

Überprüfung und Verbesserung der Methodik und Aktualisierung der Toleranzen zur Qualitätsbeurteilung des Auflagendruckes an Bogen-Offsetdruckmaschinen

1. Technisch-technologische Zielstellung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung methodischer Grundlagen für eine fundierte Beurteilung der Qualität einer gedruckten Auflage im Bogenoffsetdruck. Dabei sollten die aktuellen Toleranzvorgaben des ProzessStandard Offsetdruck (PSO) bzw. der ISO 12647 überprüft und Vorschläge zur sinnvollen Anpassung oder Ergänzung der Vorgaben unterbreitet werden.

Mit dem Handbuch ProzessStandard Offsetdruck stellt der Bundesverband Druck und Medien e.V. einen Leitfaden für eine farbsichere und zugleich wirtschaftliche Druckproduktion zur Verfügung. Darin wird beschrieben, welche Maßnahmen in den einzelnen Prozessschritten von der Bilderfassung bis zum Auflagendruck ergriffen werden müssen, um eine definierte und stabile Farbwiedergabe des Druckproduktes zu gewährleisten. Für die Primärdruckfarben Schwarz, Cyan, Magenta und Gelb stehen für verschiedene Papiertypen Sollfarborte mit Färbungs- und Auflagentoleranzen sowie Druckkennlinien mit Schwankungsbreiten für die Wiedergabe von Rastertönen zur Verfügung. Diese Sollwerte wurden im Hinblick auf die Prozesskontrolle während der Produktion festgelegt. Sie helfen dabei, den Auflagendruck einzurichten und zu steuern, so dass unter den gegebenen technischen und wirtschaftlichen Restriktionen das angestrebte Farbergebnis möglichst exakt erreicht werden kann. Allerdings sind die Kriterien und Vorgaben in vielen Fällen nicht ausreichend, um eine Druckproduktion auf höchstem Qualitätsniveau sicherzustellen.

Außerdem erlauben diese Vorgaben bei einer nachträglichen Beurteilung einer Druckauflage nur in begrenztem Maße Aussagen über die Qualität des Druckergebnisses. Solche Aussagen werden für das Qualitätsmanagement jedoch zunehmend wichtiger, einerseits zur Dokumentation der erreichten Qualität und um den Herstellungsprozess für Folgeaufträge abzusichern. Mit den angestrebten Bewertungsmethoden würden Druckbetriebe in die Lage versetzt, Schwachstellen und Fehlerquellen zu erkennen, zu beseitigen und dadurch kontinuierliche Qualitätssteigerungen zu realisieren. Gegenüber anspruchsvollen Auftraggebern kann mit Hilfe eines auf diese Weise erzeugten Auflagenprotokolls das erzielte Leistungsniveau nachgewiesen werden.

Hauptanliegen der Standardisierung ist die Übereinstimmung der Farbwiedergabe von Prüfdruck und Auflagendruck. Zu diesem Zweck sind im ProzessStandard Offsetdruck Sollwerte für die Volltonfärbung in Form von $L^*a^*b^*$ -Werten und für die Wiedergabe von Rastertönen als Tonwertzunahmen definiert. Da es verfahrensbedingt unmöglich ist, die vorgegebenen Sollwerte exakt einzuhalten, sind für den Auflagendruck Toleranzfenster vorgegeben. Im Falle der $L^*a^*b^*$ -Werte für die Volltöne sind die ΔE -Werte, die im Sinne von einfachen Standardabweichungen anzuwenden sind. Diese ΔE -Werte werden für die Homogenität, also für den Farbunterschied auf einem Bogen und für die Stabilität, also für den Farbunterschied zwischen verschiedenen Bogen einer Auflage angegeben. Die zulässigen Schwankungen im Sinne der Stabilität beziehen sich in diesem Fall nicht auf die in der Norm angegebenen Sollwerte, sondern auf das vom Drucker als genügend gut mit dem Prüfdruck übereinstimmend eingeschätzte Abstimmexemplar. Dieses wiederum darf sich im Rahmen der festgelegten Toleranzen von den vorgegebenen Sollwerten unterscheiden. Das bedeutet, dass sich im ungünstigsten Fall die Farbdifferenzen addieren. Wenn man dazu bedenkt, dass erst innerhalb eines Schwankungsbereichs der 4-fachen Standardabweichung nahezu 100% der gesamten Auflage abgedeckt sein müssen, ist klar, dass diese Vorgaben Abweichungen zulassen, die in der Praxis absolut inakzeptabel sind. Diese Kriterien bzw. deren Toleranzen sind deshalb zu analysieren und praxistaugliche Vorgaben zu erarbeiten.

Hinzu kommt, dass nicht geklärt ist, wie die statistische Verteilung der Färbung tatsächlich

ausgeprägt ist. Eine Normalverteilung - die der Anwendung der Standardabweichung als Kenngröße zugrunde liegen müsste - ist für den Farbabstand allein deshalb nicht zu erwarten, da es keine negativen Werte gibt und da er sich aus der Schwankung der 3 Koordinaten L^* , a^* und b^* zusammensetzt, die ihrerseits bei einer Veränderung der übertragenen Schichtdicke nicht unabhängig voneinander variieren.

Ähnliches gilt auch für die Schwankungsbereiche der Tonwertzunahme, die im Mittelton für 68% der Drucke eine Toleranz von $\pm 4\%$ und für 95% der Drucke einen Toleranzbereich von $\pm 10\%$ erlauben. Eine Abweichung von im ungünstigen Falle 20% Tonwertzunahme zwischen 2 Exemplaren einer Auflage würde von keinem Abnehmer akzeptiert. Dieser Situation wird der Prozessstandard Offsetdruck nur mit dem Hinweis gerecht, dass „man bei hochqualitativen Kurzauflagen, namentlich bei mittelformatigen Druckmaschinen in der Lage sein (sollte), mit der halben Toleranz auszukommen.“ (Kapitel 7.1-4)

Darüber hinaus werden im Prozessstandard Offsetdruck zur Stichprobennahme für die Bewertung der Qualität einer kompletten Auflage keine Vorgaben gemacht. Die Vorgaben aus DIN ISO 2859 bzw. DIN ISO 3951 sind zur Prozesskontrolle in der Druckindustrie nicht sinnvoll anzuwenden und werden nur bei nachträglichen Prüfungen, z. B. im Falle von Reklamationen, herangezogen.

Die wesentliche Zielstellung für das Projekt war daher, festzustellen, welche Schwankungen der qualitätsrelevanten Parameter von Drucken tatsächlich in der Praxis üblicherweise auftreten, welche Schwankungsbreiten der messbaren Parameter vorliegen und welcher statistischen Verteilung diese Parameter zuzuordnen sind. In diese Untersuchungen wurden hinsichtlich der verfügbaren Mess- und Regeltechnik verschieden ausgestattete Druckmaschinen einbezogen.

Im Ergebnis liegen praxisnahe Vorgabewerte für die Schwankung der Farbwiedergabe sowie handhabbare und akzeptable Anweisungen zum Vorgehen bei der Bewertung der Druckqualität einer vollständigen Auflage vor. Auf der Basis dessen kann gemeinsam mit dem Bundesverband Druck und Medien e.V. ein Branchenstandard erarbeitet werden, der die derzeit verfügbaren Richtlinien im Hinblick auf die Beurteilung der Auflagenschwankung konkretisiert, an die aktuellen Marktbedingungen anpasst und ergänzt.

2. Darstellung der erzielten Vorhabensergebnisse

Probennahmenvorgaben (Normen, Praxis)

Grundsätzlich muss man bei den Vorgaben für eine Prüfung unterscheiden, ob die Prüfung zur Produktionssteuerung oder zur (nachträglichen) Qualitätsanalyse dienen soll.

Gemäß der Einordnung des Gebrauchswertes von Druckerzeugnissen in verschiedene Anforderungsstufen ist ein angemessener Aufwand bei der Fertigung und Prüfung der Produkte zu betreiben. Daraus ergibt sich für eine Abnahmeprüfung von Auflagen die Notwendigkeit einer differenzierten Vorgehensweise. [aus: Jens Wulf, Bücher und Mehrlagenbroschuren Leitfaden für Auftraggeber industrieller Buchbindereien, bvdM, 2010]

Die Produkte werden je nach Gebrauchswert in 3 Anforderungsstufen eingeteilt:

Anforderungsstufe 1:

Massenfertigung, Erzeugnisse mit geringem Aufbewahrungswert, geringe Prüfdichte notwendig, Erzeugnisse müssen haltbar und unbeschädigt sein

Anforderungsstufe 2:

Serienfertigung, überwiegender Teil der industriell gefertigten Druckerzeugnisse, Vorgabe wesentlicher Prüfmerkmale notwendig, angemessene Stichprobengröße notwendig

Anforderungsstufe 3:

Hochwertige Erzeugnisse mit hohem Aufbewahrungswert, großer Stichprobenumfang

Für die Anforderungsstufe 2, mit der die meisten Druckauflagen abgedeckt sind, müsste theoretisch eine Stichprobennahme nach DIN ISO 2856-1 erfolgen. Das ist in der Regel nicht zu realisieren, da der Prüfaufwand viel zu hoch wäre. In der Literatur wird daher eine reduzierte Stichprobennahme empfohlen bzw. die Variante, zunächst einen kleinen Stichprobenumfang zu prüfen und erst bei Auffälligkeiten in einem zweiten Schritt eine größere Stichprobe zu entnehmen.

Dabei werden folgende Stichprobengrößen empfohlen:

Auflagenhöhe	Stark reduzierte Stichprobe (Anzahl der Exemplare)	Reduzierte Stichprobe (Anzahl der Exemplare)
Bis 500	5	10
501 – 1000	5 – 10	10 – 20
1001 – 5000	10 – 15	20 – 50
5001 – 10000	10 – 20	50 – 100
Über 10000	10 – 50	100 + 5 für jede weiteren 1000 Exemplare

Tabelle 1: empfohlene Stichprobenzahlen zur Qualitätsbeurteilung von Druckerzeugnissen

[aus: Jens Wulf, Bücher und Mehrlagenbroschuren Leitfaden für Auftraggeber industrieller Buchbindereien, bvdM, 2010]

Die oben angegebenen Exemplarzahlen sind jeweils als Zufallsstichprobe über die gesamte Auflage zu verstehen.

Interessant ist darüber hinaus, dass bei der Bewertung der Farbwiedergabe im Druck eine einheitliche Aussage über einen Bogen oftmals nicht möglich ist. Das heißt, die Vorgabewerte können in einigen Teilen des Bogens erfüllt und in anderen überschritten sein.

Bisher wurden die Sollwerte so interpretiert, dass jede Farbzone individuell betrachtet wird, da

in jeder Zone ein anderes Farb-Feuchtmittelgleichgewicht herrschen kann. In der neuesten Ausgabe der ISO 12647-2:2013 lautet die Formulierung: „For a conforming print run, a minimum of 68% of randomly selected individual print samples spread across the production run shall conform to all normative criteria of this specification.“ Das bedeutet, dass bei 68% aller geprüften Exemplare alle Vorgabewerte eingehalten werden müssen.

Statistische Grundlagen (Parameter, Verteilungsform, Ausarbeitung Testprogramm)

Die Parameter, die zur Qualitätsbewertung herangezogen werden, sind die Volltonfärbung, die Tonwertzunahme und die Graubalance. Es gibt weitere Kriterien, die zur Beschreibung bestimmter Eigenschaften, wie z.B. Farbannahme, die sich jedoch alle in den oben aufgeführten Messgrößen widerspiegeln.

Für die Volltonfärbung der Primär- und Sekundärfarbtöne gibt es Sollwerte und Toleranzen für die Homogenität (einzelne Farbzonen innerhalb eines Bogens) und Stabilität (einzelner Bogen innerhalb der Auflage). Dabei gibt es eine Abweichungstoleranz für die Abweichung des Abstimmexemplars von den Sollwerten des Standards. Diese Abweichung ist für den Fortdruck als systematischer Fehler zu betrachten. Dazu kommen die Prozessschwankungen, die sich innerhalb der Schwankungstoleranz um das Abstimmexemplar bewegen sollen.

Da für die Schwankungstoleranz angegeben ist, dass sich 68 % aller Exemplare innerhalb dieses Bereiches befinden sollen, ist davon auszugehen, dass hier eine Normalverteilung zugrunde gelegt wurde und die Schwankungstoleranz als Standardabweichung zu verstehen ist.

Um zu prüfen, ob diese Annahme berechtigt ist, wurden vorliegende Daten aus Inline-Regelanlagen analysiert. Dabei wurde ermittelt, dass die Verteilung der Volltondichten und die der Tonwertzunahme der Normalverteilung ähnlich sind. Allerdings ist bei der Volltondichte die berechnete Standardabweichung in allen Fällen größer als die Schwankungsbreite für 68 % aller Messwerte, so dass davon ausgegangen werden muss, dass es doch Abweichungen von der Normalverteilung gibt. Erklärbar ist das damit, dass die Schichtdicke der Farbe normalverteilt ist. Zwischen Schichtdicke und Volltondichte besteht ein Zusammenhang, aber keine lineare Korrelation. Bei geringen Schichtdicken steigt die Dichte stark an, dann schwächt sich der Anstieg ab, bis die Dichte ab einem Sättigungsbereich konstant bleibt, auch wenn die Schichtdicke weiter erhöht wird. Auch wenn der für den Druckprozess relevante Bereich deutlich unterhalb des Sättigungspunktes liegen soll, kommen dadurch Abweichungen von der Normalverteilung zustande.

Von der Volltondichte ist wiederum die Tonwertzunahme abhängig. Je höher die Volltondichte, desto höher die Tonwertzunahme. Hier kommen auch noch andere Faktoren, wie das Farb-Feuchtmittel-Gleichgewicht oder die Wegschlageigenschaften des Papiers zum Tragen. Die Untersuchungen zeigten, dass die Häufigkeitsverteilung der Tonwertzunahme einer idealen Normalverteilung relativ nahe kommt.

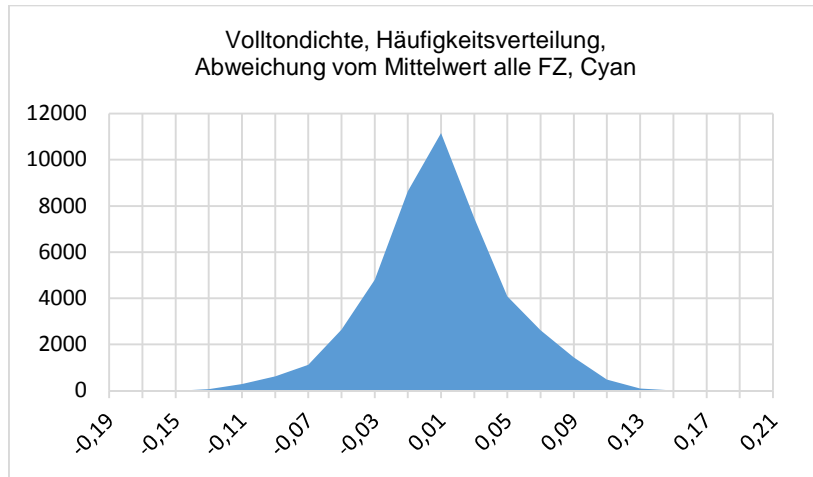


Abbildung 1: typische Häufigkeitsverteilung der Dichteschwankung

Bei den L-, a- und b-Werten liegt keine Normalverteilung vor. Erstens schwanken diese Werte nicht unabhängig voneinander, sondern sind miteinander verknüpft. Sie hängen ebenfalls mit der Schichtdicke zusammen, aber je nach Farbton ist die Korrelation unterschiedlich. Dazu kommt, dass die Vorgaben sich auf die Farbortdifferenz beziehen und dabei nicht berücksichtigt wird, in welche Richtung sich die Farbkoordinaten ändern und wie groß der Anteil der einzelnen Koordinaten an der Gesamtdifferenz ist. Die Farbtondifferenz ΔE ist damit stets gleich oder größer 0, die Verteilung entspricht in etwa einer Betragsverteilung der 1. Art.

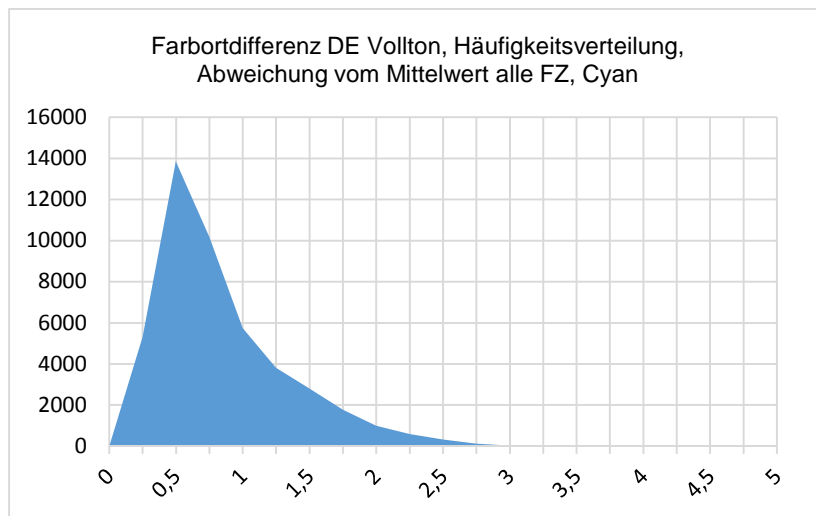


Abbildung 2: typische Häufigkeitsverteilung der Farbortdifferenz

Planung Versuchsprogramm (Teilnehmer, Maschinentyp, Vorgehensweise)

Die Versuchsmaschinen bzw. Maschinensteuerungen wurden in 3 Gruppen eingeteilt:

1) Maschinen mit Farbsteuerung von Hand

Für diese Maschinen wird ein Versuchsprogramm gewählt wie für die Versuche an der im SID vorhandenen Bogenoffset-Druckmaschine. Es werden Druckkontrollstreifen in die Bogen integriert, die mit einem scannenden Handmessgerät erfasst werden können, so dass eine Auswertung der Vollton- und Rasterdichten und der dazugehörigen Lab-Werte möglich ist.

2) Maschinen mit Inline-Messung

Diese Maschinen können in der Regel nur mit einem vom Hersteller festgelegten Kontrollstreifen arbeiten, da die Maschinensteuerung auf dieser Basis arbeitet. Der Vorteil ist, dass bei der Inline-Messung sehr viele Messdaten anfallen. Im Mittel wird bei den verschiedenen Lösungen jeder 5. bis 10. Bogen ausgemessen. Bei einem Maschinenhersteller werden dabei nur Dichtewerte erfasst, bei 2 anderen Dichte- und Lab-Werte. Die Auswertung dieser Daten ist aufwändig, da sie bei jedem System anders strukturiert sind. Es wurden mit 2 Druckereien und 1 Maschinenhersteller eine Übergabe der Daten vereinbart, so dass Systeme von den 3 größten Herstellern von Bogenoffsetmaschinen in die Auswertung einbezogen werden können.

3) Maschinen mit Messtisch

Auch diese Maschinen können meist nur mit einem vorgegebenen Kontrollstreifen arbeiten, weil die interne Datenverarbeitung darauf abgestimmt ist. Am Messtisch werden meist beim Einrichten der Maschine in kurzen Abständen Bogen eingelesen, im Fortdruck nur noch in größeren Abständen. Das führt dazu, dass unter den zu einem Auftrag gespeicherten Messdaten ein großer Anteil Werte zu finden ist, der nicht die Schwankung während des Auflagedrucks widerspiegelt. Das heißt, diese Daten müssen stets von Hand überprüft und auf ihre Verwendbarkeit hin ausgewählt werden. Es liegen für den Fortdruck stets wesentlich weniger Messwerte vor als bei der Inline-Messung. Wegen dieser Nachteile wurde nur mit einer Druckerei für eine Druckmaschine eine Datenübergabe für diese Versuchsgruppe vereinbart.

Testform (Messelemente, Kontrollstreifen, automatisierte Auswertung)

Die zur Qualitätsbeurteilung erforderlichen Parameter sind Volltonfärbung, Tonwertzunahme und Graubalance. Im Kontrollstreifen müssen also die Dichte und Lab-Werte aller Primär- und Sekundärfarben gemessen werden.

Bei den Druckversuchen im SID wurden diese Werte in jeder Farbzone erfasst. Zusätzlich variiert die Farbabweichung in den Farbzonen der Testform. Damit konnten Aussagen zur Auflagenstabilität in Abhängigkeit von der Farbbelegung getroffen werden.



Abbildung 3: Kontrollstreifen Handbuch 2014

Bei den externen Druckversuchen musste auf die jeweils in der Produktion verwendeten Kontrollstreifen zurückgegriffen werden. Da bei voller Produktionsgeschwindigkeit nicht der komplette Kontrollstreifen (inline) erfasst bzw. gemessen werden kann, setzten sich die in der Auswertung berechneten Parameter aus den Messergebnissen mehrerer aufeinanderfolgender Bogen zusammen. Eine Beurteilung der Homogenität innerhalb eines Bogens war damit nicht mehr möglich. Grundsätzlich wurden bei den externen Druckversuchen deutlich weniger Bogen messtechnisch erfasst.

Druckversuche im SID

Für die Untersuchung wurden zwei Auflagen des im SID gedruckten „Handbuch Druck und Werbung“ ausgewählt. Die Auflagen umfassten je 2700 Bogen im Format 50 x 70 cm. Ausgewertet wurden 10 verschiedene Bogen in Schön- und Widerdruck. Bei einem Bogen wurde dabei die komplette Auflage und bei den übrigen jeder 20. Bogen vermessen. Für die Messungen mit dem Scan-Densitometer wurden die Kontrollstreifen abgetrennt. In 17 Farbzonen wurden dabei die Dichte- und Lab-Werte im Volltonfeld bzw. im 40% Rasterfeld gemessen.

In der zweiten Auflage wurden diese Werte zusätzlich in den Graubalance- und Zusammendruckfeldern bestimmt.

Als Basis für die folgende statistische Auswertung standen somit von den über die komplette Auflage vermessenen Bogen ca. 1,5Mio Messwerte und von den übrigen Bogen jeweils ca. 75.000 Messwerte zur Verfügung.

In allen folgenden Berechnungen wurden ausschließlich die Parameterschwankungen innerhalb einer Auflage betrachtet. Sollwertabweichungen waren nicht Gegenstand der Untersuchungen.

Ifd. Nr.		1 + 2	3...20	21 ... 40
Name		Handbuch 2014	Handbuch 2014	Handbuch 2015
Auflage jeweils		2681	2681	2681
Probenanzahl jeweils		2681	132	126
Lab-Werte	B, C, M, Y (Vollton und 40%)	Vollton und 40%-Raster, 17 Farbzonen		Vollton und 40%-Raster, 9 Farbzonen
	Graubalance	nicht gemessen		20%, 40%, 60%, 80%, 8 Farbzonen
	Übereinanderdruck	nicht gemessen		C+M, C+Y, M+Y, C+M+Y, 8 Farbzonen
Dichte		alle Farbzonen		alle Farbzonen

Tabelle 2: Messdatenumfang der Druckversuche am SID

Aus den gemessenen Dichtewerten für die Voll- und Rastertöne wurde die Abweichung zum Mittelwert (Dichteschwankung ΔD) sowie die Tonwertzunahme (TWZ) nach der Murray-Davis-Formel und deren Schwankung (ΔTW) berechnet. Auf Basis der Abweichungen der einzelnen Farbwertkoordinaten ΔL , Δa und Δb wurden die Farbabweichungen im Vollton (ΔE_V), Rasterton (ΔE_{40}), den Graustufen und im Übereinanderdruck berechnet.

$$\text{Formel zur Berechnung der Tonwertzunahme : } TWZ = \left[\frac{1-10^{-DR}}{1-10^{-DV}} \right] * 100$$

$$\text{Formel zur Berechnung der Farbabweichung : } \Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

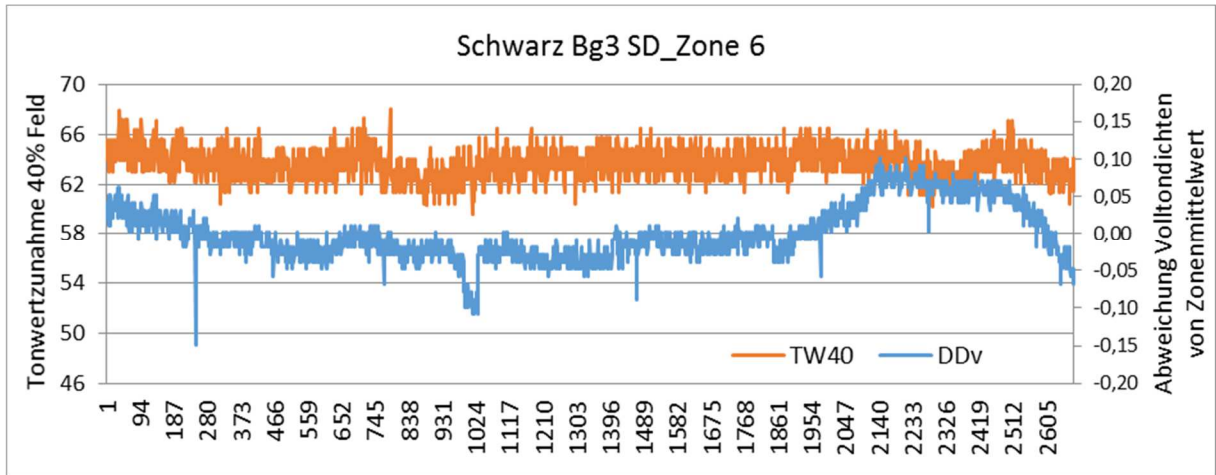
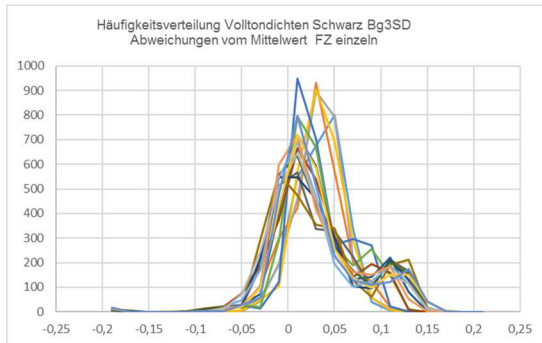


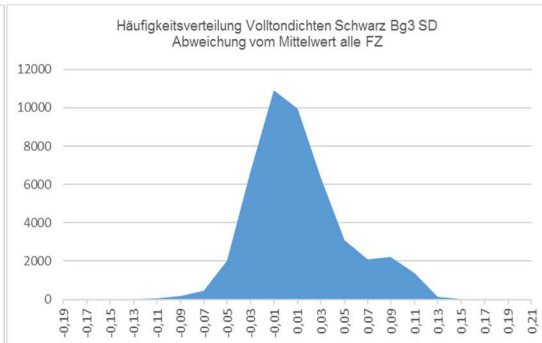
Abbildung 4: Verlauf Volltondichte und Tonwertzunahme über eine komplette Auflage

Auswertung Auflage 1 (Handbuch 2014)

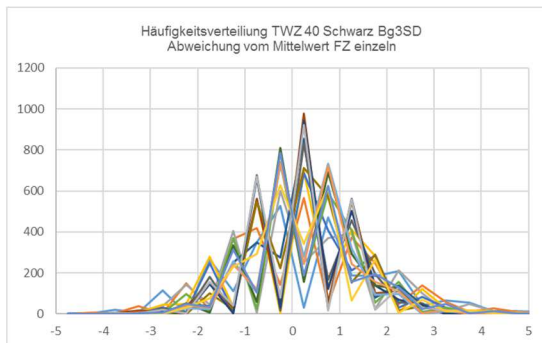
Zu Beginn der Auswertung wurden zunächst die Verteilungsformen der einzelnen Parameterschwankungen untersucht. Die große Anzahl der intern durchgeführten Messungen ermöglicht dann relativ sichere Aussagen zu üblicherweise auftretenden Verteilungsformen der Messgrößen auch bei anderen Druckaufträgen. Anhand der Ergebnisse wird dann beurteilt, in welcher Form Toleranzen der jeweiligen Messgröße angegeben werden sollten. Die zuvor berechneten Schwankungen der Qualitätsparameter wurden in Klassen eingeteilt und in einem Histogramm dargestellt. Diese Darstellung erfolgte für alle berechneten Parameter (ΔD , ΔTW , ΔE) aller gemessenen Bogen. Im folgenden Abschnitt sind die Ergebnisse beispielhaft für einen Einzelbogen zu sehen.



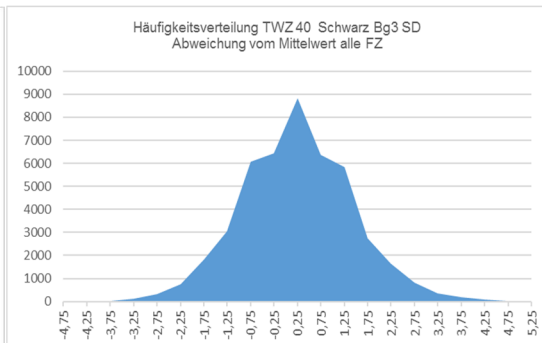
5-a



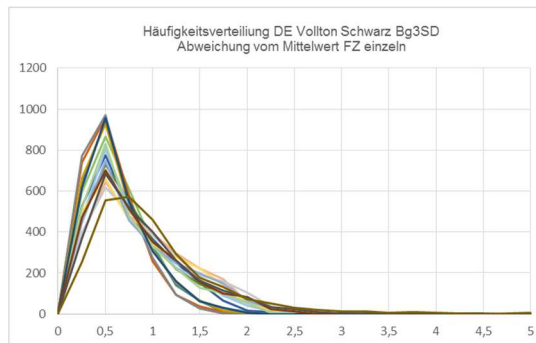
5-b



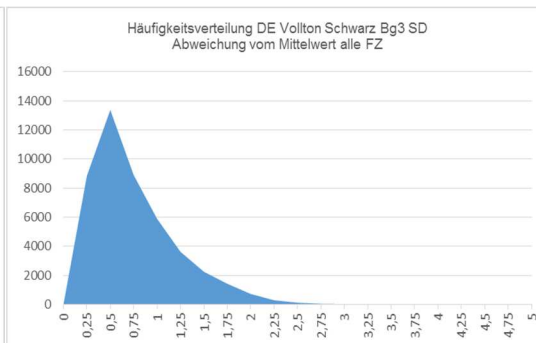
5-c



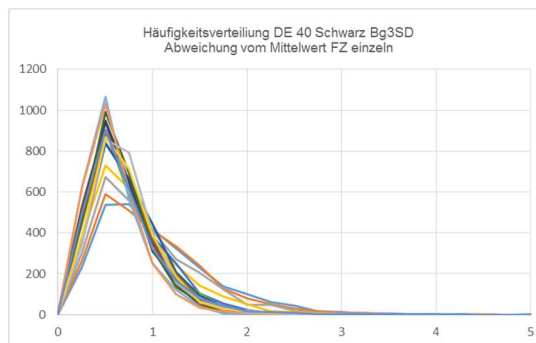
5-d



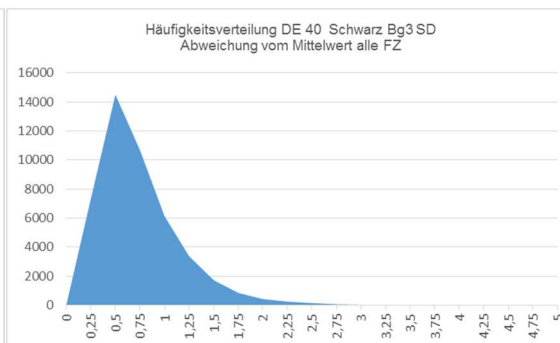
5-e



5-f



5-g



5-h

Abbildung 5 a bis h: Häufigkeitsverteilung der Schwankung der Volltondichte(a+b), Tonwertzunahme(c+d) und Farbabweichung(e-h), Darstellung der einzelnen Farbzonen und im Mittel über alle Zonen eines Bogens

In Abbildung 5 sind die im Abschnitt „statistische Grundlagen“ bereits beschriebenen Verteilungskurven dargestellt. Volltondichte und Tonwertzunahme sind annähernd normalverteilt. Die Farbwertabweichung kann auf Grund der Berechnungsvorschrift nur gleich oder größer 0 sein und ähnelt einer Betragsverteilung 1. Art. Weiterhin sind relativ starke Schwankungen zwischen den einzelnen Farbzonen erkennbar. Ursache dafür können, unter anderem, unterschiedliche Farbbelegungen in den Zonen sein.

Dass die Schwankungsbreite der Volltonfärbung tatsächlich mit zunehmender Farbbelegung abnimmt, kann man in Abbildung 6 erkennen. Hier ist die Farbabweichung (95%-Quantil) in Abhängigkeit der Farbbelegung dargestellt. Dieser Zusammenhang wurde erwartet, da die Regelung der übertragenen Farbmenge – und damit der Färbung – bei geringem Farbbedarf relativ träge reagiert.

Für die Tonwertzunahme lässt sich dieser Zusammenhang nicht erkennen, hier bleibt die Schwankungsbreite unabhängig von der Farbbelegung nahezu konstant. Für die Praxis bedeutet das, dass der Einfluss der Farbbelegung auf die Druckqualität nur bedeutend ist, wenn es um die Wiedergabe von Volltonflächen geht. Bei 4-farbig gedruckten Bilder, die in den einzelnen Farbauszügen aus Rastertönen bestehen, ist der Einfluss der Farbbelegung auf die Stabilität der Farbwiedergabe zu vernachlässigen.

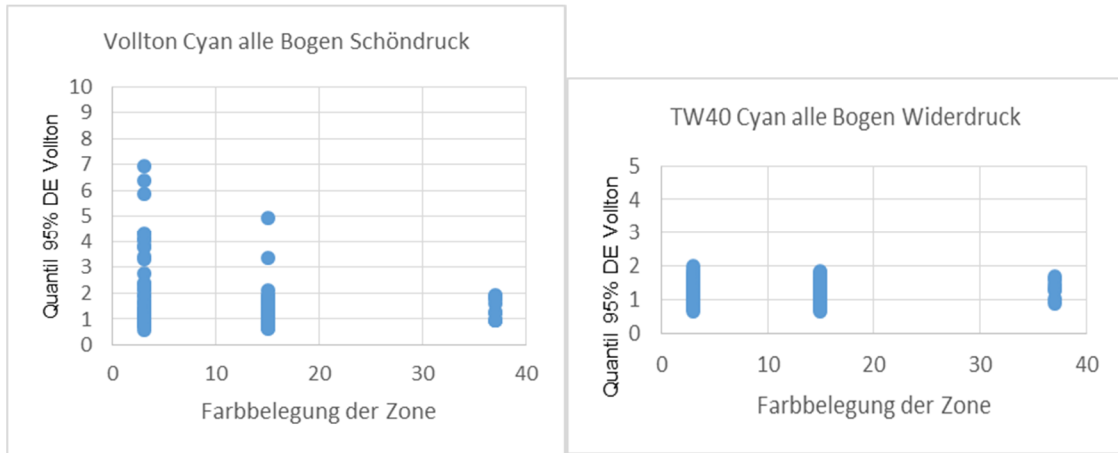


Abbildung 6a und b: Schwankung der Farbabweichung in Abhängigkeit der Farbbelegung

Die Standardabweichung der untersuchten Parameter war stets größer als die im PSO angegebene 68%-Streuung der Messwerte. Einzelne Ausreißer bewirken, vor allem bei einer geringen Probenzahl, einen Anstieg der Standardabweichung. Als Folge würde die Standardabweichung eines geprüften Parameters über der Toleranzangabe liegen und eine nicht normgerechte Auflage ausweisen, obwohl 68% der Stichproben die Toleranz einhalten. Eine alternative Toleranzangabe könnte das Quantil der Messwerte sein. Es gibt den Wert einer Messgröße an für den gilt, dass ein vorgegebener Prozentsatz aller Messwerte kleiner als dieser Wert ist. Ein 95%-Quantil zum Beispiel, ist also der Wert (Schwellenwert) unterhalb dessen 95% aller gemessenen Werte einer Stichprobe liegen. Das 95%-Quantil entspricht etwa der doppelten Standardabweichung. Einzelne extreme Messwertschwankungen haben einen deutlich geringeren Einfluss auf das Quantil und für Verteilungsformen wie sie bei der Farbabweichung vorliegen sind einfachere Toleranzvorgaben möglich. Um eine einheitliche Darstellung aller Messgrößen zu erreichen, wurde bei den normalverteilten Parametern der Betrag der Mittelwertabweichung gebildet. In Abb.7 sind die Quantile (50% bis 99%) der Farbabweichungen im Voll- und Rastertonfeld dargestellt.

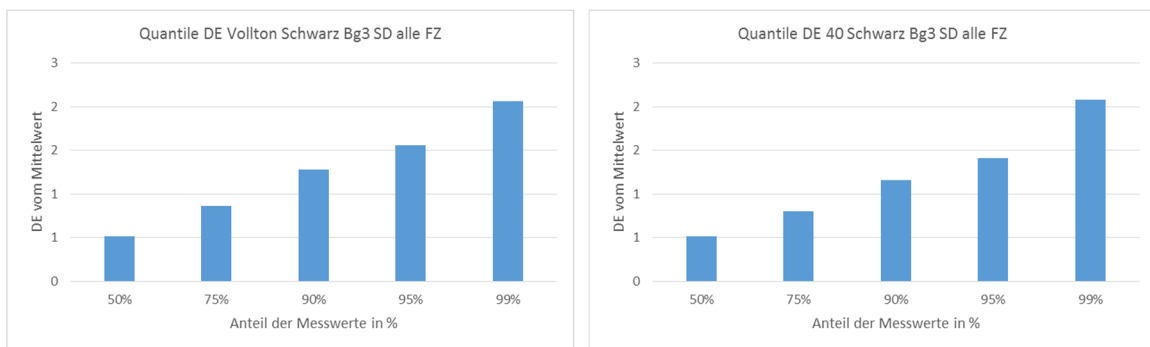


Abbildung 7a und b: Quantile der Farbabweichung für die Voll- und Rastertonfelder

Die Häufigkeitsverteilungen der übrigen Bogen waren ähnlich den zuvor dargestellten. Als Übersicht der gesamten Auflage sollen daher nur noch die 95% Quantile der Farbabweichung im Voll- und Rasterton dienen (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

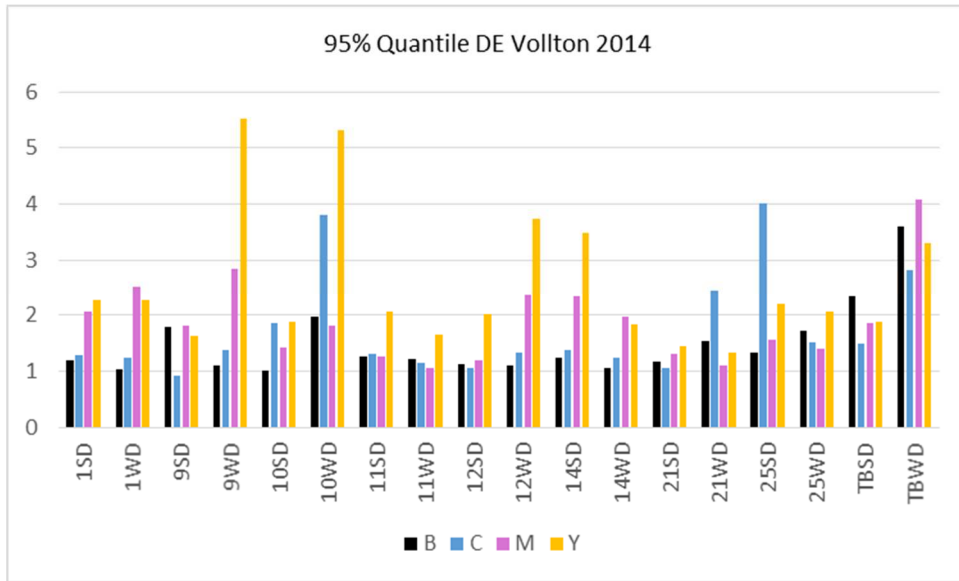


Abbildung 8: 95%-Quantile der Farbabweichung im Vollton, Mittel über alle Farbzonen

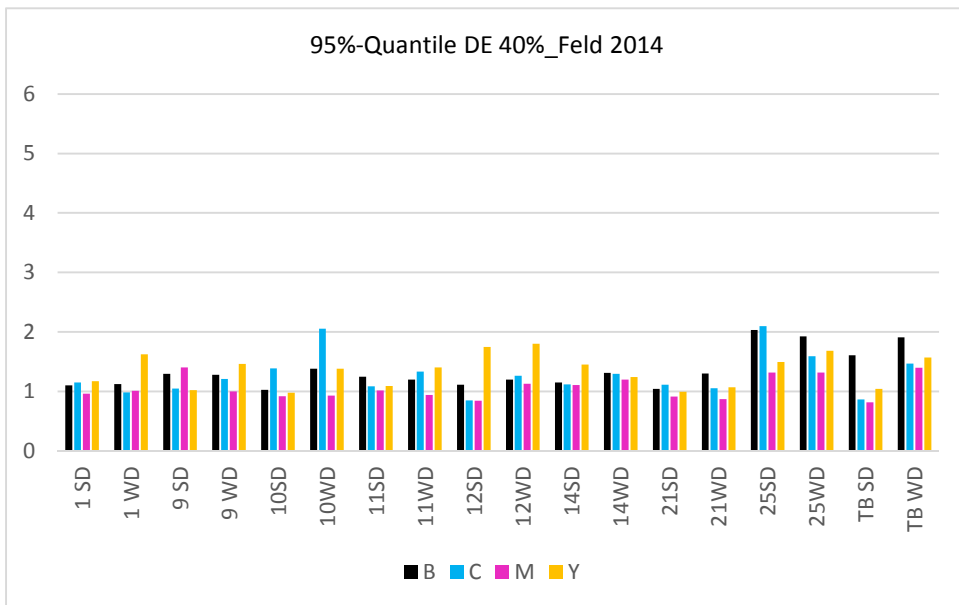


Abbildung 9: 95%-Quantile der Farbabweichung im 40%-Raster, Mittel über alle Farbzonen

Auswertung Auflage 2 (Handbuch 2015)

Die Auswertung der Messdaten erfolgte analog zur ersten Auflage. Zusätzlich waren jetzt im Kontrollstreifen auch Felder für die Graubalance und den Übereinanderdruck integriert. Diese Bewertungsgröße ist für die Übereinstimmung von messtechnisch erfassten Werten und visuellem Empfinden von großer Bedeutung. Üblicherweise werden in den Druckkontrollstreifen Messfelder erfasst, die einfarbig aufgebaut sind (Volltöne, Rasterfelder). Das ist für die messtechnische Kontrolle vorteilhaft, kann aber dazu führen, dass die Messwerte den Vorgaben entsprechen und die Farbwiedergabe im gedruckten Bild trotzdem nicht als qualitativ hochwertig empfunden wird. Ursache dafür ist das Farbannahmeverhalten im Aufeinanderdruck der einzelnen Farbauszüge. Dieses wird einmal durch die rheologischen Eigenschaften der Druckfarbe beeinflusst, was sich auf die Schichtdicke einer Farbe, die auf eine schon auf dem Bedruckstoff liegende Farbschicht aufgetragen wird, auswirkt. Andererseits wirkt sich beim Aufeinanderdruck von Rasterpunkten die Lage der einzelnen Farbauszüge zueinander aus, weil dadurch unterschiedliche Anteile der verschiedenfarbigen Punkte einander überdecken und somit optisch einen anderen Farbton erzeugen. Um die Farbannahme selbst zu beurteilen, werden 2- und 3-farbige Volltonfelder ausgewertet, aus denen das Schichtdickenverhältnis der aufeinander gedruckten Farbschichten ermittelt werden kann. Zur Bewertung des farblichen Gesamteindrucks von gerasterten Flächen werden Graubalancefelder herangezogen, die aus etwa gleichen Anteilen der Buntfarben Cyan, Magenta und Gelb bestehen und ein neutrales Grau ergeben sollen. Beide Felder können farbmetrisch bewertet werden. Für die Vollton-Zusammendrucke existieren in der ISO 12647-2 Vorgabewerte, die allerdings nur informativ gelten, für die Graubalance-Felder ist der Zielwert in Form der Farbkoordinaten $a = 0$ und $b = 0$ gegeben.

Für alle berechneten Kenngrößen (Farbabweichung und Tonwertzunahme) wurde wieder die Häufigkeitsverteilung ermittelt. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zu den Ergebnissen der ersten Auflage. Zur einfachen und übersichtlichen Darstellung der Schwankungsbreiten wurden daher wieder die 95%-Quantile berechnet

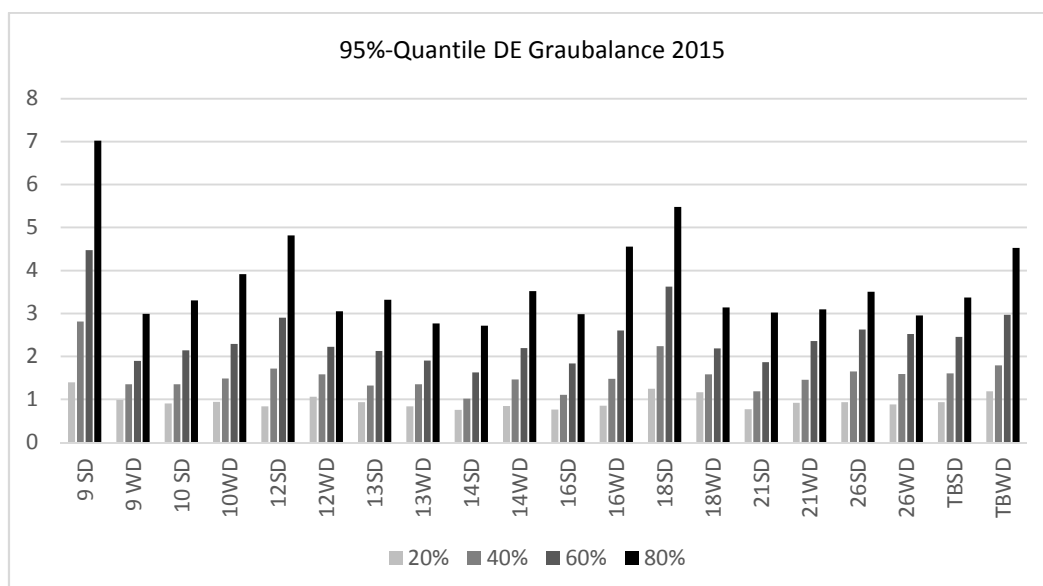


Abbildung 10: 95%-Quantile der Farbabweichung der Graustufen im Mittel über alle Farbzonen, Handbuch 2015

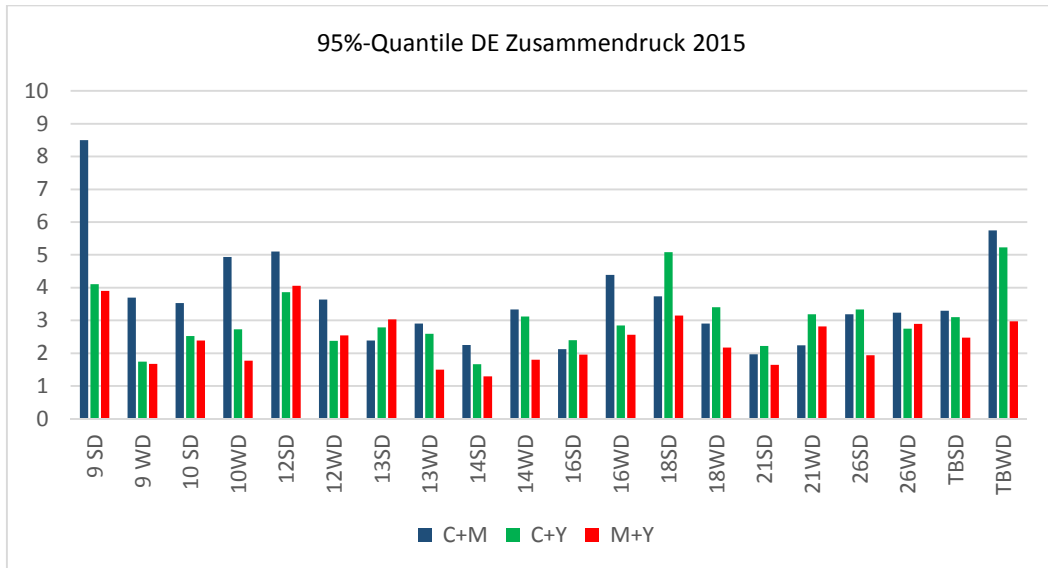


Abbildung 11: 95%-Quantile der Farbabweichung Zusammendruck im Mittel über alle Farbzonen, Handbuch 2015

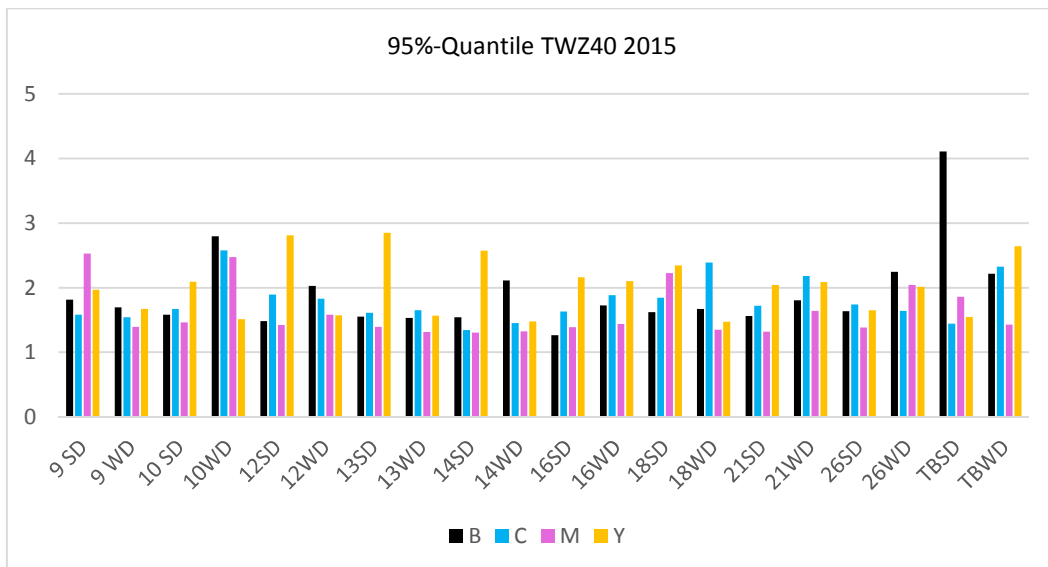


Abbildung 12: 95%-Quantile der Abweichung Tonwertzunahme im Mittel über alle Farbzonen, Handbuch 2015

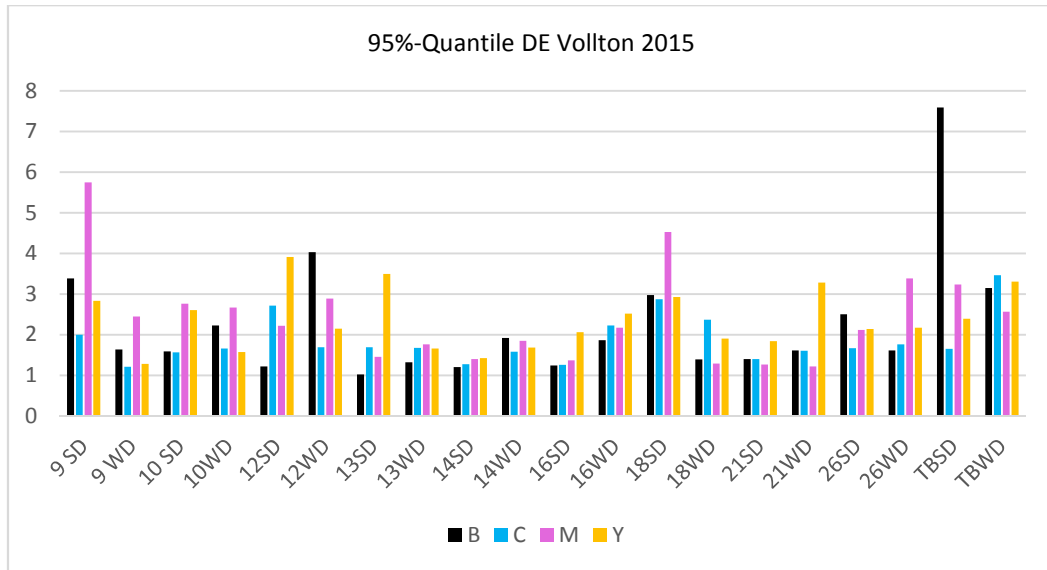


Abbildung 13: 95%-Quantile der Farbabweichung Vollton im Mittel über alle Farbzonen, Handbuch 2015

Auch der Einfluss der Farbbelegung auf die Wiedergabe wurde in den zusätzlichen Feldern für Graubalance und Übereinanderdruck untersucht. Eine farbbelegungsabhängige Schwankung konnte wieder in den Volltonfeldern und den, aus Volltönen bestehenden, Übereinanderdruckfeldern nachgewiesen werden (siehe Abbildung 15). In den Rastertonfeldern der Primärfarben sowie den aus verschiedenen Rasterwerten von Cyan, Magenta und Gelb zusammengesetzten Graubalancefeldern ist dieser Einfluss nicht nachweisbar (siehe Abbildung 14).

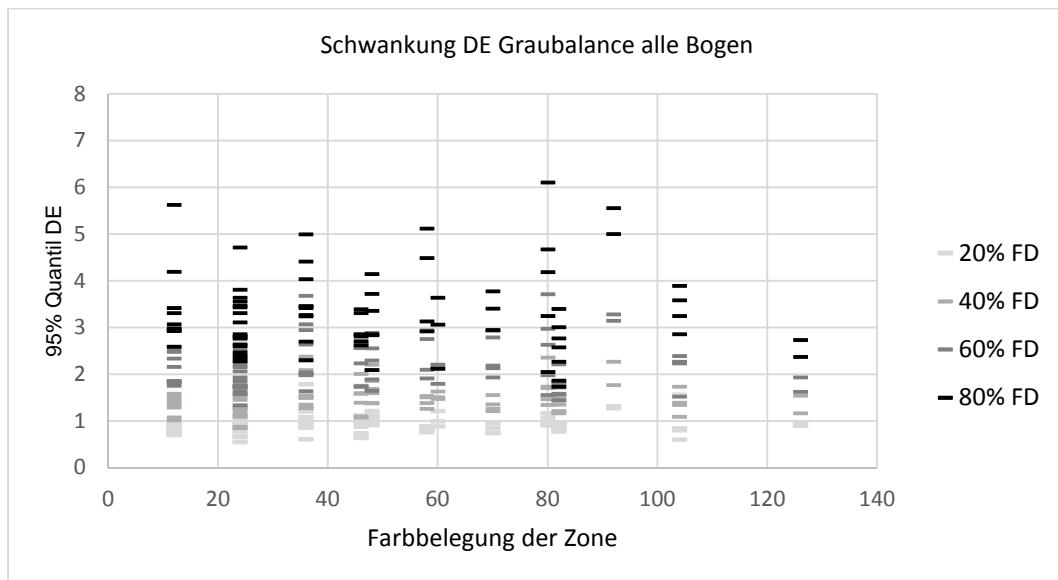


Abbildung 14: 95%-Quantile der Farbabweichung der verschiedenen Grautöne in Abhängigkeit der Farbbelegung

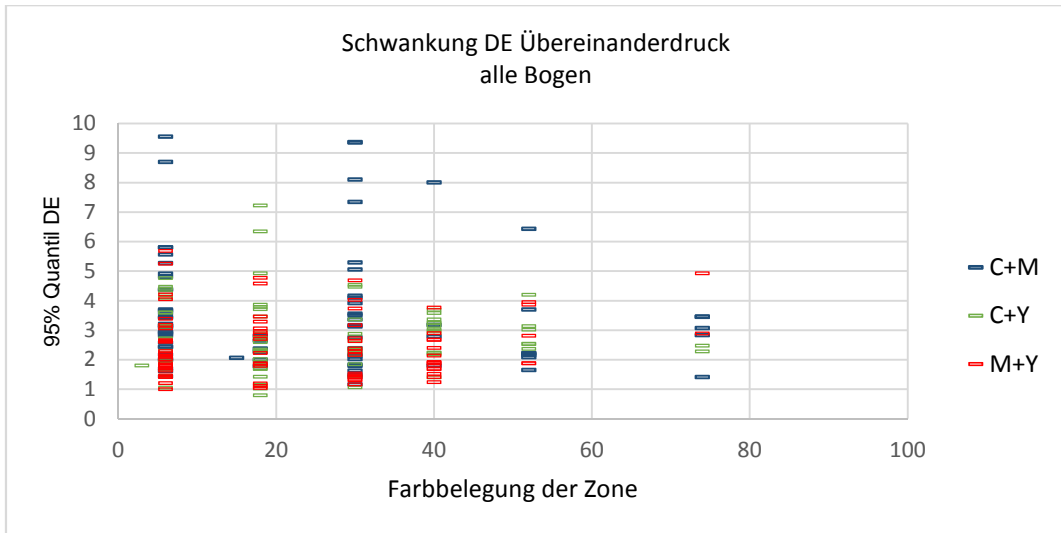


Abbildung 15: 95%-Quantile der Farbabweichung im Übereinanderdruck in Abhängigkeit der Farbbelegung

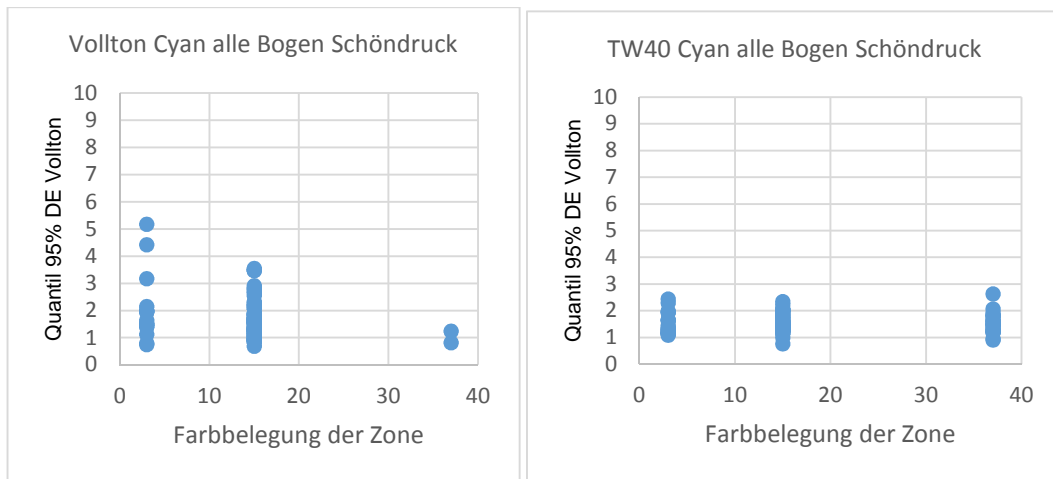


Abbildung 16: Schwankung der Farbabweichung der Voll- und Rastertöne

Externe Druckversuche

Die Erhebung von Qualitätsdaten in Druckereien erwies sich als komplizierter als erwartet, da viele der eingesetzten Inline- und Offline-Messsysteme keine Exportfunktion für offene Daten anbieten. Es war zwar möglich, Protokolle auszugeben, aber diese ließen sich oft nur als pdf- oder Bild-Dokumente ohne Datenstrukturierung exportieren.

Es wurden daher nur 2 verschiedene technische Lösungen für das Projekt herangezogen, ein Offline-Messtisch und ein Inline-Messsystem. In beiden Fällen war die Ausgabe der Messdaten als .csv-Dateien möglich, so dass eine effiziente Aufbereitung der Daten durchgeführt werden konnte.

Als Messwerte bot der Offline-Messtisch die Messergebnisse aus einem Druckkontrollstreifen, bestehend aus Volltondichte- und –färbung, Tonwertzunahme in verschiedenen Rasterfeldern, Trapping und Graubalance an. Zu beachten ist hierbei, dass im alltäglichen Betrieb der Messtisch während des Einrichtens der Maschine und bei Druckbeginn in relativ kurzen Abständen eingesetzt wird, und dann während des Fortdrucks nur noch ca. alle 500 Bogen. Das heißt, dass die unvermeidbaren Abweichungen beim Annähern an die Sollfärbung mit erfasst werden und dass damit beim Fortdruck keine engmaschige Kontrolle der Färbungsschwankung möglich ist. Demzufolge sind die Ergebnisse anders zu bewerten als die der Inline-Messung oder die eigenen Druckversuche.

Bei der Inline-Messung wurden die Messwerte für die Färbung im Volltonfeld, im 40%-Rasterfeld, für den Übereinanderdruck und die Graubalance im Druckkontrollstreifen erfasst. Zusätzlich wurden die Dichten und die Tonwertzunahme im 40%-Feld gemessen. Über die gesamte Auflage wurde jeweils ca. jeder 100ste Bogen erfasst, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Werte immer aus den Messwerten mehrerer Bogen zusammengesetzt sind, da es nicht möglich ist, bei voller Druckgeschwindigkeit den kompletten Druckkontrollstreifen zu erfassen.

Insgesamt wurden 28 externe Druckaufträge unterschiedlicher Auflage ausgewertet. Die Anzahl der Stichproben entsprach dabei den Probennahmenvorgaben (siehe Tabelle 1).

lfd. Nr.	Auflage	Probenanzahl	lfd. Nr.	Auflage	Probenanzahl
41	4400	37	55	850	4
42	500	7	56	3500	5
43	500	6	57	3250	4
44	500	5	58	17000	16
45	9000	10	59	17000	17
46	9000	4 (nur B)	60	10200	10
47	9000	4 (nur B)	61	10200	10
48	500	6	62	8415	17
49	500	6	63	7420	7
50	500	9	64	7420	10
51	850	5	65	13600	16
52	9000	21	66	13600	16
53	9000	16	67	34000	28
54	850	7	68	34000	21

Tabelle 3: Stichprobenanzahl der externen Druckversuche

Auswertung externe Druckversuche

Die Messdaten wurden entsprechend dem bei den eigenen Versuchen verwendeten Schema ausgewertet. Da pro Druckauftrag aber deutlich weniger Werte zur Verfügung standen, wurde auf eine erneute Untersuchung der Verteilungsform verzichtet. Die zu Beginn, basierend auf den sehr umfangreichen Daten der internen Druckversuche, ermittelten Verteilungsformen sollten prinzipiell auch auf alle anderen Druckaufträge zutreffen.

Aus den Messwerten wurden wie für die eigenen Druckversuche die Schwankungsbreiten für die Färbung (DEv) sowie für die Tonwertzunahmen im 40%-Feld der Skalenfarben und für die Färbung der Übereinanderdruck- und der Graubalancefelder der vorhandenen Flächendeckungen berechnet. Die Tonwertzunahme im Rasterfeld wurde dabei vom Messsystem direkt ermittelt. Mitgedruckte Sonderfarben wurden ignoriert.

Es wurden wieder die Quantile der Mittelwertabweichungen aller aufgeführten Parameter für jeden gemessenen Bogen sowie für die gesamte Auflage (alle gemessenen Bogen) eines Druckauftrages berechnet. In den folgenden Diagrammen sind jeweils die 95%-Quantile der Auflagenwerte dargestellt. Eine Auswertung der Messergebnisse hinsichtlich der Wirkung der Farbbelegung war, auf Grund fehlender Informationen zur Farbbelegung, nicht möglich.

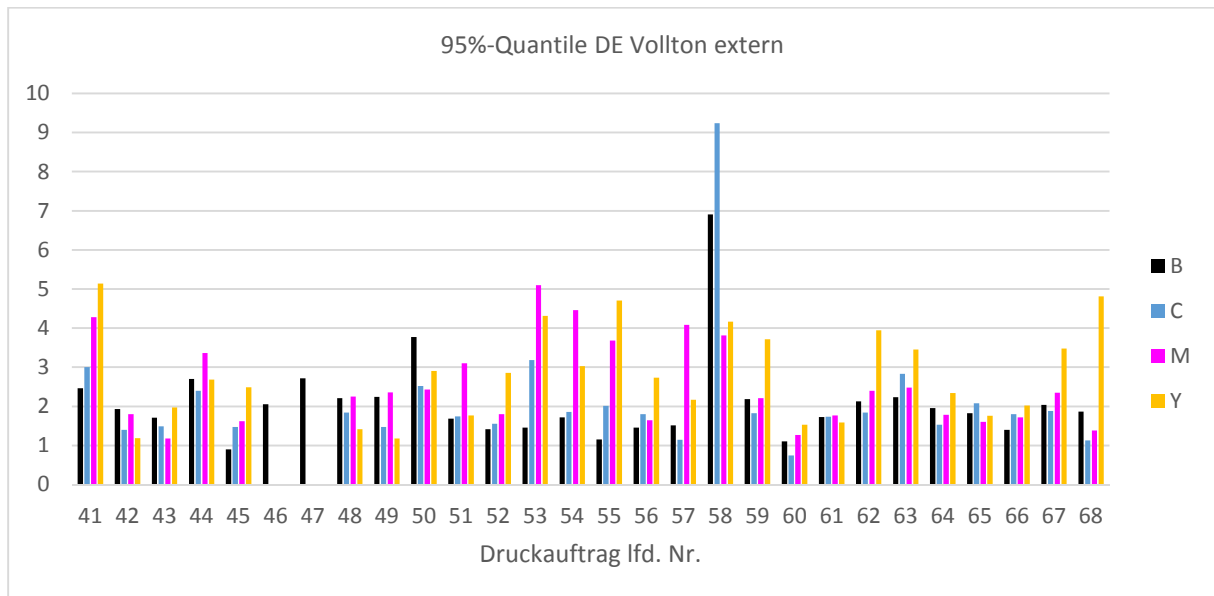


Abbildung 17: 95%-Quantile der Farbabweichung Vollton im Mittel über alle Farbzonen, externe Druckversuche

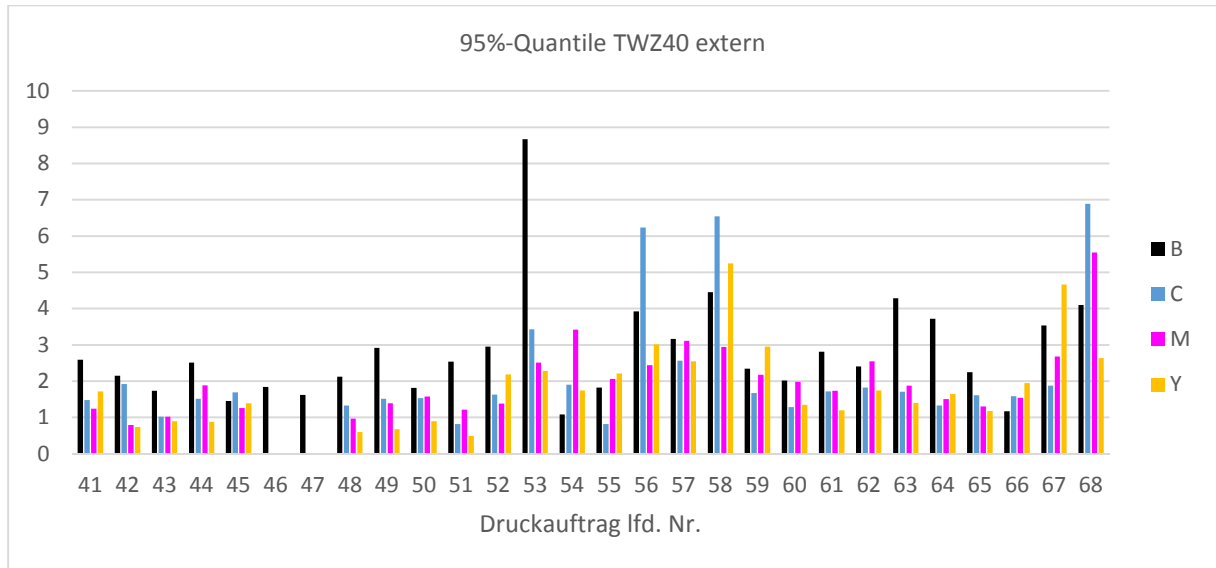


Abbildung 18: 95%-Quantile der Tonwertzunahmeschwankung im Mittel über alle Farbzonen, externe Druckversuche

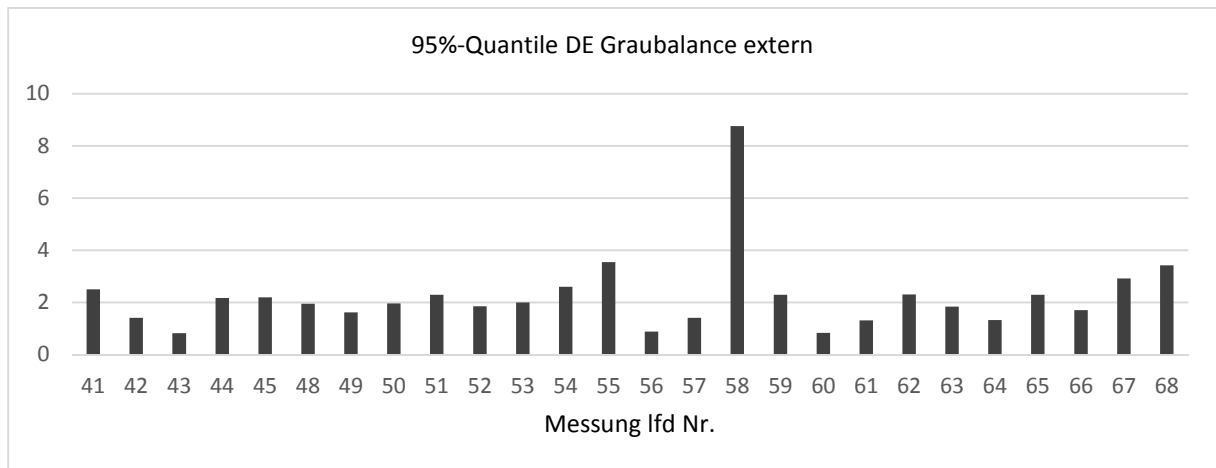


Abbildung 19: 95%-Quantile der Farbabweichung Graubalance (50%) im Mittel über alle Farbzonen, externe Druckversuche

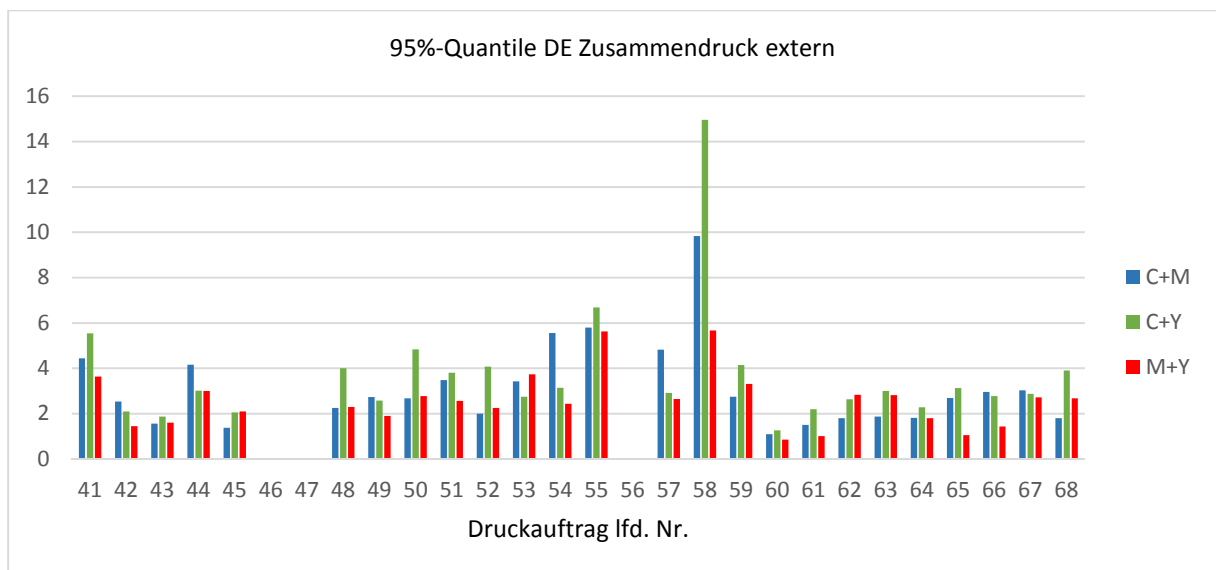


Abbildung 20: 95%-Quantile der Farbabweichung Zusammendruck im Mittel über alle Farbzonen, externe Druckversuche

Die aus den Daten der externen Druckaufträge ermittelten Schwankungsbreiten der Qualitätsparameter waren geringfügig höher als die der eigenen Druckversuche. Das kann vermutlich auf die Produktionsumgebung und die damit verbundenen Zwänge hinsichtlich Effizienz und Ablaufoptimierung zurückgeführt werden. Außerdem war die inline-Messung auch bei Druckunterbrechung und Wiederanlauf aktiv. Die dabei mit gemessenen An- und Ablaufbogen weisen eine höhere Sollwertabweichung auf, werden aber später entnommen. Die tatsächlichen Sollwertabweichungen der Auflage sind deshalb geringer.

Die Auswertungen bestätigen die gefundenen Zusammenhänge für den Einfluss der Farbbelegung auf die Schwankungsbreiten der Färbung von Vollton- und Rasterfeldern. Auch bei der Auswertung der Graubalance-Felder – die aus Rasterfeldern aufgebaut sind, ist kein Einfluss der Farbbelegung sichtbar, während sich bei den Zusammendruckfeldern – die aus Volltonfeldern bestehen – der Einfluss der Farbbelegung nachweisen lässt.

Vorschlag Prüfkriterien für Auflagenbeurteilung

Da die Verteilung der untersuchten Messgrößen zwar der Normalverteilung ähnelt, aber nicht genau entspricht, wird als Bewertungsgröße für die Schwankungsbreite anstelle der Normalverteilung das 95%-Quantil empfohlen.

Diese statistische Größe hat den Vorteil, dass einzelne Ausreißer nicht berücksichtigt werden, wie es bei der Spannweite wäre, aber die Abweichungen zur tatsächlichen Schwankungsbreite weniger fehlerbehaftet sind als wenn man Vielfache der Standardabweichung zur Abschätzung heranzieht.

Als Zielgrößen für das 95%-Quantil können folgende Werte in Betracht gezogen werden:

- Volltondichte: $\pm 0,15$
- Vollton ΔE -Werte < 5
- Tonwertzunahmen $\pm 2\%$
- Graubalance 40% $\Delta E < 2$
- Zusammendruck Vollton 2-farbig $\Delta E < 5$
- Bei sehr geringen Farbbelegungen ($< 10\%$) ist eine größere Schwankungsbreite der Farbwiedergabe im Vollton zulässig