

Untersuchung zum Fading-Verhalten von Digitalproofs



Alexander Jacob
Matrikelnummer 234986

Master Thesis zur Abschlussprüfung
Sommersemester 2008
Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich E

Abgabedatum: 18.09.2008

1. Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Stefan Brües
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Claudio Wilmanns, M. Sc.



Anmeldung einer Abschlussarbeit (Master Thesis)

Jacob, Alexander

Name, Vorname

234986

Matrikelnummer

Bembergstr. 9, 42103 Wuppertal

Straße, Plz / Wohnort

Titel der Thesis: Untersuchung zum Fading-Verhalten von Digitalproofs

Erläuterungen zur Themenstellung:
(Zielsetzung, Aufgabenschwerpunkte)

Marktunterstützende Untersuchung zur Farbveränderung von Digitalproofs über einen definierten Zeitraum unter unterschiedlichen Lagerungsbedingungen.

- Erläuterung fachspezifischer Grundlagen und Zusammenhänge
- Vorbereitung und Durchführung von Testreihen
- regelmäßige Messung nach definierten Kriterien
- Analyse und Auswertung der gewonnenen Ergebnisse

☐

Die Arbeit wird in einer Institution außerhalb der Hochschule durchgeführt

Name, Anschrift der Institution

Ansprechpartner

Ausgabedatum:

18.03.08

Abgabetermin:

18.09.08

1. Prüfer: Prof. Dr. Stefan Brües

2. Prüfer: M. Sc. Claudio Wilmanns

Prüfvermerk Prüfungsamt

Metens

Unterschrift des Studierenden

Unterschrift

Unterschrift

Prüfvermerk Vors. Prüfungsausschuss

01-04-08

Summary

Die Umweltfaktoren Licht, Luft, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind verantwortlich für Farbveränderungen durch Fading und beeinflussen damit die Haltbarkeit von Digitalproofs. Im Rahmen der Untersuchung wurden Testcharts auf drei unterschiedlichen Proofsystemen angefertigt und an praxisähnlichen Lagerungsorten unter Einwirkung der dort herrschenden Klimabedingungen aufbewahrt. In einer farbmetrisch ausgewerteten Versuchsreihe wurde überprüft, ob es trotz ständig weiterentwickelter Tinten und Substrate noch zu Farbveränderungen durch Fading kommt. Mögliche Ursachen wurden ermittelt, um Anwendern eine Hilfestellung bei der Lagerung von Digitalproofs zu bieten.

The durability of proof prints is affected by environmental influences such as light, air, temperature and humidity, which cause discolorations through fading. For this study, test charts have been printed on three different proof systems and stored at different locations of practical relevance under the influence of the respective climatic conditions. A test series based on a colorimetric analysis was conducted to validate whether or not discolorations through fading still occur, despite the use of continuously improved inks and substrates. Statements on possible causes for fading were formulated, which can serve as a guideline for the durable storage of proof prints.

Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und Zitate kenntlich gemacht habe.

Hiermit räume ich der Bergischen Universität Wuppertal ein, die Inhalte dieser Arbeit, unter Einhaltung eventuell vorgegebener Sperrfristen, wissenschaftlich zu nutzen und öffentlich zu machen.

Unterschrift (Alexander Jacob)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	2
2.1 Allgemeines	2
2.2 Farbmessung	2
2.3 DoD Tintendrucksysteme	2
2.4 Ink-Jet-Tinten.....	3
2.5 Substratbeschichtungen.....	7
2.6 Prüfmethoden zur Beständigkeit	8
3. Ablauf der Untersuchung.....	9
3.1 Verwendete Proofsysteme	9
3.2 Testcharts	11
3.2.1 Gamut und Weißpunkt.....	11
3.2.2 Druckerkanäle	12
3.3 Lagerung der Versuchsproben.....	14
3.3.1 Keller.....	15
3.3.2 Büro normal.....	15
3.3.3 Büro dunkel	16
3.3.4 Fenster	17
3.3.5 Gegenüberstellung der Lagerungsorte	18
3.4 Messen der Umgebungsparameter.....	19
3.4.1 Luft.....	19
3.4.2 Luftfeuchtigkeit und Temperatur	19
3.4.3 Licht	19
3.4.4 Datenlogger	20
3.5 Messen der Versuchsproben.....	22
3.5.1 Messgerät	22
3.5.2 Wiederholgenauigkeit des Messgerätes	22
4. Auswertung.....	24
4.1 Weißpunkt	24
4.2 Testcharts	25
4.2.1 Zusammenhang zwischen Tintenmenge und Farbveränderung	25
4.2.2 Farbunterschiede an den Lagerungsorten.....	27
4.2.3 Farbunterschiede der einzelnen Proofsysteme.....	29
4.2.4 Farbunterschiede der Tinte-Substrat-Kombinationen.....	34
4.3 Auswirkungen auf den Gamut	35
5. Fazit	40

6. Abbildungsverzeichnis.....	41
7. Tabellenverzeichnis.....	42
8. Literaturverzeichnis.....	43
9. Anhang.....	45
9.1 Messkalender	45
9.2 Weißpunkte	46
9.3 Vorgehensweise zur Berechnung der Messwerte	48
9.4 Messung zur Wiederholgenauigkeit des i1Pro UV-CUT.....	51
9.5 Diagramme Tintenveränderung	52
9.5.1 Proofsysteem CC	52
9.5.2 Proofsysteem CEF.....	53
9.5.3 Proofsysteem EE	54
9.5.4 Proofsysteem EEf	55
9.5.5 Proofsysteem HH	56
9.5.6 Proofsysteem HEF	57
9.6 Protokoll Diagnose-Tool i1Pro UV-Cut	58
9.7 Formelverzeichnis	59
9.8 Inhalt der beigefügten CD-ROM.....	60

1. Einleitung

Die Farbbeständigkeit von Prüfdrucken (Proofs) wird nach dem Druck nicht nur durch die spezifischen Eigenschaften und Wechselwirkung der verwendeten Materialien beeinflusst. Die vier Umweltfaktoren Licht, Luft, Temperatur und Feuchtigkeit sind ebenfalls entscheidend für die Stabilität der Materialien und Bildinformationen. Die Veränderung der farbgebenden Charakteristik der Farbmittel über die Zeit wird als Fading bezeichnet. Diesem kann durch spezielle Handhabung und Lagerung entgegen gewirkt werden. Was aber passiert, wenn dies nicht geschieht?

Im Rahmen einer farbmetrisch ausgewerteten Versuchsreihe wurde überprüft, ob es trotz ständig weiterentwickelter Tinten und Substrate noch zu Farbveränderungen durch Fading kommt. Dabei werden mehrere Proofsysteme gegenüber gestellt, um zu untersuchen, ob sich diese ähnlich oder vollkommen unterschiedlich verändern. Es soll keine Bewertung der verwendeten Proofsysteme durchgeführt werden, sondern lediglich festgestellt werden, mit welchen Farbveränderungen in welcher Zeit ein Anwender rechnen muss. Zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss die einwirkenden Umweltfaktoren an unterschiedlichen und praxisähnlichen Lagerungsorten haben. Eine Auswertung der Versuchsreihe soll zeigen, ob es nachweisbare Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen Materialien, Motiven und Umgebung gibt.

2. Grundlagen

Im Folgenden werden die Technologien, Methoden und Materialien näher beschrieben, die tatsächlich bei der durchgeführten Untersuchung zum Einsatz gekommen sind. Sollte die Notwendigkeit bestehen, werden übergreifende und zusätzliche Erläuterungen gemacht.

2.1 Allgemeines

Ein **Proof** ist der mit einem Proofsystem hergestellte Prüfdruck. Unter einem **Proofsystem** ist eine eindeutige Kombination aus Geräten, Software und Materialien zu verstehen, die zur Erzeugung von Proofs dient. Dazu gehören die Proofsoftware inklusive RIP, ein Proofdrucker, das verwendete Substrat sowie die Tinte. Die eigentliche Verwendung zur farbverbindlichen Simulation einer Druckbedingung innerhalb definierter Toleranzen wurde bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Fading ist die Veränderung der farbgebenden Charakteristik der Farbmittel über die Zeit. Ist Licht dabei die Ursache, spricht man von light fading. Die Vorhersage, wie lange Bildinformationen Licht ausgesetzt werden können, ehe Fading wahrgenommen werden kann, wird als Lichtechtheit (light fastness oder light fade resistance) bezeichnet. Ist kein Licht vorhanden, kann es zu Dunkelfading z.B. durch Wärmeeinwirkung kommen. Diese führt selbst bei Raumtemperatur schon zu geringen Veränderungen. Gas Fading bezeichnet die Veränderung durch Gase in der Umgebungsluft (z.B. Ozon).

2.2 Farbmessung

Farbeindrücke resultieren aus der spektralen Verteilung des im Auge eintreffenden Lichts. Diese spektrale Verteilung lässt sich mit einem Spektralphotometer messen und in die drei Koordinaten $L^*a^*b^*$ des CIELAB-Farbraums umrechnen. Dieses Farbsystem wurde mit der Absicht entwickelt, einen visuell gleichabständigen Farbraum zu schaffen.

Zur farbmtrischen Bewertung von Farbunterschieden dient das rein geometrische, an das Lab-Koordinatensystem gebundene Farbabstandsmaß ΔE^*_{ab} (CIE 1976 a,b (CIELAB)-Farbabstand, im Folgenden ΔE_{76}). Dieses hat nur einen eingeschränkt quantifizierbaren Zusammenhang mit der Farbwahrnehmung. Deswegen wurde die Berechnungsformel (siehe Kapitel 9.7) weiterentwickelt. Die Farbdifferenzkorrekturformel CIE DE2000 (im Folgenden ΔE_{00}) verfolgt das Ziel eines visuell wahrnehmungsgetreuen Farbabstands.

2.3 DoD Tintendrucksysteme

Bei den Drop-On-Demand (DoD) Tintendrucksystemen wird Tinte durch Düsen auf das Substrat gebracht. Auf diesem entsteht durch die Positionierung von Druckpunkten ein Rasterbild, dessen Feinheit durch die Tröpfchengröße begrenzt ist. Diese Tröpfchen sind so klein, dass die Feinheit des Rasters unter dem Auflösungsvermögen des Auges liegt.¹ Es haben sich Druckwerke mit thermischen und piezoelektrischen Aktoren² etabliert.

¹ Vgl. Brümmer, H.; „Der Tinten(strahl)druck“, 23.10.2005, S. 2

² Aktor = elektromechanischer Wandler

Das Piezo-Jet-Verfahren wird heutzutage hauptsächlich von der Firma Epson eingesetzt. Die piezoelektrischen Aktoren erleiden durch einen elektrischen Spannungsimpuls eine Verformung, wodurch ein Druckimpuls im Tintenkanal erzeugt wird.³ Durch unterschiedliche Spannungsimpulse ist es möglich, die Druckpunktgröße zu steuern. Der Druckimpuls führt nach dem Ansaugen der Tinte durch Unterdruck zum anschließenden Ausstoßen eines Tropfens aus der Düse.

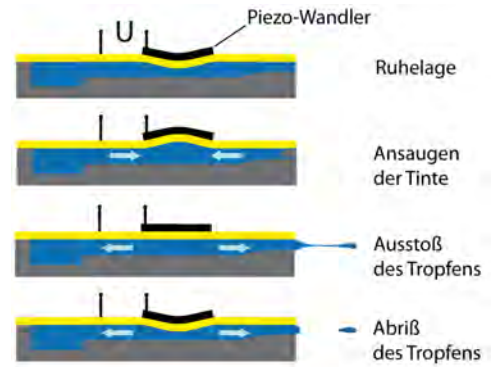


Abbildung 1: Vorgang beim Piezo-Jet Verfahren

Im Gegensatz dazu werden beim Bubble-Jet-Verfahren thermische Aktoren in Düsennähe erhitzt. Durch das Verdampfen von Tinte bildet sich eine Dampfblase. Die plötzliche Volumenvergrößerung bewirkt den Ausstoß eines Tropfens. Danach kondensiert das Gas wieder und saugt neue Tinte nach.⁴

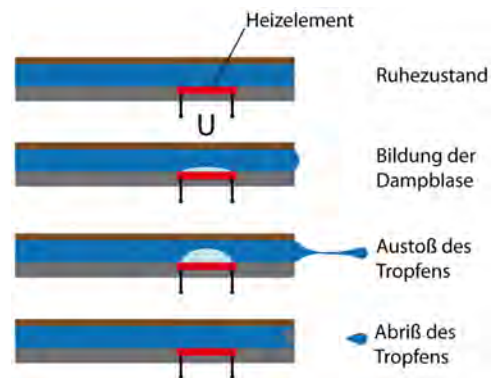


Abbildung 2: Vorgang beim Bubble-Jet-Verfahren

2.4 Ink-Jet-Tinten

Alle Ink-Jet Tinten ähneln sich in ihrer Zusammensetzung aus Farbmittel, Feuchthaltemittel, Konservierern, Bindemitteln, Tensiden, Lösemittel und Zusatzstoffen. Als Farbmittel werden Pigmente oder Farbstoffe eingesetzt. Pigmente sind „unlösliche anorganische oder organische Farbmittel, die im Gegensatz zu den Farbstoffen im Anwendungsmedium [bzw. der Trägerflüssigkeit] unlöslich sind“⁵ und daher als Dispersion vorliegen müssen.

Farbstofftinten (engl.: dye ink) werden wegen einer hohen Farbbrillanz eingesetzt, besitzen aber neben einem großen light fading durch die Einwirkung von Lichtenergie auch ein starkes Dunkelfading. Pigmenttinten sind aufgrund ihrer chemischen Struktur stabiler gegenüber Licht und werden unter anderem deshalb bevorzugt verwendet. Die Farbmittel von Farbstoff- und Pigmenttinten können sich mit Substituenten mit Hydroxy- (-OH) oder Aminogruppen (-NR₂) verbinden. Dies führt zu einer veränderten Umwandlung eingestrahelter Lichtenergie und somit zu der für das Farbmittel spezifischen, visuellen Farbwirkung.⁶

³ Brümmer, H.; „Der Tinten(strahl)druck“, 23.10.2005, S. 3

⁴ Vgl. s.o., S. 3

⁵ s.o., S. 5

⁶ Vgl. Gregory, P.; „Dyes Versus Pigments: The Truth“ in: IS&T Recent Progress in Ink Jet Technologies. Ed. Rezanka and Eschbach, Springfield, 1996, S. 276f

Pigmente sind ebene Moleküle mit Amid- ($-\text{CONHR}$) oder Carbonylgruppen ($\text{C}=\text{O}$), die hohe Bindungsenergien besitzen und dadurch zu einer stabilen, kristallinen Struktur führen (siehe Abbildung 3). Dies ist der Grund dafür, dass Pigmente unlöslich sind. Farbstofftinten besitzen dagegen eine nicht ebene Molekülstruktur und sind wegen niedriger Bindungsenergien nicht genauso stabil. Besonders die große Oberfläche der Farbstoffmoleküle kann von reaktiven Stoffen in der Umgebungsatmosphäre (z.B. UV-Strahlung oder Ozon) angegriffen werden. Bei Pigmenten können wegen der unterschiedlichen, räumlichen Oberflächenstruktur zum Vergleich nur 10% der Pigmentpartikel Photonen absorbieren. Darin liegen die höhere Farbbrillanz von Farbstofftinten und deren geringe Beständigkeit begründet (siehe Abbildung 5).⁷

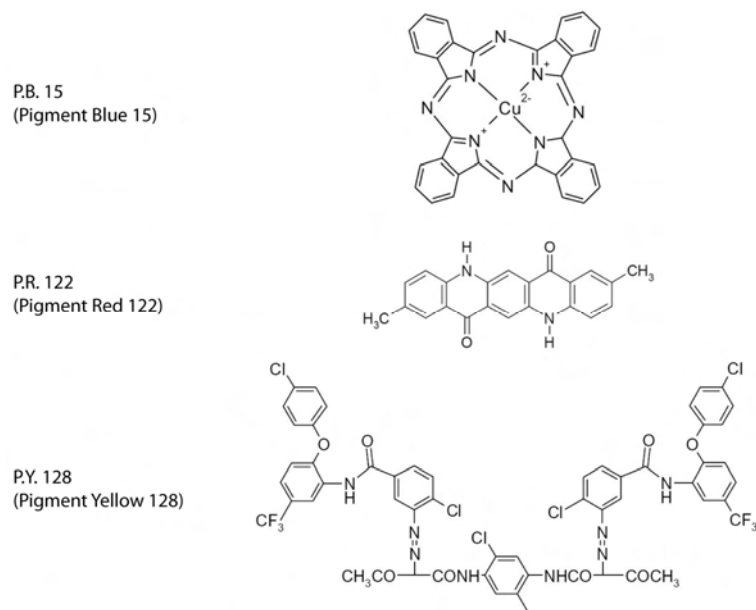


Abbildung 3: Strukturformeln eines Cyan, Magenta und Yellow Pigmentmoleküls (v.o.n.u.)⁸

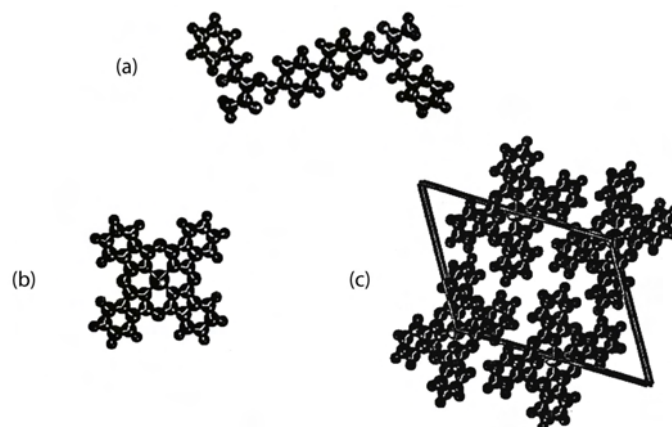


Abbildung 4: Molekülansicht eines Azofarbstoffes (a), eines Farbpigments (b) und eines Pigmentpartikels aus einer Vielzahl von Molekülen (c)⁹

⁷ Vgl. Gregory, P.; „Dyes Versus Pigments: The Truth“ in: IS&T Recent Progress in Ink Jet Technologies. Ed. Rezanka and Eschbach, Springfield, 1996, S. 276

⁸ Quelle: Biry, S.; Sieber, W.; „Organic Pigments for Ink Jet Applications: Key Properties and Impact on Ink Performance“ in: IS&Ts NIP20: 2004 International Conference on Digital Printing Technologies, S. 764

Die Pigmentpartikel sind mit bis zu weniger als 100nm ebenfalls wie die Farbstoffe viel kleiner als die kürzesten Wellenlängen des sichtbaren Lichtes (siehe Abbildung 5). Daher sind beide Farbmittel transparent. Abbildung 5 stellt noch einmal die verschiedenen Eigenschaften von Pigmenten und Farbstoffen hinsichtlich Farbmittelgröße, Lichtechtheit, Beständigkeit, Farbbrillanz und Farbumfang gegenüber.

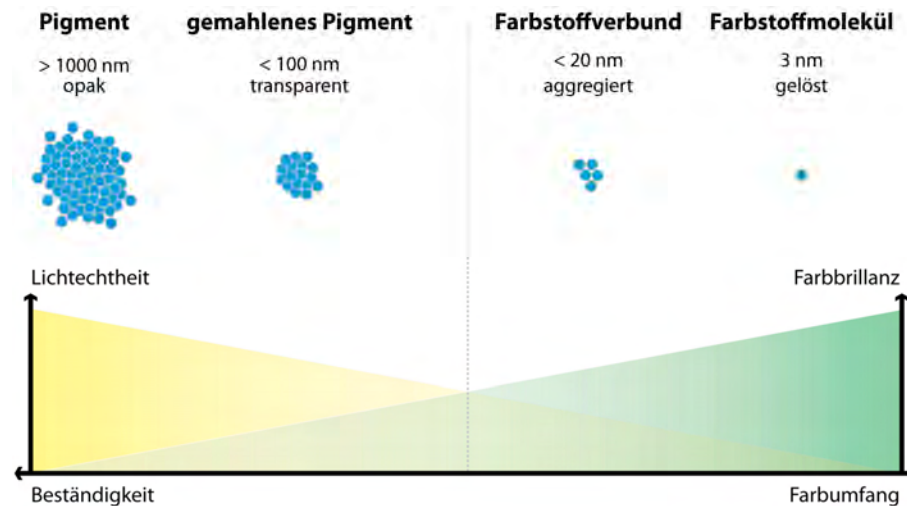


Abbildung 5: Eigenschaften der Farbwirkung von Farbmitteln in Abhängigkeit ihrer Größe¹⁰

Die Grundvoraussetzung für den Einsatz von Pigmenten ist eine möglichst kleine und homogene Pigmentgröße. Dabei geht es nicht primär, wie oftmals angenommen, darum, das Verstopfen der Druckerdüsen zu verhindern, sondern ähnliche Farbeigenschaften wie bei Farbstoffen zu erhalten. Um dies zu erreichen, gibt es unterschiedliche, verfahrenstechnische Möglichkeiten wie die Wachstumshemmung der Pigmentmoleküle bei der Synthese, das Mahlen oder „Kneten“ der Pigmente (milled pigments und kneading). Beim salt kneading werden die Pigmente z.B. durch Salzkristalle zerkleinert. Hilfsstoffe ermöglichen das Rekristallisieren der feinen, annähernd gleich großen Partikel zu Pigmenten (siehe Abbildung 6).¹¹ Die homogenen Pigmente können anschließend für Ink-Jet Tinten verwendet werden.

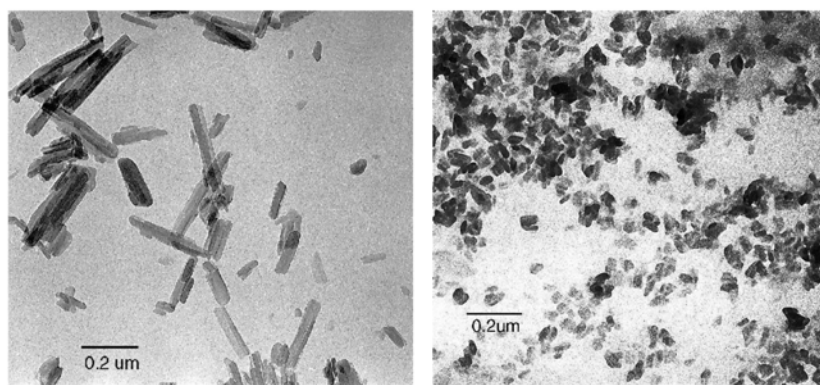


Abbildung 6: ERM-Aufnahme¹² eines Pigments vor und nach dem kneading (v.l.n.r.)

⁹ Quelle: Gregory, P., 1996, S. 276ff

¹⁰ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hofmann, R.; „Outdoor Colour: Status Quo and Requirements“; Fogra CMS Vortrag, 2008, Folie 11

¹¹ Vgl. Biry, S.; Sieber, W.; „Organic Pigments for Ink Jet Applications: Key Properties and Impact on Ink Performance“ in „IS&Ts NIP 20: 2004 International Conference on Digital Printing Technologies“, 2004, S. 763ff

¹² ERM = Elektronenrastermikroskop

Jedes Pigmentpartikel der neuen Tintengeneration ist von einer Kunstharzschicht ummantelt. Negative elektrostatische Ladungen, z.B. durch die Electrostatic Encapsulation Technology – EET von Hewlett Packard, in dieser Schicht erzeugen eine Abstoßungskraft zwischen den Partikeln (siehe Abbildung 7). Dies führt zu einer verbesserten Fließeigenschaft und verhindert das Verkleben im Drucker. Die Harze bilden zusätzlich eine glatte Oberfläche auf dem Substrat.

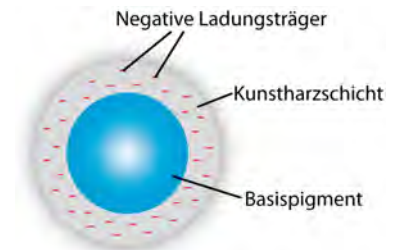


Abbildung 7: Ladungsverteilung der Harzummantelung von Pigmenten¹³

Pigmenttinten können nur auf Substraten mit bestimmten Oberflächenbeschichtungen verwendet werden (z.B. poröse oder mikroporöse Beschichtung). Für ein optimales Druckergebnis muss die Trägerflüssigkeit schnell abgeführt werden. Bedingt durch die Eigenschaften der Oberfläche schlägt diese nach der Übertragung der Tinte auf das Substrat schnell weg. Nach dem Druck sind mikroporös beschichtete Papiere dadurch sofort berührtrocken. Die vollständige Trocknung erfolgt durch Verdunstung der wässrigen Bestandteile der Tinte. Die Pigmente verbleiben auf der Oberfläche und besitzen daher keine hohe Abriebfestigkeit. Die Farbstofftinte diffundiert dagegen nach dem Druck und während der Trocknungsphase in die Substratbeschichtung. Nach der Trocknung sind die Farbstoffe in der Beschichtung eingeschlossen.

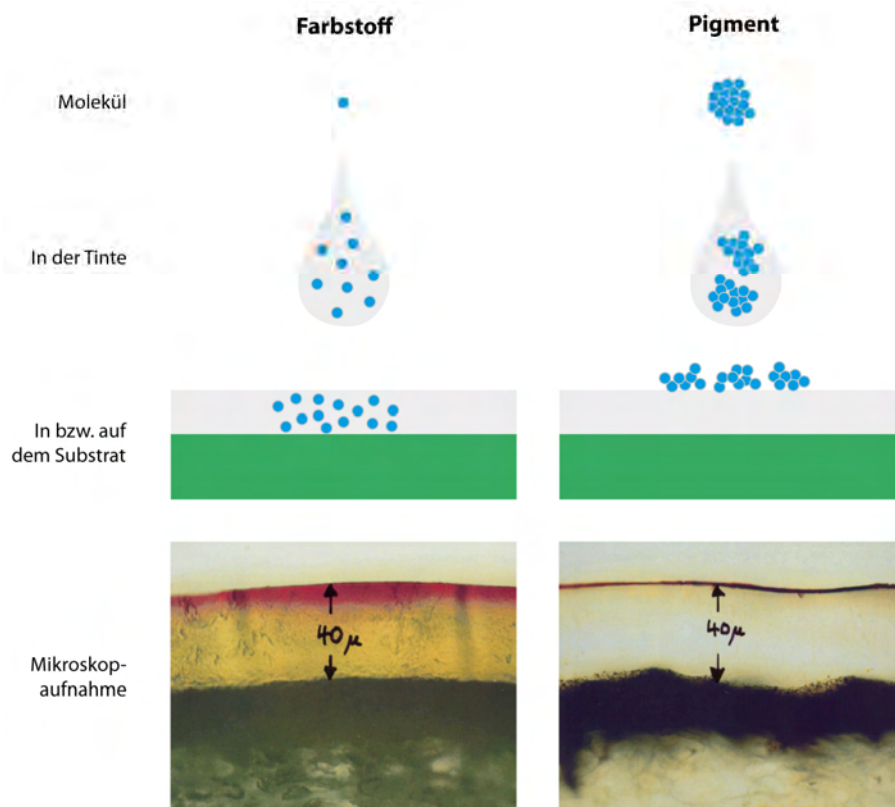


Abbildung 8: Schematische Gegenüberstellung der Farbmittel in drei Zuständen: Urzustand, in der Tinte und in/auf dem Substrat (zusätzlich als Mikroskopaufnahme)¹⁴

¹³ Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Hewlett-Packard Development Company; „TechNotable: HP 12-Tinten-Pigmentsystem mit Quad-Black-Tinten und Hochglanzverstärker“, 4AA0-6458ENW

¹⁴ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hofmann, R.; „Outdoor Colour: Status Quo and Requirements“; Fogra CMS Vortrag, 2008, Folie 12

2.5 Substratbeschichtungen

Folgende Beschichtungstypen werden unterschieden: poröse, mikroporöse, quellbare und gussgestrichene Beschichtungen. Diese Untersuchung beschränkt sich auf Substrate mit mikroporöser Beschichtung, da diese optimal auf Pigmenttinten abgestimmt sind. Nach Schätzung der Firma Tecco besitzen ca. 80% der Proofpapiere momentan diesen Beschichtungstyp. Die Firma Sihl bestätigt diese Tendenz. Der Papierhersteller Felix Schoeller z.B. stellt nur noch Proofsubstrate mit mikroporöser Oberflächenbeschichtung her. Wie bereits erwähnt wurde können Pigmenttinten nicht auf anderen Beschichtungstypen verwendet werden. Die Kombination mit z.B. quellbaren Beschichtungen liefert keine vergleichbaren Ergebnisse. Diese Beschichtung dehnt sich während des Quellprozesses durch die Aufnahme der Trägerflüssigkeit stark aus. Eine abgelagerte Pigmentschicht auf der Oberfläche wird durch die herrschende Spannung während des Quellungs- und Trocknungsprozesses quasi zerrissen. Nach der Trocknung ähnelt eine Farbfläche aus Pigmenten dem Boden eines ausgetrockneten Sees.

Substrate mit mikroporösen Beschichtungen bestehen hauptsächlich aus einem Trägerpapier, einer PE-Folie als wasserfeste Barriere und einer Beschichtungsmasse bzw. Papierstrichmischung. Diese besteht aus Kieselsäure (Silica), Bindemitteln und farbgebenden Substanzen wie z.B. optischen Aufhellern. Die Beschichtung kann man über die Auswahl der Kieselsäure und Zusätzen in ihrem Auflösungsverhalten und in ihrer Kapazität auf jede Anwendung einstellen.¹⁶ Es werden Partikelgrößen im Nanobereich eingesetzt, die unter dem Rasterelektronenmikroskop wie ein feiner Schwamm aussehen.¹⁷ Mikroporöse Substratbeschichtungen besitzen dadurch eine hohe Kapillarwirkung, die für das schnelle Wegschlagen der Trägerflüssigkeit verantwortlich ist. Es kommt zu einer mechanischen Verblockung der Pigmente auf der Substratoberfläche. Mikroporösen Schichten sind wegen ihrer großen Oberflächenstruktur empfindlicher gegen Ozon als andere Beschichtungstypen.¹⁸

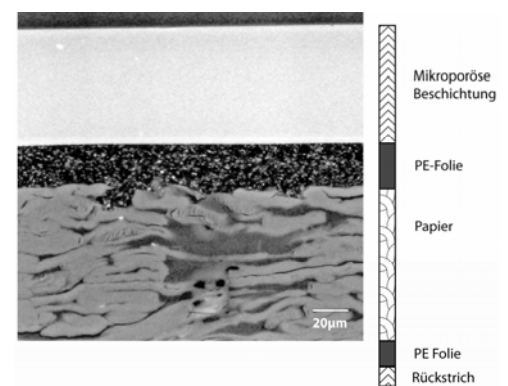


Abbildung 9: REM-Aufnahme Substratquerschnitt mit mikroporöser Beschichtung und schematische Darstellung der Schichten¹⁵

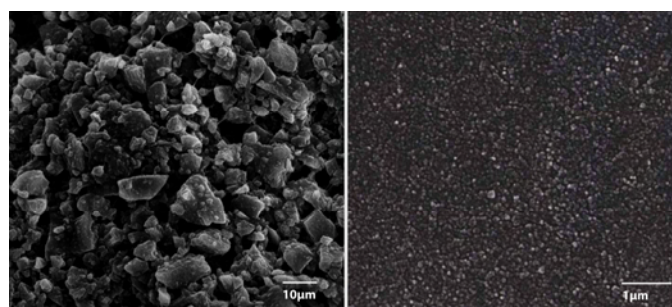


Abbildung 10: REM-Auflichtaufnahme poröse (links) und mikroporöse Beschichtung (rechts)¹⁹

¹⁵ Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Sihl GmbH

¹⁶ Vgl. Maeda, S. et al.: „Microporous Paper for Use in Digital Printing“ in: IS&Ts NIP 16: 2000 International Conference on Digital Printing Technologies“, 2000, S. 212; Vgl. Bruch, S.: „Die Beschichtungstechnik - Dreh- und Angelpunkt bei Inkjet Medien“ in: Sprint, Sihl Digital Imaging – Aktuelle Informationen, Ausgabe 7, 2007, S. 10

¹⁷ Vgl. Bruch, S.: „Papiere richtig beschichten“ Interview in: fine art printer, Ausgabe 2, 2007, S. 32

¹⁸ Vgl. Hofmann, R.: „Die Beständigkeit digitaler Druckmedien“, Rundbrief Photographie, Vol 14, Nr. 2, 2007, S. 5

¹⁹ Quelle: Sihl GmbH

2.6 Prüfmethoden zur Beständigkeit

Einige Firmen und Institute, wie Wilhelm Imaging Research, Inc. (USA) oder Image Engineering (Deutschland) führen Untersuchungen zur Haltbarkeit von fotografischen Erzeugnissen oder Tintenstrahlrucken durch. Durch Alterungstests soll die Dauer ermittelt werden, wie lange die Proben gegenüber Umwelteinflüssen stabil sind. In einer speziellen Testkammer werden die Proben Ozon, Luftfeuchtigkeit, Wärme und Licht ausgesetzt. Wird unter definierten Testbedingungen eine bestimmte Farbabweichung erreicht, fließt die Dauer bis zu diesem Zustand mit in eine Berechnungsformel ein. Als Parameter werden folgende, langjährige Durchschnittswerte herangezogen: 450 Lux für 12 Stunden/Tag, 40 ppmh Ozon, 50% relative Luftfeuchtigkeit und 23°C Temperatur.²⁰ Dies kommt bei dieser Untersuchung nicht zur Anwendung und es werden keine Hochrechnungen gemacht. Eine normgerechte Prüfung der Lichtechtheit wird ebenfalls nicht durchgeführt, da bewusst weder die Anforderungen an die Testcharts, den Druck der Proben oder die Umgebungsparameter während der Testphase erfüllt werden. Diese Untersuchung soll sich nur auf Bedingungen beziehen, die auch beim Anwender vorzufinden sind. Es gibt einige Normen für die Drucktechnik, die Rahmenbedingungen für die Haltbarkeit von Drucken oder Tests zur Feststellung dieser definieren. Die DIN 16525 Teil 1 bezieht sich nur auf ganz speziell hergestellte Normdruckproben, die Tageslicht ausgesetzt werden. Die DIN ISO 12040 beschreibt eine Prüfung von Drucken, die in einem beliebigen Druckverfahren auf einem beliebigen Bedruckstoff hergestellt worden sind. Allerdings wird kein Tageslicht, sondern eine künstliche Lichtquelle (gefiltertes Xenon-Bogenlicht) verwendet. Für diese Methode kann z.B. das Lichtechtheitsprüfgerät „Xenotest ALPHA HE“ der Firma Atlas GmbH verwendet werden.

Als Anhaltspunkt für die Einstufung der Veränderung von Proofsubstraten kann die ISO 12647 Teil 7 herangezogen werden. Darin wird festgelegt, dass keine Farbveränderung bei dunkler Lagerung größer als $\Delta E_{76} = 1,5$ auftreten sollte, wenn, wie bei dieser Untersuchung, das Proofsubstrat nicht dem Auflagenpapier entspricht. Diese Richtgröße gilt für die folgenden drei Bedingungen:

- 24 Stunden bei 25° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 25%
- 24 Stunden bei 40° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80%
- eine Woche bei 40° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 10%²¹

Für die Beurteilung bei Lichteinstrahlung wird die Wollskala herangezogen. Mit dieser wird die Lichtechtheit eines Druckes durch den Vergleich mit einer genormten Skala von acht blauen Typfärbungen auf Wollgewebe mit regelmäßig gestufter Lichtechtheit bewertet. Als Lichtechtheit des Druckes wird die Zahl angegeben, die einer der acht Typfärbungen entspricht. Die Stufe 1 entspricht der niedrigsten, die Stufe 8 der höchsten Lichtechtheit. Unter Einwirkung von Tageslicht, festgelegt in ISO 2835²², soll keine Veränderung größer als Stufe 3 auftreten. Dies entspricht ca. 300 Tagen Beleuchtung unter Bürobedingungen und damit mehr als der dreifachen Zeit dieser Untersuchung.²³ Bei Stufe 3 werden die Veränderungen als „deutlich“ eingestuft. Als Hilfsmittel dazu dient ein neutraler Graustufenkeil nach ISO 105 A02²⁴.

²⁰ Vgl. Hofmann, R.; „Die Beständigkeit digitaler Druckmedien“, Rundbrief Photographie, Vol 14, Nr. 2, 2007, S. 3

²¹ Vgl. Norm ISO/DIS 12647-7; „Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints - Part 7: Proofing processes working directly from digital data“, Draft Version vom 31.08.2007, S. 3

²² Bestimmung der Lichtechtheit unter Verwendung von Tageslicht

²³ Vgl. Norm ISO 12040, „Drucktechnik, Drucke und Druckfarben, Bestimmung der Lichtechtheit mit gefiltertem Xenon-Bogenlicht“, 1997, S.3

²⁴ Norm ISO 105; „Textiles -- Tests for colour fastness -- Part A02: Grey scale for assessing change in colour“, 1993

3. Ablauf der Untersuchung

Eine Untersuchung zum Fading-Verhalten von Digitalproofs ist nur dann von Nutzen, wenn sie eine realitätsnahe Aussagekraft aufweist. Daher wurde im Rahmen der durchgeführten Versuchsreihe eine Auswahl an Proofsystemen verwendet, die in ähnlicher Konfiguration bei zahlreichen Anwendern in Betrieb sind. Die mit den Proofsystemen erstellten Drucke wurden nach ausreichender Trocknung zur Referenzbildung vermessen und anschließend über einen längeren Zeitraum an verschiedenen Orten gelagert. Die Lagerungsorte wurden nach den dort herrschenden Umweltparametern gewählt, wie sie auch bei Anwendern vorherrschen. Das Motiv der Proofs ist eine Auswahl von Testcharts, die es ermöglichen sollen, Farbveränderungen festzustellen und farbmetrisch zu quantifizieren. Darüber hinaus sollen aus Fading resultierende Garmutveränderungen untersucht werden. Die Messungen fanden in regelmäßigen Abständen statt. Den Ablauf der Untersuchung stellt die folgende Abbildung dar.

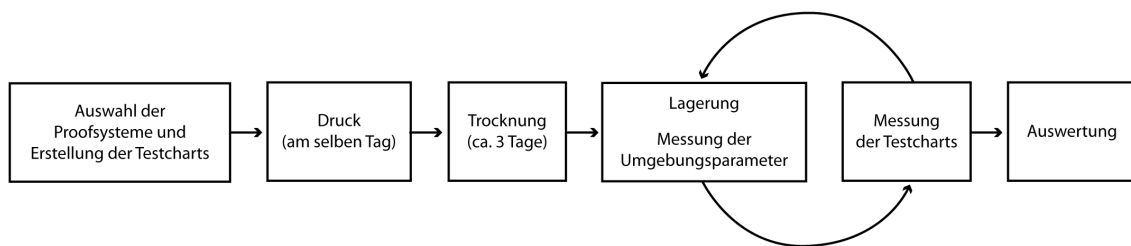


Abbildung 11: Diagramm Versuchsablauf

3.1 Verwendete Proofsysteme

Für die Untersuchung wurden Proofdrucker der Firmen Canon, Epson und Hewlett Packard (im Folgenden HP) ausgewählt, da diese im Bereich der digitalen Druckvorstufe eine große Marktdurchdringung haben. Die Hersteller selbst haben nach Kontaktaufnahme eine Empfehlung für ein Proofsystem ausgesprochen, wie sie es zum aktuellen Zeitpunkt für ihre Kunden konfigurieren würden. Dieses beinhaltet jeweils herstellereigene Tinten und Substrate.

Die Untersuchung wurde mit Unterstützung der Firma EFI (Electronics for Imaging) in Ratingen durchgeführt, die ihr Prooflabor für die Erstellung der Testcharts zur Verfügung gestellt hat. Für den herstellerübergreifenden Test wurde auf allen Proofs ebenfalls ein Substrat von EFI getestet. Für die Ausgabe aller Drucke wurde die Software EFI ColorProof™ XF (im Folgenden XF) benutzt.

Insgesamt wurden sechs Proofsysteme untersucht, deren Komponenten in Tabelle 1 aufgelistet werden. Die verwendeten Abkürzungen der Systeme ergeben sich aus den Anfangsbuchstaben der Drucker und Substrate. Sie werden auf den Versuchsproben notiert und bei der Auswertung verwendet.

Nr.	Abkürzung	Drucker und Tinte	Substrat	Software
1	CC	Canon	Canon	EFI
2	CEF	Canon	EFI	EFI
3	EE	Epson	Epson	EFI
4	EEF	Epson	EFI	EFI
5	HH	Hewlett Packard	Hewlett Packard	EFI
6	HEF	Hewlett Packard	EFI	EFI

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Proofsysteme

Die folgenden Tabellen 2 und 3 stellen die Parameter der Drucker und Materialien gegenüber. Jeder der drei eingesetzten Proofdrucker arbeitet mit einer unterschiedlichen Anzahl von Farbkanälen. Alle Systeme verwenden zusätzlich zu den üblichen Primärfarben auch Lighttinten, um besonders helle Bereiche und Verläufe besser darstellen zu können. Der Proofer von Canon besitzt zusätzlich rote, grüne und blaue Tinte. Besonders interessant ist es, ob diese in einem anderen Maß durch Fading beeinflusst werden als das bei den klassischen CMYK-Tinten der Fall ist und wie der durch die RGB-Tinten angestrebte, größere Gamut dadurch beeinflusst wird.

Die Substrate wurden ausschließlich als Rollenware verarbeitet. Es hat kein Wechsel der Substrat- oder Tintenchargen stattgefunden.

Proofdrucker	Verfahren	Tinte	Farbkanäle	Verwendete Auflösung	Software + RIP
Canon imagePROGRAF 5100 	Bubble-Jet	LUCIA II	Cyan, Light Cyan, Magenta, Light Magenta, Yellow, Rot, Grün, Blau, Grau, Hellgrau, Schwarz (Anzahl: 11)	2400 x 1200 dpi	EFI Colorproof™ XF
Epson Stylus Pro 7880 	Piezo-Jet	Ultra Chrome K3	Cyan, Light Cyan, Magenta, Light Magenta, Yellow, Grau, Hellgrau, Fotoschwarz (Anzahl: 8)	1440 x 720 dpi	EFI Colorproof™ XF
HP Designjet Z2100 	Bubble-Jet	Vivera	Cyan, Light Cyan, Magenta, Light Magenta, Yellow, Hellgrau, Fotoschwarz (Anzahl: 7)	1200 x 1200 dpi	EFI Colorproof™ XF

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Proofdrucker, Tinten und der Software²⁵

Substrat	Gewicht	Stärke	Oberflächenbeschichtung	Weißpunkt (Herstellerangabe) ²⁶	Weißpunkt (eigene Messung) ²⁷
Canon Semi-Glossy Proof (P2209B001)	195 g/m ² ± 5	190 µm ± 10	mikroporös	L* = 94,90 a* = 0,15 b* = -4,05	L* = 95,40 a* = -0,80 b* = -2,40
EFI CertProof Paper 6225XF Semimatt (Q1968A)	225 g/m ²	260 µm	mikroporös	L* = 96,00 a* = 0,00 b* = -1,80	L* = 96,00 a* = 0,54 b* = -0,25
Epson Standard Proofing Paper (C13S045007)	205 g/m ² ± 15	194 µm ± 15	mikroporös	L* = 95,00 a* = 0,00 b* = -2,00	L* = 94,70 a* = -0,65 b* = -1,54
HP Premium Instant-dry Photo Satin Semi-Gloss (Q7992A)	260 g/m ²	260 µm	mikroporös	L* = 92,00 a* = 0,00 b* = 0,00	L* = 95,30 a* = -0,90 b* = -2,20

Tabelle 3: Verwendete Substrate im Überblick

²⁵ Quelle der Geräteabbildungen: Canon, Epson, Hewlett Packard

²⁶ Keine Auskunft auf Anfrage möglich, Epson: X-Rite 938, D65/10°

²⁷ Gemessen mit i1Pro UV-Cut, D50/2° (siehe Kapitel 3.5)

3.2 Testcharts

Für die Erstellung der Testcharts wurde in XF ein Workflow eingerichtet und konfiguriert, um die drei Proofdrucker anzusteuern. Alle Funktionen für das Farbmanagement wurden deaktiviert, um den Urzustand der Drucker überprüfen zu können. Für die verwendeten Proofsysteme wurde, falls nicht vorhanden, ein ICC-Profil erstellt, das die farblichen Eigenschaften der spezifischen Kombination von Proofdrucker, Substrat und Tinte beschreibt. Im Vorfeld wurde eine Grundlinearisierung jedes Proofsystems, sofern noch nicht vorhanden, durchgeführt. Dadurch erreicht man eine lineare Abbildungseigenschaft der Eingabedaten und die gleichmäßige Abstufung der Zwischenwerte. Die ICC-Profilerstellung wird dadurch optimiert. In mehreren Schritten wurden Messcharts ausgegeben und vermessen. Dies umfasst die Bestimmungen des Total Ink Limits (maximale Tintenauftragsmenge und Ermittlung des dunkelsten Punktes) und die Kanaltintenbegrenzung von 0-100% bei einer Gesamttintenbegrenzung von 300%. Nach der Linearisierung wurde eine EPL-Datei erzeugt, die alle Linearisierungsinformationen enthält. Mit diesen wurde ein IT8.7/4 Testchart (siehe unten) gedruckt und für die Erstellung eines ICC-Profiles vermessen. Jeder Druck wurde ohne Wechsel der Tinten- oder Papiercharge und in vierfacher Ausfertigung für die unterschiedlichen Lagerungsorte erstellt. Nach dem Druck wurden die Proofs markiert und nach einer Trocknungszeit von ca. 25 Minuten lichtdicht für den Transport verpackt.

3.2.1 Gamut und Weißpunkt

Teil 2 der ISO 12642 definiert Farbwerte, die dazu benutzt werden können, den Vierfarbdruck zu charakterisieren. Das IT8.7/4-Testchart besteht aus 1617 Messfeldern mit den CMYK-Farbwerten aus der ISO-Norm. Es gibt zwei Standardlayouts (random und visual), aber keine festgelegte Definition über die Größe oder Anordnung der Messfelder. Auf den Proofdruckern wurden für jedes Proofsystem vier IT8.7/4-Testcharts ohne Farbmanagement für die Lagerungsorte erstellt. Dafür wurde eine zweiteilige Version des Testcharts von EFI verwendet, die mittels Streifenmessung auf dem iliO-Scantisch vermessen werden kann. Über den Color Manager in XF wurden bei der ersten und letzten Messung über die Funktion „Referenzprofil“ aus den gewonnenen Messwerten ebenfalls ICC-Profile generiert.



Abbildung 12: IT8.7/4, zweiteilig für die Messung mit dem iliO Messgerät²⁸

²⁸ Quelle: EFI ColorProof, 2008

3.2.2 Druckerkanäle

Neben einer möglichen Gamutveränderung soll das Fading-Verhalten der einzelnen Tinten bzw. Druckerkanäle in Wechselwirkung mit dem Substrat untersucht werden. Dazu wird für jeden Druckerkanal ein Stufenkeil ausgegeben.

Die Testcharts wurden in Adobe InDesign CS3 im CMYK-Farbmodus angelegt. Jeder Stufenkeil enthält sieben Farbfelder der Tonwerte 5%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80 und 100% mit der Kennzeichnung A bis G. Der Lichterbereich wurde mit einem 5%-Tonwert etwas detaillierter untersucht. Ein Feld mit 0% (nur Substrat) wurde nicht mit in den Messkeil integriert. Eine Veränderung des Substrats wurde über den Weißpunkt der erstellten ICC-Profile überprüft. Die Farbfelder des Stufenkeils wurden entsprechend ihres Tonwertes gefüllt und durch eine schwarze, cyan- oder papierfarbene Linie mit einer Breite von 1mm voneinander getrennt. Das verwendete Messgerät erkennt dadurch die Begrenzung eines Feldes. Das Testchart enthält unterhalb der Stufenkeile zusätzlich einen Bereich für die Kennzeichnung des Drucksystems und des Lagerungsortes.

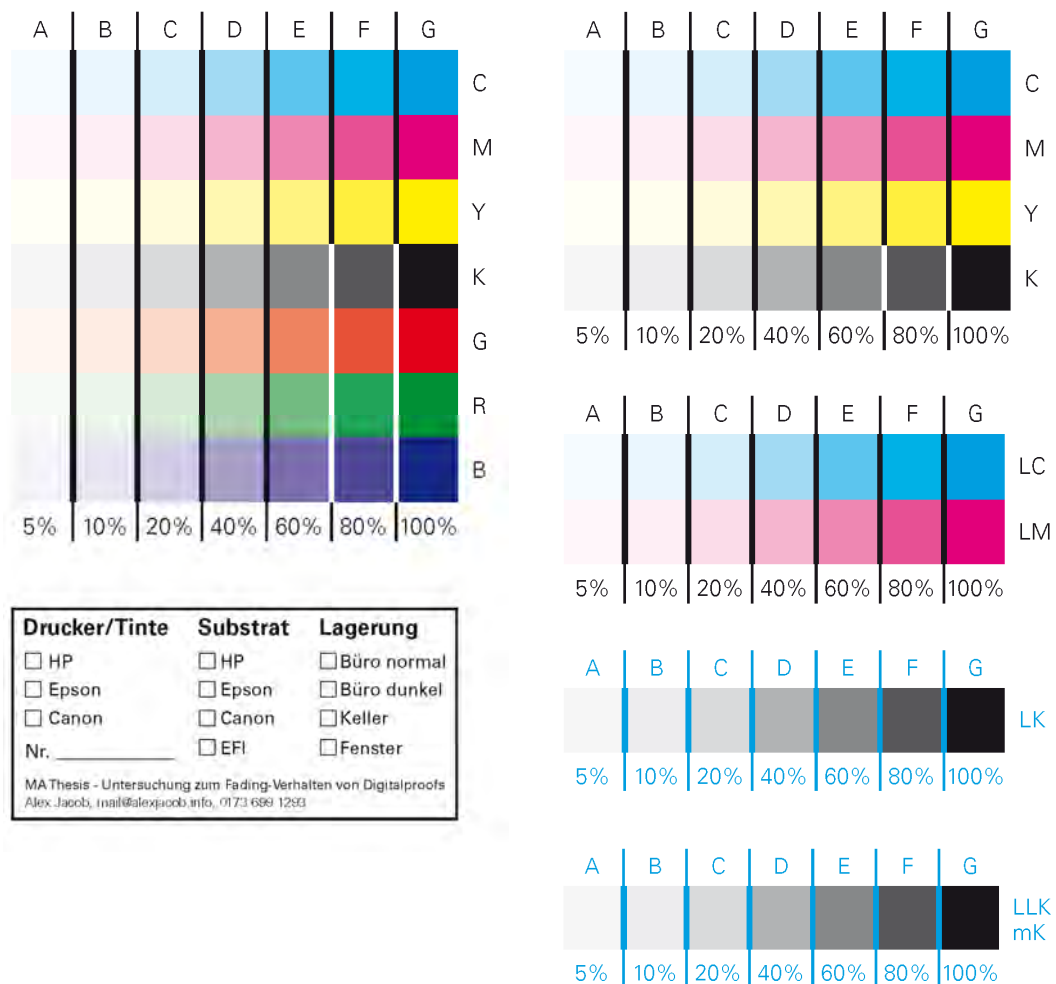


Abbildung 13: Testcharts und Beschriftungsbereich

Die Grundlage für den Druck der Testcharts sind von EFI selbst programmierte Druckertreiber, mit denen jeder Druckerkanal gezielt angesteuert werden kann. Bei der Verwendung der Herstellertreiber ist dies nicht möglich, da man keinen Einfluss auf die interne Verarbeitung der Farbinformationen hat. Norm- und Lighttinten werden beim Druck miteinander kombiniert, um ein optimales Reproduktionsergebnis zu liefern (siehe Abbildung 14).

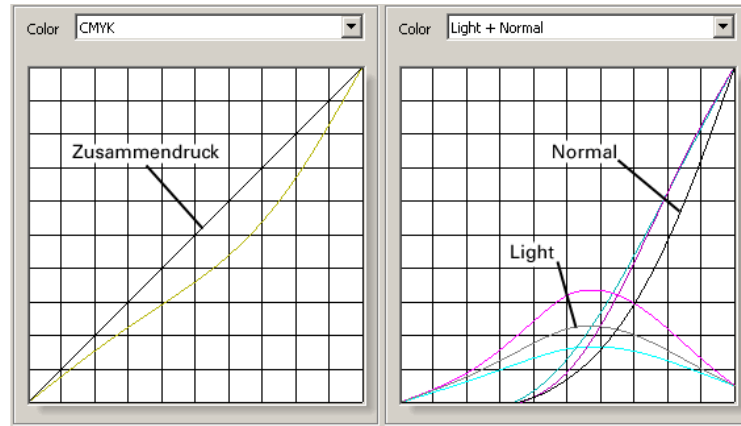


Abbildung 14: Darstellung der Tintenkurven eines linearisierten Proofsystems

Bei der Erstellung der Testcharts konnte nicht festgelegt werden, dass ein Stufenkeil nur mit Normal- oder Lighttinte gedruckt werden soll. Die Stufenkeile können daher nicht gleichzeitig in einem großen Testchart gedruckt werden, sondern müssen nacheinander in bestimmten Zusammenstellungen ausgegeben werden (siehe Tabelle 4).

Canon (CMYKRGBCmkk)	Epson (CMYKcmkk)	HP (CMYKcmk)
Chart 1: CMYKRGB	Chart 1: CMYK	Chart 1: CMYK
Chart 2: C-Light, M-Light	Chart 2: C-Light, M-Light	Chart 2: C-Light, M-Light
Chart 3: K-Light	Chart 3: K-Light	Chart 3: K-Light
Chart 4: K-Medium	Chart 4: K-Light-Light	
Zur Vereinfachung gilt im Folgenden: C-Light = LC, M-Light = LM, K-Light = LK, K-Medium = mK, K-Light-Light = LLK		

Tabelle 4: Auflistung der unterschiedlichen Testcharts pro Drucker

Für jedes Proofsystem und Testchart wurde eine Kopie der entsprechenden Grundlinearisierungsdatei verwendet und mit der EFI-Software EPL-View manipuliert. Dadurch sollen mit den Druckerkanälen bestimmte Abbildungseigenschaften erzwungen werden, die u.a. den Zusammendruck von Normal- und Lighttinten ausschließen. Für die Kanäle, die gedruckt werden sollten, wurde die Tintenkurve auf eine Gerade im 45 Grad Winkel gesetzt. Für die Kanäle, die nicht gedruckt werden sollten, wurden die Tintenkurven vollständig auf null gestellt. Die Ausgabe der Light-Schwarz-Tinten (mK, LK, LLK) machte es erforderlich, zusätzlich Cyan zur Beschriftung und für die Trennstriche zwischen den Messfeldern zu verwenden, da kein normales Schwarz verwendet werden kann. Dieses würde ansonsten zusammen mit der Lighttinte gedruckt werden.

3.3 Lagerung der Versuchsproben

Die Lagerung der Versuchsproben fand am Campus Freudenberg, Wuppertal statt. Alle Proben wurden im selben Gebäude, aber in unterschiedlichen Räumen aufbewahrt. Diese wurden nach den dort herrschenden und einwirkenden Umweltbedingungen und -einflüssen ausgewählt, mit dem Ziel möglichst praxisnahe Testumgebungen zu erhalten. Mit einem Datenlogger wurden die Umwelteinflüsse über den Versuchszeitraum protokolliert. Die Messungen an den Lagerungsorten **Büro normal** und **Fenster** wurden bewusst hinter Fensterglas durchgeführt, um eine praxisgerechte Ausgangssituationen nachzustellen. Fensterglas wird üblicherweise aus Quarzsand gefertigt und absorbiert durch dessen Materialeigenschaften einen Großteil der UV-Strahlung. Aus den gewonnenen Werten des Datenloggers werden zur Visualisierung Diagramme erstellt. Darin werden die Tagesdurchschnittswerte des gesamten Untersuchungszeitraums von Beleuchtungsstärke, Bestrahlungsstärke im UV-Bereich, Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit in einer Tagesansicht visualisiert.

Mit **Büroatmosphäre** wurde für diese Arbeit eine Umgebungsbedingung definiert, wie sie in einem 20m² großen Büro bei regelmäßigen Arbeitszeiten (5 Tage/Woche und ca. 40 Stunden Wochenarbeitszeit) einer Person herrscht. Die herrschende Beleuchtungsstärke entspricht der Richtlinie von mindestens 500 Lux eines Büroarbeitsplatzes²⁹.

Mit dem i1Pro wurde eine Lichtmessung der Umgebungsbeleuchtung durchgeführt (nähere Informationen siehe Kapitel 8), um eine ungefähre Aussage über die spektrale Verteilung der Lichtquellen an den Lagerungsorten **Fenster** und **Büro normal** treffen zu können. Dazu wurde der Messkopf für Umgebungslicht (Ambient Light Head) für das Messgerät und die Software iShare von X-Rite verwendet. Leider misst das i1Pro für diese Lichtmessung nicht im UV-Bereich, über dessen spektrale Beleuchtungsstärke damit keine Aussage gemacht werden kann. Die dargestellten Werte repräsentieren nicht die tatsächliche, durchschnittliche Strahlungsverteilung der Lichtquelle, sondern sind nur eine Momentaufnahme. Es wurde jeweils eine Messreihe aus 25 Wiederholmessungen an den gleichen Orten bei bewölktem und klarem, sonnigen Himmel gemacht, die anschließend gemittelt wurden.

²⁹ EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“; Deutsche Fassung, 2002, S. 10

3.3.1 Keller

Eine Voraussetzung für die Lagerungsbedingung **Keller** war, dass die Proofs im Dunkeln und bei konstanten Klimabedingungen in einem Kellerraum aufbewahrt werden. Im Vergleich zu den anderen Lagerungsorten werden die geringsten Veränderungen erwartet. Die Lufttemperatur betrug im Schnitt 22°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 63%.

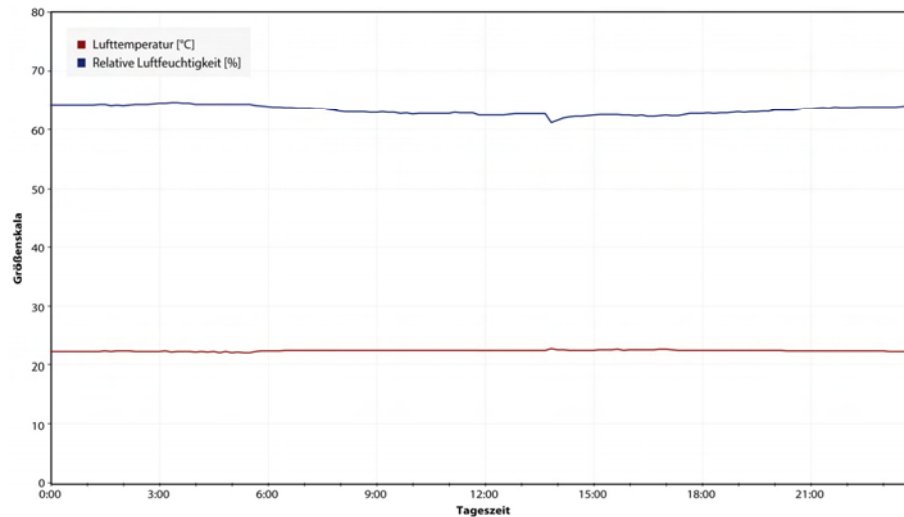


Abbildung 15: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Keller

3.3.2 Büro normal

Bei Lagerungsbedingung **Büro normal** wurden die Proben in einem Raum (Ostseite, 2. Stock) bei Büroatmosphäre gelagert und waren der Umgebungsbeleuchtung ausgesetzt. Dazu wurden sie auf einem Tisch so ausgebreitet, dass sie gleichmäßig beleuchtet werden konnten. Die Lichtquelle bestand zum einen aus natürlichem Tageslicht, das durch Fensterglas eingestrahlt wurde und zum anderen aus einer künstlichen Lichtquelle. Das Fenster war teilweise bedeckt, damit die Proben nicht dauerhaft mit Sonnenlicht bestrahlt werden konnten. Die auf die Proben einwirkenden Umweltfaktoren wurden mit einem Datenlogger protokolliert.



Abbildung 16: Lagerungsbedingung Büro normal

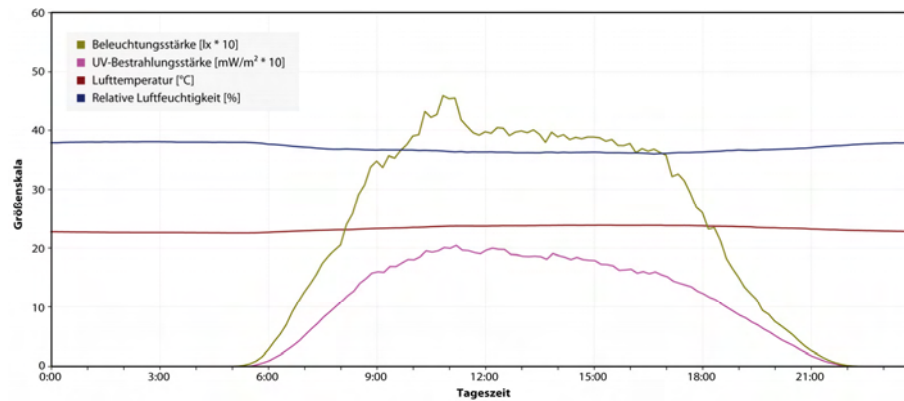


Abbildung 17: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Büro normal

Die Lufttemperatur betrug im Mittel 23°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 37%. Mit einem Anstieg bzw. Sinken der Lufttemperatur veränderte sich die relative Luftfeuchtigkeit genau umgekehrt. Zwischen 5.00 und 22.00 Uhr stieg die gemessene Beleuchtungsstärke auf bis zu 460 Lux, liegt im Mittel bei ca. 270 Lux. Die Bestrahlungsstärke im UV-Bereich betrug im Mittel ca. 170 mW/m^2 mit einem Höchstwert von ca. 200 mW/m^2 . In der restlichen Zeit wurde keine messbare Lichteinstrahlung aufgezeichnet.

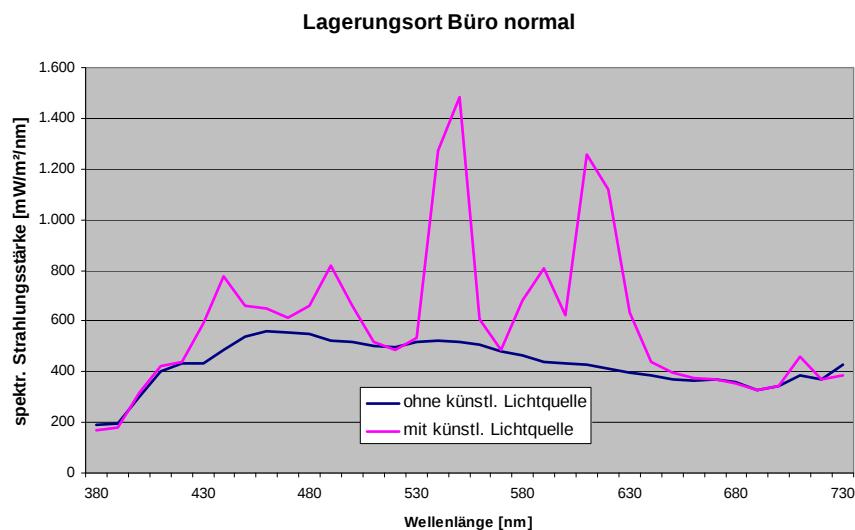


Abbildung 18: spektrale Verteilung des Lichtes in der Büroatmosphäre

Am Lagerungsort **Büro normal** wurde die Messung der Lichtquelle an der gleichen Stelle durchgeführt, an der sich auch der Datenlogger befunden hat. Die spektrale Verteilung ohne künstliche Lichtquelle ähnelte der am Lagerungsort **Fenster**, war aber deutlich abgeschwächt und um ca. das 25 fache niedriger (siehe Kapitel 3.3.4). Bei eingeschalteter künstlicher Lichtquelle zeigte sich eine höhere spektrale Beleuchtungsstärke an einigen Bereichen des Spektrums (z.B. bei 550 oder 610 nm).

3.3.3 Büro dunkel

Die Proben der Lagerungsbedingung **Büro dunkel** befanden sich im selben Büro wie die Proben der Bedingung **Büro normal**, wurden aber im Dunkeln gelagert. Es war besonders interessant, ob messbare Veränderungen ähnlich groß sind wie die der im Keller lagernden Proben oder davon stark abweichen.

3.3.4 Fenster

Für Lagerungsbedingung **Fenster** wurden die Proben hinter einer Fensterscheibe (Westseite, 2. Stock, siehe Abbildung 19) befestigt. Die Proben hatten keinen direkten Kontakt mit dem Fensterglas, damit sie sich nicht dadurch zusätzlich erhitzen konnten. Sie wurden dem gesamten Tageslicht und der damit im Vergleich zu den restlichen Lagerungsorten höchsten Beleuchtungsstärke ausgesetzt. Für die Auswertung wurden bei diesen Proben die größten Farbveränderungen erwartet.



Abbildung 19: Lagerungsbedingung Fenster

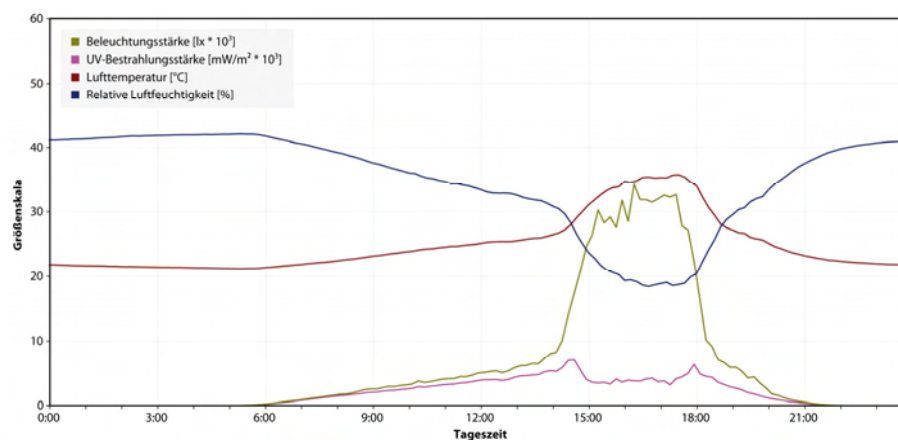


Abbildung 20: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Fenster

Die Lufttemperatur lag von 21.30 bis 5.30 Uhr bei ca. 22° C und stieg dazwischen auf Werte bis zu 35° C. Die Veränderung der relativen Luftfeuchtigkeit verhielt sich umgekehrt dazu und sank zwischen 5.30 und 21.30 Uhr von durchschnittlich 40% auf Werte bis zu 19%. Im Zeitraum von 5.30 und 14.00 Uhr erhöhte sich die Beleuchtungsstärke von null auf ca. 8.000 Lux. Zwischen 14.00 und 18.00 Uhr stieg sie sprunghaft auf Werte um 30.000 Lux an. Nach 18.00 Uhr sanken die Werte bis 21.30 Uhr wieder gegen null. Im Mittel lag die Beleuchtungsstärke im Bestrahlungszeitraum bei ca. 7.800 Lux. Die UV-Gesamtbelastung stieg zwischen 5.30 und 21.30 Uhr auf bis zu 7.300 mW/m², lag aber im Mittel bei ca. 2.500 mW/m². Zwischen 21.30 und 5.30 Uhr wurde keine messbare Lichteinstrahlung aufgezeichnet.

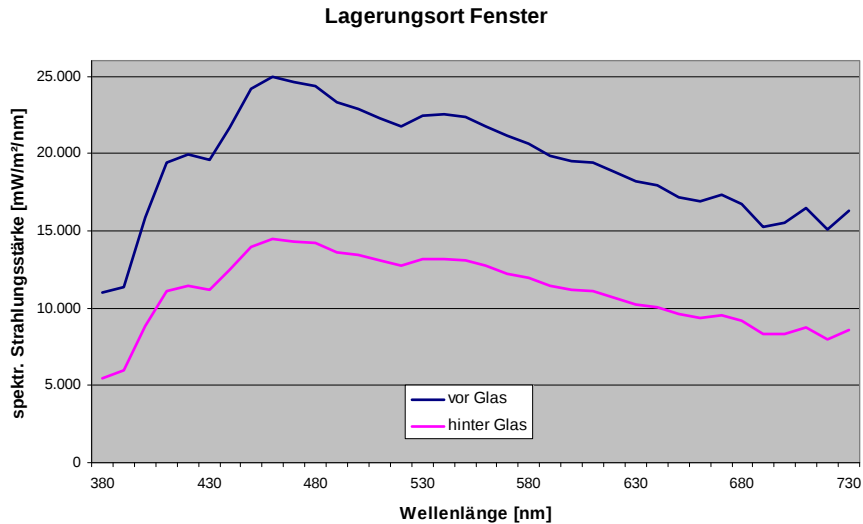


Abbildung 21: spektrale Verteilung des Lichtes in der Büroatmosphäre

Die Darstellung der Messwerte aus der Lichtmessung der Umgebungsbeleuchtung am Lagerungsort **Fenster** zeigt, dass die spektrale Beleuchtungsstärke hinter Fensterglas die gleiche Charakteristik besitzt wie vor dem Fenster, allerdings um ca. 50% niedriger ist. Im Bereich von 430 bis 590 nm ist die spektrale Beleuchtungsstärke am höchsten.

3.3.5 Gegenüberstellung der Lagerungsorte

Die folgende Tabelle zeigt die gemessenen Umweltbedingungen der einzelnen Lagerungsorte noch einmal zusammengefasst in einer Übersicht. Die farbigen Kreise bewerten die herrschenden Bedingungen im Vergleich zu denen am Lagerungsort **Büro normal**, die als Bezug festgelegt werden (rot = höher, grün = gleich bzw. ähnlich, orange = niedriger). Für die Gewichtung der Lagerungsorte ist zu beachten, dass die spektrale Bestrahlungsstärke im sichtbaren Bereich am Lagerungsort **Fenster** ca. zehnmal höher ist als am Lagerungsort **Büro**.

Lagerungsort	Lichtbestrahlung		Lufttemperatur (im Mittel)		rel. Luftfeuchtigkeit (im Mittel)	
Keller	keine		22° C		63 %	
Büro dunkel	keine		23° C		37 %	
Büro normal	Dauer:	ca. 16 Stunden	23° C		37 %	
	Sichtbarer Bereich:	Maximum 460 Lux Mittelwert 270 Lux				
	UV-Bereich:	Maximum 200 mW/m² Mittelwert 170 mW/m²				
Fenster	Dauer:	ca. 16 Stunden	22-35° C		19-40 %	
	Sichtbarer Bereich:	Maximum 30.000 Lux Mittelwert 7.800 Lux				
	UV-Bereich:	Maximum 7.000 mW/m² Mittelwert 2.500 mW/m²				

Tabelle 5: Umweltbedingungen an den Lagerungsorten

3.4 Messen der Umgebungsparameter

Bei der Lagerung der Proben wurden drei der vier relevanten Umweltfaktoren Licht, Luft, Temperatur und Luftfeuchtigkeit messtechnisch erfasst.

3.4.1 Luft

Die Umgebungsluft mit dem als kritisch geltenden Bestandteil Ozon konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden, da entsprechende Messgeräte sehr teuer sind und auf Anfrage bei diversen Herstellern und Händlern nicht ausgeliehen oder zur Verfügung gestellt werden konnten. Die Ozonkonzentration innerhalb von Gebäuden beträgt nur ca. 10-30% der Konzentration außerhalb des Gebäudes. In stark belüfteten Gebäuden ist die Zersetzung durch Luftschadstoffe für manche Materialien stärkerer als die Zersetzung durch Licht.³⁰ Ozonquellen innerhalb geschlossener Räume können Kopierer oder Laserdrucker mit einer hohen Laufzeit sein. Allerdings baut sich Ozon in Innenräumen mit einer Halbwertszeit von ca. 30 Minuten relativ schnell ab.³¹

3.4.2 Luftfeuchtigkeit und Temperatur

Der Faktor Luftfeuchtigkeit spielt in unseren Breiten keine entscheidende Rolle für die Haltbarkeit von Bildmaterialien. Probleme mit der Haltbarkeit treten überwiegend unter tropischen Klimabedingungen auf. Eine hohe Luftfeuchte kann die chemischen Reaktionen, die durch Ozon verursacht werden und zwischen den verwendeten Materialien ablaufen oder durch andere Gase in der Umgebungsatmosphäre angeregt werden, verstärken. Analog dazu verhalten sich die Auswirkungen durch eine hohe Lufttemperatur. Bei zu starker Erhitzung ist es meist die Veränderung des Papierweißes, die sich bemerkbar macht. Erst in zweiter Linie wird die Zerstörung der Farbstoffe begünstigt.³²

3.4.3 Licht

Der Umweltfaktor Licht wird als besonders kritisch und ausschlaggebend für eine Farbveränderung angesehen und daher genauer untersucht. Zur Beurteilung, wie energiereich Lichtstrahlung ist, wird die spektrale Bestrahlungsstärke verwendet. Die Werte werden in der Strahlungsleistung in mW, die in der betrachteten Wellenlänge auf ein Quadratmeter Fläche einfällt, angegeben [$\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$]. Von Relevanz für die Haltbarkeit von Bildmaterialien ist dabei vor allem die Strahlung im UV-Bereich (300-400 nm) und sichtbaren Spektrum (400-700 nm). Die Beleuchtungsstärke ist die kumulierte Bestrahlungsstärke ausschließlich im sichtbaren Spektrum des Lichts und wird in der Einheit Lux gemessen. Messgeräte für die Beleuchtungsstärke (Luxmeter) sind mit speziellen Photozellen ausgestattet, die eine ähnliche spektrale Hellempfindlichkeit besitzen wie das menschliche Auge. Daher lässt sich mit einem Luxmeter nicht die gesamte energetische Zusammensetzung der Strahlungsleistung messen, sondern nur der für die menschliche Wahrnehmung relevante Anteil. Dies ist ein fundamentaler Unterschied. Die meisten Bildmaterialien werden stärker von ultravioletter Licht angegriffen, das für Menschen unsichtbar ist und somit keinen Beitrag zur Beleuchtungsstärke leistet.³³ Dies liegt daran, dass „die Wahrscheinlichkeit bzw. Effektivität

³⁰ Vgl. Hofmann, R.; Reber, J.; „Correlation of ozone test chamber data with real life permanence of inkjet prints“, 22nd International Conference on Digital Printing Technologies Final Programm and Proceeding, IS&T, 2006, S. 234

³¹ Vgl. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Hg.); „Innenraum-Arbeitsplätze - Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“, 2001, S. 119

³² Vgl. Wüller, D.; „Wie lange hält ein Foto?“ in: fine art printer, Ausgabe 4, 2007, S. 50

³³ Vgl. Hofmann, R.; „Die Beständigkeit digitaler Druckmedien“, Rundbrief Photographie, Vol 14, Nr. 2, 2007, S. 5

fotochemischer Reaktionen von Farbmolekülen und damit verbundene Farbveränderungen bei Anregung durch Strahlung im UV-Bereich [...] sehr viel höher ist als bei Anregung im Bereich des sichtbaren Lichts“.³⁴ Ursache dafür sind die niedrigen Wellenlängen und somit der höhere Energiegehalt dieses Lichts. Es ist daher erforderlich, sowohl die spektrale Verteilung der Lichtquelle als auch die einwirkende Beleuchtungsstärke zu kennen.

3.4.4 Datenlogger

Für die Erfassung der Umgebungsparameter wurde das Messgerät Elsec 764C der Firma Elsec Inc. (Großbritannien) verwendet, mit dem Beleuchtungsstärke, Bestrahlungsstärke im UV-Bereich, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit gemessen werden können. Diese Parameter können über einen längeren Zeitraum erfasst, im Messgerät abgespeichert und über eine Infrarot-Schnittstelle ausgelesen werden. Besonders interessant sind bei den Messungen die Beleuchtungsstärke und -dauer, sowie der UV-Anteil im sichtbaren Bereich bzw. die Bestrahlungsstärke im UV-Bereich. Es wurde jeweils ein Gerät an den Lagerungsorten **Büro normal** und **Fenster** aufgestellt. Bei Lagerungsort **Keller** wurde davon ausgegangen, dass die Umweltparameter konstant sind und stichprobenartige Messungen durchgeführt.

Der Datenlogger misst in einem Abstand von 10 Minuten. Dazu schaltet sich das Gerät für die Messdauer automatisch ein und danach wieder aus. Zwischen den Zeitpunkten werden keine Werte erfasst. Auf diese Weise reicht der interne Speicher für ca. 10.800 Messpunkte (ca. 75 Messtage) am Stück. Die Werte wurden sicherheitshalber wöchentlich an den Messterminen ausgelesen.

Mittels der mitgelieferte Software RView for Loggers (Version 3.8) können die Daten aus dem Messgerät über die Infrarot-Schnittstelle ausgelesen und als CSV-Datei abgespeichert werden. Die Messwerte der einzelnen Parameter können einzeln oder gleichzeitig grafisch in einem Diagramm dargestellt werden. Hilfreich ist die Darstellung der durchschnittlichen Tageswerte von 0 bis 24 Uhr.

Für die Lichtmessung ist der Datenlogger mit Doppel-Silizium-Fotodioden ausgestattet, deren spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von 300-700 nm liegt. Das Messgerät liefert in diesem Bereich keine spektrale Verteilung bei jeder Messung, sondern nur einen integrierten Wert. Abbildung 23 zeigt die spektrale Empfindlichkeit des Messgerätes im UV- (blaue Linie) und sichtbaren Wellenlängenbereich (gelbe Linie) im Vergleich zur spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges (grüne Linie).



Abbildung 22:
Datenlogger Elsec 764C³⁵

³⁴ Rosenberg, A.; Pertler, H.; Steger, E.; FOGRA Forschungsbericht Nr. 52.024 „Licht- und Wetterechtheit von Druckprodukten – Messtechnische Bestimmung und Bezug zur realen Lichtbeständigkeit“; 2002, S. 31

³⁵ Quelle: Elsec Inc., GB

Der Datenlogger misst die Beleuchtungsstärke im Wellenlängenbereich von 400-700 nm. Die Empfindlichkeit der Fotodioden entspricht in etwa der des menschlichen Auges. Der Messbereich der Beleuchtungsstärke liegt bei 0,1 – 200.000 Lux. Für die Messung der Beleuchtungsstärke liegt die Genauigkeit bei $\pm 5\%$.

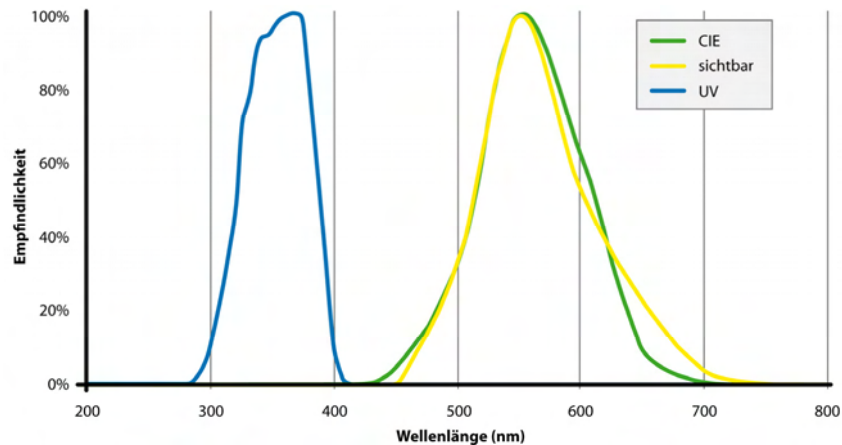


Abbildung 23: spektrale Empfindlichkeit des Messgerätes³⁶

Mit dem Datenlogger kann die Strahlenmessung im UV-Bereich von 300-400 nm entweder als UV-Anteil im sichtbaren Licht (mW/Lumen) oder als UV-Gesamtbelastung (mW/m²) abgelesen werden. Der Messbereich des UV-Lichts liegt bei 2-50.000 mW/m², der des UV-Anteils bei 8-10.000 mW/Lumen. Die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 15\%$.

Für die Messung der Lufttemperatur besitzt der Datenlogger ein integriertes Thermometer (Genauigkeit $\pm 0,5^\circ\text{C}$).

Mit dem Feuchtigkeitssensor des Datenloggers kann eine kapazitive Messung³⁷ der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgen. Der Sensor lässt sich mit gesättigten Salzlösungen kalibrieren. Dies wurde vor Beginn der Messreihe gemacht. Laut Angabe des Vertriebspartners, über den die Messgeräte bezogen wurden, hat der Feuchtefühler eine lange Ansprechzeit und ist daher für Messungen über einen längeren Zeitraum gut geeignet. Die Werte wurden regelmäßig kontrolliert, um bei einer Abweichung jenseits der Toleranzen nachzukalibrieren. Der Messbereich liegt bei 0-100% in Bezug auf die Kalibrierung bei einer Genauigkeit von $\pm 2,5\%$.

³⁶ eigene Darstellung, in Anlehnung an: Elsec Inc.

³⁷ Wirkt Luft als Dielektrikum zwischen zwei großflächigen Elektroden, kann über der gemessenen Kapazität auf die vorhandene Feuchtigkeit geschlossen werden.

3.5 Messen der Versuchsproben

Das Messen der Proben fand wöchentlich im Prooflabor des Fachbereiches statt. Die Zeitpunkte der Messungen können dem Messprotokoll entnommen werden (siehe Kapitel 9.1). Die erste Messung wurde drei Tage nach dem Druck der Proben durchgeführt, um einen stabilen Zustand der Drucke als Basis zu benutzen. Die Messwerte der ersten Messung bildeten die Referenz, auf die alle weiteren Messungen bezogen worden sind. Für das Messen der Testcharts wurde die Software ProfileMaker und MeasureTool (Version 5.0.2) der Firma Gretag Macbeth eingesetzt. Es wurden sowohl die spektralen Messwerte als auch die Lab-Werte mit den Parametern D50, 2° Beobachterwinkel abgespeichert. Um die Messung immer einheitlich durchzuführen und zu vereinfachen wurden entsprechende Vorlagendateien für die einzelnen Testcharts angelegt, die die jeweilige Anzahl der Messfelder in den Zeilen und Spalten beinhalten. Der Messvorgang hat immer nach demselben Schema und derselben Reihenfolge stattgefunden.

3.5.1 Messgerät

Für die spektrale Vermessung des Testcharts eignet sich gemäß ISO 13655³⁸ ein Spektralphotometer mit einer Messgeometrie von 45°/0° oder 0°/45°. Deswegen wurde das Spektralphotometer i1Pro UV-Cut der Firma X-Rite mit dem zugehörigen i1iO-Scantisch verwendet.³⁹ Das Spektralphotometer besitzt eine Messgeometrie von 45°/0°-Ringoptik (zirkulare Beleuchtung) und hat einen Messbereich von 380 – 730 nm. Die spektrale Auflösung liegt intern bei 3,5 nm, die Werte werden in 10 nm Schritten ausgegeben. Das Messgerät besitzt einen eingebauten UV-Filter. Damit sollen Verfälschungen der Messwerte durch optische Aufheller im Papier vermieden werden.



Abbildung 24: i1iO-Scantisch mit i1 Pro

Der Scantisch besitzt entgegen der ISO 13655 eine mattweiße Unterlage ($L^* > 93$, $C^* < 3$)⁴⁰. In Verbindung mit dem i1Pro können die Proben automatisiert per Streifenmessung vermessen werden, anstatt jedes Feld einzeln messen zu müssen. Laut Herstellerangaben ist die Streifenmessung um einiges genauer als die Feldmessung, da auf dem Weg, den das Messgerät über jedes einzelne Feld zurücklegt viel mehr Messungen durchgeführt werden als bei einzelner Ansteuerung.

3.5.2 Wiederholgenauigkeit des Messgerätes

Die Wiederholgenauigkeit des Messgerätes wird vom Hersteller mit $\Delta E_{94} = 0,1$ (auf weißer Keramik) angegeben. Die Geräteabweichung soll bei einem mittleren $\Delta E_{94} \leq 0,4$ (über 12 BCRA Kacheln⁴¹) liegen. Zur Überprüfung dieser wurde eine eigene Messreihe durchgeführt. Dazu wurde ein Stufenkeil (nur Schwarz) aus den Testcharts 22 Mal, jeweils im Zeitabstand von 30 Sekunden, vermessen. Die erste Messung wurde als Referenz zur Berechnung von ΔE_{76} und ΔE_{00} verwendet.

³⁸ ISO 13655; „Spektrale Messung und farbmimetrische Berechnung für graphische Objekte“, 1996

³⁹ Seriennummer i1Pro: 3 278 - 204471 - 1 / Revision B, Seriennummer i1iO: 00010034

⁴⁰ Vgl. ISO 12647-2, Kapitel 5.3

⁴¹ BCRA = British Ceramic Research Association, produziert Farbstandardsatz aus 12 Kacheln zur Überprüfung der Farbstabilität und Genauigkeit von Farbmesssystemen

In Abbildung 25 werden die Messwerte grafisch dargestellt. Zum einen werden die Farbabweichungen der einzelnen Testfelder über die Anzahl der Messungen aufgetragen. Zum anderen wird jedes Testfeld einzeln untersucht und Mittelwert, Maximum, Minimum und Standardabweichung aufgetragen. Man sieht, dass das i1Pro in den Testfeldern bis 60% Flächendeckung eine Wiederholgenauigkeit von mindestens $\Delta E \leq 0,2$ aufweist. Ab einem Tonwert von 80% steigen die Abweichungen stark mit zunehmendem Tonwert an. Im Messfeld mit 100% Tonwert wurden die höchsten Werte festgestellt. Der Mittelwert liegt dabei bei ΔE_{76} und $\Delta E_{00} \leq 0,4$, die Maximalwerte allerdings bei $\Delta E_{76} = 0,6$ und $\Delta E_{00} = 0,7$. Die Ursache wird von X-Rite mit einem sich ungünstig verändernden Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) begründet, das zunimmt, je mehr Tinte gedruckt wird bzw. je dunkler der zu messende Bereich ist.

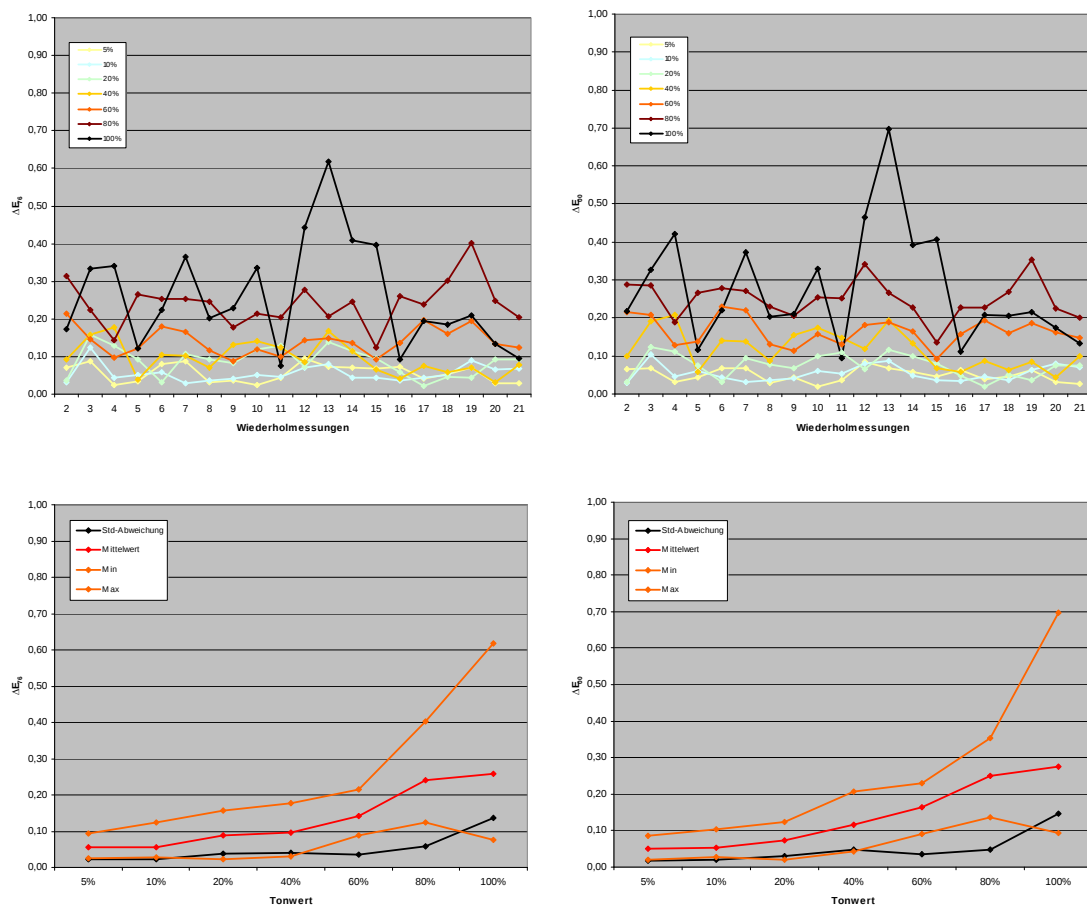


Abbildung 25: Darstellung der Abweichungen über die Probemessungen und Tonwerte der Messfelder des verwendeten i1Pro

Farbunterschiede über $\Delta E_{76} = 0,6$ und $\Delta E_{00} = 0,7$ können in den hohen Tonwerten und vor allem dunklen Tinten bzw. dem Zusammendruck mehrerer Tinten nicht zwangsläufig auf Fading zurückgeführt werden, sondern auch durch die Messungenauigkeit des Spektralphotometers begründet sein. Betrachtet man allerdings Mittelwert und Standardabweichung sind beide Werte für ΔE_{76} und ΔE_{00} kleiner als 0,3 bzw. 0,2 und damit in einem akzeptablen Toleranzbereich.

4. Auswertung

Die Auswertung der gewonnenen Messwerte soll zeigen, ob sich die Proben verändert haben und auf welche Ursachen dies zurückzuführen ist. Für die Ermittlung der Farbunterschiede wurde die Tabellenkalkulation Excel verwendet. Es wurden sowohl ΔE_{76} als auch ΔE_{00} berechnet, um vergleichen zu können, wie stark auftretende Veränderungen visuell wahrnehmbar sind. Die dazu verwendeten Formeln befinden sich im Formelverzeichnis.

4.1 Weißpunkt

Die Weißpunkte der Substrate wurden aus den erstellten ICC-Profilen ausgelesen und zur Auswertung in Excel übertragen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die minimalen und maximalen Abweichungen der vier eingesetzten Substrate als ΔL^* , Δa^* und Δb^* und den Lagerungsort, an dem dieser Wert ermittelt wurde. Die maximal gemessenen Unterschiede liegen bei $\Delta L^* = 0,66$, $\Delta a^* = 0,2$ und $\Delta b^* = 0,6$ (rot markiert). Der Bereich der maximalen Abweichungen liegt innerhalb der Toleranz des Messgerätes. Die Ergebnisse decken sich nicht vollständig und eindeutig mit den Erwartungen, nach denen die größten Veränderungen am Lagerungsort **Fenster**, die geringsten am Ort **Keller** vermutet wurden.

Hersteller		ΔL^*	Lagerort	Δa^*	Lagerort	Δb^*	Lagerort
Canon	Min	0,24	Büro normal	0,00	Büro dunkel	0,10	Büro dunkel
	Max	0,49	Fenster	0,13	Fenster	0,38	Büro normal
EFI	Min	0,04	Fenster	0,00	Keller	0,03	Keller
	Max	0,47	Keller	0,20	Fenster	0,60	Büro normal
Epson	Min	0,05	Büro normal	0,00	Fenster	0,02	Büro dunkel
	Max	0,66	Fenster	0,12	Keller	0,47	Büro normal
HP	Min	0,09	Keller	0,01	Keller	0,12	Fenster
	Max	0,36	Büro normal & Fenster	0,15	Büro normal	0,43	Büro normal

Tabelle 6: Veränderung der Substrate (absolute Werte) an den unterschiedlichen Lagerungsorten

Die Weißpunkte der Substrate wurden zur visuellen Darstellung in einem a^*b^* - und L^*a^* -Koordinatensystem abgebildet. Der Abstand zum jeweiligen Referenzwert ist durch eine farbige Linie gekennzeichnet, die Ausgangskoordinate durch einen rosafarbenen Kreis.

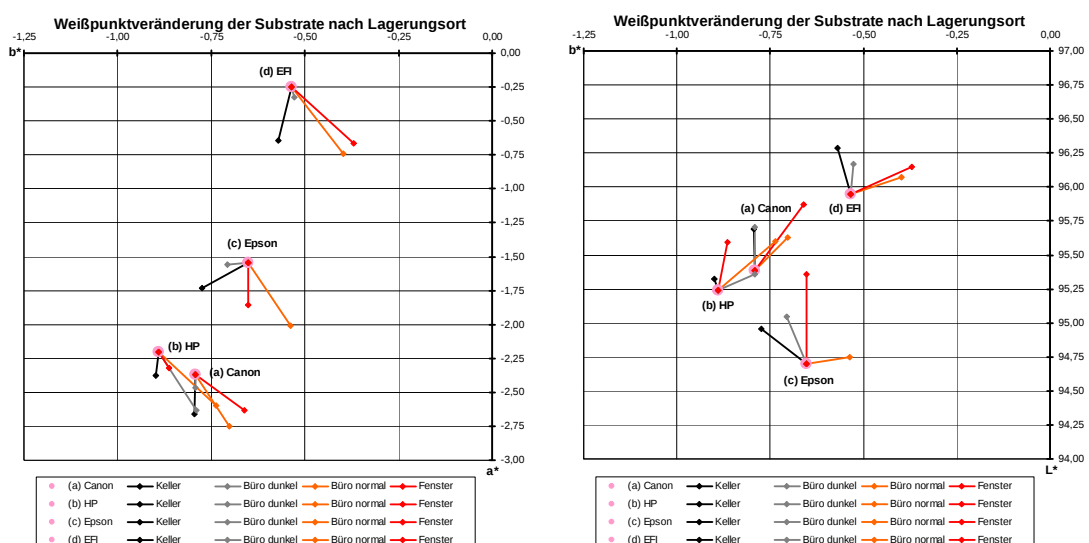


Abbildung 26: Veränderung der Weißpunkte

Die Veränderungen aller Substrate sind als minimal einzustufen. Sie haben sich über den Untersuchungszeitraum an keinem der Lagerungsorte signifikant verändert.

4.2 Testcharts

Das Ziel der Testchartauswertung ist eine aussagekräftige Darstellung der Messergebnisse über den Versuchszeitraum. Dabei wurde nach Lagerungsorten, Proofsystemen und Druckerkanälen differenziert. Die Farbweichungen zur Referenzmessung wurden in Excel für jedes Testchart an jedem Messtermin ermittelt und in eine Gesamtübersicht eingetragen. Auf diese Weise hat man für jedes Proofsystem an jedem Lagerungsort ein Tabellenblatt mit den vollständigen Werten erhalten. Die genaue Vorgehensweise wird an einem Beispiel im Anhang, Kapitel 9.3, beschrieben. Die ermittelten ΔE -Werte wurden anschließend für die weitere Auswertung verwendet.

4.2.1 Zusammenhang zwischen Tintenmenge und Farbveränderung

Die eigenen Testcharts ermöglichen die Untersuchung eines kausalen Zusammenhangs zwischen aufgetragener Tintenmenge und Farbveränderung. Dazu wurden die ermittelten ΔE_{76} - und ΔE_{00} -Werte der letzten Messung herangezogen. Der Stufenkeil jedes einzelnen Druckerkanals wurde separat betrachtet, um festzustellen, ob sich aus den Werten eine Tendenz ablesen lässt.

Die Bewertung und Kennzeichnung in Tabelle 7 erfolgte nach folgendem Schema:

A	Die Farbabweichungen sind in allen Tonwerten annähernd gleich groß.
B	Die Farbabweichungen werden größer mit steigendem Tonwert.
C	Die Farbabweichungen werden kleiner mit steigendem Tonwert.
D	Die Farbabweichungen lassen sich keinem eindeutigen Schema zuordnen.

Ein annähernd gleicher Wert für die Farbabweichung in allen Tonwertstufen eines Druckerkanals - Kategorie **A** - würde den Schluss zulassen, dass die räumliche Verteilung der Pigmente innerhalb des Messfeldes auf dem Substrat und die Menge der Tinte keinen Einfluss auf die Farbabweichung selbst haben. Dies ist nicht der Fall. Ein überwiegendes Auftreten von Kategorie **B** könnte dadurch begründet werden, dass ein größerer Tintenauftrag auch zu stärkeren Veränderungen führt. Auch dies lässt sich nicht nachweisen. Teilweise wurden auch Veränderungen der Kategorie **C** ermittelt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die aufgetragenen Pigmente näher beieinander liegen und so weniger Oberfläche für Reaktionen mit Umgebungseinflüssen verfügbar ist. Diese These lässt sich aber ebenfalls nicht für alle Proben belegen. Die Bewertung der Kategorie **D** lässt keinen Zusammenhang zwischen Tintenmenge und Fading erkennen.

Für die gesamte Betrachtung gilt, dass kein eindeutiges Schema oder eine eindeutige Tendenz festgestellt werden kann. Die Farbveränderungen durch die Umgebungseinflüsse scheinen keinen eindeutigen Zusammenhang mit der aufgetragenen Tintenmenge aufzuweisen.

Proof-system	Druckerkanal	Auswertung nach ΔE_{76}				Auswertung nach ΔE_{00}				Druckerkanal
		Keller	Büro dunkel	Büro normal	Fenster	Keller	Büro dunkel	Büro normal	Fenster	
CC	C	A	B	D	A	B	B	D	D	C
	M	A	A	C	C	A	A	A	C	M
	Y	A	A	A	A	B	B	B	B	Y
	K	A	B	A	C	A	A	D	C	K
	R	A	A	A	A	B	B	B	A	R
	G	A	A	A	C	A	A	A	C	G
	B	A	A	D	D	B	D	B	B	B
	LC	A	A	A	A	B	B	B	B	LC
	LM	A	A	A	A	B	B	B	B	LM
	mK	B	B	B	A	B	B	B	A	mK
CEF	LK	A	A	B	B	A	A	B	B	LK
	C	A	B	A	A	A	B	B	B	C
	M	A	C	A	A	A	A	B	A	M
	Y	A	A	A	A	B	B	B	B	Y
	K	A	A	B	C	B	A	B	C	K
	R	A	B	A	A	A	A	A	D	R
	G	A	C	A	C	A	C	B	C	G
	B	A	A	A	D	D	B	D	B	B
	LC	B	A	A	A	B	A	B	A	LC
	LM	A	A	A	A	A	A	A	A	LM
EE	mK	B	B	A	A	A	A	A	A	mK
	LK	A	A	B	A	A	A	B	D	LK
	C	B	B	B	B	A	A	B	B	C
	M	A	A	A	D	C	A	A	A	M
	Y	A	A	B	B	A	A	A	A	Y
	K	A	A	A	A	A	A	B	B	K
	LC	B	B	A	B	B	B	A	A	LC
	LM	A	A	A	A	A	A	A	A	LM
	LK	A	A	B	B	A	A	B	B	LK
	LLK	A	A	A	B	A	B	B	B	LLK
EEF	C	B	A	B	B	A	A	B	A	C
	M	A	A	A	A	A	A	C	C	M
	Y	A	B	B	B	A	A	A	C	Y
	K	A	A	A	A	A	A	A	A	K
	LC	B	B	B	B	A	A	B	B	LC
	LM	A	A	B	B	A	A	A	A	LM
	LK	B	B	B	B	B	B	B	B	LK
	LLK	B	B	B	B	B	B	B	B	LLK
HH	C	B	B	B	B	B	A	D	B	C
	M	A	C	D	B	A	A	A	A	M
	Y	A	A	B	D	A	A	B	D	Y
	K	A	C	A	D	A	C	A	D	K
	LC	B	B	D	D	B	A	A	A	LC
	LM	A	A	B	B	A	A	A	A	LM
	LK	B	A	B	B	A	A	B	B	LK
HEF	C	B	B	B	B	B	B	B	A	C
	M	A	A	A	B	A	A	A	B	M
	Y	A	A	A	A	A	A	A	C	Y
	K	A	A	A	B	A	A	A	D	K
	LC	B	A	A	A	B	A	A	A	LC
	LM	A	A	B	B	A	A	A	A	LM
	LK	B	A	B	B	B	B	B	B	LK

Tabelle 7: Bewertung der Farbabweichungen der Tonwertstufen pro Druckerkanal

4.2.2 Farbunterschiede an den Lagerungsorten

Die Einflüsse der Umweltbedingungen an den Lagerungsorten auf das Fadingverhalten wurden ebenfalls untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass die Farbabweichungen der Proofsysteme unterschiedlich zueinander und an den Lagerungsorten sind.

Um eine allgemeine Aussage über die Güte der Lagerungsorte treffen zu können, wurden das arithmetische Mittel der Farbabweichungen pro Messtermin über alle Proofsysteme gebildet (siehe Tabelle 8). Dabei wurde noch nicht nach den einzelnen Proofsystemen differenziert. Die größte Veränderung wurde erwartungsgemäß am Lagerungsort **Fenster** ($\Delta E_{76} = 2,11$; $\Delta E_{00} = 1,90$) festgestellt. Etwas niedriger sind sie an den Lagerungsorten **Büro normal** und **Keller**. Interessant ist hierbei, dass nicht wie erwartet, am Lagerungsort **Keller** die niedrigsten Veränderungen vorgefunden wurden. Dies könnte zum Beispiel auf die dort herrschende, hohe Luftfeuchtigkeit zurückzuführen sein. Die kleinste Farbabweichung wurde am letzten Termin nach 81 Tagen am Lagerungsort **Büro dunkel** mit ca. $\Delta E = 0,9$ bestimmt. Dieser Wert wurde an den anderen Lagerungsorten wesentlich früher erreicht. An den restlichen Lagerungsorten wurde der gleiche Wert bereits früher erreicht (siehe Tabelle 9).

Lagerungsort	ΔE_{76}											
	Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Keller	0,48	0,61	0,55	0,64	0,72	0,77	0,88	0,90	1,04	1,05	1,09	1,16
Büro dunkel	0,27	0,44	0,47	0,45	0,62	0,76	0,80	0,74	0,88	0,85	0,83	0,89
Büro normal	0,49	0,68	0,85	0,88	0,95	1,15	1,22	1,35	1,34	1,47	1,63	1,63
Fenster	0,67	0,84	0,99	1,13	1,28	1,33	1,57	1,64	1,71	1,87	1,96	2,11

Lagerungsort	ΔE_{00}											
	Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Keller	0,52	0,66	0,52	0,61	0,72	0,74	0,82	0,86	0,99	1,00	1,05	1,10
Büro dunkel	0,25	0,42	0,46	0,43	0,58	0,75	0,76	0,71	0,91	0,80	0,80	0,87
Büro normal	0,44	0,62	0,76	0,80	0,88	1,07	1,14	1,26	1,21	1,35	1,49	1,50
Fenster	0,58	0,73	0,85	0,99	1,12	1,15	1,42	1,47	1,51	1,67	1,77	1,90

Tabelle 8: Farbabweichungen an den unterschiedlichen Lagerungsorten über den Untersuchungszeitraum

Abbildung 27 stellt diese Werte grafisch dar. Es wird deutlich, dass die Werte über den Untersuchungszeitraum an allen Lagerungsorten auf unterschiedliche hohe Endwerte gestiegen sind.

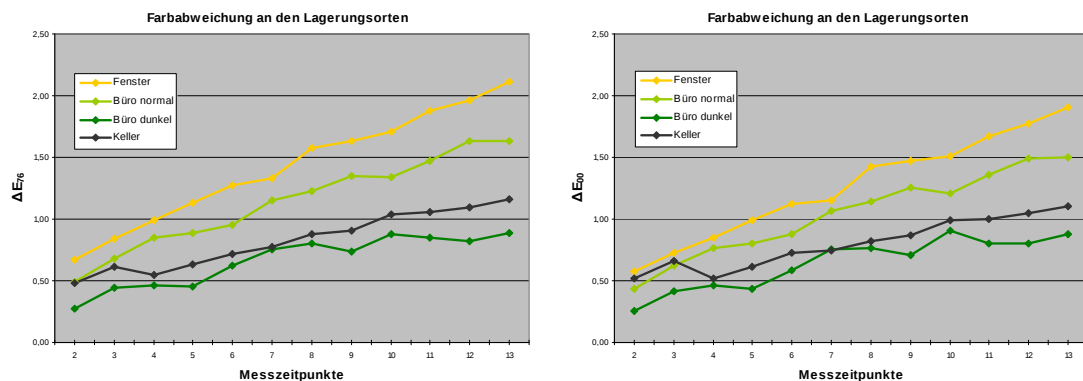


Abbildung 27: Farbunterschiede nach Lagerungsorten

Für eine genauere Beurteilung der Lagerungsorte wurde ermittelt, wie lange es dauert, bis ein bestimmter ΔE -Zielwert erreicht wird. Für ΔE_{76} wurde dafür die kleinste Abweichung von $\Delta E_{76} = 0,9$ gewählt, die am letzten Messtermin ermittelt wurde. Für ΔE_{00} wurde ein Wert von $\Delta E_{00} = 1,0$ festgelegt, da ab diesem Wert Farbunterschiede sichtbar sind. Am Lagerungsort **Büro dunkel** wurde der Zielwert von $\Delta E_{00} = 1,0$ bis zum Ende der Untersuchung nicht erreicht und daher die vollständige Dauer von 81 Tagen verwendet. Anschließend wurden in Tabelle 8 die Messtermine herausgesucht, an denen die Zielwerte erreicht worden sind. Die Dauer in Tagen wurde in Tabelle 9 aufgetragen und der niedrigste Wert am Lagerungsort **Fenster** als Bezugsgröße bestimmt. Als Bewertungsgröße wurde ermittelt, das wie vielfache an Zeit benötigt wurde, um den gleichen Zielwert zu erreichen.

Lagerungsort	(1) Tage bis $\Delta E_{76} = 0,9$	Tage bis kleinster Wert von (1)	x-fache an Zeit bis zum kleinsten Wert von (1)	(2) Tage bis $\Delta E_{00} = 1,0$	Tage bis kleinster Wert von (2)	x-fache an Zeit bis zum kleinsten Wert von (2)
Fenster	10	-	-	31	-	-
Büro dunkel	81	71	8,1	81	50	2,6
Büro normal	31	21	3,1	45	14	1,5
Keller	59	49	5,9	66	35	2,1

Tabelle 9: Dauer bis zum Erreichen eines Farbunterschiedes an den verschiedenen Lagerungsorten

Daraus ergibt sich für den Untersuchungszeitraum, dass ein Proof, der ohne Lichtbestrahlung gelagert wird, ungefähr das 8,1 (bei ΔE_{76}) bzw. 2,6 (bei ΔE_{00}) fache an Zeit für die gleiche Farbveränderung braucht. Der wahre Zeitfaktor bei ΔE_{00} ist vermutlich größer, da ein $\Delta E_{00} = 1,0$ beim Lagerungsort **Büro dunkel** erst zum einem Zeitpunkt größer als 81 Tage erreicht wird.

Die erheblich höhere Strahlungsintensität und daraus resultierende Beleuchtungsstärke am Lagerungsort **Fenster** scheint einen starken Einfluss auf die Veränderung der Proben zu haben. Im Vergleich zu den dunkel gelagerten Testcharts sind die Farbunterschiede bis zum Ende des Untersuchungszeitraums um ca. $\Delta E_{76} = 1,0$ bzw. $\Delta E_{00} = 0,9$ größer.

4.2.3 Farbunterschiede der einzelnen Proofsysteme

Für die Betrachtung der Lagerungsorte wurden die Messwerte aller Proofsysteme gemittelt und in Tabelle 10 aufgetragen. Im Folgenden werden die Systeme getrennt voneinander betrachtet. Im direkten Vergleich schneiden diese sehr unterschiedlich ab. Generell lässt sich feststellen, dass die Farbunterschiede über die Zeit größer werden.

Die Farbabweichungen (ΔE_{76}) der Systeme CC, CEF und EE stiegen nur leicht an und blieben alle unter einem Wert von $\Delta E_{76} = 1,0$. Das System EE erreichte den dabei höchsten Wert von $\Delta E_{76} = 0,74$. Das Verhalten der restlichen Systeme EEF, HH und HEF ist dagegen anders. Die Farbabweichungen stiegen kontinuierlich auf Werte zwischen $1,95 \leq \Delta E_{76} \leq 2,5$ an.

Die Bewertung mittels ΔE_{00} zeigt ähnliche Ergebnisse. Analog zur Betrachtung von ΔE_{76} steigen die Farbabweichungen der Proofsysteme CC, CEF und EE sehr langsam an und erreichen einen Schwellenwert von $\Delta E_{00} = 1,0$ nicht. Das System EE bleibt im Untersuchungszeitraum sogar unter einem Wert von $\Delta E_{00} = 0,5$. Die Werte der restlichen drei Systeme EEF, HH und HEF steigen kontinuierlich bis auf Werte zwischen $1,65 \leq \Delta E_{00} \leq 2,12$ an. Nach ca. 31-38 Tagen (Messtermin 5 bzw. 6) wird der Schwellenwert von $\Delta E_{00} = 1,0$ erreicht bzw. überstiegen.

Proofsystem	ΔE_{76}											
	Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CC	0,23	0,32	0,37	0,38	0,52	0,48	0,65	0,48	0,63	0,49	0,48	0,51
CEF	0,40	0,45	0,37	0,39	0,40	0,50	0,50	0,62	0,47	0,58	0,58	0,60
EE	0,34	0,46	0,48	0,51	0,52	0,61	0,61	0,63	0,67	0,72	0,70	0,74
EEF	0,60	0,80	0,92	1,01	1,19	1,32	1,45	1,54	1,64	1,76	1,89	1,95
HH	0,65	0,95	1,09	1,22	1,40	1,60	1,78	1,91	2,05	2,21	2,37	2,50
HEF	0,64	0,89	1,05	1,15	1,32	1,51	1,72	1,77	1,98	2,11	2,25	2,38

Proofsystem	ΔE_{00}											
	Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CC	0,36	0,53	0,58	0,59	0,82	0,77	0,98	0,76	1,02	0,79	0,81	0,86
CEF	0,63	0,72	0,55	0,58	0,60	0,74	0,74	0,91	0,73	0,88	0,92	0,92
EE	0,23	0,31	0,31	0,34	0,35	0,40	0,40	0,41	0,42	0,44	0,42	0,44
EEF	0,46	0,62	0,72	0,80	0,96	1,08	1,19	1,28	1,36	1,47	1,57	1,65
HH	0,50	0,74	0,85	0,98	1,14	1,32	1,47	1,57	1,70	1,85	1,99	2,12
HEF	0,51	0,73	0,87	0,96	1,11	1,28	1,45	1,53	1,69	1,81	1,95	2,08

Tabelle 10: ΔE der Proofsysteme über den Untersuchungszeitraum

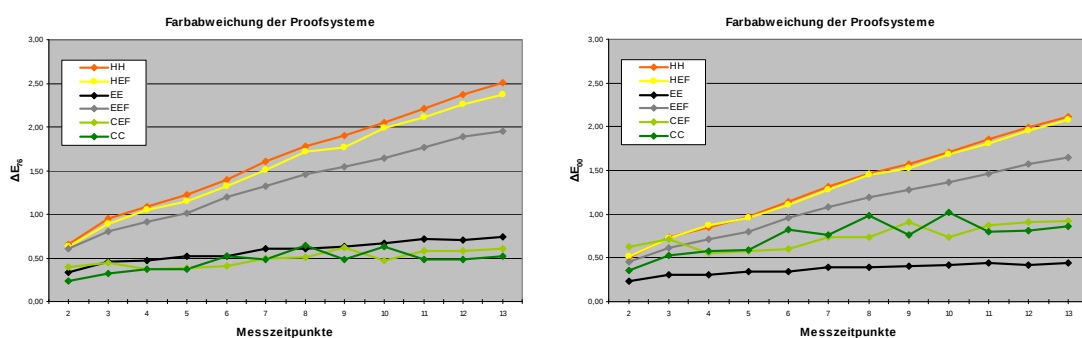


Abbildung 28: ΔE der Proofsysteme über die Dauer der Untersuchung

Die Veränderungen auf dem Substrat des Drucksystemherstellers und dem Vergleichssubstrat von EFI sind in der Regel gleich groß. Eine Ausnahme ist das System EEF, bei dem die Werte an allen Lagerungs-orten viel höher sind als bei EE. Dies sieht man in Abbildung 29 noch deutlicher. Möglicherweise findet in diesem Fall eine stärkere Tinte-Substrat- Wechselwirkung statt, die die höheren ΔE -Werte verursacht.

Der Verlauf der Farbabweichungen wurde für jedes Proofsysteem nach den Lagerungsorten zur besseren Vergleichbarkeit grafisch aufbereitet. Dabei lässt sich noch einmal der bereits festgestellte Trend bei der Untersuchung nach den Lagerungsorten erkennen. Die Veränderungen (ΔE_{76}) der Systeme CC, CEF und EE sind am geringsten und sogar an einigen Lagerungsorten annähernd konstant. Dies gilt z.B. für das System EE an den Lagerungsorten **Büro dunkel** und **Keller**. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Werte für die Systeme EEF, HH und HEF an allen Lagerungsorten ansteigen. Eine Ausnahme bilden die Proben des Systems EEF am Lagerungsort **Büro dunkel**, die sich nur minimal verändert haben.

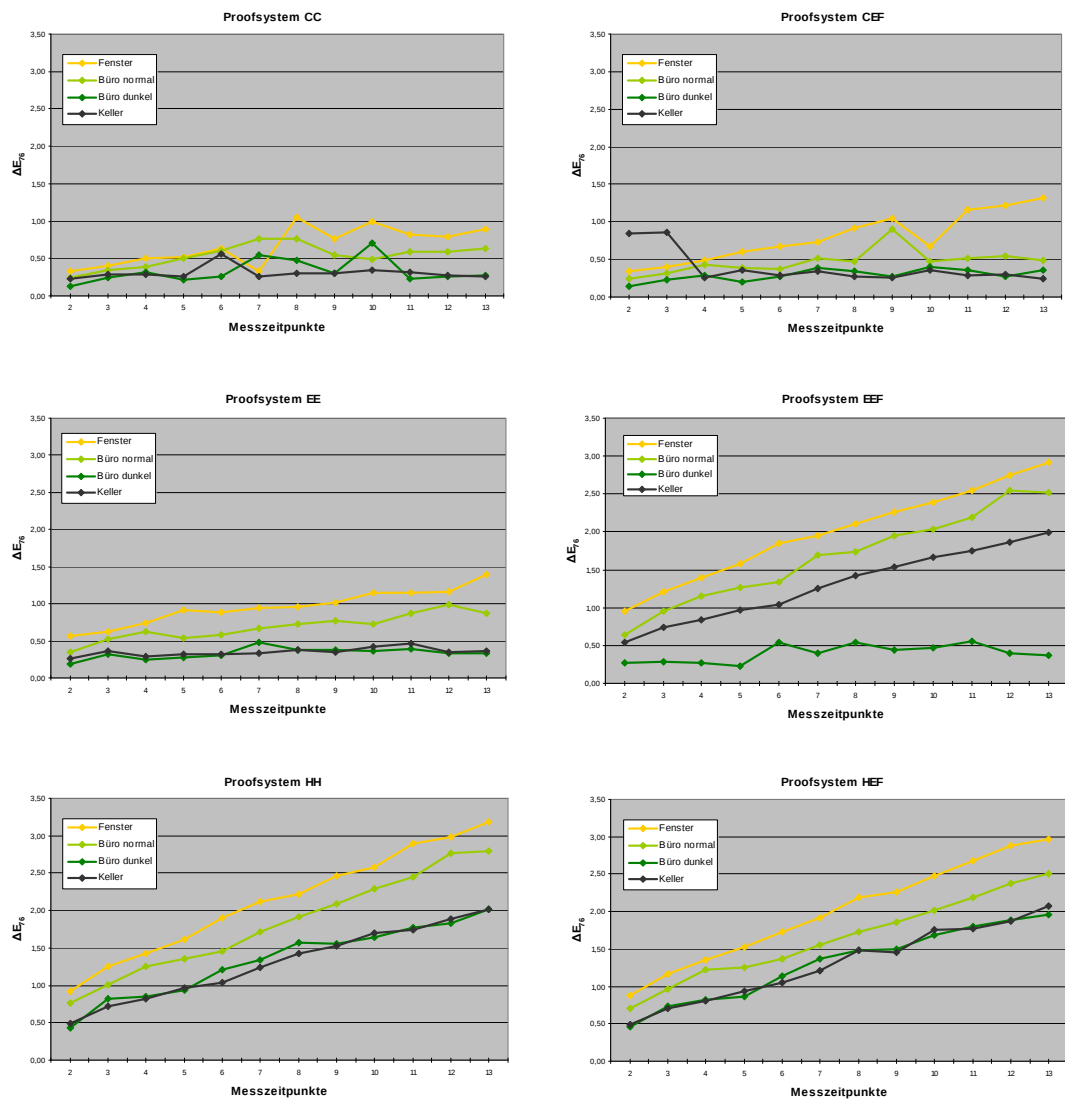


Abbildung 29: ΔE_{76} der Proofsysteme an den Lagerungsorten

Die bereits getroffenen Beobachtungen verhalten sich annähernd analog zur der grafischen Darstellung der ΔE_{00} -Werte. Diese steigen bei den Systemen EEF, HH und HEF kontinuierlich an. Eine Ausnahme sind erneut die Farbabweichungen des Systems EEF am Lagerungsort **Büro dunkel**, die deutlich unter denen der anderen Lagerungsorte liegen. Bei CC und CEF nehmen die Veränderungen am Lagerungsort **Fenster** und **Büro normal** langsam zu, bleiben bei den beiden anderen Lagerungsorten allerdings annähernd gleich. Besonders hervorzuheben ist das System EE. Bis zum Ende der Untersuchung lagen die Farbunterschiede fast alle deutlich unter einem $\Delta E_{00} = 1,0$.

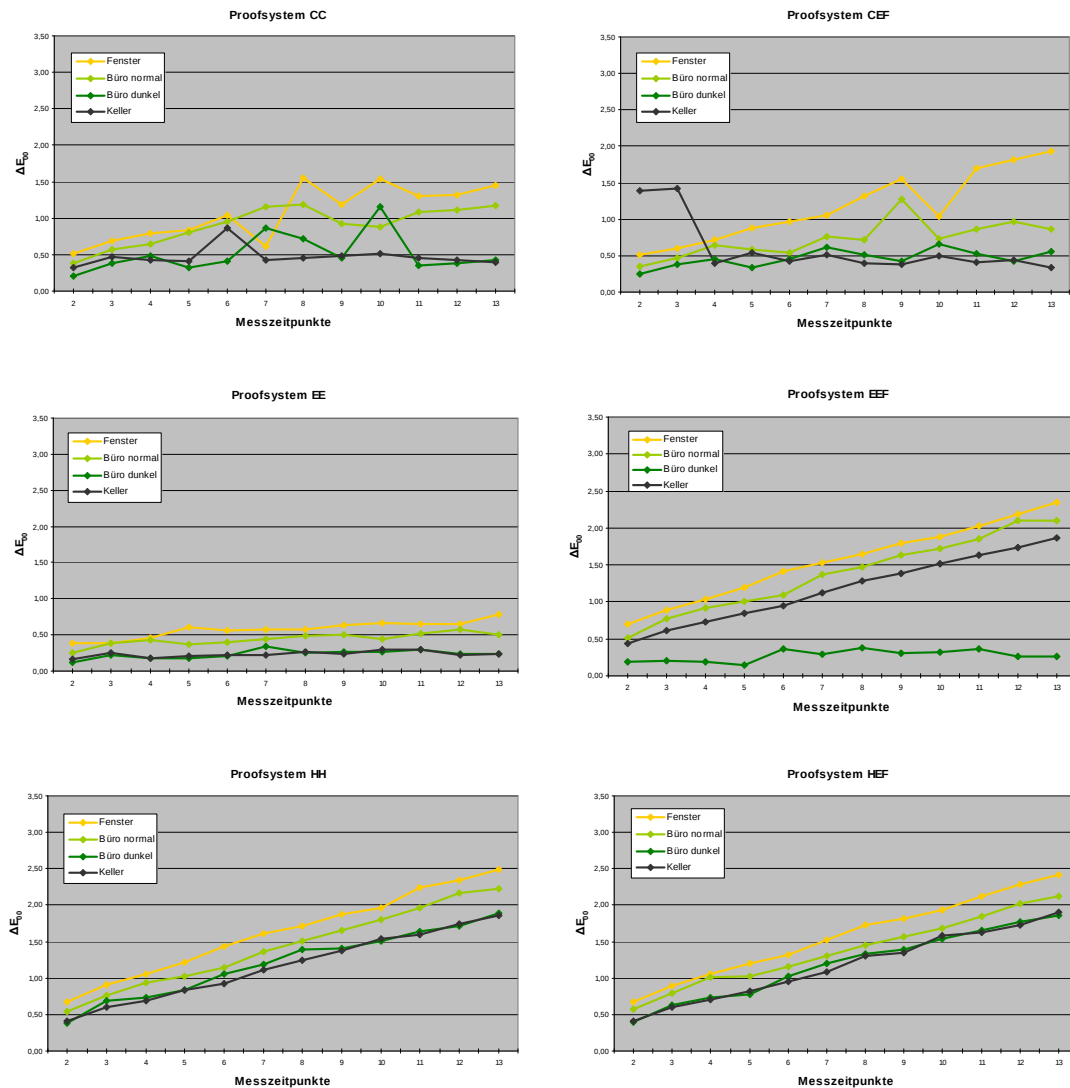


Abbildung 30: ΔE_{00} der Proofsysteme an den Lagerungsorten

Die Gesamtveränderung am letzten Messtermin wurde ebenfalls für jedes einzelne Proofsystem noch einmal separat betrachtet. Die folgende tabellarische Übersicht greift die Farbabweichung auf, die zum Zeitpunkt des letzten Messtermins aus den Messwerten berechnet wurden. Die höchsten Werte sind rot markiert, die niedrigsten grün, Werte ähnlicher Größe wurden ebenfalls markiert.

Proofsystem	ΔE_{76}				ΔE_{00}			
	Keller	Büro dunkel	Büro normal	Fenster	Keller	Büro dunkel	Büro normal	Fenster
CC	0,26	0,28	0,63	0,89	0,40	0,42	1,17	1,45
CEF	0,24	0,35	0,49	1,32	0,34	0,56	0,86	1,94
EE	0,36	0,34	0,88	1,39	0,24	0,24	0,51	0,78
EEF	2,00	0,38	2,52	2,91	1,87	0,27	2,11	2,34
HH	2,01	2,02	2,79	3,19	1,86	1,89	2,23	2,49
HEF	2,07	1,96	2,50	2,96	1,90	1,86	2,12	2,42

Tabelle 11: ΔE am letzten Messtermin für jedes einzelne Proofsystem

Der zuvor festgestellte Trend, dass die Abweichungen am Lagerungsort **Fenster** am größten sind, wird damit auch für die einzelnen Proofsysteme bestätigt. Die kleinsten Veränderungen treten bei den Proben auf, die keiner Lichteinwirkung ausgesetzt worden sind. Eine große Abweichung besteht erneut bei dem System EEF am Lagerungsort **Büro dunkel**. Die ermittelten Werte sind um einiges niedriger als an den restlichen Lagerungsorten (gelb hinterlegt).

In einer etwas anderen grafischen Darstellung (Abbildung 31) wird gezeigt, welche Abweichungen die Proofsysteme an den Lagerungsorten aufweisen. Es lassen sich die bereits getroffen Feststellungen noch einmal deutlich erkennen. Die Anordnung der Diagramme wurde so gewählt, dass die Farbunterschiede von links nach rechts größer werden.

Die Veränderungen der beiden Systeme HH und HEF, sowohl für ΔE_{76} als auch ΔE_{00} , steigen kontinuierlich über den Untersuchungszeitraum an allen Lagerungsorten an.

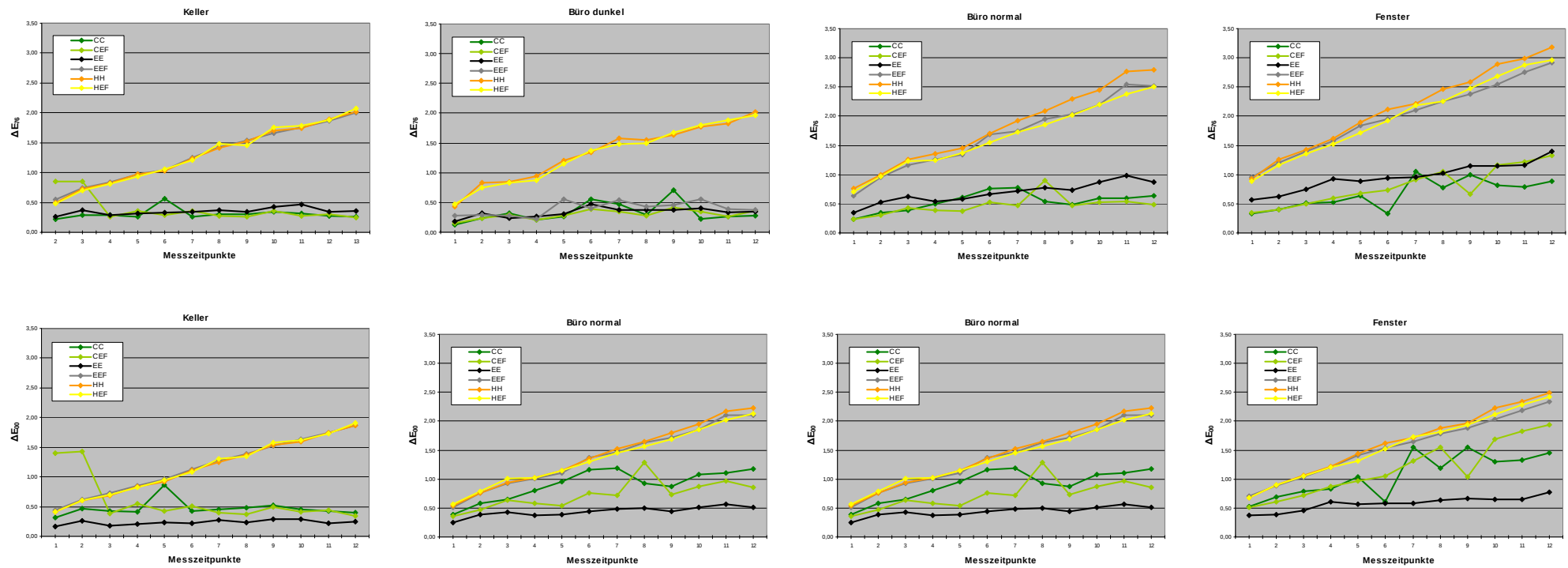


Abbildung 31: Farbunterschiede der Proofsysteme an den Lagerungsorten

4.2.4 Farbunterschiede der Tinte-Substrat-Kombinationen

Die Betrachtung der Substratweißpunkte hat ergeben, dass sich die Substrate selbst über die Dauer der Untersuchung nur minimal verändert haben. In Kombination mit Tinte kann es aber, bedingt durch deren Inhaltsstoffe, zu Wechselwirkungen mit dem Substrat und dessen Beschichtung kommen.

Wie bereits festgestellt wurde, sind die Farbabweichungen am Lagerungsort **Fenster** am größten. Die verwendeten Tinten verändern sich in Kombination mit dem jeweiligen Substrat nicht alle gleich. Einige sind aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung anfälliger oder widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse. Die folgende Tabelle zeigt, wie groß die Veränderungen in den einzelnen Druckerkanälen am Lagerungsort **Fenster** zum Zeitpunkt der letzten Messung sind. Diese Werte repräsentieren die größte Veränderung der gesamten Messreihe. Die Werteabstufungen wurden wie folgt farbig hervorgehoben:

$1 < \Delta E_{76}/\Delta E_{00} \leq 2$, $2 < \Delta E_{76}/\Delta E_{00} \leq 3$ und $\Delta E_{76}/\Delta E_{00} > 3$.

Druckerkanal	ΔE_{76}						ΔE_{00}					
	CC	CEF	EE	EEF	HH	HEF	CC	CEF	EE	EEF	HH	HEF
C	0,62	0,39	2,22	0,62	2,00	1,78	1,55	0,74	1,24	0,39	0,87	1,01
M	1,03	1,14	1,12	1,00	1,65	1,56	1,65	1,85	0,48	0,52	0,77	0,70
Y	0,80	1,90	2,38	2,49	1,21	1,19	1,47	3,20	0,93	1,01	0,55	0,59
K	1,15	2,08	0,86	1,31	1,15	1,38	1,41	2,62	0,71	1,04	0,96	1,12
R	1,01	2,03					1,36	2,72				
G	1,09	2,30					1,60	3,30				
B	1,15	2,23					2,15	3,45				
LC	0,73	0,45	1,33	1,77	1,85	1,21	1,41	0,67	0,59	0,94	0,84	0,66
LM	0,89	0,89	1,45	1,99	2,49	2,28	1,90	1,56	0,72	0,92	1,16	1,05
mK	0,55	0,47					0,66	0,54				
LK	0,75	0,69	0,85	1,13	2,12	1,32	0,84	0,67	0,71	0,92	1,80	1,22
LLK			0,91	1,28					0,81	1,12		
Mittelwert	0,89	1,32	1,46	1,47	1,78	1,53	1,45	1,94	0,77	0,82	0,99	0,91

Tabelle 12: Farbunterschiede der Druckerkanäle am Lagerungsort Fenster zum Zeitpunkt der letzten Messung

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde zusätzlich zu Tabelle 12 eine grafische Darstellung der Werte angefertigt. Diese zeigt sehr deutlich die Unterschiede der einzelnen Tinten. Es kann allerdings keine einheitliche Aussage darüber getroffen werden, ob sich bestimmte Tintentypen durchgehend stärker verändern als andere. Die Light-Tinten weisen keine größeren oder kleineren Abweichungen als die restlichen Tinten auf. Das gleiche gilt für die RGB-Tinten von Canon auf dem Substrat von Canon. Die Farbunterschiede auf dem Vergleichssubstrat von EFI weichen teilweise von den Ergebnissen auf dem Herstellersubstrat ab. Besonders deutlich zeigt sich dies bei dem Proofsystem CEF für die Tinten Yellow, Black, Red, Green und Blue.

Die Abweichungen liegen zwischen ca. $0,5 \leq \Delta E_{76} \leq 2,5$ und $0,5 \leq \Delta E_{00} \leq 3,5$. Während die Systeme EE, EEF, HH und HEF Farbabstände im Mittel um $\Delta E_{76} = 1,5$ aufweisen, liegen diese für die visuelle Wahrnehmung nur bei ca. $\Delta E_{00} = 0,9$. Das System CC besitzt im Mittel den geringsten Wert für ΔE_{76} . CEF schneidet in der Betrachtung von ΔE_{00} am schlechtesten ab.

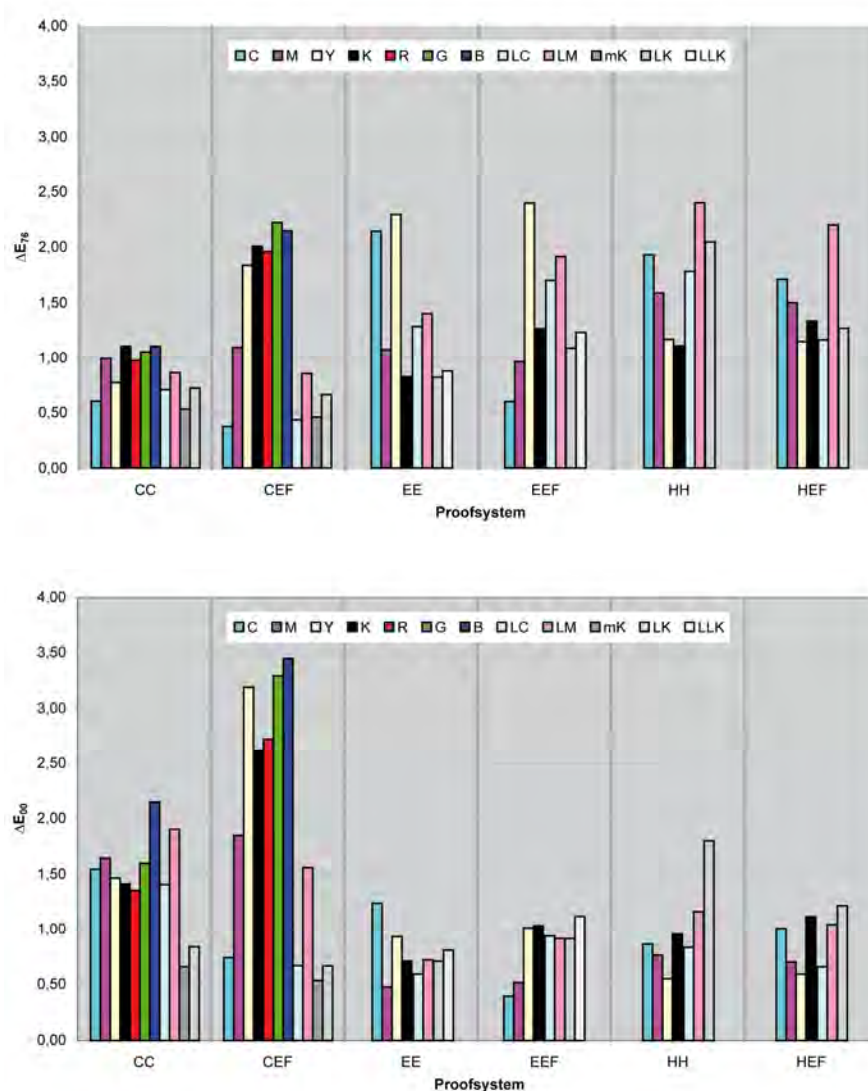


Abbildung 32: Farbunterschiede der Tinte-Substrat-Kombinationen

4.3 Auswirkungen auf den Gamut

Die Gamutuntersuchung soll Aufschluss über eine Veränderung des Gamuts der Proofsysteme sowie über das Fadingverhalten im Zusammendruck der einzelnen Tinten liefern. Zusätzlich wurde untersucht, in welchen Helligkeitsbereichen die größten Abweichungen entstehen. Ein Vergleich der Gamuthüllen kann nur zeigen, ob und wie sich die Werte am Gamutrand verändern. Abweichungen innerhalb des Gamuts müssen auf andere Weise untersucht werden, da es dort ggf. große Differenzen geben kann, obwohl die Randwerte aber annähernd gleich geblieben sind.

Aus den Messwerten der gedruckten IT8.7/4-Charts wurden am ersten und letzten Messtermin jeweils 24 ICC-Profile erzeugt (sechs Proofsysteme an vier Lagerungsarten). Die Messwerte wurden allerdings nicht separat abgespeichert und mussten für die Auswertung aus den ICC-Profilen erzeugt werden. Dazu wurde eine Textdatei mit den Referenzwerten des IT8.7/4-Charts verwendet, die mit ColorProof XF ausgeliefert wird. Mittels X-Rite Colorlab (ehemals LOGO, Version 2.8.13) wurde eine ICC-Farbtransformation dieser Referenzwerte mit dem absolut farbmetrischen Rendering Intent durchgeführt. Die Quellprofile

waren dabei die insgesamt 48 selbst erstellten ICC-Profile. Als Zielprofil wurde das Generic Lab Profile⁴² verwendet. Nach den Transformationen wurden die Werte in Textdateien abgespeichert.

Die Messwerte von der ersten Messung wurden vor der weiteren Auswertung noch bearbeitet. Von jedem Proofsystem existierten vor der Lagerung vier identische Exemplare des Testcharts, die anschließend auf die Lagerungsorte verteilt wurden. Die Werte dieser vier Charts wurden für jedes Proofsystem gemittelt, um bessere Referenzwerte zu erhalten. Die Farbabstände zwischen diesen Referenz- und den Vergleichswerten aus der letzten Messung wurden im Anschluss in Excel berechnet. Der Mittelwert, die Standardabweichung und das Maximum der Farbveränderungen pro Proofsystem und Lagerungsort sollen einen Anhaltspunkt über die Größe der Veränderung liefern. In der folgenden Tabelle 13 werden diese drei Größen für ΔE_{76} und ΔE_{00} gegenübergestellt. Jedes Proofsystem wird dabei gesondert betrachtet. Die Maximalwerte jedes Proofsystems wurden, unabhängig an welchem Lagerungsort sie aufgetreten sind, hervorhoben. Ähnlich große Werte wurden ebenfalls markiert.

Der Trend aus der Untersuchung der Testcharts lässt sich auch für den Zusammendruck von Tinten bestätigen. Die Abweichungen am Lagerungsort **Fenster** sind am größten, in einigen Fällen (z.B. bei CC und CEF) sogar am Lagerungsort **Büro normal** genauso groß. Die Abweichungen am Lagerungsort **Keller** und **Büro dunkel** sind am niedrigsten und ebenfalls fast annähernd gleich groß.

Die Abweichungen liegen im Mittel zwischen $0,45 \leq \Delta E_{76} \leq 1,99$ und $0,24 \leq \Delta E_{00} \leq 1,37$. Die maximalen Abweichungen betragen zwischen $1,23 \leq \Delta E_{76} \leq 5,51$ und $1,01 \leq \Delta E_{00} \leq 3,24$.

Proofsystem	Lagerungsort	ΔE_{76}			ΔE_{00}		
		Mittelwert	Std.-Abw.	Maximum	Mittelwert	Std.-Abw.	Maximum
CC	Keller	0,45	0,13	1,23	0,35	0,12	1,21
	Büro dunkel	0,53	0,14	1,69	0,42	0,13	1,37
	Büro normal	1,08	0,33	3,50	0,77	0,24	2,21
	Fenster	1,28	0,34	2,82	0,91	0,22	1,87
CEF	Keller	0,50	0,16	1,63	0,34	0,09	1,23
	Büro dunkel	0,54	0,13	1,37	0,40	0,10	1,01
	Büro normal	0,91	0,38	3,81	0,66	0,26	2,41
	Fenster	1,10	0,32	2,95	0,78	0,23	1,76
EE	Keller	0,46	0,14	1,31	0,32	0,11	1,18
	Büro dunkel	0,35	0,16	1,39	0,24	0,11	1,08
	Büro normal	0,98	0,32	4,58	0,70	0,21	2,19
	Fenster	1,86	0,91	5,51	1,15	0,43	2,70
EEF	Keller	0,45	0,15	1,65	0,33	0,11	1,30
	Büro dunkel	0,45	0,16	1,76	0,32	0,12	1,33
	Büro normal	1,03	0,43	4,57	0,71	0,30	3,24
	Fenster	1,59	0,50	3,76	1,07	0,36	2,39
HH	Keller	0,61	0,28	3,30	0,39	0,15	1,63
	Büro dunkel	0,72	0,41	2,60	0,48	0,21	1,17
	Büro normal	1,26	0,45	3,26	0,83	0,29	2,28
	Fenster	1,94	0,77	5,46	1,29	0,46	2,84
HEF	Keller	0,72	0,41	2,62	0,48	0,22	1,19
	Büro dunkel	0,80	0,37	2,17	0,58	0,26	1,56
	Büro normal	1,30	0,56	3,18	0,97	0,40	2,23
	Fenster	1,99	0,74	4,87	1,37	0,47	2,97

Tabelle 13: Farbabweichungen IT8.7/4

⁴² Apple Inc., 2007

Der Mittelwert ermöglicht leider keine Aussage darüber, in welchen Bereichen die Abweichungen zu finden sind. Daher wird zusätzlich untersucht, in welchen Helligkeitsbereichen die größten Veränderungen stattfinden. Dazu wurde die L^* -Achse in drei Wertebereiche aufgeteilt: $L^* \leq 32$ (Tiefen), $32 < L^* \leq 66$ (Mitten) und $L^* > 66$ (Lichter). Aus den Messwerten der IT8.7/4-Charts wurden die 10% der Farbfelder identifiziert, die die größten Farbabweichungen aufwiesen. Anschließend wurde berechnet, wie viel Prozent dieser gefilterten Werte in welchen Helligkeitsbereichen liegen (Tabelle 14). Dazu wurden die entsprechenden L^* -Werte der Referenz und nicht der Probe verwendet. Die Maximalwerte wurden farbig markiert, ebenso die Werte, die um $\pm 10\%$ davon abweichen.

Von den ausgewählten Farbfeldern nach ΔE_{76} liegt der größte Anteil der Farbfelder in den Tiefen. Bei einigen Proben ist der Anteil genauso groß wie im Mittenbereich. CC Fenster und EE Fenster stechen hervor, da bei diesen der größte Anteil der Abweichungen im Lichterbereich liegt. In diesem findet sich im Vergleich ansonsten nur ein geringer Anteil, sowohl für ΔE_{76} als auch für ΔE_{00} .

Die größten ΔE_{00} -Werte lassen sich einem L^* im Mittenbereich zuordnen.

Proofsystem	Lagerungsort	ΔE_{76}			ΔE_{00}		
		Tiefen	Mitten	Lichter	Tiefen	Mitten	Lichter
CC	Keller	25%	67%	8%	14%	86%	0%
	Büro dunkel	58%	41%	1%	22%	78%	0%
	Büro normal	44%	41%	15%	30%	64%	6%
	Fenster	0%	31%	69%	2%	85%	13%
CEF	Keller	74%	22%	4%	38%	52%	10%
	Büro dunkel	70%	28%	2%	43%	57%	0%
	Büro normal	88%	11%	1%	72%	28%	0%
	Fenster	54%	28%	18%	13%	86%	1%
EE	Keller	30%	32%	38%	30%	39%	31%
	Büro dunkel	54%	36%	9%	56%	41%	2%
	Büro normal	65%	25%	10%	38%	54%	8%
	Fenster	0%	17%	83%	0%	52%	48%
EEF	Keller	63%	34%	3%	40%	60%	0%
	Büro dunkel	69%	23%	8%	50%	48%	2%
	Büro normal	79%	15%	6%	55%	45%	0%
	Fenster	14%	56%	31%	3%	97%	0%
HH	Keller	63%	36%	1%	20%	52%	27%
	Büro dunkel	34%	62%	4%	30%	68%	2%
	Büro normal	67%	30%	3%	54%	46%	0%
	Fenster	46%	52%	2%	36%	61%	3%
HEF	Keller	49%	51%	0%	28%	72%	1%
	Büro dunkel	46%	54%	0%	30%	70%	0%
	Büro normal	61%	38%	1%	45%	55%	0%
	Fenster	48%	51%	1%	40%	59%	1%

Tabelle 14: Auswertung IT8.7/4 nach den schlechtesten 10% der Messwerte und Helligkeitsabstufungen

Zusätzlich wurden die zwei Proben grafisch untersucht, bei denen die kleinsten bzw. größten Abweichungen festgestellt wurden (CC Keller und HH Fenster). Für HH Fenster soll sich zeigen, ob sich der Gamut signifikant verändert hat. Mit der Software Origin Pro 8 (Analyse- und Darstellungsprogramm für wissenschaftliche Daten) von OriginLab Corporation wurden die CIELAB-Farbwerte in ein 3D-Koordinatensystem eingetragen, um die Veränderungen zu visualisieren. Abbildung 33 zeigt die ermittelten Farbwerte der ausgewählten Proben aus drei unterschiedlichen Perspektiven. Die schwarzen Punkte repräsentieren die Referenzwerte vom 28.04.2008, die roten die Vergleichswerte vom 23.07.2008. Die Perspektive der oberen beiden Abbildungen macht die visuelle Beurteilung etwas schwierig. Am deutlichsten werden die Unterschiede bei den untersten Abbildungen mit Sicht vom hellsten Punkt auf die L*-Achse. Während man bei CC Keller fast keine Veränderungen zwischen Referenz und Probe feststellen kann, werden diese bei HH Fenster sehr deutlich erkennbar (besonders im Bereich von Cyan). Die restlichen Versuchsproben wurden nicht auf diese Weise untersucht.

Tabelle 13 zeigt, dass am Lagerungsort Fenster die größten Abweichungen festgestellt werden. Proben, die unter ähnlichen Umweltbedingungen gelagert werden, verändern sich im Mittel um Werte von ca. $\Delta E_{76} = 2,0$ und $\Delta E_{00} = 1,4$. Diese Abweichungen sind bereits als kritisch anzusehen. Dunkel gelagert sind die Werte deutlich niedriger und liegen bei ca. $\Delta E_{76} = 0,8$ und $\Delta E_{00} = 0,6$.

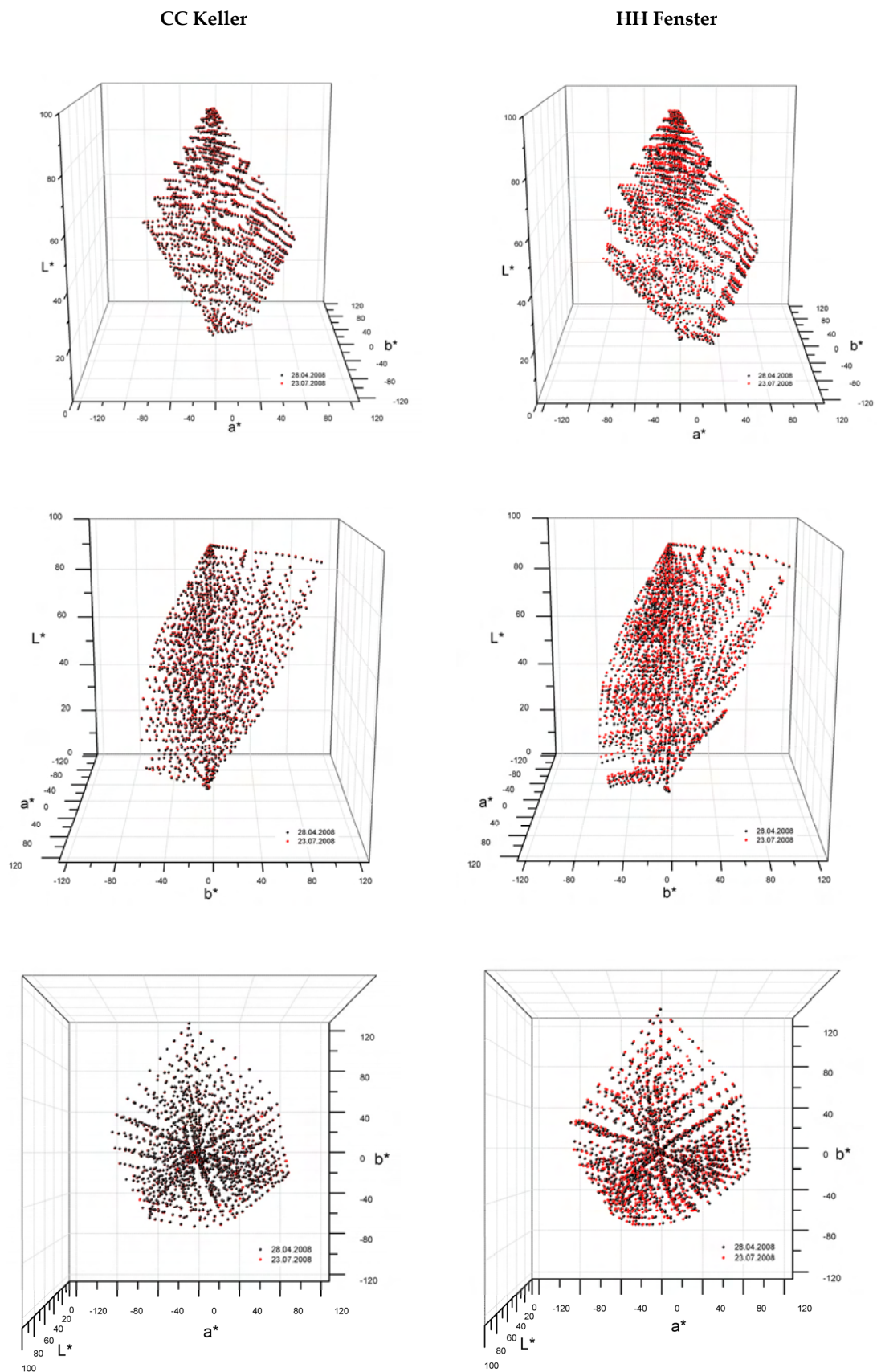


Abbildung 33: Gegenüberstellung IT8.7/4-Messwerte CC Keller und HH Fenster

5. Fazit

Die Lagerung von Digitalproofs ist entscheidend für deren Haltbarkeit. Die herrschenden Klimabedingungen haben großen Einfluss auf das Fadingverhalten. Die gewonnenen Ergebnisse decken sich zum größten Teil mit den Erwartungen. Die Proofsysteme verhalten sich bedingt durch ihre individuellen Eigenschaften und Parameter sehr unterschiedlich. Die Auswirkungen der Umweltfaktoren auf die einzelnen Systeme sind verschieden stark. In dieser Untersuchung hat sich der Faktor Licht als besonders kritisch herausgestellt und bestätigt damit die gängigen Empfehlungen, Proofs ohne Lichteinwirkung aufzubewahren. Der Einsatz von Pigmenttinten liefert allerdings auch keine absolute Lichteichtheit. Nach ca. 3 Monaten wird im Mittel auch ohne Lichteinwirkung eine kritische Schwelle von $\Delta E = 1,0$ erreicht. Dies entspricht dem 8,1fachen (ΔE_{76}) bzw. 2,1fachen (ΔE_{00}) der Zeit, bis dieser Wert mit Lichtbestrahlung erreicht wird. Interessant ist die Tatsache, dass sich die Substrate selbst nur minimal verändern. Die einzelnen Tinten verhalten sich allerdings je nach Hersteller und Bedruckstoff, auf den sie gedruckt wurden, sehr unterschiedlich. Es konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Tintenmenge und Farbunterschied nachgewiesen werden. Die Farbfelder, aus denen der Gamut aufgebaut wird, verändern sich im Mittel bis Werte von ca. $\Delta E_{76} = 2,0$ und $\Delta E_{00} = 1,4$. Dadurch sind Farbveränderungen bereits visuell wahrnehmbar. Der Zusammendruck mehrerer Tinten hat gezeigt, dass dabei die Farbunterschiede für ΔE_{76} größer werden, je dunkler die Farbtöne sind. Bei ΔE_{00} liegen die größten Abweichungen bei mittlerer Helligkeit. Lagert man Digitalproofs ohne Lichtbestrahlung in einer Art Büroatmosphäre kann zumindest kurzfristig von minimalen Veränderungen ausgegangen werden.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgang beim Piezo-Jet Verfahren	3
Abbildung 2: Vorgang beim Bubble-Jet-Verfahren	3
Abbildung 3: Strukturformeln eines Cyan, Magenta und Yellow Pigmentmoleküls (v.o.n.u.)	4
Abbildung 4: Molekülansicht eines Azofarbstoffes (a), eines Farbpigments (b) und eines Pigmentpartikels aus einer Vielzahl von Molekülen (c).....	4
Abbildung 5: Eigenschaften der Farbwirkung von Farbmitteln in Abhängigkeit ihrer Größe	5
Abbildung 6: ERM-Aufnahme eines Pigments vor und nach dem kneading (v.l.n.r.).....	5
Abbildung 7: Ladungsverteilung der Harzummantelung von Pigmenten.....	6
Abbildung 8: Schematische Gegenüberstellung der Farbmittel in drei Zuständen: Urzustand, in der Tinte und in/auf dem Substrat (zusätzlich als Mikroskopaufnahme).....	6
Abbildung 9: REM-Aufnahme Substratquerschnitt mit mikroporöser Beschichtung und schematische Darstellung der Schichten.....	7
Abbildung 10: REM-Auflichtaufnahme poröse (links) und mikroporöse Beschichtung (rechts)	7
Abbildung 11: Diagramm Versuchsablauf	9
Abbildung 12: IT8.7/4, zweiteilig für die Messung mit dem iLiO Messgerät.....	11
Abbildung 13: Testcharts und Beschriftungsbereich.....	12
Abbildung 14: Darstellung der Tintenkurven eines linearisierten Proofsystems	13
Abbildung 15: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Keller	15
Abbildung 16: Lagerungsbedingung Büro normal	15
Abbildung 17: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Büro normal	16
Abbildung 18: spektrale Verteilung des Lichtes in der Büroatmosphäre	16
Abbildung 19: Lagerungsbedingung Fenster.....	17
Abbildung 20: Darstellung der Durchschnittswerte an Lagerungsort Fenster.....	17
Abbildung 21: spektrale Verteilung des Lichtes in der Büroatmosphäre	18
Abbildung 22: Datenlogger Elsec 764C.....	20
Abbildung 23: spektrale Empfindlichkeit des Messgerätes	21
Abbildung 24: iLiO-Scantisch mit iLi Pro	22
Abbildung 25: Darstellung der Abweichungen über die Probemessungen und Tonwerte der Messfelder des verwendeten iLiPro.....	23
Abbildung 26: Veränderung der Weißpunkte	24
Abbildung 27: Farbunterschiede nach Lagerungsarten.....	28
Abbildung 28: ΔE der Proofsysteme über die Dauer der Untersuchung	29
Abbildung 29: ΔE_{76} der Proofsysteme an den Lagerungsarten	30
Abbildung 30: ΔE_{00} der Proofsysteme an den Lagerungsarten	31
Abbildung 31: Farbunterschiede der Proofsysteme an den Lagerungsarten	33
Abbildung 32: Farbunterschiede der Tinte-Substrat-Kombinationen	35
Abbildung 33: Gegenüberstellung IT8.7/4-Messwerte CC Keller und HH Fenster	39

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Proofsysteme	9
Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Proofdrucker, Tinten und der Software	10
Tabelle 3: Verwendete Substrate im Überblick	10
Tabelle 4: Auflistung der unterschiedlichen Testcharts pro Drucker	13
Tabelle 5: Umweltbedingungen an den Lagerungsorten	18
Tabelle 6: Veränderung der Substrate (absolute Werte) an den unterschiedlichen Lagerungsorten	24
Tabelle 7: Bewertung der Farbabweichungen der Tonwertstufen pro Druckerkanal	26
Tabelle 8: Farbabweichungen an den unterschiedlichen Lagerungsorten über den Untersuchungszeitraum	27
Tabelle 9: Dauer bis zum Erreichen eines Farbunterschiedes an den verschiedenen Lagerungsorten	28
Tabelle 10: ΔE der Proofsysteme über den Untersuchungszeitraum	29
Tabelle 11: ΔE am letzten Messtermin für jedes einzelne Proofsystem	32
Tabelle 12: Farbunterschiede der Druckerkanäle am Lagerungsort Fenster zum Zeitpunkt der letzten Messung	34
Tabelle 13: Farbabweichungen IT8.7/4	36
Tabelle 14: Auswertung IT8.7/4 nach den schlechtesten 10% der Messwerte und Helligkeitsabstufungen	37

8. Literaturverzeichnis

Biry, S.; Sieber, W.; „Organic Pigments for Ink Jet Applications: Key Properties and Impact on Ink Performance“ in: IS&Ts NIP20: International Conference on Digital Printing Technologies, 2004

Bruch, S.; „Die Beschichtungstechnik - Dreh- und Angelpunkt bei Inkjet Medien“ in: Sprint, Sihl Digital Imaging – Aktuelle Informationen, Ausgabe 7, 2007

Bruch, S.; „Papiere richtig beschichten“ Interview in: fine art printer, Ausgabe 2, 2007

Brümmer, H.; „Der Tinten(strahl)druck“, 23.10.2005, Online im Internet:
<http://home.vrweb.de/~hans.bruemmer/tintendruck.pdf>, Stand: 12.06.2008

Gregory, P.; „Dyes Versus Pigments: The Truth“ in: IS&T Recent Progress in Ink Jet Technologies. Ed. Rezanka and Eschbach, Springfield, 1996

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Hg.); „Innenraum-Arbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“, 2001

Hewlett-Packard Development Company; „TechNotable: HP 12-Tinten-Pigmentsystem mit Quad-Black-Tinten und Hochglanzverstärker“, 4AA0-6458ENW, 2006

Hofmann, R.; Reber, J.; „Correlation of ozone test chamber data with real life permanence of inkjet prints“, 22nd International Conference on Digital Printing Technologies, IS&T, 2006

Hofmann, R.; „Die Beständigkeit digitaler Druckmedien“, Rundbrief Photographie, Vol 14, Nr. 2, 2007

Hofmann, R.; „Outdoor Colour: Status Quo and Requirements“, Fogra CMS, Vortrag, 2008

Maeda, S. et al.; „Microporous Paper for Use in Digital Printing“ in: IS&Ts NIP 16: 2000 International Conference on Digital Printing Technologies, 2000

Norm ISO 2835; „Drucktechnik, Drucke und Druckfarben, Bestimmung der Lichtechtheit“, 1974

Norm ISO 12040; „Drucktechnik, Drucke und Druckfarben, Bestimmung der Lichtechtheit mit gefiltertem Xenon-Bogenlicht“, 1997

Norm EN 12464-1; „Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen“, Deutsche Fassung, 2002

Norm ISO 12642-2; „Drucktechnik - Datenaustausch in der Druckvorstufe - Datensatz zur Charakterisierung des Vierfarbdrucks“, 2006

Norm ISO/DIS 12647-7; „Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 7: Proofing processes working directly from digital data“, Draft Version vom 31.08.2007

Norm ISO 13655; „Spektrale Messung und farbmetrische Berechnung für graphische Objekte“, 1996

Rosenberg, A.; Pertler, H.; Steger, E.; „Licht- und Wetterechtheit von Druckprodukten – Messtechnische Bestimmung und Bezug zur realen Lichtbeständigkeit“, FOGRA Forschungsbericht Nr. 52.024 , 2002

Wüller, D.; „Wie lange hält ein Foto?“ in: fine art printer, Ausgabe 4, 2007

9.2 Weißpunkte

Die Differenzen ΔL^* , Δa^* , Δb^* wurden zwischen der Referenz (1. Messung) und den Vergleichswerten (13. Messung) gebildet. Die Proofsysteme CEF, HEF und EEF beinhalten das gleiche Substrat. Daher wurden die gemessenen Werte für die Referenz gemittelt.

Proofsystem	Lagerungsort	Referenz (1. Messung)			Vergleich (13. Messung)			ΔL^*	Δa^*	Δb^*
		L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*			
HH	Keller	95,18	-0,90	-2,19	95,33	-0,90	-2,37	0,09	-0,01	-0,17
HH	Büro dunkel	95,00	-0,89	-2,25	95,35	-0,79	-2,64	0,12	0,10	-0,43
HH	Büro normal	95,43	-0,89	-2,21	95,60	-0,74	-2,60	0,36	0,15	-0,40
HH	Fenster	95,34	-0,89	-2,17	95,59	-0,86	-2,32	0,36	0,03	-0,12
	Mittelwert	95,24	-0,89	-2,20				0,23	0,07	-0,28
CC	Büro dunkel	95,31	-0,79	-2,37	95,71	-0,79	-2,46	0,32	0,00	-0,10
CC	Büro normal	95,40	-0,80	-2,40	95,63	-0,70	-2,75	0,24	0,09	-0,38
CC	Fenster	95,45	-0,80	-2,23	95,87	-0,66	-2,63	0,49	0,13	-0,26
CC	Keller	95,39	-0,78	-2,48	95,69	-0,79	-2,66	0,30	0,00	-0,29
	Mittelwert	95,39	-0,79	-2,37				0,34	0,05	-0,26
EE	Büro dunkel	94,62	-0,63	-1,49	95,05	-0,71	-1,56	0,34	-0,05	-0,02
EE	Büro normal	94,71	-0,68	-1,50	94,75	-0,54	-2,01	0,05	0,12	-0,47
EE	Fenster	94,85	-0,67	-1,51	95,36	-0,65	-1,86	0,66	0,00	-0,31
EE	Keller	94,63	-0,63	-1,68	94,96	-0,77	-1,73	0,25	-0,12	-0,19
	Mittelwert	94,70	-0,65	-1,54				0,33	-0,01	-0,25
CEF	Büro dunkel	95,90	-0,53	-0,20	96,30	-0,53	-0,29	0,35	0,01	-0,04
CEF	Büro normal	96,01	-0,52	-0,33	96,03	-0,40	-0,63	0,09	0,13	-0,38
CEF	Fenster	96,00	-0,53	-0,22	96,31	-0,33	-0,69	0,36	0,20	-0,44
CEF	Keller	95,97	-0,51	-0,26	96,41	-0,60	-0,80	0,47	-0,06	-0,55
	Mittelwert							0,32	0,07	-0,35
HEF	Büro dunkel	95,80	-0,53	-0,31	96,04	-0,53	-0,36	0,10	0,01	-0,11
HEF	Büro normal	95,73	-0,53	-0,30	96,11	-0,39	-0,85	0,16	0,14	-0,60
HEF	Fenster	95,90	-0,54	-0,30	95,99	-0,41	-0,65	0,04	0,13	-0,40
HEF	Keller	95,90	-0,54	-0,29	96,15	-0,54	-0,49	0,21	-0,01	-0,24
	Mittelwert							0,13	0,07	-0,34
EEF	Büro dunkel	96,00	-0,56	-0,27	96,25	-0,56	-0,18	0,30	-0,03	0,06
EEF	Büro normal	95,98	-0,57	-0,10	95,81	-0,41	-0,57	-0,14	0,13	-0,32
EEF	Fenster	96,11	-0,52	-0,27	96,23	-0,44	-0,69	0,29	0,10	-0,44
EEF	Keller	96,06	-0,56	-0,13	96,33	-0,54	-0,28	0,39	0,00	-0,03
	Mittelwert	95,95	-0,54	-0,25				0,21	0,05	-0,18

Tabelle A-1: L^* , a^* und b^* -Messwerte, sortiert nach den Proofsystemen

		Referenz (1. Messung)			Vergleich (13. Messung)					
Proofsystem	Lagerungsort	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
HH	Büro dunkel	95,24	-0,89	-2,20	95,35	-0,79	-2,64	0,12	0,10	-0,43
CC	Büro dunkel	95,39	-0,79	-2,37	95,71	-0,79	-2,46	0,32	0,00	-0,10
EE	Büro dunkel	94,70	-0,65	-1,54	95,05	-0,71	-1,56	0,34	-0,05	-0,02
HEF	Büro dunkel	95,95	-0,54	-0,25	96,04	-0,53	-0,36	0,10	0,01	-0,11
CEF	Büro dunkel	95,95	-0,54	-0,25	96,30	-0,53	-0,29	0,35	0,01	-0,04
EEF	Büro dunkel	95,95	-0,54	-0,25	96,25	-0,56	-0,18	0,30	-0,03	0,06
	Mittelwert							0,26	0,01	-0,11
HH	Büro normal	95,24	-0,89	-2,20	95,60	-0,74	-2,60	0,36	0,15	-0,40
CC	Büro normal	95,39	-0,79	-2,37	95,63	-0,70	-2,75	0,24	0,09	-0,38
EE	Büro normal	94,70	-0,65	-1,54	94,75	-0,54	-2,01	0,05	0,12	-0,47
HEF	Büro normal	95,95	-0,54	-0,25	96,11	-0,39	-0,85	0,16	0,14	-0,60
CEF	Büro normal	95,95	-0,54	-0,25	96,03	-0,40	-0,63	0,09	0,13	-0,38
EEF	Büro normal	95,95	-0,54	-0,25	95,81	-0,41	-0,57	-0,14	0,13	-0,32
	Mittelwert							0,13	0,13	-0,43
HH	Fenster	95,24	-0,89	-2,20	95,59	-0,86	-2,32	0,36	0,03	-0,12
CC	Fenster	95,39	-0,79	-2,37	95,87	-0,66	-2,63	0,49	0,13	-0,26
EE	Fenster	94,70	-0,65	-1,54	95,36	-0,65	-1,86	0,66	0,00	-0,31
HEF	Fenster	95,95	-0,54	-0,25	95,99	-0,41	-0,65	0,04	0,13	-0,40
CEF	Fenster	95,95	-0,54	-0,25	96,31	-0,33	-0,69	0,36	0,20	-0,44
EEF	Fenster	95,95	-0,54	-0,25	96,23	-0,44	-0,69	0,29	0,10	-0,44
	Mittelwert							0,37	0,10	-0,33
HH	Keller	95,24	-0,89	-2,20	95,33	-0,90	-2,37	0,09	-0,01	-0,17
CC	Keller	95,39	-0,79	-2,37	95,69	-0,79	-2,66	0,30	0,00	-0,29
EE	Keller	94,70	-0,65	-1,54	94,96	-0,77	-1,73	0,25	-0,12	-0,19
HEF	Keller	95,95	-0,54	-0,25	96,15	-0,54	-0,49	0,21	-0,01	-0,24
EEF	Keller	95,95	-0,54	-0,25	96,33	-0,54	-0,28	0,39	0,00	-0,03
CEF	Keller	95,95	-0,54	-0,25	96,41	-0,60	-0,80	0,47	-0,06	-0,55
	Mittelwert							0,28	-0,03	-0,25

Tabelle A-2: L*, a* und b* Messwerte, sortiert nach den Lagerungsorten. Die gemittelten Referenzwerte wurden bereits eingesetzt.

9.3 Vorgehensweise zur Berechnung der Messwerte

Es werden nicht alle Messwerte in der Druckversion dieser Arbeit abgebildet. Zu Vollständigkeit befinden sich alle relevanten Daten auf dem beiliegenden Datenträger. Die folgenden Tabellen stellen beispielhaft die Ermittlung und Zusammenführung der Messwerte anhand des Proofsystems HH am Lagerungsort **Fenster** dar.

Für jedes Testchart wurde eine Excel-Datei angelegt, die die Messwerte aller Messungen in separaten Tabellenblättern beinhaltet (siehe Tabelle 4). In Bezug auf die Werte der ersten Messung wurden jeweils ΔE_{76} und ΔE_{00} berechnet und anschließend in eine Gesamtübersicht übertragen.

Feld	Tonwert	Referenzdruck			Proof			ΔE_{76}	ΔE_{00}
		L*	a*	b*	L*	a*	b*		
A1	5%	93,6	-3,2	-4,8	93,7	-3,1	-5,2	0,48	0,40
A2	5%	93,0	3,3	-3,9	93,5	3,1	-4,4	0,71	0,60
A3	5%	95,4	-1,9	2,2	95,6	-1,9	1,9	0,38	0,31
A4	5%	91,3	-0,7	-2,2	91,6	-0,7	-2,8	0,70	0,59
B1	10%	91,6	-5,6	-7,6	91,9	-5,3	-7,7	0,48	0,46
B2	10%	90,4	7,6	-5,7	90,7	7,8	-6,3	0,67	0,49
B3	10%	95,1	-3,1	7,1	95,4	-3,0	6,4	0,70	0,52
B4	10%	87,0	-0,6	-2,2	87,3	-0,5	-2,7	0,61	0,53
C1	20%	87,8	-10,6	-13,1	88,0	-10,3	-13,3	0,37	0,31
C2	20%	85,2	16,9	-9,4	85,6	16,6	-9,7	0,62	0,44
C3	20%	94,8	-5,5	17,2	95,0	-5,4	16,4	0,85	0,49
C4	20%	78,1	-0,3	-2,1	78,4	-0,2	-2,5	0,51	0,44
D1	40%	79,4	-21,9	-25,3	79,2	-22,1	-25,4	0,34	0,21
D2	40%	74,8	35,1	-16,0	75,4	34,2	-16,1	1,08	0,59
D3	40%	93,9	-9,3	39,8	94,1	-9,3	39,2	0,63	0,27
D4	40%	61,3	0,2	-2,0	61,7	0,2	-2,2	0,46	0,41
E1	60%	69,8	-33,8	-38,7	70,1	-33,5	-38,5	0,42	0,26
E2	60%	64,8	51,6	-20,2	65,4	50,4	-20,4	1,34	0,65
E3	60%	92,8	-10,9	59,8	93,1	-11,1	59,2	0,69	0,27
E4	60%	47,3	0,5	-2,0	47,7	0,5	-2,1	0,42	0,41
F1	80%	58,2	-42,6	-52,5	58,7	-43,3	-52,1	1,00	0,57
F2	80%	54,2	68,7	-21,3	54,5	67,6	-21,9	1,28	0,53
F3	80%	91,9	-10,9	81,2	92,1	-11,1	80,8	0,53	0,21
F4	80%	31,8	0,9	-2,4	32,3	0,9	-2,3	0,49	0,39
G1	100%	46,0	-29,8	-63,6	47,0	-31,6	-63,1	2,10	1,17
G2	100%	43,4	78,9	-9,7	43,6	78,5	-11,4	1,71	0,64
G3	100%	90,0	-6,1	102,6	90,1	-6,3	102,3	0,43	0,17
G4	100%	12,4	0,8	-3,7	12,7	0,8	-3,7	0,25	0,16

Tabelle A-3: HP, Chart 1: CMYK, Lagerungsort Fenster, Messung 2

Diese Gesamtübersicht war der Ausgangspunkt für die weiteren Analysen und Berechnungen.

			ΔE_{76}											
			Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
Typ	Feld	Tonwert	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CMYK	A1	5%	0,48	0,39	0,44	0,42	0,42	0,61	0,45	0,36	0,27	0,29	0,35	0,33
	B1	10%	0,48	0,33	0,27	0,32	0,29	0,58	0,40	0,43	0,27	0,59	0,52	0,50
	C1	20%	0,37	0,31	0,39	0,43	0,55	0,75	0,61	0,80	0,82	1,16	1,13	1,21
	D1	40%	0,34	0,69	0,84	1,04	0,87	1,25	1,27	1,70	2,05	2,47	2,27	2,47
	E1	60%	0,42	0,82	1,04	1,20	1,52	2,07	2,01	2,63	3,04	3,49	3,23	3,58
	F1	80%	1,00	1,51	1,65	1,80	1,50	2,03	1,92	2,34	2,71	3,08	2,88	3,27
	G1	100%	2,10	2,32	2,33	2,34	2,02	2,27	2,34	2,55	2,24	2,35	2,50	2,66
	A2	5%	0,71	0,95	0,95	1,00	1,60	1,48	1,00	1,37	0,87	1,52	0,83	0,70
	B2	10%	0,67	0,95	0,86	0,92	1,43	1,15	0,76	1,00	0,68	1,11	0,59	0,53
	C2	20%	0,62	0,92	0,91	1,00	1,37	1,37	1,05	1,09	1,01	1,13	1,09	1,07
	D2	40%	1,08	1,53	1,64	1,68	1,67	2,18	2,02	1,87	2,28	2,24	2,18	2,25
	E2	60%	1,34	1,53	1,66	1,84	1,95	2,07	2,23	2,32	2,45	2,72	2,76	3,03
	F2	80%	1,28	1,56	1,64	1,70	1,80	1,90	1,97	2,11	2,22	2,31	2,43	2,59
	G2	100%	1,71	1,86	1,81	1,56	1,34	1,31	1,30	1,33	1,30	1,47	1,25	1,37
	A3	5%	0,38	0,44	0,43	0,41	0,72	0,78	0,63	0,59	0,49	0,61	0,50	0,48
	B3	10%	0,70	0,77	0,77	0,86	1,11	1,23	0,94	1,04	0,97	1,07	1,03	0,91
	C3	20%	0,85	0,94	1,02	1,06	1,40	1,51	1,19	1,42	1,43	1,45	1,51	1,36
	D3	40%	0,63	1,09	0,99	1,11	1,49	1,46	1,37	1,46	1,52	1,58	1,59	1,64
	E3	60%	0,69	1,17	1,14	1,26	1,60	1,48	1,43	1,48	1,66	1,74	1,80	1,76
	F3	80%	0,53	0,92	1,02	0,97	1,37	1,29	1,23	1,39	1,27	1,46	1,49	1,48
	G3	100%	0,43	1,26	0,58	0,57	1,11	1,10	0,75	1,45	0,66	1,30	0,62	0,85
	A4	5%	0,70	0,99	1,02	0,95	1,74	1,64	0,99	1,31	0,89	1,64	0,87	0,86
	B4	10%	0,61	0,84	0,84	0,78	1,53	1,35	0,85	1,04	0,72	1,23	0,67	0,76
	C4	20%	0,51	0,73	0,82	0,76	1,38	1,29	0,92	0,93	0,79	1,13	0,92	0,98
	D4	40%	0,46	0,69	0,79	0,82	1,28	1,37	0,99	1,10	1,08	1,32	1,34	1,37
	E4	60%	0,42	0,70	0,77	0,83	1,21	1,38	1,11	1,17	1,23	1,44	1,50	1,57
	F4	80%	0,49	0,59	0,66	0,70	1,04	1,19	0,98	1,10	1,27	1,35	1,54	1,58
	G4	100%	0,25	0,30	0,34	0,63	0,61	0,66	0,67	0,94	0,89	0,96	1,03	0,92
LC-LM	A1	5%	0,26	0,34	0,50	0,37	0,46	0,62	0,75	0,91	0,97	0,94	1,07	1,07
	B1	10%	0,57	0,69	1,03	1,08	1,37	1,40	1,61	1,71	1,83	2,16	2,25	2,37
	C1	20%	0,57	1,02	1,20	1,37	1,77	1,76	1,94	2,13	2,41	2,74	2,76	3,01
	D1	40%	0,44	0,81	0,74	0,88	1,34	1,22	1,34	1,52	1,81	1,86	2,00	2,05
	E1	60%	0,42	0,85	0,77	0,85	1,16	1,03	1,13	1,32	1,50	1,46	1,52	1,56
	F1	80%	0,64	0,90	0,89	0,92	1,13	1,15	1,19	1,41	1,58	1,43	1,37	1,41
	G1	100%	0,76	1,08	1,05	1,02	1,29	1,36	1,34	1,59	1,61	1,69	1,34	1,48
	A2	5%	0,63	0,96	0,98	0,86	0,80	0,79	0,93	0,98	0,92	0,90	1,62	1,32
	B2	10%	0,67	0,92	1,09	1,05	1,13	1,07	1,21	1,20	1,18	1,40	1,62	1,56
	C2	20%	0,72	1,04	1,31	1,30	1,42	1,43	1,57	1,59	1,73	1,95	1,94	2,10
	D2	40%	1,32	1,63	1,84	1,93	2,19	2,23	2,33	2,38	2,67	2,74	2,76	2,86
	E2	60%	1,40	1,70	2,00	2,12	2,45	2,68	2,73	2,91	3,15	3,22	3,35	3,50
	F2	80%	1,54	1,87	2,03	2,10	2,32	2,50	2,56	2,64	3,00	2,90	3,06	3,16
	G2	100%	1,63	1,85	1,99	2,02	2,17	2,33	2,37	2,41	2,82	2,68	2,89	2,94
LK	A1	5%	0,57	0,53	0,48	0,51	0,37	0,55	0,88	0,70	0,67	0,72	0,70	0,78
	B1	10%	0,53	0,53	0,38	0,52	0,19	0,54	0,92	0,96	0,78	0,94	0,90	1,12
	C1	20%	0,79	0,90	0,92	1,06	0,75	1,20	1,66	1,63	1,54	1,79	1,92	2,13
	D1	40%	1,20	1,40	1,52	1,67	1,54	2,00	2,27	2,30	2,09	2,70	2,68	2,89
	E1	60%	0,97	1,15	1,32	1,51	1,45	1,84	2,10	2,10	1,90	2,41	2,47	2,67
	F1	80%	0,82	0,95	1,09	1,28	1,34	1,60	1,83	1,76	1,44	1,97	2,19	2,49
	G1	100%	1,01	1,34	1,39	2,32	1,76	1,83	2,06	2,16	2,07	2,29	2,54	2,78

Tabelle A-4: Zusammenstellung der ermittelten ΔE_{76} -Werte für HH Fenster über den Untersuchungszeitraum. Die gleiche Tabelle existiert ebenfalls noch für die Zusammenstellung von ΔE_{00} .

Für jeden Druckerkanal wurden die Messwerte anschließend gemittelt.

Druckerkanal	ΔE_{76}											
	Messungen (Mai)				Messungen (Juni)				Messungen (Juli)			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C	0,74	0,91	0,99	1,08	1,03	1,37	1,29	1,55	1,63	1,92	1,84	2,00
M	1,06	1,33	1,35	1,39	1,60	1,64	1,48	1,59	1,54	1,79	1,59	1,65
Y	0,60	0,94	0,85	0,89	1,26	1,26	1,08	1,26	1,14	1,32	1,22	1,21
K	0,49	0,69	0,75	0,78	1,26	1,27	0,93	1,09	0,98	1,30	1,12	1,15
LC	0,52	0,81	0,88	0,93	1,22	1,22	1,33	1,51	1,67	1,76	1,76	1,85
LM	1,13	1,42	1,60	1,63	1,78	1,86	1,96	2,01	2,21	2,25	2,46	2,49
LK	0,84	0,97	1,02	1,27	1,06	1,36	1,68	1,66	1,50	1,83	1,91	2,12

Tabelle A-5: Mittelwerte ΔE_{76} HH Fenster der Tonwerte pro Druckerkanal über die Messungen

Aus den Mittelwerten wurden für jedes Proofsystem und Lagerungsort Diagramme erstellt, die die Farb-
abstände über die Zeit darstellen (siehe Kapitel 9.6).

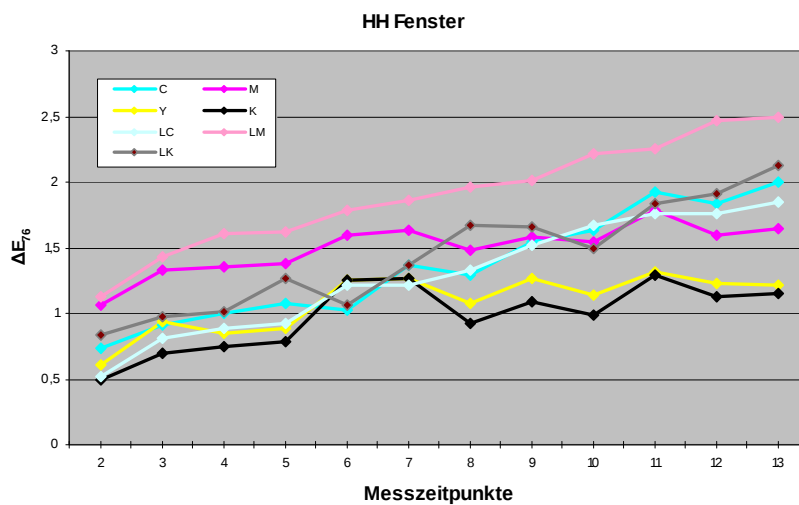


Abbildung A-1: Mittelwerte ΔE_{76} HH Fenster der Tonwerte pro Druckerkanal über die Messungen

Im Anschluss wurden die ermittelten Werte noch weiter zusammengeführt. Die gemittelten Werte jedes Messtermins für einen Lagerungsort oder ein Proofsystem ergeben eine stark vereinfachte Darstellung über die Farbunterschiede.

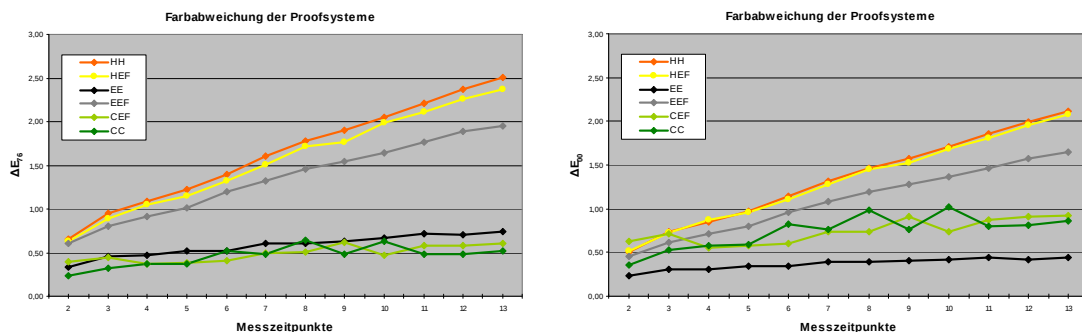


Abbildung A-2: Farbunterschiede der Proofsysteme

9.4 Messung zur Wiederholgenauigkeit des i1Pro UV-CUT

Messung	ΔE_{76}							ΔE_{00}						
	5%	10%	20%	40%	60%	80%	100%	5%	10%	20%	40%	60%	80%	100%
2	0,07	0,03	0,04	0,09	0,21	0,31	0,17	0,07	0,03	0,03	0,10	0,22	0,29	0,22
3	0,09	0,12	0,16	0,16	0,15	0,22	0,33	0,07	0,10	0,12	0,19	0,21	0,29	0,33
4	0,02	0,04	0,13	0,18	0,10	0,14	0,34	0,03	0,05	0,11	0,21	0,13	0,19	0,42
5	0,03	0,05	0,09	0,04	0,12	0,27	0,12	0,04	0,06	0,07	0,06	0,14	0,27	0,12
6	0,08	0,06	0,03	0,10	0,18	0,25	0,22	0,07	0,04	0,03	0,14	0,23	0,28	0,22
7	0,09	0,03	0,11	0,10	0,17	0,25	0,37	0,07	0,03	0,09	0,14	0,22	0,27	0,37
8	0,03	0,04	0,09	0,07	0,12	0,25	0,20	0,03	0,04	0,08	0,09	0,13	0,23	0,20
9	0,04	0,04	0,08	0,13	0,09	0,18	0,23	0,04	0,04	0,07	0,15	0,11	0,21	0,21
10	0,02	0,05	0,12	0,14	0,12	0,21	0,34	0,02	0,06	0,10	0,17	0,16	0,25	0,33
11	0,04	0,05	0,13	0,12	0,10	0,20	0,07	0,04	0,05	0,11	0,15	0,13	0,25	0,09
12	0,09	0,07	0,07	0,09	0,14	0,28	0,44	0,09	0,08	0,06	0,12	0,18	0,34	0,47
13	0,07	0,08	0,14	0,17	0,15	0,21	0,62	0,07	0,09	0,12	0,19	0,19	0,27	0,70
14	0,07	0,04	0,11	0,11	0,14	0,25	0,41	0,06	0,05	0,10	0,13	0,16	0,23	0,39
15	0,07	0,04	0,09	0,07	0,09	0,12	0,40	0,05	0,04	0,08	0,07	0,09	0,14	0,41
16	0,07	0,04	0,06	0,04	0,14	0,26	0,09	0,06	0,03	0,05	0,06	0,16	0,23	0,11
17	0,04	0,04	0,02	0,08	0,20	0,24	0,20	0,04	0,05	0,02	0,09	0,19	0,23	0,21
18	0,05	0,05	0,05	0,06	0,16	0,30	0,18	0,05	0,04	0,05	0,06	0,16	0,27	0,21
19	0,07	0,09	0,04	0,07	0,19	0,40	0,21	0,06	0,06	0,04	0,08	0,19	0,35	0,22
20	0,03	0,07	0,09	0,03	0,13	0,25	0,13	0,03	0,08	0,07	0,04	0,16	0,23	0,17
21	0,03	0,07	0,09	0,08	0,12	0,20	0,09	0,03	0,07	0,08	0,10	0,15	0,20	0,13
Mittelwert	0,06	0,06	0,09	0,10	0,14	0,24	0,26	0,05	0,05	0,07	0,12	0,17	0,25	0,28
Standardabweichung	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,06	0,14	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05	0,15
Varianz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Minimum	0,02	0,03	0,02	0,03	0,09	0,12	0,07	0,02	0,03	0,02	0,04	0,09	0,14	0,09
Maximum	0,09	0,12	0,16	0,18	0,21	0,40	0,62	0,09	0,10	0,12	0,21	0,23	0,35	0,70

Tabelle A-6: Messwerte Wiederholgenauigkeit i1Pro

9.5 Diagramme Tintenveränderung

9.5.1 Proofsystem CC

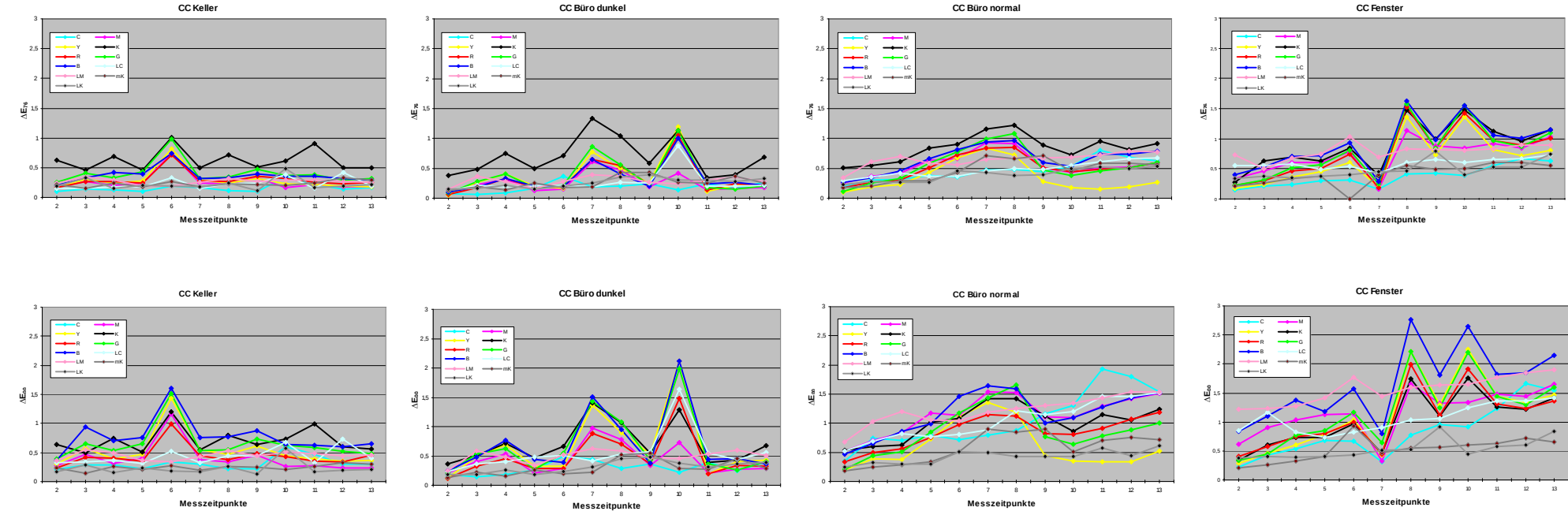


Abbildung A-3: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.5.2 Proofsystem CEF

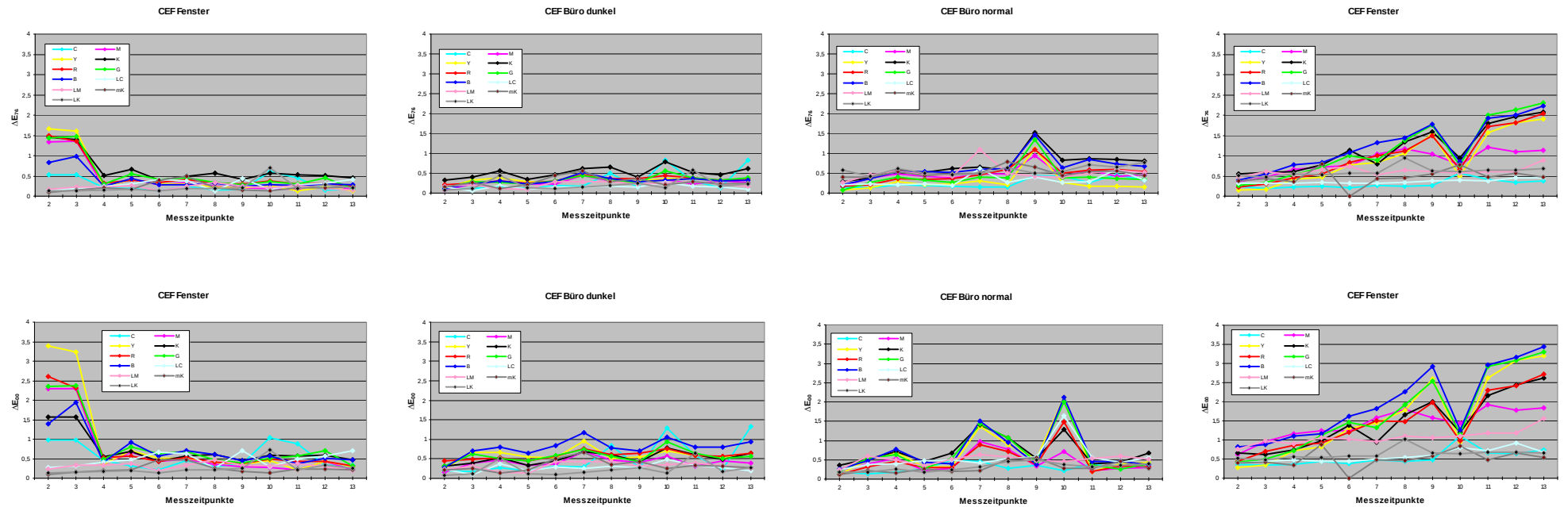


Abbildung A-4: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.5.3 Proofsysteem EE

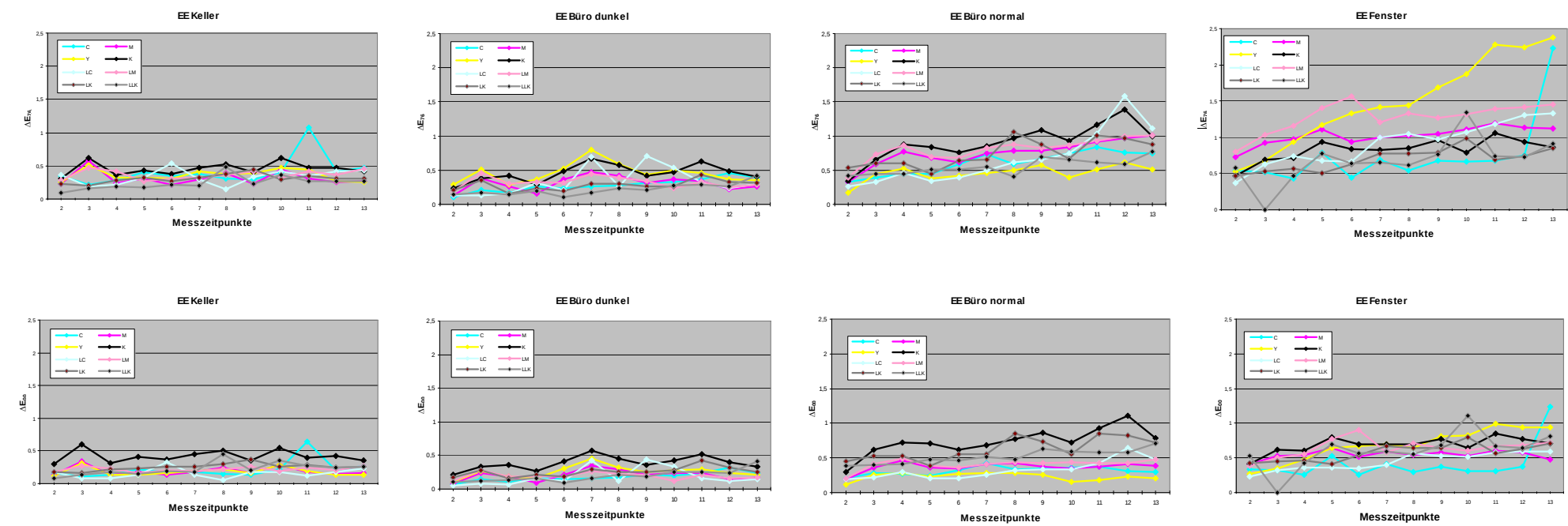


Abbildung A-5: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.5.4 Proofsystem EEF

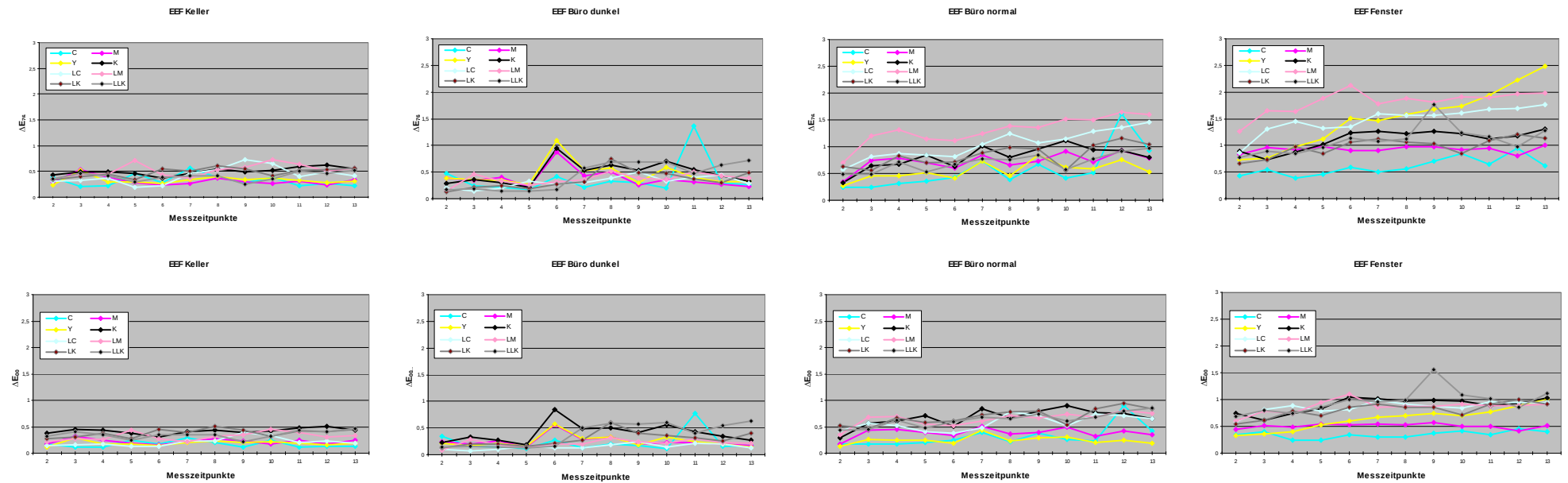


Abbildung A-6: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.5.5 Proofsystem HH

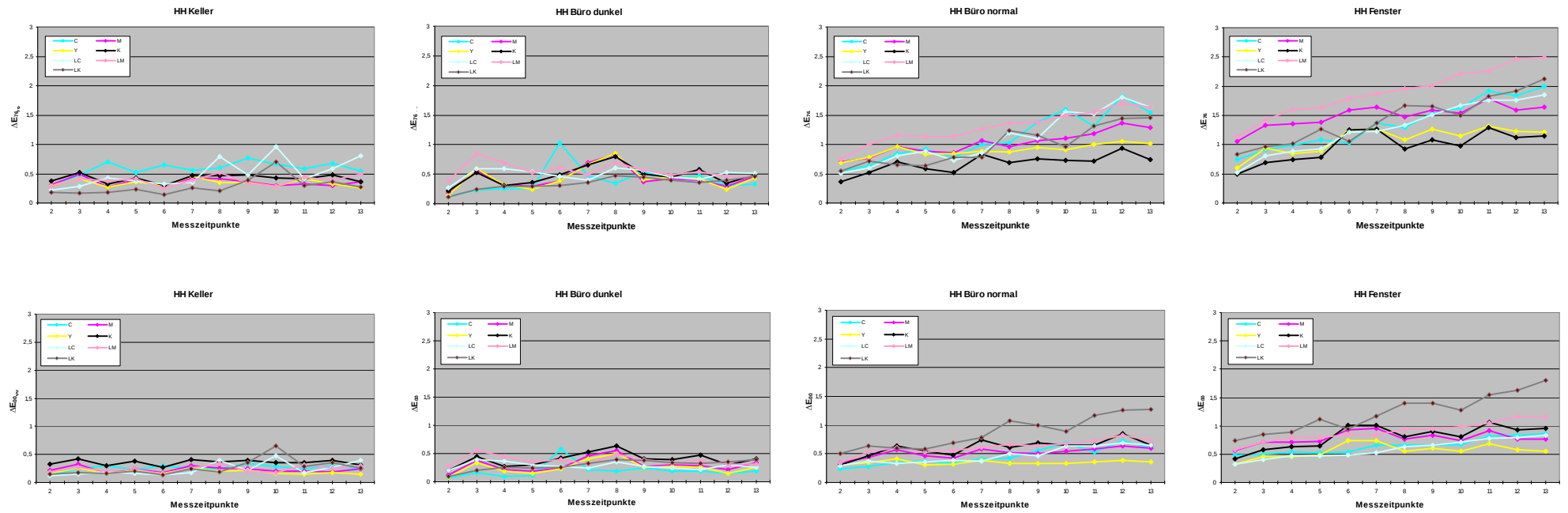


Abbildung A-7: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.5.6 Proofsystem HEF

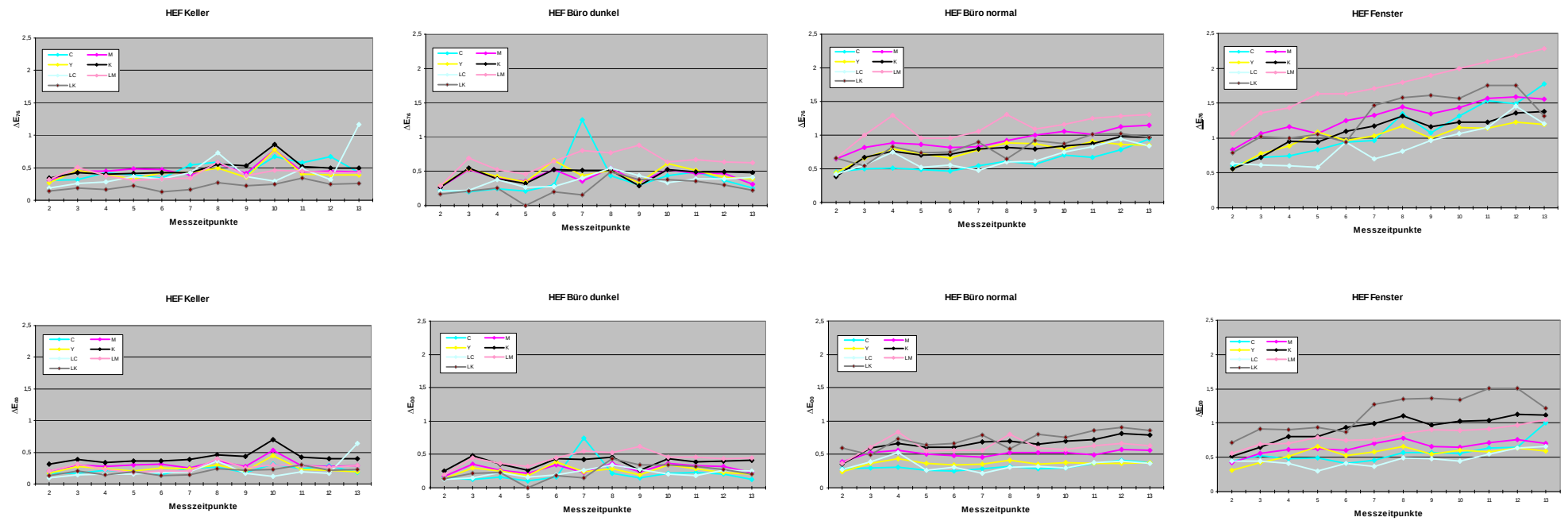


Abbildung A-8: ΔE_{76} und ΔE_{00} der einzelnen Farbkanäle über den Messzeitraum

9.6 Protokoll Diagnose-Tool i1Pro UV-Cut

	Vor der Untersuchung	Nach der Untersuchung
General Information		
Date and Time	04.04.2008, 11:09:12	23.07.2008, 17:40:03
Application version	Version 2.5.1	Version 2.5.1
SDK version i1	Version 3.4.0 Build 131	Version 3.4.0 Build 131
SDK version iO	Version 1.1.2 Build 100	Version 1.1.2 Build 100
SDK version iSis	Version 1.0.5 Build 70	Version 1.0.5 Build 70
Platform	MS Windows XP Pro, SP 2	MS Windows XP Pro, SP 2
Device Information		
Device type	i1Pro (UV CUT filter)	i1Pro (UV CUT filter)
	Ambient Light, Emission, Reflectance, Reflectance Scan, Flash	
Serial number	204471	204471
Firmware version	302	302
CPLD version	301	301
Dark measurement count	229	12424
Lamp burning time	33.046 seconds	14511.4 seconds
Spot measurement count	244	7462
Scan measurement count	0	4967
Dongle Test		
Module "Scanner"	is licensed	is licensed
Module "Monitor"	is licensed	is licensed
Module "Printer"	is not licensed	is not licensed
Module "Printer RGB only"	is licensed	is licensed
Module "Printer CMYK only"	is not licensed	is not licensed
Module "Beamer"	is licensed	is licensed
Module "Printer Easy RGB"	is licensed	is licensed
Module "Printer Easy CMYK"	is licensed	is licensed
Module "Digicam"	is licensed	is licensed
Module "Editor"	is licensed	is licensed
Button Test		
	Button is working normally	Button is working normally
Emission Calibration		
	Successful	Successful
Emission Test		
	Pass	Pass
White measurement	Successful (X=143.048 Y=148.318 Z=167.488)	Successful (X=132.085 Y=136.266 Z=150.053)
Gray measurement	Successful (X=52.609 Y=54.206 Z=64.461)	Successful (X=50.217 Y=51.323 Z=59.135)
Black measurement	Successful (X=0.254 Y=0.277 Z=0.390)	Successful (X=0.254 Y=0.259 Z=0.396)
Red measurement	Successful (X=70.192 Y=38.443 Z=0.998)	Successful (X=65.172 Y=35.689 Z=0.939)
Green measurement	Successful (X=46.616 Y=97.050 Z=12.601)	Successful (X=41.060 Y=85.671 Z=10.946)
Blue measurement	Successful (X=29.764 Y=16.893 Z=161.199)	Successful (X=25.949 Y=15.170 Z=139.842)
Dark measurement		
	Pass (-25.367)	Pass (-22.531)
Noise Measurement		
	Pass (3.321)	Pass (3.079)
Lamp Test		
Reflectance calibration	Successful	Successful
Reflectance measurement	Successful	Successful
Check measurement result	Successful	Successful
Reflectance Test		
Reflectance calibration	Successful	Successful
Reflectance spot test	Successful (LOT=34.1236 seconds, CIT=0.01727 seconds, LIT=0.017501 seconds)	Successful (LOT=14512.5 seconds, CIT=0.01727 seconds, LIT=0.0205596 seconds)
Scanning calibration	Successful	Successful
Reflectance scan test	Successful	Successful
Measurement 1	Successful (L=96.073 a=-0.306 b=1.525)	Successful (L=96.111 a=-0.321 b=1.434)
Measurement 2	Successful (L=96.057 a=-0.316 b=1.520)	Successful (L=96.079 a=-0.317 b=1.440)
Measurement 3	Successful (L=96.044 a=-0.324 b=1.527)	Successful (L=96.053 a=-0.307 b=1.445)
Measurement 4	Successful (L=96.032 a=-0.325 b=1.531)	Successful (L=96.027 a=-0.307 b=1.455)
Measurement 5	Successful (L=96.034 a=-0.335 b=1.534)	Successful (L=96.020 a=-0.304 b=1.456)
Measurement 6	Successful (L=96.036 a=-0.336 b=1.533)	Successful (L=96.017 a=-0.316 b=1.467)
Measurement 7	Successful (L=96.042 a=-0.337 b=1.533)	Successful (L=96.017 a=-0.303 b=1.473)
Measurement 8	Successful (L=96.037 a=-0.340 b=1.524)	Successful (L=96.012 a=-0.304 b=1.465)
Measurement 9	Successful (L=96.036 a=-0.341 b=1.544)	Successful (L=96.005 a=-0.305 b=1.479)
Measurement 10	Successful (L=96.044 a=-0.342 b=1.547)	(L=96.007 a=-0.305 b=1.475)
Reflectance drift test	Pass (0.016)	(0.031)
Result		
	*** PASS ***	*** PASS ***

Tabelle A-7: Protokoll Diagnose-Tool i1Pro

9.7 Formelverzeichnis

Delta E (CIELAB)

Der Farbunterschied (ΔE_{76}) zwischen einer Probe und der Referenz wird berechnet durch:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

Delta E (CIE DE2000)

Der Farbunterschied (ΔE_{00}) zwischen einer Probe und der Referenz wird berechnet durch:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)} \quad (2)$$

Es gilt:

$$\bar{L}' = (L_1 + L_2)/2$$

$$C_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$C_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

$$\bar{C} = (C_1 + C_2)/2$$

$$G = \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}'}{\bar{C}' + 25}}\right) / 2$$

$$a'_1 = a_1(1 + G)$$

$$a'_2 = a_2(1 + G)$$

$$C'_1 = \sqrt{a'^2_1 + b_1^2}$$

$$C'_2 = \sqrt{a'^2_2 + b_2^2}$$

$$\bar{C}' = (C'_1 + C'_2)/2$$

$$h'_1 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_1/a'_1) & \tan^{-1}(b_1/a'_1) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_1/a'_1) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_1/a'_1) < 0 \end{cases}$$

$$h'_2 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_2/a'_2) & \tan^{-1}(b_2/a'_2) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_2/a'_2) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_2/a'_2) < 0 \end{cases}$$

$$\bar{H}' = \begin{cases} (h'_1 + h'_2 + 360^\circ)/2 & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ \\ (h'_1 + h'_2)/2 & |h'_1 - h'_2| \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_2 - h'_1| \leq 180^\circ \\ h'_2 - h'_1 + 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 \leq h'_1 \\ h'_2 - h'_1 - 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 > h'_1 \end{cases}$$

$$\Delta L' = L_2 - L_1$$

$$\Delta C' = C'_2 - C'_1$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_1 C'_2} \sin(\Delta h'/2)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$\Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left(\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25}\right)^2\right\}$$

$$R_C = \sqrt{\frac{\bar{C}'^3}{\bar{C}'^3 + 25^3}}$$

$$R_T = -2R_C \sin(2\Delta\theta)$$

$$K_L = 1 \quad \text{default}$$

$$K_C = 1 \quad \text{default}$$

$$K_H = 1 \quad \text{default}$$

9.8 Inhalt der beigefügten CD-ROM

Die Messdaten und Auswertungsdateien befinden sich in folgender Struktur auf dem dieser Arbeit beiliegenden Datenträger:

- 📄 MA-Thesis_Jacob_SS2008.pdf
- 📁 Auswertung
 - 📄 Berechnung von Mittelwerten aus den Messwerten und deren grafische Darstellung
- 📁 Datenlogger
 - 📄 Messdaten, deren Zusammenstellung und grafische Darstellung
- 📁 Gamut
 - 📄 Referenzwerte und Abweichungen
 - 📄 ICC-Profile vom ersten und letzten Messtermin
 - 📄 3D-Diagramme Gamut
 - 📄 Textdateien Messwerte
- 📁 Lichtquelle
 - 📄 Messdaten, deren Zusammenstellung und grafische Darstellung
- 📁 Messwerte
 - 📁 Bezeichnung nach Messtermin
 - 📄 Lab- und spektrale Messwerte pro Messtermin
 - 📁 Zusammenstellung
 - 📄 aller Messwerte nach Proofsysteem und Lagerungsort, Ermittlung von ΔE_{76} und ΔE_{00}
- 📁 Untersuchung i1Pro
 - 📄 Messdaten, deren Zusammenstellung und grafische Darstellung
 - 📄 Protokoll Messgerät
- 📁 Testcharts
 - 📄 CMYK, LC-LM, mK, LK, LLK Testcharts (PDF)
- 📁 Tinte-Substrat-Kombination
 - 📄 Tonwertbetrachtung
 - 📄 Druckerkanalbetrachtung
- 📁 Weisspunkt
 - 📄 Zusammenstellung der Messdaten und grafische Darstellung

Legende:

📁 = Ordner

📄/📄 = Date/en

Mein Dank für Ihre Unterstützung gilt:

Prof. Dr. Stefan Brües, Universität Wuppertal

Claudio Wilmanns, Universität Wuppertal

Silke Maaßen und Oliver Schorn, EFI GmbH

Christoph Waller, Log Life For Art

Uwe Richter, X-Rite GmbH

Guido Häussler, Hewlett-Packard GmbH

Rainer Kamp, Tecco GmbH

Stefan Bruch, Sihl GmbH

Monika Stubbe, Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG

Stanislav Raskin