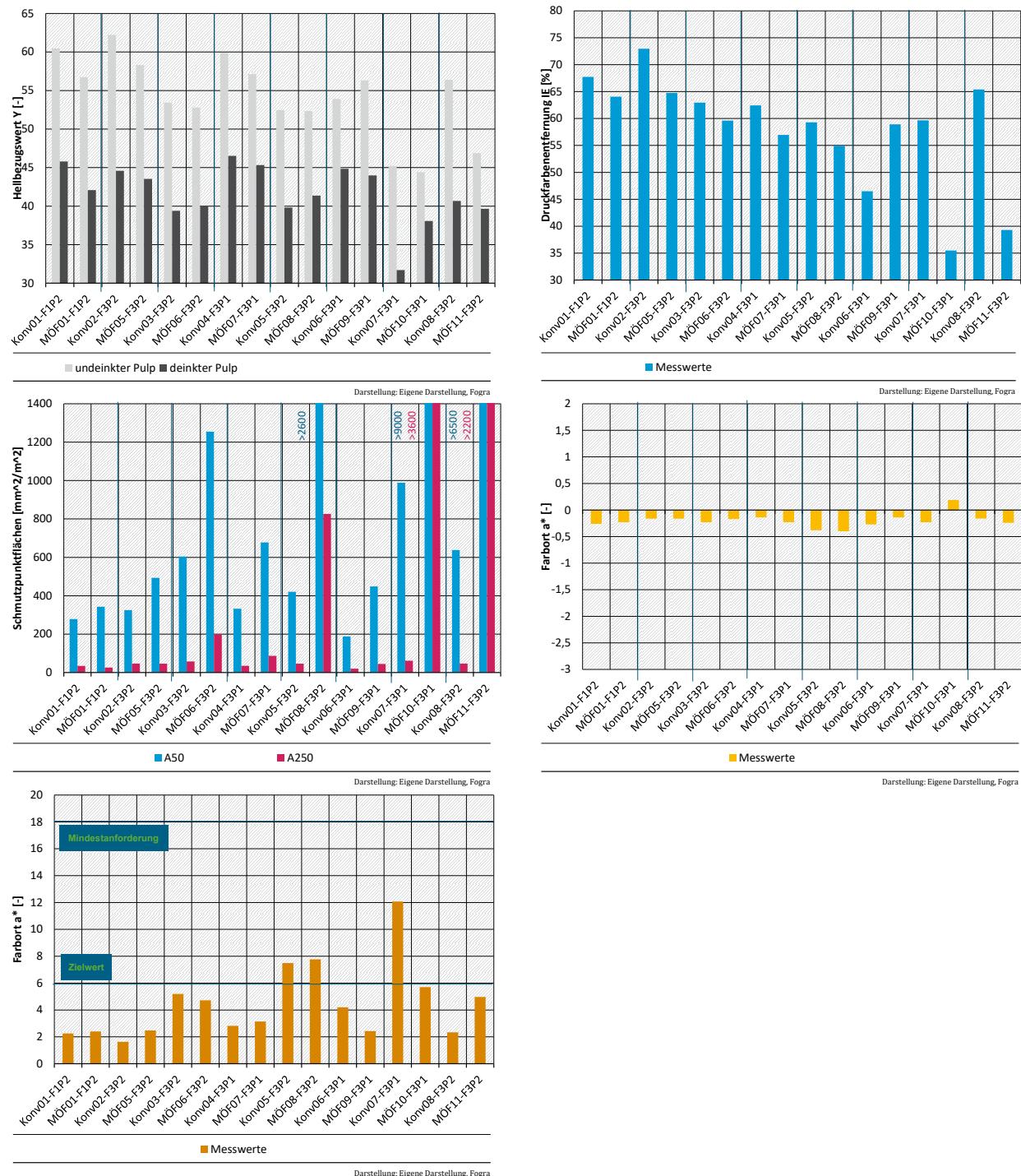
Im Falle der Deinkbarkeit beider Muster zeigt sich für sechs der acht Muster mit konventionellen Druckfarben eine bessere Deinkbarkeit, in zwei Fällen waren die Muster mit mineralölfreien Druckfarben besser. Als ausschlaggebende Parameter konnten die Helligkeit Y, die Schmutzpunkte A₅₀ und die Druckfarbeneliminierung IE identifiziert werden.

Bei einem der nicht für das Deinking geeigneten Mustern mit mineralölfreien Druckfarben erwiesen sich auch die korrespondierenden Muster mit konventionellen Druckfarben als nicht für das Deinking geeignet. In zwei anderen Fällen zeigten die konventionellen Vergleichsprodukte gutes Deinkingverhalten.

- Betrachtet man die einzelnen Parameter genauer, so können folgende Aussagen getroffen werden:
- Die Helligkeit Y ist einer der drei Parameter, in denen sich die beiden Mustersorten voneinander unterscheiden.
- Die Werte für den Farbort a* zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Mustertypen.

- ▶ Die Schmutzpunkte sind bei allen Druckprodukten aus konventionellen Druckfarben geringer als bei den mineralölfreien Proben. Dies gilt sowohl für den A₅₀- als auch den A₂₅₀-Wert. Beide Werte dienen zur Differenzierung der unterschiedlichen Druckmuster.
- ▶ Mit zwei Ausnahmen lagen die Werte für die Druckfarbenentfernung (IE) bei den konventionellen höher als bei den mineralölfreien Druckprodukten. Dies ist der dritte Parameter, in dem sich die beiden Mustersorten voneinander unterscheiden.
- ▶ Bei der Filtratverdunklung ΔY konnten keine signifikanten Unterschiede in den beiden Musterarten festgestellt werden.

Abbildung 62: Vergleichende Ergebnisse aus den Deinkinguntersuchungen mit Druckprodukten aus mineralölfreien (MÖF) und konventionellen (Konv) Druckfarben, aufgeschlüsselt in die einzelnen Parameter zur Bewertung der Deinkbarkeit.



Neben der Bewertung der Druckprodukte nach dem Deinkability Score erfolgte im Rahmen der Untersuchungen auch Bestimmungen der Faserausbeute, also der Menge an Fasern, die nach der Deinking-Labormethode noch zur Verfügung stehen.

Hier zeigte sich, dass die Faserausbeute in der Mehrzahl der Fälle (fünf von acht) geringer ausfällt, wenn die Druckprodukte mit mineralölfreien Druckfarben hergestellt wurden. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Faserausbeute im industriellen Umfeld höher liegt als bei dem Laborverfahren, da großtechnisch Rejekte aus der 1. und 2. Flotationsstufe durch Rückführung in eine Sekundärflotation aus

dem abgeschöpften Volumenstrom zurückgewonnen werden. Trotzdem steht zu erwarten, dass bei einer Umstellung von konventionellen auf mineralölfreie Zeitungsdruckfarben die Faserausbeute geringer ausfallen dürfte und somit Auswirkungen auf die Altpapierströme entstehen werden.

Tabelle 11: Vergleich der Faserausbeuten nach dem Deinking gemäß der INGEDE Methode 11p von mineralölfreien und konventionellen Druckprodukten. Mit * gekennzeichnete Muster wurden als nicht für das Deinking geeignet eingestuft.

Musterpaarung	Farbhersteller	Papier	Faserausbeute [%] konventionell	Faserausbeute [%] mineralölfrei
Paarung 1	Hersteller 1	100% DIP	85,6	78,2
Paarung 2	Hersteller 3	100% DIP	84,8	78,7
Paarung 3	Hersteller 3	100% DIP	71,9	69,4
Paarung 4	Hersteller 3	50% DIP	85,8	80,4
Paarung 5	Hersteller 3	100% DIP	69,5	82,5*
Paarung 6	Hersteller 3	50% DIP	73,0	77,5
Paarung 7	Hersteller 3	50% DIP	65,2*	65,5*
Paarung 8	Hersteller 3	100% DIP	80,8	66,6*

4.5.2.3 Zusammenfassung der Deinkinguntersuchungen

Die INGEDE-Methode 11 ist als eine Methode zu verstehen, die lediglich einzelne Produkte betrachtet. Sie wurde dazu etabliert, um sehr schlecht deinkbare Produkte identifizieren zu können. Die Methode kann nicht den gesamten Rezyklingprozess im industriellen Umfeld abbilden, da hier immer Altpapier-gemische rezykliert werden. Diese Gemische bestehen aus verschiedenen Papier- und Druckfarben-qualitäten. Am Ende des Prozesses muss gewährleistet sein, dass durch das Deinking gewisse Anforderungen erfüllt sind.

Betrachtet man unter diesen Gesichtspunkten die einzelnen Ergebnisse, so bedarf vor allem der Helligkeitswert Y einer genaueren Interpretation. Ein Helligkeitswert von 30 entspricht in etwa einem braunen Karton, ein Wert von 65 ist typisch für ein Zeitungsdruckpapier.^{xix} Um einen Helligkeitswert von 65 zu erzielen, ist es bereits jetzt notwendig, das Altpapiergemisch mit Magazinen (hohe Helligkeit) zu versetzen. Die Mittlere Helligkeit von Zeitungen nach der INGEDE Methode 11 liegt nach Angaben der INGEDE bei 54 Punkten.^{xx} Betrachtet man die Helligkeit der insgesamt acht Vergleichsprodukte (gleiche Druckprodukte mit gleichem Papier aber konventioneller bzw. mineralölfreier Druckfarbe des gleichen Herstellers) aus dem Projekt miteinander, so liegen die Helligkeitswerte der konventionellen Druckprodukte bei vier Pärchen höher als bei denen mit mineralölfreien Druckfarben. Bei zwei Pärchen unterscheiden sich die jeweiligen Druckprodukte nur unwesentlich und in zwei Fällen zeigten die Druckprodukte mit mineralölfreien Druckfarben höhere Helligkeitswerte. Geht man davon aus, dass die neuartigen Farben generell zu einem leichten Rückgang der Helligkeit des deinkten Faserstoffs führen, so kann dies deutliche Auswirkungen auf den Stoffkreislauf haben. Ein geringerer Helligkeitswert spielt für das Deinking sicher eine negative Rolle, wenn die gesamten Zeitungen zukünftig mit mineralölfreien Druckfarben produziert würden. Für den Fall, dass mineralölfrei gedruckte Zeitungen nur einen kleinen Teil des Gesamtvolumens ausmachen, sollten die Auswirkungen für den Altpapierkreislauf nicht signifikant ausfallen.

Insgesamt wurden 13 mit mineralölfreien Druckfarben gefertigte Druckprodukte auf ihr Deinkingverhalten nach der Methode INGEDE 11 hin untersucht. Nach der Labormethode konnten neun der Muster als gut deinkbar eingestuft werden, lediglich vier Muster wurde als nicht für das Deinking geeignet eingestuft.

Die aktuellen mineralölfreien Formulierungen von Hersteller 1 war auf dem Papier mit 50% DIP nicht deinkbar, bei Hersteller 3 waren die Muster auf beiden Papiersorten zuletzt nicht deinkbar.

Nach der derzeitigen Datenlage muss davon ausgegangen werden, dass eine umfängliche Deinkbarkeit von Druckerzeugnissen, die mit mineralölfreien Coldset-Druckfarben hergestellt wurden, nicht gegeben ist. Es bedarf noch weiterer Untersuchungen zu diesem Thema.

4.6 Einhaltung der Spezifikationen zur Mineralölfreiheit der Druckfarben

In der Ausschreibung sind die beteiligten Farblieferanten gebeten worden Farbserien für einen Langzeittest in einer Druckerei so entwickeln, dass diese keine kritischen Mineralölbestandteile als konstitutionelle Inhaltsstoffe enthalten.

Folgende Kriterien sollten dabei eingehalten werden:

1. Von den aliphatischen Kohlenwasserstoffen dürfen in den Druckfarben nur Stoffe der Kettenlänge C10 bis C20 eingesetzt werden, zusätzlich dürfen die folgenden hochmolekularen Verbindungen ohne Löseeigenschaften eingesetzt werden, wenn sie eine Kohlenstoffzahl C > 35 aufweisen und der Anteil C20 bis C35 max. 5 % beträgt: mikrokristalline Wachse, Vaseline, Polyolefin-, Paraffin-, oder Fischer-Tropsch-Wachse.
2. In den Druckfarben sollen als konstitutionelle Bestandteile weniger als 0,1 Gew.% aromatische Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl eingesetzt werden. Darüber hinaus gilt für die durch die EU-Verordnung Nr. 1272/2013⁴ geregelten PAK der dort festgelegte Grenzwert.
3. Der Einsatz von Rohstoffen aus Kokos- bzw. Palmkernöl ist nicht zulässig.

4.6.1 Methode zur Bestimmung der Gehalte an MOSH und MOAH

Um zu überprüfen, ob die Druckfarbenrezepturen eventuell falsch-positive Ergebnisse bei der Mineralölgehaltsbestimmung gemäß der Methode des BfR^{xxiv} liefern müssen Druckprodukte aus den Druckversuchen entsprechend aufgearbeitet und analysiert werden.

Durch das BfR sind die beiden Substanzklassen MOSH und MOAH definiert:

Mineral Oil Saturated Hydrocarbons (MOSH): gesättigte Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl. Diese bestehen aus Paraffinen (offenkettigen Kohlenwasserstoffen) sowie Naphthenen (cyclischen Kohlenwasserstoffen), die meistens hoch alkyliert sind und entweder direkt aus dem Erdöl stammen oder durch die Hydrierung von Aromaten sowie weiteren Umwandlungsprozessen bei der Raffination gebildet wurden.

Mineral Oil Aromatic Hydrocarbons (MOAH), Kohlenwasserstoffe aus Mineralöl, die aus hoch alkylierten mono- und/oder poliaromatischen Ringen bestehen. In teilhydrierten Mineralölen kommen auch gesättigte und aromatische Ringe nebeneinander vor. Kohlenwasserstoffe mit mindestens einem aromatischen Ring werden den MOAH zugerechnet auch wenn sie zum weit überwiegenden Teil aus gesättigten Kohlenstoffen bestehen.

⁴ Zum Download unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32013R1272>

Abbildung 63 zeigt den generellen Aufarbeitungsweg sowohl von Papierproben als auch von reinen Druckfarben. Die Bestimmung der MOSH- und MOAH-Gehalte erfolgte nach der sogenannten Offline-Methode. Dabei erfolgt die fraktionierende Trennung, bei der MOSH und MOAH Komponenten voneinander getrennt werden, mit Hilfe einer Festphasenextraktion, wie auch vom BfR beschrieben. Nach einem Einengungsschritt erfolgt die weitere Analyse der beiden Fraktionen getrennt voneinander durch gaschromatographische Trennung mit anschließender Detektion mittels Flammenionisationsdetektor (FID). Dieser Detektor ist gut zur Quantifizierung von Analyten geeignet, da er einen hohen linearen Bereich hat und die Response, also die Signalintensität im Verhältnis zur Stoffmenge, im Rahmen der Stoffgruppen „MOSH“ bzw. „MOAH“ nahezu für alle Einzelverbindungen gleich ist.

Abbildung 63: Schematisches Vorgehen zur Bestimmung von aliphatischen (MOSH) und aromatischen (MOAH) Kohlenwasserstoffen aus Mineralölen in Anlehnung an die BfR-Methoden^{xxiv, xxv}. Es sind: SPE: Festphasenextraktion, FID: Flammenionisationsdetektor.



Die Auswertung der abschließenden gaschromatographischen Analyse mittels Flammenionisationsdetektor (GC-FID) erfolgt in unterschiedlichen Abschnitten des Chromatogramms. Die Einteilung des Chromatogramms erfolgt durch die Retentionszeiten von unverzweigten Alkanen im Bereich von Dekan (C10) und Pentatriacontan (C35). Für Verpackungsmaterial sind diese Bereiche im Fall der aliphatischen Komponenten (MOSH) C10 (Peakfang) bis C16 (Peakende), C16 (Peakende) bis C25 (Peakende) und C25 (Peakende) bis C35 (Peakende) und im Fall der aromatischen Komponenten (MOAH) C16 (Peakfang) bis C35 (Peakende).

Gemäß der BfR-Vorschrift müssen alle Komponenten, die wissentlich nicht den MOSH oder MOAH zugerechnet werden dürfen, bei der Auswertung ausgeschlossen werden.

4.6.2 Ergebnisse der Mineralölgehaltsuntersuchungen

In Zusammenarbeit mit der Fa. Weig sind Messungen sowohl mit Druckprodukten aus den Vorversuchen mit der Bogenoffsetmaschine als auch mit aktuellen Druckprodukten aus den Langzeitdruckversuchen erfolgt. Vergleichend zu den Druckmustern wurden die Mineralölgehalte der verwendeten Papiere als Blindwerte bestimmt. Die bei diesen Untersuchungen ermittelten Ergebnisse sind in ppm (parts per million) angegeben. Zusätzlich zu den Druckprodukten war es notwendig, die reinen Druckfarben auf die Gehalte an MOSH und MOAH hin zu untersuchen. Diese Gehalte sind um einige Größenordnungen höher als in Druckprodukten, wo die Druckfarbe in etwa 3 % der Gesamtmasse ausmacht (1 g/m² Druckfarbe auf einem 35g/m² Papier). Daher ist es sinnvoll, die Messwerte für Druckfarben in Prozent (%) anzugeben (1% = 10.000 ppm).

Bei den Mustern aus der Bogenoffsetmaschine handelte es sich um Andrucke der Feuchtungskontrollform der Fogra (Abbildung 24 links), im Fall der Langzeitdruckversuche wurden die Vollflächen aus den Bestimmungen des Farbverbrauchs (Abbildung 27 mitte und rechts) herangezogen. Diese hatten den Vorteil, dass für jede einzelne Druckfarbe der Gehalt an MOSH und MOAH ermittelt und verglichen werden kann. Weiterhin erfolgten gegen Ende des Projektes Messungen an produktionsbegleitend gefertigten Zeitungen, um somit zu erfassen, wie das gesamte Druckprodukt bewertet wird.

Bei den Untersuchungen an den Druckmustern aus der Bogenoffset-Druckmaschine zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den mineralölfrei gedruckten Mustern und denen mit konventionellen Coldsetdruckfarben, wie Tabelle 12 zu entnehmen ist. Zieht man in Betracht, dass bei der Farbherstellung auf einem System gearbeitet wurde, auf dem in der Regel konventionelle, mineralölhaltige Farben produziert werden und auch auf der Druckmaschine im Regelfall mineralölhaltige Farben eingesetzt werden ist davon auszugehen, dass diese Druckfarbe kein falsch-positives Ergebnis bei einer Mineralölgehaltsbestimmung nach BfR liefern wird.

Tabelle 12: MOSH und MOAH Gehalte [**ppm**] aus den Versuchen in der Bogenoffsetmaschine mit mineralölfreien (MÖF) und konventionellen Druckfarben (mineralölhaltig) des Herstellers 1.

Druckmuster	MOSH [ppm] C10 – C16	MOSH [ppm] C16 – C25	MOSH [ppm] C25 – C35	MOAH [ppm] C16 – C35
Papier unbedruckt	7	47	48	46
Druckmuster MÖF	87	199	74	139
Druckmuster konv.	379	2391	710	1740

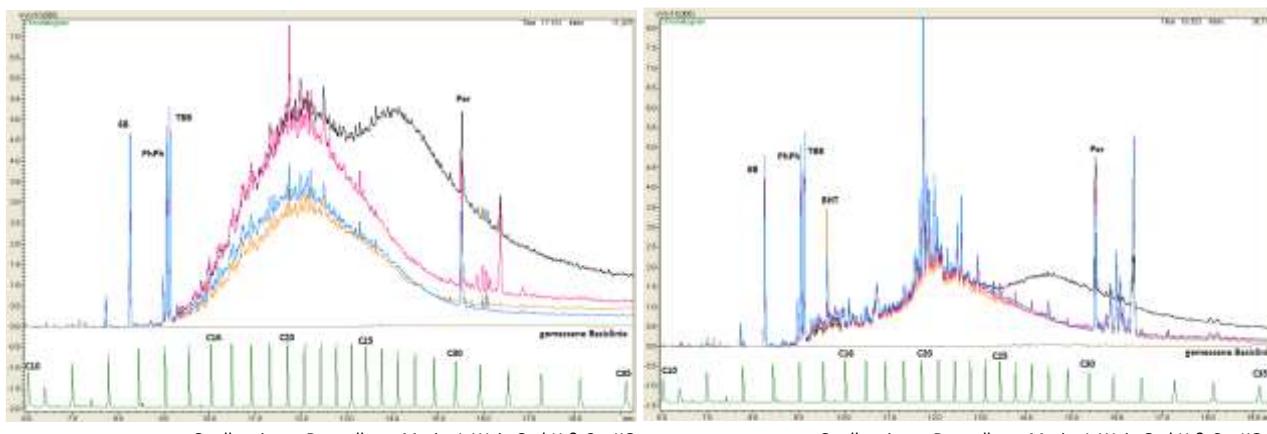
Bei den Mustern, die während eines Druckversuchs aus der Zeitungsdruckmaschine der FSD gezogen wurden verhielt sich das Ergebnis anders. Hier konnten keine signifikanten Unterschiede in den gemessenen Gehalten an MOSH und MOAH zwischen mineralölhaltigen und -freien Druckfarben festgestellt werden (Tabelle 13). Teilweise ergaben die Messungen bei den mineralölfrei produzierten Produkten sogar höhere Gehalte.

Tabelle 13: MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungsdruckmaschine der FSD einer konventionellen mineralölhaltigen Druckfarbe (konv.) und den beiden aktuellen mineralölfreien Druckfarben (MÖF).

Druckmuster (Testseite)	MOSH [ppm] C10 – C16	MOSH [ppm] C16 – C25	MOSH [ppm] C25 – C35	MOAH [ppm] C16 – C35
Papier unbedruckt	6	171	188	43
Hersteller 1 – Cyan konv.	139	1502	441	679
Hersteller 1 – Magenta konv.	244	2586	765	1037
Hersteller 1 – Gelb konv.	231	2227	464	899
Hersteller 1 – Schwarz konv.	187	1681	1025	837
Hersteller 1 – Cyan MÖF	160	1887	479	520
Hersteller 1 – Magenta MÖF	223	2214	482	759
Hersteller 1 – Gelb MÖF	126	1545	399	455
Hersteller 1 – Schwarz MÖF	263	3043	1598	1167
Hersteller 3 – Cyan MÖF	136	533	202	359
Hersteller 3 – Magenta MÖF	131	478	181	336
Hersteller 3 – Gelb MÖF	118	461	230	311
Hersteller 3 – Schwarz MÖF	110	580	525	448

Um dieses Phänomen genauer zu untersuchen müssen die generierten Chromatogramme interpretiert werden. Exemplarische Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der Farbsätze von Hersteller 1 und Hersteller 3 sind in Abbildung 64 abgebildet. In allen Fällen zeigen die Chromatogramme die typischen Signalberge, die bei der Detektion von MOAH-Komponenten zu erwarten sind, es handelt sich also nicht um falschpositiv bewertete Muster.

Abbildung 64: Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der Testdrucke mit mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 (links) und 3 (rechts). Beschriftet sind die Peaks der zugegebenen internen Standards.



Betrachtet man die aufgezeichneten Chromatogramme der einzelnen Druckfarben kann man feststellen, dass diese sich sehr stark ähneln. Aufgrund der Ergebnisse aus den Bogenoffsetversuchen (Tabelle 12) ist davon auszugehen, dass bei diesen Proben eine deutlich Querkontamination stattgefunden hat. Bei Gesprächen mit allen beteiligten Farbherstellern bestätigten diese, dass die Anlagen, auf denen die mineralölfreien Druckfarben produziert wurden, oberflächlich gereinigt wurden allerdings eine Verschleppung von zuvor produzierten mineralölhaltigen Druckfarben sicher stattfindet. Da die Fertigung

der mineralölfreien Druckfarben in kleinen Mengen von maximal 3 t erfolgte, ist mit deutlicher Kontamination im Herstellungsprozess zu rechnen.

Als potenzielle Kontaminationsstellen erwiesen sich die folgenden Prozesse und Gegebenheiten:

- ▶ Druckfarbproduktion bei den Farbherstellern (Herstellung erfolgte auf Anlagen für konventionelle Zeitungsdruckfarben)
- ▶ Transporttanks / Tankzüge
- ▶ Verrohrung von den separaten Tanks in das Druckwerk in der Druckerei (gilt für CMY)
- ▶ Reste von konventioneller Druckfarbe im Bodentank (gilt für Schwarz)

Um zumindest die weitere Kontamination nach der Druckfarbenproduktion auszuschließen, erfolgen Analysen der reinen, nicht angedruckten Druckfarben im Vergleich zu den korrespondierenden mineralölhaltigen Druckfarbensatz. Die Druckfarbenlieferungen erfolgten direkt von den Herstellern. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 nach Herstellern getrennt aufgelistet.

Tabelle 14: MOSH und MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölhaltigen (konv.) und mineralölfreien (MÖF) Druckfarben des Herstellers 1.

Druckfarbenmuster	MOSH [%] C10 – C16	MOSH [%] C16 – C25	MOSH [%] C25 – C35	MOAH [%] C16 – C35
Hersteller 1 – Cyan konv.	1,3	14,3	2,7	5,3
Hersteller 1 – Magenta konv.	1,5	14,7	2,4	4,6
Hersteller 1 – Gelb konv.	1,3	12,4	1,7	4,2
Hersteller 1 – Schwarz konv.	0,7	11,9	6,4	4,8
Hersteller 1 – Cyan MÖF	0,4	3,0	0,3	0,9
Hersteller 1 – Magenta MÖF	0,4	2,7	0,3	1,1
Hersteller 1 – Gelb MÖF	0,5	3,4	0,2	1,5
Hersteller 1 – Schwarz MÖF	0,5	5,7	2,4	2,5

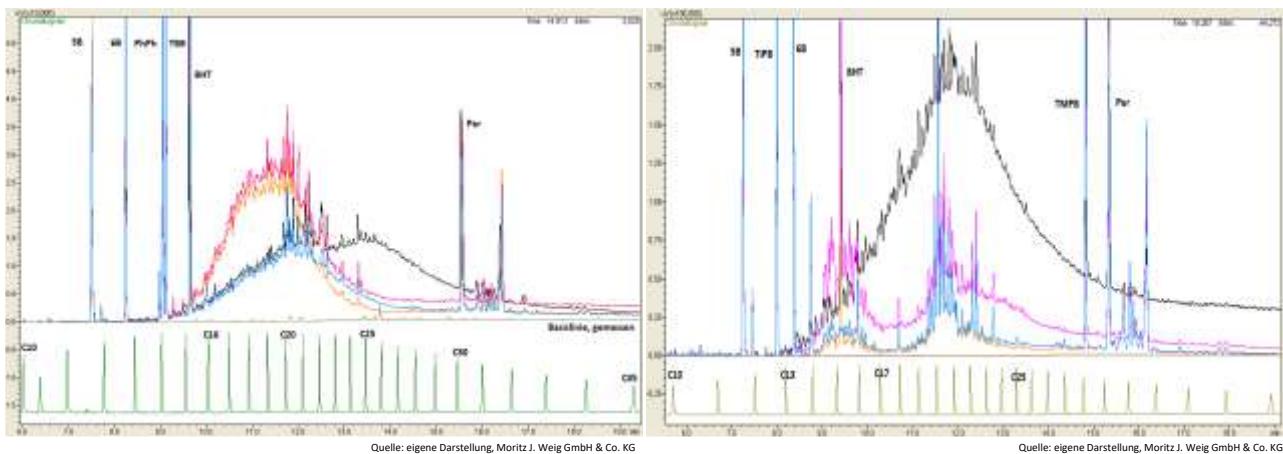
Tabelle 15: MOSH und MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölhaltigen (konv.) und mineralölfreien (MÖF) Druckfarben des Herstellers 3.

Druckfarbenmuster	MOSH [%] C10 – C16	MOSH [%] C16 – C25	MOSH [%] C25 – C35	MOAH [%] C16 – C35
Hersteller 3 – Cyan konv.	3,3	17,5	2,8	5,8
Hersteller 3 – Magenta konv.	2,5	17	3,6	6,3
Hersteller 3 – Gelb konv.	2,4	16,3	3	6,1
Hersteller 3 – Schwarz konv.	1,5	14,9	8,7	10,6
Hersteller 3 – Cyan MÖF	0,5	0,6	0,2	0,6
Hersteller 3 – Magenta MÖF	1,5	1,7	0,6	1,5
Hersteller 3 – Gelb MÖF	0,2	0,2	0,1	0,6
Hersteller 3 – Schwarz MÖF	1,3	10,6	2,0	3,9

Bei beiden Herstellern zeigen sich in den mineralölfreien Druckfarben deutlich geringere Werte an MOSH und MOAH, jedoch werden die im Projekt geforderten Höchstmengen (MOAH < 0,1 %) in keiner

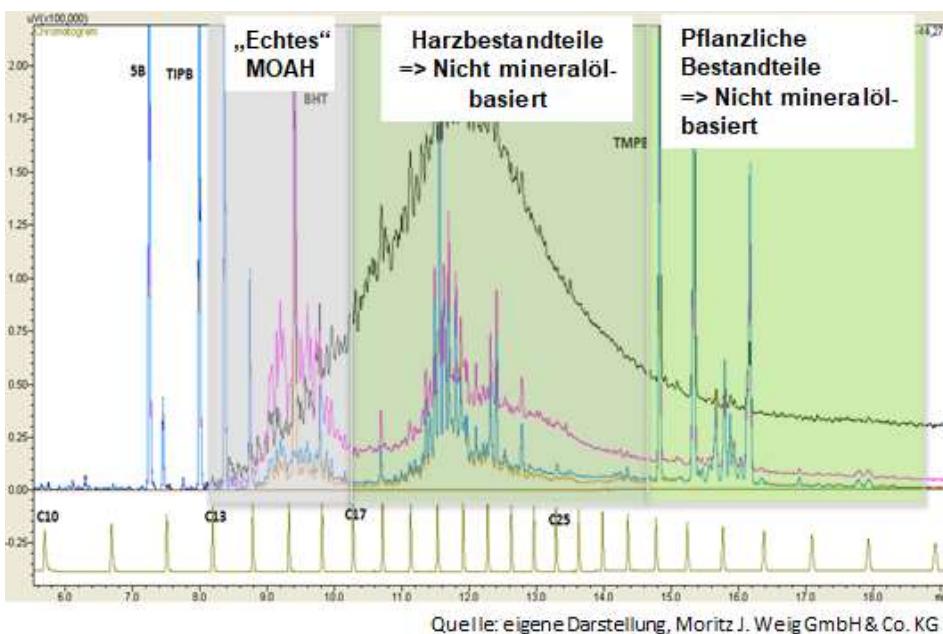
Druckfarbe eingehalten, obwohl nach Aussagen der Farbhersteller in den Rezepten beide Druckfarbensätze keine mineralölhaltigen Komponenten enthalten sind. Betrachtet man die MOAH-Chromatogramme in Abbildung 65 so zeigen sich v.a. bei den Chromatogrammen der Buntfarben von Hersteller 3 drei gut voneinander abgrenzbare Bereiche.

Abbildung 65: Chromatogramme der MOAH-Fraktionen der nicht angedruckten mineralölfreien Druckfarben von Hersteller 1 (links) und Hersteller 3 (rechts). Beschriftet sind die Peaks der zugegebenen internen Standards.



Aus langjähriger Erfahrung ist den Sachbearbeitern des Projektes bekannt, dass es sich in diesem Fall nicht in der Gesamtheit um MOAH-Komponenten handelt, sondern auch andere Substanzen in dieser analytischen Fraktion enthalten sind: im Bereich C17 bis ca. C26 detektiert man Harzbestandteile und im Bereich ca. C26 bis C30 vorwiegend pflanzliche Bestandteile (siehe Abbildung 66). Nach der Vorschrift des BfR ist es zur korrekten Quantifizierung der MOSH und MOAH notwendig, bekannte Signale, die nicht aus Mineralöl stammen, aus der dieser herauszurechnen.

Abbildung 66: Quellen der Analyten in den Chromatogrammen der Buntfarben am Beispiel der Druckfarben von Hersteller 3.



Durch die korrigierte Auswertung der Messungen ergeben sich die Tabelle 16 zusammengefassten MOAH-Gehalte für die Buntfarben von Hersteller 3. Sowohl für die Schwarzfarbe von Hersteller 3 also

auch für den gesamten Druckfarbensatz von Hersteller 1 war diese Korrektur nicht möglich, da die Signale des „echten“ Mineralöls dominant gegenüber der Fremdsignale sind und eine Korrektur nicht ermöglichen. Es zeigt sich aber, dass es trotz der Kontamination beim Herstellungsprozess möglich ist, Druckfarben herzustellen, die auch messtechnisch die geforderten Grenzwerte einhalten. Dies ist jedoch stark abhängig vom Herstellungsverfahren und nicht in allen Fällen möglich, wie die anders gearbeitete Herstellung der Schwarzfarbe von Hersteller 3 zeigt.

Tabelle 16: Korrigierte MOAH-Gehalte [%] aus nicht angedruckten mineralölfreien (MÖF) Druckfarben der Hersteller 3.

Druckfarbenmuster	MOAH [%] C16 – C35	MOAH [%] C13 – C17
Hersteller 3 – Cyan MÖF	0,6	0,09
Hersteller 3 – Magenta MÖF	1,5	0,35
Hersteller 3 – Gelb MÖF	0,6	0,06

Von Druckprodukten, die mit den letzten Druckfarbenformulierungen hergestellt wurden, erfolgten Messungen der MOSH und MOAH. Die Probennahme der Zeitungen fand jeweils nach ca. 3 Wochen durchgehend mineralölfreier Produktion statt, so dass die Kontamination durch die Zuleitungen und die Druckmaschine selbst möglichst minimal war.

Tabelle 17: MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungsdruckmaschine der FSD mit einem konventionellen mineralölhaltigen Druckfarbsatz (konv. Farbe) und dem aktuellen mineralölfreien Druckfarbensatz (MÖF), beide von Hersteller 1.

Druckmuster (produktionsbegleitende Zeitungen)	MOSH [ppm] C10 – C16	MOSH [ppm] C16 – C25	MOSH [ppm] C25 – C35	MOAH [ppm] C16 – C35
Papier 2a (100%DIP) unbedruckt	17	190	83	79
Papier 2b (100%DIP) unbedruckt	6	78	86	37
Hersteller 1, Papier 2a, konv. Farbe	326	2452	464	948
Hersteller 1, Papier 2b, MÖF	756	384	648	363

Tabelle 18: MOSH und MOAH-Gehalte [ppm] aus Versuchen in der Zeitungsdruckmaschine der FSD einem konventionellen mineralölhaltigen Druckfarbsatz (konv. Farbe) und dem aktuellen mineralölfreien Druckfarbensatz (MÖF), beide von Hersteller 3.

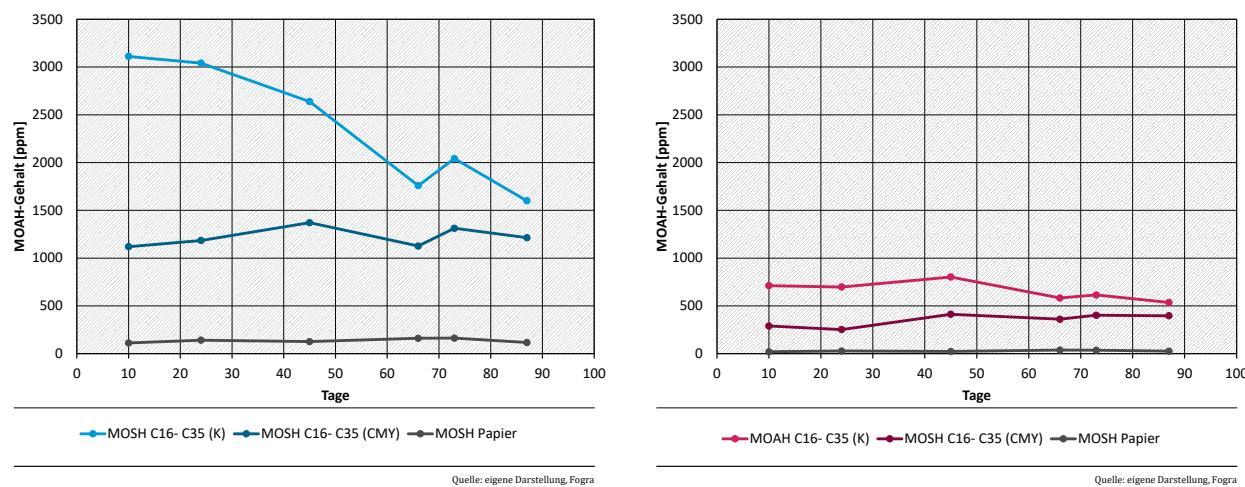
Druckmuster (produktionsbegleitende Zeitungen)	MOSH [ppm] C10 – C16	MOSH [ppm] C16 – C25	MOSH [ppm] C25 – C35	MOAH [ppm] C16 – C35
Papier 2a (100%DIP) unbedruckt	9	145	107	85
Papier 2b (100%DIP) unbedruckt	9	145	107	27
Hersteller 3, Papier 2a, konv. Farbe	309	2569	455	970
Hersteller 3, Papier 2b, MÖF	159	792	296	393

Vergleicht man die Ergebnisse aus den Messungen der Zeitungen, die nach mindestens 20 Wochen mineralölfreiem Betrieb entnommen und vermessen wurden mit den Ergebnissen aus den Testformen, die im Rahmen der Kurzzeitdruckversuche ohne mineralölfreie Vorproduktion entnommen und vermessen wurden (Tabelle 13) so stellt man fest, dass die Mineralölgehalte in den Produkten der Kurzzeitversuche deutlich höher sind. Es kann bei diesen Versuchen nicht signifikant zwischen den mine-

ralölhaltig und mineralölfrei produzierten Mustern unterschieden werden. Im Fall der produktionsbegleitend gedruckten Zeitungen ist eine Differenzierung zwischen mineralölhaltig und mineralölfreien Druckprodukten gut möglich, die MOAH-Gehalten sinken auf ca. 40 % ab. Auch die Menge der Summe an MOSH sinkt deutlich auf ca. 50% des Gehaltes ab.

Da nach Aussagen der Druckfarbenhersteller die Rezeptur v.a. im Bereich der verwendeten Öle nicht signifikant angepasst wurde bzw. die Schwarzfarbe keine Anpassungen in dem Zeitraum erfuhr, kann diese Beobachtung durch die oben postulierten Verschleppungen von Mineralölen aus konventioneller Druckfarbe durch die Druckmaschine erfolgen. Um dieses Postulat zu verifizieren erfolgten während des dreimonatigen Langzeitversuches mit den Druckfarben von Hersteller 3 in regelmäßigen Abständen Messungen der Mineralölgehalte. In diesem Zeitraum lagen im gesamten zu beobachtenden System innerhalb der Druckerei, also dem Bodentank, der Verrohrung und den Pumpen der Farbversorgung sowie der Farbwerke, nur die mineralölfreien Druckfarben vor. Damit war es möglich, den Eintrag über die Druckmaschine zu bestimmen. Untersucht wurden über einen Zeitraum von 87 Tagen sowohl Produkte aus allen vier Farben sowie aus den einzelnen Druckfarben, die mit der Testform zur Ergiebigkeitsmessung hergestellt wurden.

Abbildung 67: Zeitlicher Verlauf der MOSH- (links) und MOAH-Gehalte (rechts) in der Schwarzfarbe (MOSH C16-C35 (K)) sowie in den Buntfarben, dargestellt als Mittelwert (MOSH C16-C35 (CMY)), da der Verlauf jeder einzelnen Buntfarbe keine signifikanten Unterschiede aufweist.



Bei der Betrachtung der Verläufe jeder einzelnen Druckfarbe zeigt sich ein ähnliches Verhalten bei den Buntfarben (CMY). Hier konnten keine signifikanten Änderungen in der gemessenen Menge an MOSH und MOAH festgestellt werden. In Abbildung 67 ist daher der Übersichtlichkeit halber für die Buntfarben der Mittelwert der MOSH- und MOAH-Werte dargestellt. Es zeigt sich vor allem im Bereich der Schwarzfarbe eine signifikante Abnahme in beiden Werten. Der MOSH-Wert sank über den Zeitraum auf ca. 50%, der MOAH-Wert auf ca. 75 % des Ursprungswertes. Der Anstieg der Werte bei den letzten beiden Messungen ist nicht erklärbar. Zu diesem Zeitpunkt fand keine Rezepturänderung oder sonstige Veränderungen im Ablauf statt.

Wie oben beschrieben erfolgt die Druckfarbenversorgung der verwendeten Sektion für die Buntfarben über Transportsportcontainer, die über eine separate Verrohrung in das Farbwerk führen. Die Schwarzfarbe wurde in einen separaten Bodentank gefüllt und aus diesem über die normale Farbversorgung in das Druckwerk gepumpt. Unter dieser Voraussetzung führen die Ergebnisse zu der Annahme, dass innerhalb der Druckmaschine die primäre Kontamination nicht im Bereich Verrohrung und Farbwerk stattfindet sondern über den Tank. Da in der Praxis der Bodentank nicht vollständig geleert und gereinigt werden kann, sondern neue Druckfarben auf einen Rest der alten gefüllt wird erscheint hier die

Verschleppung am Wahrscheinlichsten. Ein Eintrag durch das Farbwerk, insbesondere durch die Gummimaterialien der Walzen konnte nicht nachgewiesen werden.

Diese Verschleppungen lassen sich nur durch längerfristigen, durchgehenden Einsatz von mineralölfreien Druckfarben reduzieren.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Druckversuche

Im Rahmen des Projektes konnten weitreichende Erkenntnisse bezüglich mineralölfreier Druckfarben gewonnen werden. Die neu entwickelten Druckfarben haben bezüglich der Elastomerprüfung die Freigabe für die Druckmaschine der Frankfurter Societäts-Druckerei erhalten.

Die Druckfarben von zwei Herstellern konnten im Rahmen von Langzeitversuchen produktionsbegleitend eingesetzt werden. Ein Dauereinsatz über 3 Monate konnte mit einem Druckfarbensatz des Herstellers 3 realisiert werden, allerdings mit der Einschränkung, dass sowohl die Tonwertzunahmen als auch die Ergiebigkeit zu hoch lagen. Die Nachbesserung bei zwei Farben konnte eine Verbesserung beider Parameter erzielen, war allerdings noch nicht ausreichend für die branchenüblichen Qualitätsstandards. Mit den Druckfarben von Hersteller 1 konnte am Ende des Projektes noch eine produktionsbegleitende Druckperiode von 5 Wochen realisiert werden, ohne dass der Druckversuch aufgrund von technischen Problemen scheiterte. Die zu Beginn des Projektes bestehenden drucktechnischen Probleme mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben (Tonen, zu geringe Wegschlaggeschwindigkeit, unzureichende farbrichtige Wiedergabe mehrfarbiger Annoncen) konnten über den Projektzeitraum nahezu komplett überwunden werden.

Zum Ende des Projektes stehen noch keine bis zur Praxisreife fertig entwickelten mineralölfreien Druckfarben zur Verfügung. Beide im Rahmen des Projektes verfügbaren Druckfarbensätze müssen dazu noch weiter optimiert und angepasst werden.

Deinkbarkeit

Von den 13 im Projektverlauf auf die Deinkbarkeit getesteten Muster, die mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben hergestellt wurden, erwiesen sich neun Muster gemäß der INGEDE Methode 11 als gut bis befriedigend deinkbar.

Allerdings zeigte sich, dass die Faserausbeute beim Deinkingprozess der Produkte mit mineralölfreien Druckfarben im Regelfall geringer ausfiel als bei Produkten mit konventionellen Druckfarben.

Der Helligkeitswert Y als einer der für den Deinkability Score getesteter Parameter erwies sich in Bezug auf die Auswertung als gut. Zieht man jedoch in Betracht, dass der Wert bei Druckprodukten zwischen ca. 53 und 58 liegt und in industriellen Maßstab der Helligkeitswert nach dem Deinking bei 65 liegen sollte, ist bei einer Umstellung auf mineralölfreie Zeitungsdruckfarben mit Schwierigkeiten beim Erreichen der notwendigen Helligkeit zu rechnen.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse aus dem Projekt, dass die zu erwartende Beeinträchtigung des Altpapierkreislaufs in Bezug auf die Deinkbarkeit der Druckprodukte mit mineralölfreien Zeitungsdruckfarben abhängig vom Gesamtvolume dieser Produkte an der Gesamtmenge an Altpapier sein wird. Eine komplette Umstellung auf diese neuartigen Zeitungsdruckfarben kann zum einen zu Problemen bei der Helligkeit des deinkten Faserstoffs führen, zum anderen würden signifikant mehr Fasern aus dem Kreislauf entfernt, da die Ausbeuten – zumindest in den Laborversuchen – geringer waren als bei Zeitungen mit konventionellen Druckfarben.

Mineralölfreiheit

Trotz der Aussage der Druckfarbenhersteller, dass die Rezepturen den Vorgaben des Umweltbundesamts entsprechen, konnten in allen mit der BfR-Methode getesteten Druckfarben und Druckprodukten klar detektierbare Mengen an Mineralöl (MOSH und MOAH) gefunden werden. Lediglich die Buntfarben eines Herstellers hatten teilweise Gehalte von unterhalb der als Grenzwertes geforderten 0,1% MOAH.

Aufgrund der genauen Auswertung der Gaschromatogramme ist davon auszugehen, dass es sich nicht um falschpositive Messwerte handelt. Die Ursache für die Mineralölgehalte liegt vor allem in der Kontamination der mineralölfreien Druckfarben mit konventionellen Druckfarben während des Herstellungsprozesses, da die neuartigen Druckfarben auf den gleichen Anlagen gefertigt wurden wie die konventionellen. Trotz oberflächlicher Reinigung kommt es zu deutlichen Verschmutzungen der derzeit nur in kleinen Chargen produzierten neuen Druckfarben.

Aufgrund der Rezepturen der Druckfarben wäre bei der Markteinführung von einer Reduktion des Mineralöleintrags in das Altpapier auszugehen. Über die absoluten Mengen, um die der Eintrag reduzierbar ist, kann derzeit keine Aussage getroffen werden.

Weitere Forschungsaktivitäten

Im Rahmen dieses Projektes konnte die Entwicklung mineralölfreier Druckfarben in Zusammenarbeit mit den Druckfarbenherstellern sehr weit vorangetrieben werden. Die zum Ende des Projektes vorhandenen Druckfarben konnten mehrere Wochen in einer Zeitungsdruckmaschine eingesetzt werden. Nichtsdestotrotz hat sich gezeigt, dass vor allem im Bereich Deinking noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig sind, um eine durchweg gute Deinkbarkeit zu gewährleisten. Daher haben die Fogra und der PMV bereits einen Forschungsantrag zu diesem Thema bei AiF/BMWi eingereicht. Weiterhin bestehen Kooperationen mit CITEO in Frankreich, die Bestrebungen unterstützen, mineralölfreie Zeitungsdruckfarben zu etablieren. Im Rahmen eines von CITEO finanzierten und der Fogra organisierten Ringversuchs erfolgen Andrucke von konventionellen und mineralölfreien Zeitungsdruckfarben von vier führenden Coldsetdruckfarbenherstellern in Europa auf zwei unterschiedlichen Papieren. Diese Muster werden durch die Fogra anonymisiert an vier Deinking-Laboratorien verteilt und die Ergebnisse im Anschluss ausgewertet.

Um die erzielten Ergebnisse aus dem vorliegenden Forschungsprojekt auf mehrere Druckmaschinen übertragen zu können, läuft bereits ein weiteres Projekt, bei dem Druckversuche, die von der Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA) finanziert werden, an einer Druckmaschine stattfinden, die eine andere Konfiguration aufweist als die der FSD.

Quellenverzeichnis

ⁱ KIPPHAN, H.:

Handbuch der Printmedien, Springer Verlag, Heidelberg, 2000, S. 282

ⁱⁱ N.N.:

http://www.cielab.de/delta_e.shtml, Stand: November 2019

ⁱⁱⁱ N.N.:

<https://www.heinrich-buhl.de/glossar/details/farbdichte/>, Stand: November 2019

^{iv} ROSENBERG, A; SCHIRMER, K.-H. (Fogra):

Feuchtmittelaufnahmefähigkeit von Offsetdruckfarben, Forschungsbericht, 1984

^v N.N.:

<https://www.chemie.de/lexikon/Rheologie.html>, Stand: November 2019

^{vi} N.N.:

<https://www.schmierstoff-zentrale.de/glossary/entry/Schergeschwindigkeit>, Stand: November 2019

^{vii} N.N.:

<https://www.chemie.de/lexikon/Thixotropie.html>, Stand: November 2019

^{viii} KIPPHAN, H.:

Handbuch der Printmedien, Springer Verlag, Heidelberg, 2000, S. 174

^{ix} REICHART, A. (UBA):

Präsentation im Rahmen eines Begleitkreistreffens zum Thema mineralölfreie Coldset-Druckfarben, München, 31.3.2016

^x N.N. (BMEL):

Entwurf der Einundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung – Notifizierte Fassung, Download über https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Verbraucherschutz/DruckfarbenVO-DE.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 16.11.2018

^{xi} N.N. (BMEL):

Entwurf der Zweiundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Bedarfsgegenständeverordnung, download über https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Rueckstaende/MineraloelVO_Entwurf.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 16.11.2018

^{xii} N.N.:

<https://www.euwid-verpackung.de/news/markt/einzelansicht/Artikel/lebensmittelverband-kritisiert-notifizierung-der-mineraloelverordnung.html>

^{xiii} Infos unter:

<https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/papier-druck/druckereien-und-druckerzeugnisse>;
Stand November 2019

^{xiv} REICHART, A. (UBA):

Präsentation im Rahmen des Abschlussgesprächs zum Thema mineralölfreie Coldset-Druckfarben, Berlin 13.9.2019

^{xv} RAUH, W. (Fogra):

Innovative Techniken für den Zeitungldruck: Druckversuche mit alternativen Druckfarben für den Zeitungldruck, die aus gesundheitlicher Sicht und aus Umweltsicht unbedenklich sind, Im Auftrag des Bundesumweltamtes, Förderkennzahl (UFOPLAN) 371143330/3, München, 2012

^{xvi} DIN 53521:1987-11

Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung des Verhaltens gegen Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase

^{xvii} DIN 53505:2000-08

Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Härteprüfung nach Shore A und Shore D

^{xviii} BERTHOLDT, U.; SCHLESS, M.; ZINS, L. (Fogra):

Im Fokus Bogen- und Rollenoffset, Druck&Medien März 2014

^{xix} OBERNDORFER, J. (INGEDE):

Information auf dem Abschlussgespräch des Forschungsthemas am 13.9.2019

^{xx} FAUL, A. (INGEDE):

Coldset-Ergebnisse aus Deinkbarkeits-Datenbank, Beitrag zur Diskussion bei der Sitzung des Expertenkreises am 13.9.2019, INGEDE-Vorgang 7311, 23.09.2019

^{xxi} N.N.:

Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. für das Jahr 2018

^{xxii} KIPPHAHN, H.:

Handbuch der Printmedien, Heidelberg 2001

^{xxiii} N.N.:

<https://www.chemie.de/lexikon/Thixotropie.html>; Stand: 17.09.2019

^{xxiv} N.N. (BfR):

Bestimmung von Kohlenwasserstoffen aus Mineralöl (MOSH und MOAH) oder Kunststoffen (POSH, PAO) in Verpackungsmaterialien und trockenen Lebensmitteln mittels Festphasenextraktion und GC-FID, Download über <https://www.bfr.bund.de/cm/343/bestimmung-von-kohlenwasserstoffen-aus-mineraloel-oder-kunststoffen.pdf>, Stand: 15.11.2018

^{xxv} N.N. (BfR):

Messung von Mineralöl – Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln und, Verpackungsmaterialien, Download über <https://www.bfr.bund.de/cm/343/messung-von-mineraloel-kohlenwasserstoffen-in-lebensmitteln-und-verpackungsmaterialien.pdf>, Stand: 19.09.2019