



INFOR-Projekt Nr. 16

Testverfahren für Wegschlagen, Trocknen und Verfestigen von Ink-Jet- Drucken

Schlussbericht

März 2002

Abschlußbericht Testverfahren für Wegschlagen, Trocknen und Verfestigen von Ink-Jet-Drucken

INFOR-Projekt TUD-LPT 02/00 "Ink-Jet-Druck-Trocknung"

H.L. Baumgarten, P. De Giuli, F. Schütt, J. Heymer

März 2002

(2. Fassung)

Projektbegleiter:

- Dipl.-Ing. J. Hoppe
Nordland Papier AG
- Dr. G. Papier
Zanders Feinpapiere AG
- Dr. J. Hemmes
M-real/ Stockstadt
- Frau Dr. A. Knittel
Felix Schoeller Holding GmbH & Co. KG

Das Forschungsprojekt wurde gefördert
als **INFOR-Projekt** des
**Kuratoriums für Forschung und
Technik der Zellstoff- und Papier-
industrie im Verband Deutscher
Papierfabriken e. V. (VDP), Bonn**

**LEHRSTUHL UND FACHRICHTUNG
PAPIERTECHNIK**

PROF.DR.-ING. H.L. BAUMGARTEN

TU Dresden * Lehrstuhl für Papiertechnik * 01062 Dresden

Tel.: (0351) 463 38033 Fax: (0351) 463 38032 e-mail: lepatec@mhp.mw.tu-dresden.de



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

März 2002

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt den Projektbegleitern für ihre intensive Unterstützung und Beratung während der Durchführung des Projektes.

Dem Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP), Bonn, danken wir für die finanzielle Förderung dieses Projektes und die damit verbundene Nachwuchsförderung.

Dresden, März 2002

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Probleme, Ziele und Wege des Projektes	1-1
2. Zur Ink-Jet-Technik	2-1
2.1 Einführung	2-1
2.2 Das Piezoelement	2-2
2.3 Das Thermoelement	2-2
2.4 Einflüsse auf Qualität und Geschwindigkeit der Druckausgabe	2-2
2.5 Entwicklung der Ink-Jet-Drucker	2-3
2.6 Inkware	2-3
2.7 Ink-Jet-Papiere	2-4
2.8 Verwendete Druckereinstellung	2-4
3. Charakterisierung von Tinten und Papieren	3-1
3.1 Papiere	3-1
3.1.1 Standardeigenschaften	3-1
3.1.2 Oberflächen-pH-Wert	3-1
3.1.2 Oberflächenspannung	3-1
3.2 Tinten	3-3
3.2.0 Einführung	3-3
3.2.1 Dichte	3-4
3.2.2 Optische Eigenschaften	3-5
3.2.3 Trockenrückstand	3-5
3.2.4 Dynamische Viskosität	3-5
3.2.5 Dynamische Oberflächenspannung	3-6
3.2.6 pH-Wert	3-8
3.2.7 PCD-Ladung	3-9
4. Tinten-, Papier- und Luft-Wechselwirkungen	4-1
4.1 Benetzungsspannung/ Kontaktwinkel	4-1
4.2 Oberflächen-pH-Wert	4-2
4.3 Trocknungsgeschwindigkeit	4-2
4.4 Wegschlagverhalten	4-6
4.5 Flächenmasse der Tinte	4-6
4.6 Farbort und Druckglanz	4-7
4.7 Schwärzung	4-8
5. Printability und Runnability	5-1
5.1 Wechselwirkung Tinte-Papier (feathering, wicking)	5-1
5.2 Wechselwirkungen zwischen den aufgetragenen Tinten auf Papier (bleeding)	5-2
5.3 Schwärzung in Abhängigkeit von der Flächenmasse der Tinte	5-3
5.4 Ablegen der Tinte auf dem Folgeblatt	5-4
5.5 Verschmieren und Abreiben der Tinte	5-6
6. Zusammenfassung	6-1
7. Literaturverzeichnis	7-1
8. Anhang	
A1 Referenz-Papiere und Referenz-Tinten	
A2 Methodenbeschreibung „feathering and wicking“	
A3 Methodenbeschreibung „bleeding“	

1. Probleme, Ziele und Wege des Projektes

Diese Arbeit ist ein Teil einer Reihe von Untersuchungen, die Einblicke in das Optimierungspotential des Gesamt-Kostenaufwandes für Papier und Tinte pro Druckprodukt geben soll, wobei sie sich primär mit dem Ink-Jet-Druck befasst. Zur technisch-ökonomischen Optimierung der jeweiligen sortenspezifischen Kette „Herstellen der Papierprodukte, der Tinten, der Druckgeräte sowie der Druckprodukte“ ist ein Messmethoden-System zur Beurteilung der Tinteneigenschaften, der optischen Dichte (Schwärzung) bedruckter Flächen und zur Herstellung und densitometrischen Auswertung von Drucken erforderlich. Damit kann die Wiedergabe von Vollton- und Halbtondrucken (Raster) sowie Linien und Zeichen quantifiziert werden. Die Untersuchungen sollen für eine Mustertsammlung von industriell hergestellten Ink-Jet-Druck-Papieren durchgeführt werden.

In Tabelle 1-1 sind die Marktanteile der einzelnen Druckertypen am Gesamtvolumen für die Jahre 1998-2000, sowie die Wachstumsrate der Verkaufszahlen der einzelnen Druckertypen dargestellt. Bereits im Vergleich der Jahre 98/99 und 99/00 ist festzustellen, dass der Anteil der verkauften Ink-Jet-Drucker als einziger von 23% auf 26% gestiegen ist. Des weiteren ist bei einer Wachstumsrate von 43% damit zu rechnen, dass die Verkaufszahlen der Ink-Jet-Drucker weiter steigen und aufgrund der kleineren Wachstumsraten der anderen Druckertypen auch der Anteil am Gesamtvolumen.

Beim Ink-Jet-Druck, insbesondere beim Mehrfarben-Ink-Jet-Druck, mit alkohol-, wasser- oder glycolhaltigen Tinten wird das ungestrichene, pigmentierte, gestrichene oder polyethylenbeschichtete Papier mit Flüssigkeits-Flächenmassen von bis zu mehreren g/m² meist einseitig beaufschlagt. Die Verfestigung der Tinte und des Papier-Tinten-Verbundes geschieht zeitabhängig wesentlich durch:

- Wegschlagen – also Penetrieren der Flüssigkeit in die Poren zwischen den Streichpigmenten und zwischen den Fasern sowie in die Faserwand-Poren mit gleichzeitiger Faserwandquellung und durch
- Trocknen – also durch Verdunsten in die Umgebungsluft.

Daraus können sich in der Praxis sowohl Runnability als auch Printability-Probleme ergeben.

Zu den hervorragenden Runnability-Problemen werden hier gezählt:

- Das Ablegen der Tinte auf den Nachbarbogen im Stapel durch Kontaktadhäsion.
- Das Verschmieren oder Abreiben der Tinte.

Als Printability-Probleme werden genannt:

- colour to colour bleeding
- feathering and wicking durch die dünnflüssige Tinte und
- cockling sowie curling durch die einseitige Penetration, Quellung und anschließende freie Schrumpfung beim Trocknen des Papiers.

Marktanalyse					
Rubrik	1999-00		1998-99		Wachstumsrate [% p.a.]
	Stückzahl [10 ⁶]	Anteil am Gesamt- volumen [%]	Stückzahl [10 ⁶]	Anteil am Gesamt- volumen [%]	
Impact Drucker	3700	45	3070	47	21
Inkjet Drucker	2150	26	1510	23	43
Laser Drucker	2350	29	1990	30	18
Drucker gesamt	8200	100	6570	100	25

Tabelle 1-1: Marktanteil der verschiedenen Druckertypen am Gesamtvolumen /60/

Es fehlen Testverfahren für Wegschlagen, Trocknen und Verfestigen von wässrigen Ink-Jet-Drucken, die es erlauben, im Laborversuch die Runnability und Printability des Systems Papier, Tinte und Drucker vorherzubestimmen.

Voraussetzung für eine methodische Reduzierung dieser Runnability- und Printability-Probleme ist eine Analyse der Wegschlag- und Trocknungs- sowie Verfestigungsvorgänge in Verbindung mit den physikalisch-chemischen Eigenschaften der wässrigen Ink-Jet-Tinte und des Papiers. Dabei werden die Untersuchungen auf die Sortengruppe holzfreie – ungestrichene, pigmentierte und gestrichene – Ink-Jet-Papiere konzentriert. Geeignete Referenzpapiere und Referenztinten wurden gemeinsam mit den Projektbegleitern und den industriellen Partnern ausgewählt und analysiert (Tabelle 1-2).

Die Referenztinten sollen durch Viskosität, Ober-

flächenspannung, pH-Wert, Ladung und Färbungseigenschaften – jeweils als Funktion der Temperatur und Konzentration – sowie durch ihre thermischen Daten gekennzeichnet werden. Für die Messung der Viskosität und Oberflächenspannung wurden einfache Verfahren erarbeitet. Die Wechselwirkung zwischen den Farbstoffen der Tinten und den wesentlichen Papierbestandteilen sollen mittels Modellpapieren gekennzeichnet werden.

P	Photo
Farb	mehrfarbig bedruckbar bzw. kopierbar
sat.	satiniert
hgl	hochglänzend
gl	glänzend
m	matt
gg	gussgestrichen

Insbesondere zur Kennzeichnung des Wegschlag-, Trocknungs- und Verfestigungsverhaltens der Standardtinten werden auch Folien – als „nichtsaugende“ Bedruckstoffe eingesetzt. Das Mikro-Modell für das Wegschlag-, Trocknungs- und Verfestigungsverhalten soll die Fehleranalyse und die Optimierung der Testverfahren unterstützen. Vorversuche bestätigen, dass die Testverfahren mit handelsüblichen Ink-Jet-Geräten – ausgewählt wurden 4 Geräte – und guter Wiederholbarkeit durchgeführt werden können, wenn man das Prinzip des „gewogenen Andrucks“ verwendet und so auch in einfacher Weise die Trocknungsgeschwindigkeit als Verdunstungsgeschwindigkeit gravimetrisch misst. Für die Messung des Ablegens, Verschmierens und des Abreibens der Tinten stehen Standardgeräte aus der klassischen Drucktechnik zur Verfügung. Dies gilt auch für die Printability-Probleme bleeding, feathering sowie wicking, während das quantitative Beschreiben des „curling“ und „cockling“ schwierig ist.

Bezeichnung	Papierart	m_A [g/m ²]
NKP 1	ILK	80
NKP 2	ILK	80
NKP 3	IL	80
NKP 4	ILK	80
NKP 5	Farb-K; IL	80
NKP 6	Farb-K, IL, sat.	100
NKP 7	Farb-ILK, sat.	100
NKP 8	Farb-ILK	80
NKP 9	K	80
GKP 1	Farb-K, hgl	210
GKP 2	Farb-K, gl	135
GKP 3	Farb-K, m	135
GKP 4	Farb-KL, gg	160
GKP 5	Farb-KL	100
PEP 1	PI	170
PEP 2	PI	150
PEP 3	PI	220
PEP 4	PI	260

Tabelle 1-2: Übersicht der 18 Referenzpapiere

NKP	Naturkopierpapier
GKP	Gestrichenes Kopierpapier
PEP	Polyetylenbeschichtete Papiere
I	Ink-Jet-Druck
L	Laserdruck
K	Kopierpapier

2. Zur Ink-Jet Technik

2.1 Einführung

In dieser Arbeit sollen Ink-Jet Farben anhand ihrer physikalischen Eigenschaften charakterisiert und im Verhalten auf dem Bedruckstoff Papier getestet werden. Zu diesem Zweck wurden vier Ink-Jet Drucker ausgewählt, die nach dem DOD-Verfahren (DOD = Drop on Demand) arbeiten. Die gewählten Drucker sind in Tabelle 2.1-1 dargestellt.

Drucker	Spezifikationen
TD-1 (TH: 2,4x1,2)	- A4, 600 dpi - max. 2400x1200 dpi auf Photopapier - Thermo-Tintenstrahlverfahren - Tropfengröße: 5 pl - Frequenz: 18 kHz
TD-2 (PI: 1,2x0,7)	- A4, max. 1140x720 dpi - Piezo-Tintenstrahlverfahren - variable Tropfengröße, min. 4pl
TD-3 (TH: 1,2x0,6)	- A4, max. 1200x600 dpi - Thermo-Tintenstrahlverfahren - Vorimprägnierung auf Normalpapier
TD-4 (TH: 1,2x1,2)	- A4, max. 1200x1200 dpi - Thermo-Tintenstrahlverfahren

Tabelle 2.1-1: Drop on Demand-Testdrucker (DOD) TD1-TD4

Die vier ausgewählten Drucker arbeiten nach zwei verschiedenen Verfahrensvarianten, die beide dem Drop on Demand Verfahren angehören; das heißt sie unterscheiden sich in der Art der Tropfenerzeugung. Testdrucker 2 arbeitet mit einem Piezoelement zur Tropfenerzeugung, während Testdrucker 1,3 und 4 auf ein Thermoelement setzen.

Abbildung 2.1-1 zeigt die Unterteilung der Ink Jet Verfahren. Es wird unterschieden zwischen den Druckern mit kontinuierlicher Tropfenerzeugung, den Continuous Jet Druckern und den Tintenstrahlern mit diskontinuierlicher Tropfenerzeugung, den sogenannten Impuls Jet bzw. Drop on Demand (DOD)-Druckern.

Bei den Continuous Jet-Druckern werden ständig Tintentropfen erzeugt. Dieses Verfahren wird heute vor allem beim industriellen Inkjet-Druck verwendet, z.B. zum Bedrucken von Folien, Metall, Glas, Pappschachteln, Plastikverpackungen. Abbildung 2.1-2 zeigt in schematischer Darstellung, wie die Tinte in einem kontinuierlichen Strahl bei Drücken bis zu 30 bar aus einer Düse gespritzt wird. Nach Verlassen der Düse wird der Tropfenstrom elektrisch geladen. Die nicht für die Bilderzeugung benötigten Tropfen werden elektrostatisch abgelenkt und über den Tropfenfänger

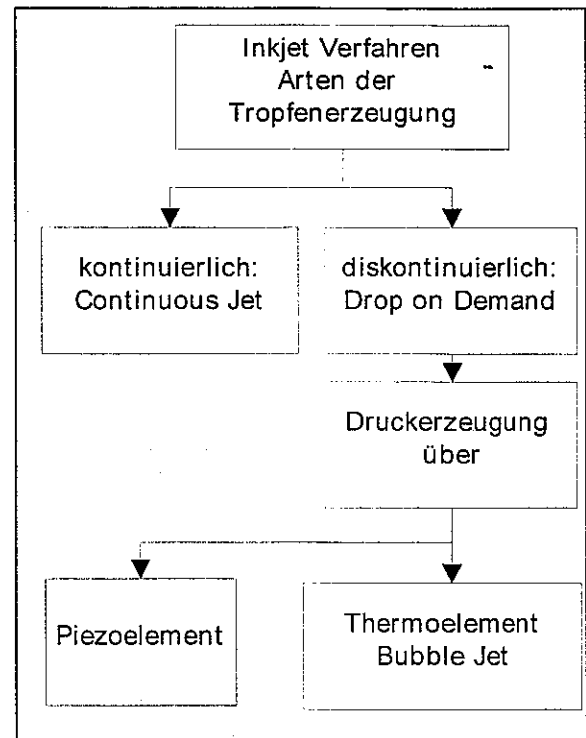


Abbildung 2.1-1: Arten der Tropfenerzeugung beim Ink-Jet-Verfahren

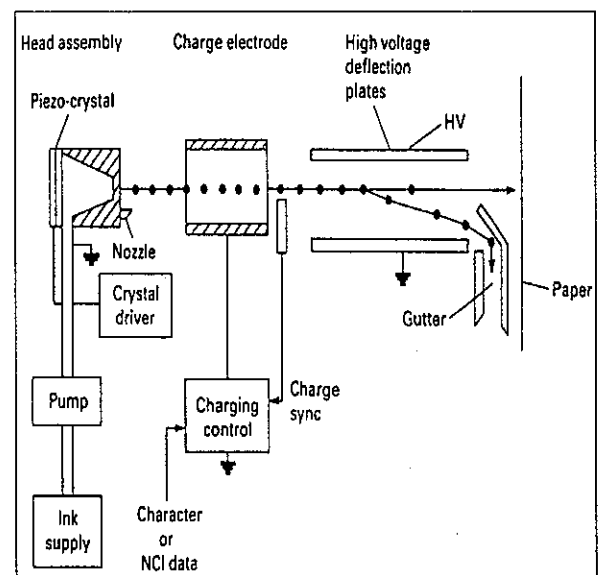


Abbildung 2.1-2: Continuous-Jet-Verfahren /1/

im Kreislauf geführt (ca. 95 bis 97 % der Tinte). Die „Drop on Demand-Drucker“ (DOD-Drucker) erzeugen nur dann Tintentropfen, wenn diese zum Bedruckprozeß benötigt werden (Abbildung 2.2-1). Der überwiegende Anteil der heute im Büro- und Heimbereich eingesetzten Inkjet-Drucker arbeitet mit dieser Drop on Demand-Technik. Bei den DOD-Druckern unterscheidet man zwei unterschiedliche Verfahren der Druckerzeugung:

- Druckerzeugung über ein Piezoelement
- Druckerzeugung über ein Thermoelement (= Bubble Jet oder Thermo Inkjet)

2.2 Das Piezoelement

Indem in den Druckkopf Piezo-Kristalle eingebaut werden, kann das Volumen der mikroskopisch kleinen Kammern durch Anlegen einer Spannung verkleinert oder auch vergrößert werden. Die in der Kammer enthaltene Tinte bildet an der Düsenöffnung einen durch Kapillarkräfte entstehenden Meniskus; ein Tropfen wird dadurch erzeugt, dass die Tinte zunächst zurückgezogen wird (durch ein negatives Signal am Piezo-Kristall).

Die EPSON Micro-Piezo-Technik ermöglicht eine perfekte Kontrolle der Tropfengröße

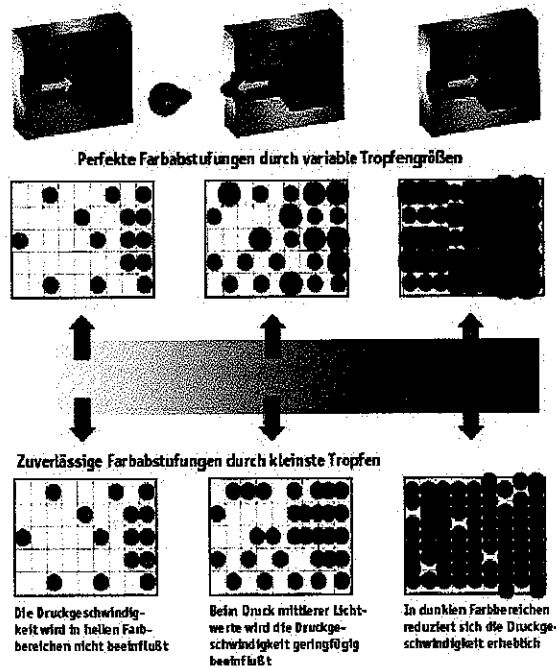


Abbildung 2.2-1: Piezo-Verfahren

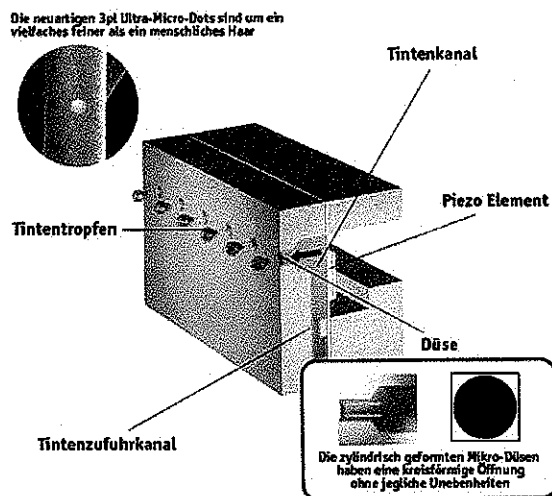


Abbildung 2.2-2: Piezo-Inkjet-Druckkopf

Dann lässt ein positiver Spannungstoß das Tintenvolumen mit hoher Geschwindigkeit gegen die Düsenöffnung schnellen, worauf sich aus dem Meniskus ein winziger Tropfen löst. Direkt da-

nach sorgt erneut eine negative Spannung für einen „Sog-Effekt“.

Durch diese gezielten Druck- und Sog-Effekte erreicht man mit der Piezo-Technik, trotz vergleichsweise großer Düsenöffnungen, in den Druckkopfkammern winzige Tintentropfen mit Volumina im Picoliterbereich. In Abbildung 2.2-3 ist der PT88S-Druckkopf von Siemens mit neun Piezoröhrchen dargestellt.

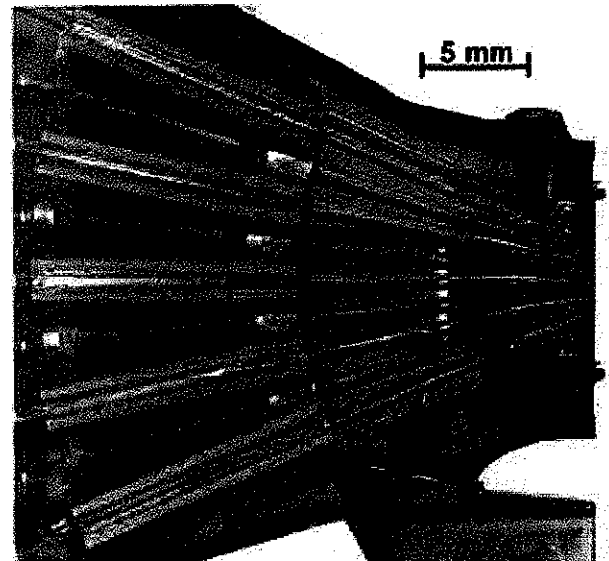


Abbildung 2.2-3: PT88S-Druckkopf von Siemens mit neun Piezoröhrchen /61/

2.3 Das Thermoelement

Durch die starke Erhitzung (über 300°C) eines im Tintenkanal integrierten Thermoelements wird Tinte zum Verdampfen gebracht. Mit jedem Heizimpuls entsteht eine Blase und gleichzeitig ein Überdruck in der Düsenkammer. Die geschickte Kombination zweier Thermoelemente gestattet es, verschieden große Tintenmengen zu versprühen und damit unterschiedlich große Punkte zu erzeugen. Eine genau definierte Tintenmenge wird somit auf das Papier ausgestoßen. Durch anschließende Kondensation des Gases wird frische Tinte aus dem Vorratsbehälter in den Tintenkanal nachgesaugt – vgl. Abbildung 2.3-1.

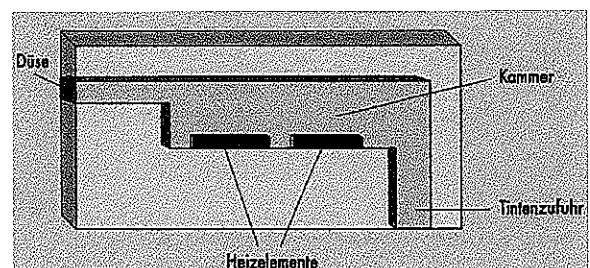


Abbildung 2.3-1: Thermo-Inkjet-Druckkopf

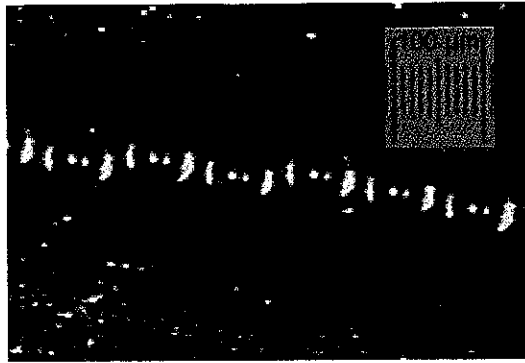


Abbildung 2.3-2: Frontansicht des Druckkopfes von TD 1: Die zwei hellen Punkte, welche sich im Inneren der dargestellten 6 Düsen befinden, stellen die Düsenöffnung dar, welche ca. 10 μm gross ist. Die Düsen stoßen jeweils einen Tintentropfen mit einem Volumen von 5 Picolitern mit einer Frequenz von 18 kHz aus. Insgesamt sind in einer Farbpatrone des TD 1 408 Düsen angeordnet.

2.4 Einflüsse auf Qualität und Geschwindigkeit der Druckausgabe

Mehrere Faktoren entscheiden über Qualität und Tempo der Druckausgabe:

- der Treiber, der die Daten rastert,
- der Druckkopf, der die Tinte in möglichst feine Tröpfchen versprüht, und
- die Mechanik, die Druckkopf und Papier exakt bewegt.

Treiber und Drucker arbeiten bei der Ausgabe der Bilddaten als Gespann. Der Treiber übernimmt von der Applikationssoftware die auszugebenden Daten im RGB-Format. Daraus erzeugt er das Seitenabbild in der gewünschten Auflösung, für die gewünschte Papiersorte, mit der jeweils notwendigen Rastermethode und den vom Hersteller vorgesehenen Korrekturen.

Der erste wichtige Schritt bei der Aufbereitung der Bilddaten in Druckdaten, den der Druckertreiber zu leisten hat, ist die Umwandlung der RGB-Informationen (Rot, Grün, Blau, das sind die Grundfarben der Farbmischung auf dem Monitor) in die Grundfarben der Drucktechnik, Cyanblau, Magentarot, Gelb (Yellow) und Schwarz (CMYK). Legt man die drei Grundfarben des RGB-Systems übereinander, so entsteht Weiß, bei der subtraktiven Farbmischung von CMY in der Druckausgabe entsteht hingegen Schwarz.

Ähnlich wie der Monitor, der verschiedene Farben durch dicht nebeneinander gesetzte Punkte aus den Grundfarben mischt, erzeugt der Farbdrucker die gewünschte Farbe durch Neben- und Über-einanderdrucken vieler, sehr kleiner Farbpunkte. Daher wird im zweiten Bearbeitungsschritt die Farbinformation in einzelne, verschieden große und gezielt ineinander gesetzte Punktfelder übersetzt. Für einen Echtfarbpixel im Bild müssen also auf dem Papier viele Druckpixel zusammen-treten, um die Farbinformation zu übertragen. Je

dunkler der gewünschte Farbton, desto zahlreicher müssen die Druckpixel neben- und übereinander erzeugt werden. Eine satte Färbung setzt dabei eine flächendeckende Färbung voraus. Bei der Berechnung dieses Ausgaberrasters verfolgt die Software (Rasterizer genannt) zwei Ziele, die sich nur schwerlich vereinen lassen: Zum einen soll die Farbwiedergabe so exakt wie möglich der Vorgabe folgen (was mit steigender Anzahl von Druckpixeln pro Bildpunkt besser gelingt), zum anderen versucht das System, auch feinste Details durch entsprechend positionierte Pixel so genau wie möglich zu reproduzieren (was möglichst wenige Druckpixel pro Bildpunkt erfordert).

Das Seitenbild, Image genannt, wird entweder auf der Festplatte zwischengepuffert oder im RAM aufgebaut. Danach erfolgt die Ausgabe an den Drucker. Da die allermeisten Ink-Jet-Drucker nur sehr wenig Pufferkapazität mitbringen, blockiert der Treiber während dieses Prozesses einen großen Teil der Systemaktivitäten. Denn Unterbrechungen im Datenfluss haben störende Streifen zur Folge, weil der Druckvorgang für eine möglichst homogene Bildausgabe eigentlich „nass in nass“ (ohne sichtbare Übergänge) erfolgen soll, in diesem Fall aber nasse Tinte auf bereits getrocknete Farbe trifft.

In einer Zeile gibt der Drucker eine sehr hohe Anzahl von Pixeln aus – aktuelle Druckermodelle verfügen insgesamt über bis zu mehreren hundert Düsen. Die Anzahl der Düsen und der von ihnen abgedeckte Druckbereich entscheiden über die Höhe der Zeile, oder besser gesagt, des Datenstreifens. Ein Druckkopf mit 200 Düsen verarbeitet also 200 Pixelzeilen mit einer Fahrt über das Papier von links nach rechts. Das auszugebende Seitenabbild (Image) setzt sich aus etlichen dieser Zeilen (Bänder) zusammen, die nacheinander gedruckt werden. Dieser Vorgang wird in der Fachliteratur auch mit Banding bezeichnet. Es wandert also immer nur ein kleiner Teil der aufbereiteten Bilddaten an den Drucker, wo sie zwischengepuffert und vom Druckkopf umgesetzt werden.

Zeile um Zeile sprüht der Drucker das Seitenabbild zusammen. Nach jedem Streifen des Images schiebt die Mechanik im Drucker das Papier um die Höhe des Bandes – je nach Modus auch nur um die Hälfte oder ein Drittel vor, der Druckkopf sprüht die nächsten Pixel darauf. Die meisten Hersteller geben beim Fotodruck die Bänder teilweise überlappend aus; zunächst sprüht der Kopf die 1., 3., 5... Zeile auf, dann fährt er zurück, das Papier wird um einen winzigen Schritt vorbewegt, und im nächsten Durchgang (in der nächsten Zeile) wird die 2., 4., 6... Zeile ausgegeben. Dieses Vorgehen (bei Epson „Micro Weaving“ genannt) vermeidet weitgehend sichtbare Übergänge zwischen den einzelnen Streifen. Der Druckkopf überstreicht dabei jede Zeile mehrfach.

schen den einzelnen Streifen. Der Druckkopf überstreicht dabei jede Zeile mehrfach.

2.5 Entwicklung der Inkjet-Drucker

Im Jahr 1985 gab es auf dem europäischen Markt ca. 330 000 Inkjet-Drucker. Der überwiegende Teil dieser Drucker konnte nur mit einer niedrigen Bildauflösung bis 96 dpi arbeiten (dpi = dots per inch). Diese niedrigauflösenden Drucker werden Drucker der 1. Generation genannt.

Gegen Ende der achtziger Jahre kamen Schwarzweiß (Monochrom-) Inkjet-Drucker mit höherem Auflösungsvermögen auf den Markt, die als Drucker der 2. Generation bezeichnet werden. Mit diesen war eine zuvor nur bei Laserdruckern erreichbare Auflösung von 300 bis 360 dpi möglich.

Anfang der neunziger Jahre kamen dann die Farb-Inkjet-Drucker mit 600 bis 2400 dpi ins Rennen, deren Marktanteil schnell wuchs und heute zur Standardausrüstung in Büros und zu Hause gehört.

2.6 Inkware

Bei den Inkjet-Tinten werden die wasser- und die Lösungsmittelbasierenden Tinten unterschieden.

Die Tinten auf Lösungsmittelbasis werden vor allem in Continuous Inkjet-Druckern eingesetzt. Da mit diesen Druckern vornehmlich auf nichtsaugenden Materialien, wie z.B. Plastikfolie, Glas, usw. gedruckt wird, ist eine Trocknung und Fixierung der Tinte nur durch Verdunstung möglich.

Bei den Heim- und Bürodrukern kommen hingegen wasserbasierende Inkjet Tinten zum Einsatz. Bei diesen Tinten handelt es sich, wie bei Füllfedertinten um wässrige Lösungen von Farbstoffen, denen meist noch Konservierungsmittel, Feuchthaltemittel und Chemikalien zur Verbesserung der Fließfähigkeit und Netzmittel zugesetzt werden.

2.7 Inkjet-Papiere

Das Anforderungsprofil an monochrome Inkjet-Papiere hat sich grundlegend geändert. Bei den ersten Tintenstrahl-Druckern sollten die Tintentropfen noch etwas auf dem Papier auslaufen können, um die Lücken zwischen den aufgespritzten Tintenpunkten zu schließen. Dadurch konnte trotz der niedrigen Auflösung ein kompaktes, zusammenhängendes Schriftbild entstehen. Die Tinte musste innerhalb kürzester Zeit (0,1 bis 2 s) in das Papier weggeschlagen sein, um ein Ablegen oder ein Verschmieren der frisch bedruckten

Stellen zu verhindern. Diese klassische Ink-Jet-Papiere sollten eine hohe Glätte besitzen und die Oberfläche einen hydrophilen Charakter aufweisen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden die Papiere mit speziellen Strichschichten veredelt. In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die besten Inkjet-Druckergebnisse auf Papieren mit Kieselsäurestrichschichten erzielt werden konnten.

Mit dem Aufkommen der hochauflösenden Drucker änderten sich die Anforderungen an das Papier. Die Drucker der 2. Generation waren weniger „papierempfindlich“. Es ließen sich bereits mit herkömmlichen, ungestrichenen Papieren gute Druckresultate erzielen. Erstaunlich ist, dass auf den hochauflösenden Schwarzweiß Inkjet-Druckern die speziell gestrichenen klassischen Inkjet-Papiere deutlich schlechter abschnitten, als z.B. ungestrichene holzfreie Kopierpapiere. Hatte die klassischen Inkjet-Papiere eher hydrophilen Charakter („Löschpapier“), so zeigten sich auf den neuen Druckern gerade mit gut oberflächengeleimten Papieren die besseren Druckqualitäten. Doch auch auf den Druckern der zweiten Generation lassen sich nicht mit allen Papieren gute Druckergebnisse erzielen. Eine negative Beeinträchtigung der Inkjet-Eignung ergibt sich durch allzu hohe Wegschlagzeiten der Tinte ins Papier (z.T. 50 bis 100 s).

Eine weitere Verschlechterung kann sich durch „Ausfransen“ des Schriftbildes ergeben. Sind die Ausfransungen des Tintenstriches kleiner als etwa 0,4 mm, so spricht man von „feathering“. Eine wesentlich stärkere Beeinträchtigung des Schriftbildes ergibt sich durch das sogenannte „wicking“. Das „wicking“ ist ähnlich dem „feathering“, die Fransen sind jedoch wesentlich länger, und stören daher im Inkjet-Ausdruck stärker (Länge z.T. bis zu 3 bis 4 mm).

2.8 Verwendete Druckereinstellungen

Für die Einhaltung konstanter Druckbedingungen wurden für alle Drucker folgende Einstellungen festgelegt und im Verlaufe der Untersuchungen unverändert gelassen:

		Einstellung	
		Qualität	Papiertyp
TD1	NKP5	Optimal	Normales Papier
	NKP6	Optimal	Normales Papier
	GKP2	Optimal	Andere Fotopapiersorten
TD2	NKP5	Qualität	Photo Quality Glossy Film
	NKP6	Qualität	Normalpapier
	GKP2	Qualität	Normalpapier
TD3	NKP5	Hoch	Normales Papier
	NKP6	Hoch	Normales Papier
	GKP2	Hoch	Anderes Papier
TD4	NKP5	Hoch	Normalpapier *
	NKP6	Hoch	Normalpapier *
	GKP2	Hoch	Fotopapier *

Tabelle 2.8-1: verwendete Druckereinstellungen

* für Schwarz Einstellung "nur Schwarz"

Dabei wurde die höchstmögliche, vom Hersteller angegebene Druckqualität benutzt, die wiederum einer vom Hersteller vordefinierten Auflösung entspricht.

	Auflösung (dpi)
TD1	600 x 600 **
TD2	1440 x 720 **
TD3	1200 x 600 **
TD4	1200 x 1200 **

Tabelle 2.8-2: Auflösung der Drucker

3. Charakterisierung von Tinten und Papieren

3.1 Papiere

3.1.1 Standardeigenschaften

Für die Entwicklung von möglichen Testverfahren zum Wegschlagen, Trocknen und Verfestigen von Ink-Jet-Drucken wurden 18 Referenzpapiere zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 1.1-1). Um die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Ink-Jet-Tinten und den Referenzpapieren näher zu untersuchen und diese besser interpretieren zu können, wurden zu erst einige Standardeigenschaften der Referenzpapiere ermittelt. Dabei wurde von allen Papieren die in Tabelle 3.1-1 dargestellten Eigenschaften gemessen. Eine Übersicht über die dabei ermittelten Ergebnisse befindet sich in Anhang A.1.

Eigenschaft	Verwendete Norm
Flächenbezogene Masse [g/m ²]	ISO 536-95
Scheinbare Blattdichte [g/cm ³]	ISO 534: 1995
Dicke [µm]	ISO 534: 1995
Glätte nach Bekk [s]	ISO 5627: 1995 Verfahren A
Rauheit nach Bendtsen 1bar hart [ml/min]	ISO 8791-2 1990
Rauheit/Glätte nach Print-Surf 10 bar soft+hart [µm]	ISO 8791-3 1990
Weißgrad [%] mit und ohne UV	DIN 53145 März 2000 Teil 1 und 2
Glanz DIN 45°	DIN 54502 (März 92)
Glanz DIN 75°	DIN 54502 (März 92)
Opazität [%]	DIN 53146-93
Lichstreuoeffizient s[m ² /kg]	DIN 53146-93
Lichtabsorptionskoeffizient k [m ² /kg]	DIN 53146-93
CIELAB-Farbort Helligkeit L [%]	DIN 6174 01-79
CIELAB-Farbort a*	DIN 6174 01-79
CIELAB-Farbort b*	DIN 6174 01-79

Tabelle 3.1-1: Übersicht über die gemessenen Eigenschaften der Referenzpapiere

3.1.2 Oberflächen-pH-Wert

Der Oberflächen-pH-Wert von Papier übt einen Einfluss auf die Verarbeitungsprozesse – wie z.B. das Bedrucken – auf. Die Bestimmung des Oberflächen-pH-Wertes erfolgt nach dem Zellcheming-Merkblatt V/17/80. Dabei wird die Probe in eine Messvorrichtung mit Andrückelement, einer Abschirmung gegen Luft, sowie einer Vorrichtung

zur Regelung der Temperatur eingelegt und mit 0,5 ml hochreinem Wasser befeuchtet. Der pH-Wert des Wassers sollte zwischen 6,8 und 7,2 liegen, sowie eine elektrische Leitfähigkeit >500µS/m haben. Während der Messung muss die Umgebungstemperatur zwischen 20°C und 23°C liegen. Nach zwei Minuten ist der pH-Wert am Anzeigenelement abzulesen. Der Oberflächen-pH-Wert wurde mit dem Messgerät Porta-Mess der Firma Knick ermittelt.

Die Messergebnisse der Oberseite sind in Tabelle 3.1-2 dargestellt.

Papier	pH-Wert	Papier	pH-Wert
NKP 1	7,89	GKP 1	5,34
NKP 2	7,87	GKP 2	7,26
NKP 3	7,69	GKP 3	7,54
NKP 4	8,01	GKP 4	9,46
NKP 5	7,73	GKP 5	7,79
NKP 6	7,61	PEP 1	7,41
NKP 7	7,38	PEP 2	8,28
NKP 8	7,63	PEP 3	5,63
NKP 9	7,89	PEP 4	4,68

Tabelle 3.1-2: Oberflächen-pH-Wert der Referenzpapiere (Mittelwerte, Standardabweichung und Vertrauensbereich siehe Tabelle 4.2-1)

Die Oberflächen-pH-Werte der meisten Papiere bewegen sich um den Neutralwert, bzw. liegen im leicht alkalischen Bereich. Lediglich das gestrichene Kopierpapier GKP 1, sowie die polyethylenbeschichteten Papiere PEP 3 und PEP 4 weisen saure Oberflächen-pH-Wert auf. Der Oberflächen-pH-Wert des gussgestrichenen Kopierpapiers GKP 4 weist mit 9,46 den höchsten Wert auf.

3.1.3 Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung ist ein Maß für die ins Innere gerichteten Anziehungskräfte von Atomen oder Molekülen in der Oberfläche von Festkörpern und Flüssigkeiten, ihre Einheit ist mN/m oder als spezifische Oberflächenenergie mNm/m².

Die Wechselwirkungen zwischen elektrisch ungeladenen Molekülen (Van der Waals-Kräfte) können in polare Anteile (wie Wasserstoffbrückenbindungen) und disperse Anteile aufgeteilt werden.

Entsprechend kann die Oberflächenspannung zerlegt werden in zwei Anteile, die auf die jeweils wirkenden Kräfte Rücksicht nehmen.

Diese Zerlegung kann additiv erfolgen [38, 58]:

$$\sigma = \sigma^p + \sigma^d$$

Darin ist σ^p der Oberflächenspannungsanteil auf Grund polarer Wechselwirkung und σ^d der auf Grund disperser Wechselwirkung.

Unter dieser Voraussetzung lässt sich folgende Zustandsgleichung ableiten, die den Randwinkel eines Prüfflüssigkeitstropfens mit bekannter Oberflächenspannung und Polarität mit der Oberflächenspannung und Polarität des Festkörpers verknüpft / 38 /.

$$\delta = \arccos \left[\frac{4(\sigma_s - \sigma_s^p)(\sigma_l - \sigma_l^p)}{\sigma_l(\sigma_l + \sigma_s - \sigma_l^p - \sigma_s^p)} + \frac{(4\sigma_s^p \sigma_l^p)}{\sigma_l(\sigma_l^p + \sigma_s^p)} - 1 \right]$$

Darin bedeuten:

σ_s : Oberflächenspannung des Festkörpers (s=solid)

σ_s^p : Polarer Anteil von σ_s

σ_l : Oberflächenspannung der Prüfflüssigkeit (l=liquid)

σ_l^p : Polarer Anteil von σ_l

δ : Randwinkel

Verwendet man zwei Prüfflüssigkeiten, so erhält man zwei Gleichungen für die beiden Unbekannten σ_s^p und σ_s^d .

Dazu werden zwei Prüfflüssigkeiten mit bekannter Oberflächenspannung und bekannten polaren und dispersen Anteilen verwendet. (siehe Tabelle 3.1-3)

[mN/m]	σ	σ^p	σ^d
Wasser	72,8	50,7	22,1
Glyzerin	63,4	37,0	26,4

Tabelle 3.1-3: Oberflächenspannung der Prüfflüssigkeiten

Die Prüfflüssigkeiten, hier Wasser und Glyzerin, wurden aus einer Dosierpipette mit einem Volumen von ca. 2,5 μ l auf das Papier appliziert. Zwischen der Applikation des Tropfens und der Bestimmung des Randwinkels muss eine Wartezeit liegen, damit der Gleichgewichtszustand eingenommen werden kann. Die Wartezeit ist abhängig von der verwendeten Prüfflüssigkeit, hier 10 s für Wasser und 15 s für Glyzerin.

Die Tropfen wurden mit einer Digitalkamera aufgenommen und als Bilddatei abgespeichert. Die Bildgröße betrug 6,5 x 4,8 mm.

Anschließend wurde der Durchmesser $2r$ der Kontaktfläche und die Höhe h des Tropfens bestimmt und der Randwinkel aus

$$\tan \frac{\delta}{2} = \frac{h}{r}$$

berechnet.

Es wurden zwei Prüfstreifen pro Papier zurechtgeschnitten, wobei nur eine Prüfflüssigkeit für einen Papierstreifen verwendet wurde. Die Messergebnisse der beiden Prüfstreifen mit den aus der jeweiligen Prüfflüssigkeit applizierten Tropfen wurden im Excel weiter verarbeitet. Bei den verwendeten Papieren handelt es sich um ein Polyethylenbeschichtetes Ink- Jet Papier PEP 2 und einem zweiseitig gestrichenen Laserdruckpapier GKP 2.

mN/m	σ_s	σ_s^p	σ_s^d
GKP2	124,88	134,86	-9,98
PEP2	105,76	34,86	70,89

Tabelle 3.1-4: Oberflächenspannung der Papiere auf der OS (Oberseite)

Geplant ist die Fortsetzung dieser Messungen der Oberflächenspannung der Papiere mit einer automatisierten Messeinrichtung als Voraussetzung für die notwendige Anzahl von Einzelmessungen mit einer geeigneten Auswahl von Prüfflüssigkeiten.

Da für dieses Messverfahren ein Rauigkeitswert kleiner als 1 μ m gefordert wird, wurde die Messung zunächst für ungestrichene Papiere nicht durchgeführt. Bei ungestrichenen Papieren muß erst der Einfluß der Rauigkeit durch Komprimierung und Glättung der Proben verringert werden. Die Wechselwirkung zwischen Tinte und Papier unter Berücksichtigung der Oberflächenrauheit wird im Absatz 4.1 anhand der Benetzungsspannung diskutiert.

3.2 Tinten

3.2.0 Einführung

Die Tinten, die für den Inkjet-Druck benutzt werden, müssen in ihren physikalischen Eigenschaften auf die Strömungsverhältnisse im Druckkopf abgestimmt und zusätzlich in der Lage sein scharfe, optisch dichte und lichtechte Bilder zu erzeugen. Weiterhin sollten sie haltbar sein und keine Langzeitgesundheits- oder chemische Schäden hervorrufen.

Für die präzise Tropfenplatzierung müssen Rheologie und Oberflächenspannung aufeinander abgestimmt sein:

Im Idealfall sollte ein Newton'sches Fließverhalten vorliegen, in der Praxis variieren allerdings die Viskositätsanforderungen von Drucker zu Drucker aufgrund der konstruktiven Beschaffenheiten. Im Gegensatz zum Continuous Jet-Verfahren reagiert das Drop-on-Demand-Verfahren sehr empfindlich auf Viskositätsschwankungen was zu der Forderung führt, die Viskosität auch über eine längere Benutzungszeit des Druckers möglichst konstant zu halten. Da sich die Viskosität mit der Temperatur ändert und diese wiederum bei langandauernder Benutzung der Druckköpfe erhöht, sind die Düsen thermostatisch gesteuert.

Die Oberflächenspannung der Tinte ist ebenfalls ein kritischer Faktor bei der Tropfenformung und der Erhaltung von diskreten Tropfen. Die Oberflächenspannung von Wasser 72 mN/m stellt ein Optimum dar. Dieses Optimum wird allerdings von den Tinten nicht erreicht, da sie mit Farbstoffen, Bindemitteln und Additiven versehen sind, die die Oberflächenspannung deutlich verringern. Erreichbare Oberflächenspannungen werden in „The Printing Ink Manual“ [1] mit 50-60 mN/m angegeben. Auf Lösungsmittel basierende Tinten besitzen Oberflächenspannungen, die sogar noch unter dem oben angegebenen Wertebereich liegen.

Bei Tinten, die in einem Continuous-Jet-Verfahren eingesetzt werden, ist die Leitfähigkeit von besonderer Bedeutung, da die Tropfen in diesem Verfahren aufgeladen werden und dann über Ablenkplatten durch Anziehung oder Abstoßung an die gewünschte Stelle manövriert werden. Das höchste Leitvermögen wird bei den Tinten durch Einsatz von polaren Lösungsmitteln in Verbindung mit Wasser erzielt. Sollen nicht-absorbierende Medien (z.B. Folien) bedruckt werden, so werden organische Lösungsmittel mit niedrigem Siedepunkt und deshalb hoher Verdunstungsgeschwindigkeit eingesetzt. Früher nutzte man im Continuous-Jet-Verfahren zu diesem Zweck Methanol, da es über eine gute Leitfähigkeit verfügt. Da aber Methanol toxisch ist, baut man heute auf weniger

giftige, schnell trocknende Lösungsmittel wie Ethanol und Methyl- Ethyl- Keton (MEK). Da diese Lösungsmittel den Nachteil haben, weniger leitfähig zu sein als es das Gemisch von Wasser und Methanol ist, werden heute zur besseren Leitfähigkeit zusätzlich lösliche Salze in die Tinte eingebracht.

Die meisten Tintensysteme beinhalten gelöste Farbstoffe, die für die meisten Arbeiten zufriedenstellende Ergebnisse bringen. Die Farbintensität ist durch die begrenzte Löslichkeit beschränkt, jedoch lassen sich mit einer guten Zusammenstellung an Chemikalien brillante, intensive Farbwirkungen erzielen. Pigmente werden nur selten eingesetzt, da sie das Strömungsverhalten in der Düse negativ beeinflussen, sie die Düsen verstopfen können und die Dispersionen nicht problemlos stabil zu lagern sind.

Die Löslichkeit der Farbstoffe in Wasser hängt vom pH-Wert ab, im allgemeinen sind die Tinten von neutralem oder leicht alkalischem Charakter. Um pH-Wert-Änderungen durch Kohlendioxidabsorption aus der Atmosphäre zu verhindern werden die Farbsysteme mit Additiven (Schwefel Carbonat) angereichert, die die pH-Wert-Stabilität garantieren sollen. Ebenfalls kann der pH-Wert durch konstruktive Bedingungen verändert werden. So z.B. wenn die Tinte in Kontakt mit korrodierendem Metall kommt und sich somit die Wasserstoffionen-Konzentration ändert.

In den modernen Inkjet-Systemen werden Partikel, welche die feinen Düsen verstopfen könnten durch Filter zurückgehalten. Diese Filter sind selbst ebenfalls verstopfungsgefährdet, sobald sich die Partikelgröße in Richtung der eigenen Maschenweite bewegt. Da diese Filter eine Maschenweite von meist 3 µm besitzen, müssen die Tinten mindestens gleichartig vorgefiltert werden. Weiterhin muss die Dispersion sehr stabil sein, so dass die Partikel nicht ausflocken oder bei chemischen oder biologischen Aktivitäten während der Lagerung reagieren.

Ein weiteres Problem bei der Lagerung ist die Kristallisation, die umso wahrscheinlicher auftritt, je näher die Konzentration an der Löslichkeitskonzentration der Farbe liegt. Um die Stabilität zu unterstützen stellt man Farben mit niedrigem Salzgehalt her und benutzt bei wasserbasierenden Tinten deionisiertes oder destilliertes Wasser. Wasserbasierende Tinten neigen zur Anfälligkeit auf Sporen und Bakterien und werden daher mit Bioziden zu deren Bekämpfung versehen.

Es wird in den meisten Fällen eine hohe Trocknungsgeschwindigkeit angestrebt. Im Continuous-Verfahren stellt diese Anforderung kein Problem dar, da die hier verwendeten Tinten einen sehr hohen Lösungsmittelanteil mit niedrigem Siedepunkt haben. Bei der Verwendung einer solchen

schnelltrocknenden Tinte im DOD-Verfahren würde es schon in den Düsen zu einer Trocknung kommen, was unbedingt zu vermeiden ist. Daher basieren die meisten Tinten für das DOD-Verfahren auf langsam verdunstenden Glycolen. Glycol- und wasserbasierende Tinten trocknen durch Eindringen in das Papier. Auf Papieren mit hoher Absorptionsgeschwindigkeit trocknen sie dann schneller, zeigen allerdings Tendenz zum Spreiten und Durchschlagen.

Typical ink formulations			
A. Solvent-based continuous jet ink			
Aniline Blue	3.0	Solvent-soluble dye	
Phenol-formaldehyde polymer	6.0	Film-forming polymer to give water resistance and adhesion to substrate	
Alcohol	49.5	Solvent	
Dimethyl formamide	41.0	Solvent	
Soluble electrolytes	0.5	Conductivity aid	
	100.0		
Final characteristics			
Viscosity 2.1 cp at 20°C			
Conductivity 1200 micromhos/cm			
Surface tension 25 dynes/cm at 20°C			
B. Water-based continuous jet ink			
Direct black dye	4.25	Crusting inhibitor	
Distilled water	83.15	Dye solvent	
Polyethylene glycol	5.00	Paper penetrant	
N-methyl pyrrolidone	4.00	Heavy metal suppressor	
Ethylene glycol monobutylether	3.00	pH control	
Sequestering agent	0.20	Anti-mould	
Buffering agent	0.30		
Biocide	0.10		
	100.00		

Abbildung 3.2-1: Tinten-Rezepte für Continuous-Verfahren

C. Drop-on-demand (impulse) system			
Direct dyestuff	3.0	Soluble dyestuff	
Polyethylene glycol	14.0	Anti-clogging solvent	
Diethylene glycol	12.0	Humectant	
N-methyl pyrrolidone	15.0	Dye solubiliser	
Biocide	0.1	Anti-fungal	
Buffering agents	0.3	pH control	
Polyvinyl alcohol	3.0	Viscosity controller	
Triethanolamine	1.0	Surface tension control	
Distilled water	51.6	Solvent	
	100.0		
Final characteristics			
Viscosity 9.0 cp at 20°C			
Surface tension 45 dynes/cm			
pH 10.5			

Abbildung 3.2-2: Tinten-Rezept für DOD-Verfahren

Geprüft wurden in dieser ersten Untersuchung die Originaltinten der ausgewählten Testdrucker:

TD1:	51645Ablack	
	C6578D	color
TD2:	T 003	black
	T005	color
TD3:	BC-60	black
	BCI-61	color
TD4:	12A1975	black
	15M0120	color

Von diesen Tinten wurden Dichte, Trockenrückstand, Viskosität, Oberflächenspannung, pH-Wert, sowie PCD-Ladung bestimmt.

3.2.1 Dichte

Bestimmt wurde die Dichte mit einer Analysenwaage (Sartorius BP 211 D), die bei einer max. Massenbestimmung bis 80 g eine Auflösung von 0,01 mg besitzt, und einer 0,5 ml fassenden Insulinspritze (Teilung: 0,01 ml = 10 µl, Eigengewicht = 1,572 g)).

Die leere Spritze wird auf die Wägeschale gelegt und die Waage tariert. Anschließend werden 0,5 ml der Tinte langsam aufgezogen und am Schluß noch ein paar Sekunden gewartet, um Luft einschüsse zu vermeiden. Nach evtl. Abtropfen der Tinte von der Kanüle wird die Spritze erneut auf die Waage gelegt und die Tintenmasse abgelesen. Anschließend wird die Spritze wieder entleert.

Die Tintendichte ergibt sich dann aus dem Quotienten der abgelesenen Tintenmasse und dem aufgezogenem Volumen (ca. 0,5 ml).

Bei einer Dichte um 1 g/cm³ beträgt die Tintenmasse ca. 0,5 g.

In der Dichte liegen die verschiedenen Tinten der vier Hersteller dicht zusammen, der Bereich liegt zwischen 1,04 und 1,10 g/cm³, in dem sich alle Farben befinden.

In Abbildung 3.2-3 sind die Ergebnisse aller Farben dargestellt, um kleine Unterschiede nicht zu unterschlagen ist die Skalierung sehr fein gewählt.

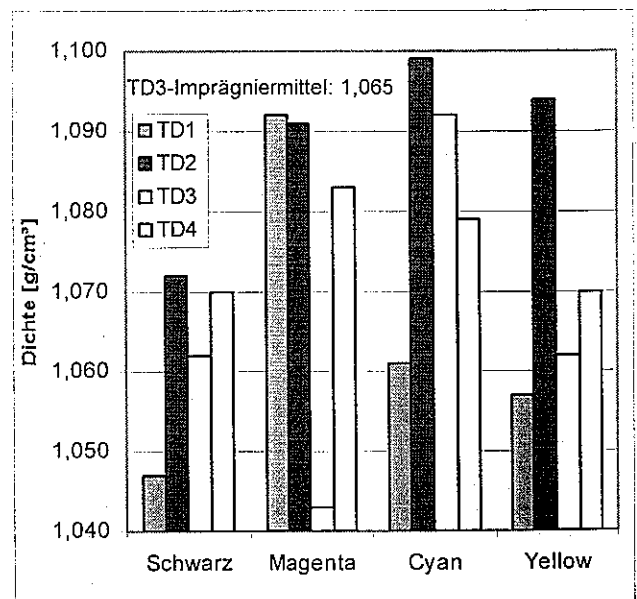


Abbildung 3.2-3: Dichte der Inkjet-Tinten und des TD3-Imprägniermittels bei 23 °C

[g/cm ³]	TD1	TD2	TD3	TD4
Schwarz	1,047	1,072	1,062	1,070
Magenta	1,092	1,091	1,043	1,083
Cyan	1,061	1,099	1,092	1,079
Yellow	1,057	1,094	1,062	1,070

Abbildung 3.2-1: Dichten der Ink-Jet-Tinten

3.2.2 Optische Eigenschaften

Die optischen Eigenschaften der Tinten lassen sich mit Hilfe eines Reflektometers bestimmen. Dabei werden Tinte in ein rundes flaches Glasgefäß eingefüllt und dann nach den in Tabelle 3.1-1 aufgeführten Normen gemessen. Durch Kenntnis der optischen Eigenschaften der Tinten können Aussagen über das zu erwartende Druckbild gemacht werden.

3.2.3 Trockenrückstand

Mit Hilfe der Infra-Rot-Trocknung wurde der Trockenrückstand bei einer konstanten Temperatur von 60°C auf einer Waage bestimmt. Die Dauer der Messung wurde von der Tintenbeschaffenheit abhängig gemacht, meist trat die Massenkonstanz auf der IR-Waage nach ein bis zwei Tagen ein. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass bei Probeversuchen mit einer eingestellten Temperatur von 160°C für die gleichen Tinten niedrigere Trockenrückstands-Werte erhalten wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dieser vergleichsweise hohen Temperatur Bestandteile aus der Tinte verdampft bzw. verbrannt wurden. Aus diesem Grund wurden die folgenden Messungen bei der verhältnismäßig niedrigen Temperatur von 60°C angesiedelt – vgl. Abbildung 3.2-4.

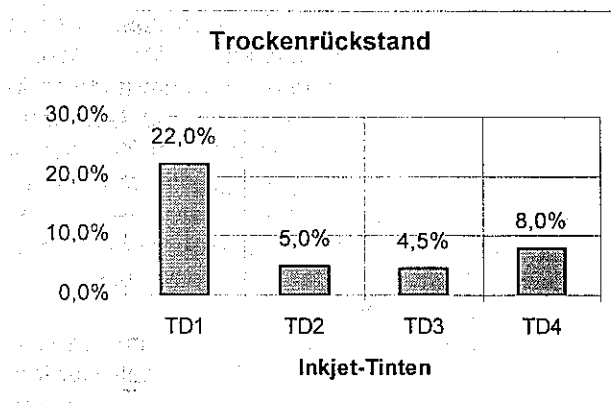


Abbildung 3.2-4: Trockenrückstand der schwarzen Inkjet-Tinten (60°C, 1-2d)

Die Feststoffgehalte von Testdrucker 2 und 3 liegen im gleichen Bereich (bei ~5%), Testdrucker 4 etwas darüber (mit 8%) und mit 22% steht Test-

drucker 1 sehr hoch im Feststoffgehalt. Bei diesem Wert wurde eine Mehrfachbestimmung durchgeführt, wobei die Werte in engem Abstand bei etwa 22% lagen. Dies stimmt nachdenklich, da doch ein hoher Feststoffgehalt für die Inkjet-Technologie eigentlich von Nachteil ist, da die feinen Düsen oder der davor eingebaute Filter sehr verstopfungsanfällig sind. Auffällig war bei der Beobachtung der getrockneten Tinte, dass sie ihren öligen Glanz nicht verlor. Andererseits lässt sich mit einem höheren Feststoffanteil auch ein satteres Schwarz erzeugen, was den Vorteil einer besseren Druckqualität bietet.

3.2.4 Dynamische Viskosität

Die Viskositäten der Tinten wurden mittels eines Viskosimeters der Firma DjScientific bestimmt. Dieses Gerät erlaubt die gleichzeitige permanente Messung von Viskosität und Temperatur.

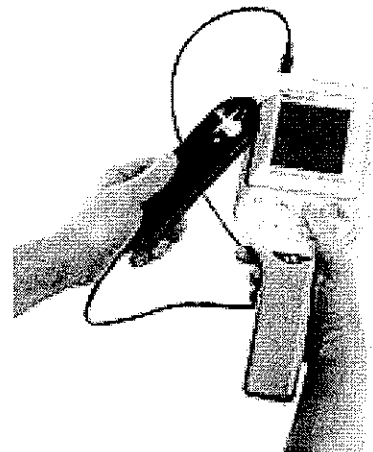


Abbildung 3.2-5: Hand Held Analytical Viscometer der Firma DjScientific

Das Funktionsprinzip des Sensors beruht auf der Messung elektroakustischer Oberflächenwellen, genauer: der Änderung ihrer Amplitude und Ausbreitungsgeschwindigkeit aufgrund der Flüssigkeitseigenschaften.

Die Elektroden sind auf ein piezoelektrisches Substrat (Quarz) aufgebracht. An den Elektroden liegt Hochfrequenz-Wechselstrom, der den Quarz zum Schwingen anregt. Der vibrierende Quarz sendet akustische Oberflächenwellen.

Die zu untersuchende Flüssigkeit befindet sich auf der Laufstrecke dieser Wellen und kann somit die Parameter der Wellen beeinflussen.

Mit Hilfe von zwei Empfängerelektroden werden Dämpfung und Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Wellen, die je nach Viskosität der Flüssigkeit variieren, gemessen. Aus der Form der Wellenoberfläche bestimmt der Sensor die Viskosität.

Die Viskosität der Tinten unterscheidet sich von Drucker zu Drucker, während sie für die unterschiedlichen Farbtöne eines Druckers relativ stabil bleibt. Die Tinten des Testdruckers 2 weisen mit bis zu 4,36 mPa*s die höchsten Viskositäten auf. Danach folgen mit etwas kleineren Viskositäten die Tinten des Testdruckers 1 und 4. Die Tinten des Testdruckers 3 weisen mit 2,50 mPa*s (Cyan) die kleinsten Viskositäten auf.

Drucker	Farbe	Viskosität [mPa*s]
TD1 (TH: 2,4x1,2)	black	3,12
	cyan	3,58
	magenta	3,83
	yellow	3,98
TD2 (PI: 1,1x1,7)	black	4,00
	cyan	4,03
	magenta	4,36
	yellow	4,10
TD3 (TH: 1,2x0,6)	black	2,57
	cyan	2,50
	magenta	2,79
	yellow	2,81
	Imprägnierm.	2,87
TD4 (TH: 1,2x1,2)	black	3,24
	cyan	3,24
	magenta	3,22
	yellow	3,41

Tabelle 3.2-2: Dynamische Viskosität der Tinten und des Imprägniermittels bei 23°C (TH = Thermo PI = Piezo)

Zusätzlich bestimmt werden soll die Temperaturabhängigkeit der Tinten-Viskosität im Bereich von: (10)15 – 35(60) °C.

3.2.5 Dynamische Oberflächenspannung

Für die Messung der Oberflächenspannung standen die zwei Messgeräte SITA -online t60 und das SITA -online f10 zur Verfügung.

Beide Messgeräte dienen zum Messen der dynamischen und quasistatischen Oberflächenspannung von Flüssigkeiten bis weit in den quasistatischen Bereich. Die beiden sogenannten Tensiometer arbeiten nach dem Blasendruckverfahren, wobei Luftblasen durch eine Kapillare mit dem Radius r in die Flüssigkeitsprobe eingeleitet werden. Der Druck Δp , der zum Blasenaufbau notwendig ist, ist nach der YOUNG-LAPLACE - Gleichung proportional der Oberflächenspannung σ :

$$\sigma = \frac{\Delta p \cdot r}{2}$$

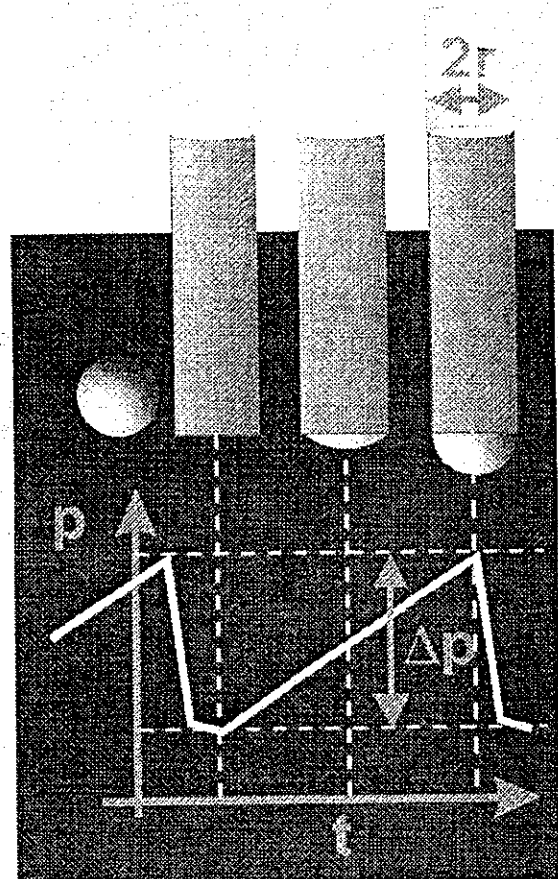


Abbildung 3.2-6: Blasendruckverfahren

Der Druck Δp wird von dem online-Tensiometer gemessen und in die Oberflächenspannung umgerechnet. Parallel dazu erfasst das verwendete Messgerät die Blasenfrequenz, die Blasenlebensdauer und die Temperatur der Flüssigkeit.

Das t60 Messgerät benutzt als Regelgröße einen konstanten Volumenstrom, das f10 den Druck. Die Vorteile des „großen“ Tensiometer (t60) gegenüber dem „kleineren“ f10 liegen zum einen in einem breiteren Regelbereich für Blasenlebensdauer bzw. -frequenz, und zum anderen in dem Gerätespeicher des t60. Das t60 Tensiometer besitzt einen Gerätespeicher (memory) von 4 Megabyte, auf dem die im Diagramm bzw. in der Tabelle angezeigten Messungen (data) gespeichert werden können. Die Messungen bleiben im Gerätespeicher auch nach dem Ausschalten des Gerätes erhalten.

Das „kleinere“ f10 wird über die Blasenfrequenz in einem Bereich von 1 – 10 Hz geregelt werden. Dies wiederum kann „nur“ in 0,1 Hz – Schritten erfolgen, wobei beim t60 bereits ab einer Frequenz von 0,008 bis hin zu 10 Hz bzw. einer Blasenlebensdauer von 30 bis 60000 ms geregelt werden kann. Dabei ist die Schrittweite, mit der die Blasenlebensdauer bzw. Frequenzwerte vom Startwert bis zu einem Stopwert verändert werden, über einen Faktor regulierbar. Zur Ermittlung

der nächsten einzustellenden Frequenz / Blasenlebensdauer wird die aktuelle Frequenz / Blasenlebensdauer mit diesem Faktor multipliziert.

Nicht zu vergessen ist auch der unterschiedliche Flüssigkeitstemperatur-Messbereich. So können mit dem t60 Temperaturen von $-100 \dots 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und beim „kleineren“ f10 von $0 \dots 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bestimmt werden.

Aus den eben genannten Vor- bzw. Nachteilen ergeben sich natürlich auch unterschiedliche Oberflächenspannungs-Messbereiche für die beiden Tensiometer.

Gerätetyp	σ_L
f10	15.....80 mN/m
t60	10...100 mN/m

Tabelle 3.2-3: Messbereiche

Zur Feststellung der besseren Benutzerfreundlichkeit wurden mit beiden Tensiometern ältere, bereits verwendete Inkjet-Tinten bzw. deren Imprägniermittel bezüglich deren Oberflächenspannung geprüft. Wie bereits beschrieben werden die Messdaten beim t60 in einem Speicher festgehalten. Beim f10 muss man die ermittelten Messwerte während des Messens vom Display ablesen und notieren. Natürlich besteht auch hier, wie bei den meisten Messgeräten üblich, die Möglichkeit, eine direkte

Verbindung mit einem PC herzustellen. Jedoch war dies während der Untersuchungen nicht möglich und stellt dazu noch ein gewisses Verschmutzungs-Risiko für den PC dar.

TR	Trockenrückstand
η	Dynamische Viskosität
σ_{stat}	Statische Oberflächenspannung
$\sigma_{\text{dyn-30 ms}}$	Dynamische Oberflächenspannung bei 30 ms Blasenlebensdauer
$\sigma_{\text{dyn-60s}}$	Dynamische Oberflächenspannung bei 60 s Blasenlebensdauer (Quasistatisch)
pH	pH-Wert
PCD	PCD-Ladung je ml Farbe

Vor dem Beginn der Messung ist es notwendig, die online-Tensiometer zu kalibrieren. Prinzipiell sollte eine Kalibrierung nach jeder Veränderung des Sensorkopfes, nach jedem Wechsel der Kapillare sowie nach jeder externen Reinigung der Kapillare erfolgen, wenn der Wert beim Messen von Wasser von den Oberflächenspannungswerten nach Teilbaum deutlich abweicht. Hierbei ist die Temperatur des Wasser zu berücksichtigen. Zum Kalibrieren der online-Tensiometer taucht man den Sensorkopf mit der Messkapillare und dem Temperaturfühler bis in den markierten Bereich am Temperaturfühler in Bi-distilliertes Wasser.

Um sicherzustellen, dass keine oberflächenaktiven Substanzen den Kalibriervorgang verfälschen, sollte man das bi-dist. H_2O ca. 15 min in einem Glasbecher stehen lassen. Dies wurde ebenfalls im Rahmen der Vorversuche festgestellt. Beide Geräte benötigen eine Kalibrierungszeit von ca. 7 min.

Aufgrund der bereits genannten Vor- und Nachteile der jeweiligen Messgeräte wurde dem SITA-online t60 der Vorzug gegeben. Alle folgenden Messergebnisse wurden mit diesem Messgerät ermittelt (vgl. Tabelle 3.2-3).

	Farbe	Dichte [g/cm ³]	TR [%]	η [mPa*s]	σ_{stat} [mN/m]	$\sigma_{\text{dyn-30ms}}$ [mN/m]	$\sigma_{\text{dyn-60s}}$ [mN/m]	pH	PCD [$\mu\text{eq/ml}$]
TD 1	schwarz	1,05	22,0	3,12	48,3	58,4	48,3	8,0	41
	magenta	1,09	-	3,83	29,4	48,6	28,8	8,0	148
	cyan	1,06	-	3,58	28,8	48,5	29,4	7,2	68
	yellow	1,06	-	3,98	29,8	47,0	29,8	7,1	154
TD 2	schwarz	1,07	5,0	4,00	33,8	50,2	33,8	9,0	385
	magenta	1,09	-	4,36	33,0	47,7	33,2	9,2	243
	cyan	1,10	-	4,03	33,2	49,5	33,0	9,0	136
	yellow	1,09	-	4,10	34,6	50,3	34,6	8,7	130
TD 3	schwarz	1,06	4,5	2,57	41,2	64,4	41,2	9,9	149
	magenta	1,04	-	2,79	32,2	62,3	36,1	9,5	163
	cyan	1,09	-	2,50	35,7	65,0	35,7	9,5	83
	yellow	1,06	-	2,81	36,1	65,8	37,7	9,9	154
	Imprägn.	1,07	-	2,87	37,7	66,2	32,2	7,3	-
TD 4	schwarz	1,07	8,0	3,24	51,9	60,6	51,9	8,2	44
	magenta	1,08	-	3,22	28,5	64,9	28,5	7,4	146
	cyan	1,08	-	3,24	28,5	78,4	28,5	8,2	100
	yellow	1,07	-	3,41	27,7	61,1	27,7	7,7	94

Tabelle 3.2-4: Statische mit der Dynamische Oberflächenspannung der Ink-Jet-Tinten mit Dichte, Trockenrückstand, pH- und PCD-Wert bei 23°C

Bis auf Testdrucker 2 weist bei allen anderen Testdruckern die schwarze Tinte die höchste Oberflächenspannung auf. Sie liegt bei den Testdruckern 1, 3 und 4 zwischen 3 und 23 mN/m höher als die Oberflächenspannung der restlichen Farben, welche sich für alle Testdrucker zwischen 27 und 38 mN/m bewegen. Lediglich bei Testdrucker 2 hat die schwarze Tinte eine kleinere Oberflächenspannung (33,76 mN/m) als die farbige Tinte (yellow: 34,6 mN/m) und es lässt sich kein größerer Unterschied zwischen der Oberflächenspannung der farbigen, sowie der schwarzen Tinte feststellen. Vergleicht man die Oberflächenspannung der farbigen Tinten eines Testdruckers untereinander, so lassen sich nur kleine Unterschiede feststellen. Es treten allerdings beim Vergleich der selben Farbe von unterschiedlichen Testdruckern größere Unterschiede auf. So liegt zum Beispiel die Oberflächenspannung der gelben Tinte des Testdruckers 3 mit 37,69 mN/m um ca. 10 mN/m höher als die Oberflächenspannung der gelben Tinte des Testdruckers 4 mit 27,74 mN/m.

Beispielhaft ist der Verlauf der dynamischen Oberflächenspannung in Abb. 3.2-7 dargestellt. Deutlich sichtbar ist, dass am Ende des Messbereiches des Tensiometers sich ein quasistatischer Zustand der Oberflächenspannung einstellt.

3.2.6 pH-Wert

Die pH-Werte der Tinten wurden mit einem handelsüblichen pH-Meter bestimmt.

In Abbildung 3.2-8 sind die pH-Werte der einzelnen Tinten und bei Testdrucker 1 auch zusätzlich des Imprägniermittels aufgeführt. Wie man erkennen kann, liegen die pH-Werte der schwarzen Tinten zwischen pH 8 und pH 10, was bedeutet, dass sie sich im Bereich von leicht basisch bis hin zu stark basisch bewegen.

Die pH-Werte der farbigen Tinten schwanken von Hersteller zu Hersteller zwischen dem neutralen und dem stark basischen Bereich. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Tinten von den Herstellern auf den eigenen Drucker und dessen Technologie abgestimmt werden.

Zu bemerken ist an dieser Stelle, dass die Tinten von Testdrucker 3 insgesamt mit Werten über pH 9,5 bis pH 9,9 einen sehr hohen pH-Wert aufweisen, während das Imprägniermittel einen pH-Wert von 7,3 aufweist. Bei Testdrucker 2 liegen die pH-Werte der Farben Schwarz, Magenta, Cyan und Gelb dicht um den Wert pH 9, während sich die pH-Werte von Testdrucker 1 und 4 zwischen pH 7 und ~pH 8 bewegen.

Die Wertetabelle für die pH-Werte der Tinten wurde in die Tabelle 3.2-4 eingearbeitet.

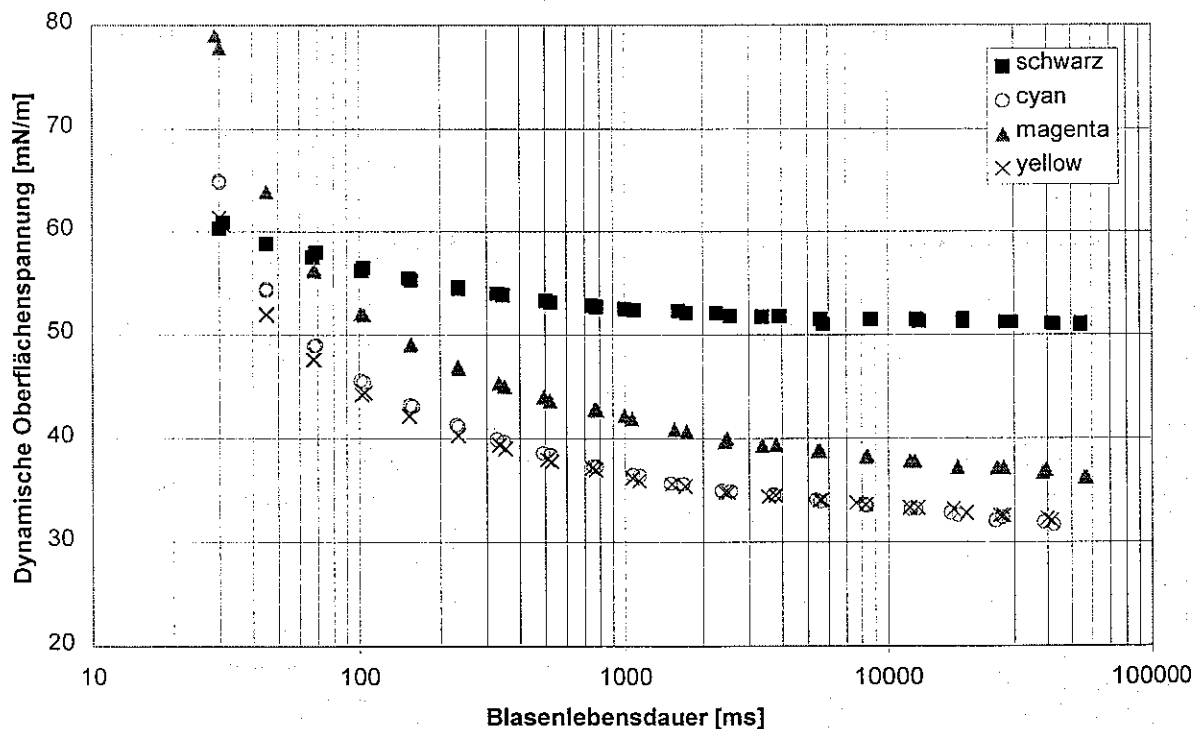


Abbildung 3.2-7: Dynamische Oberflächenspannung des TD 4

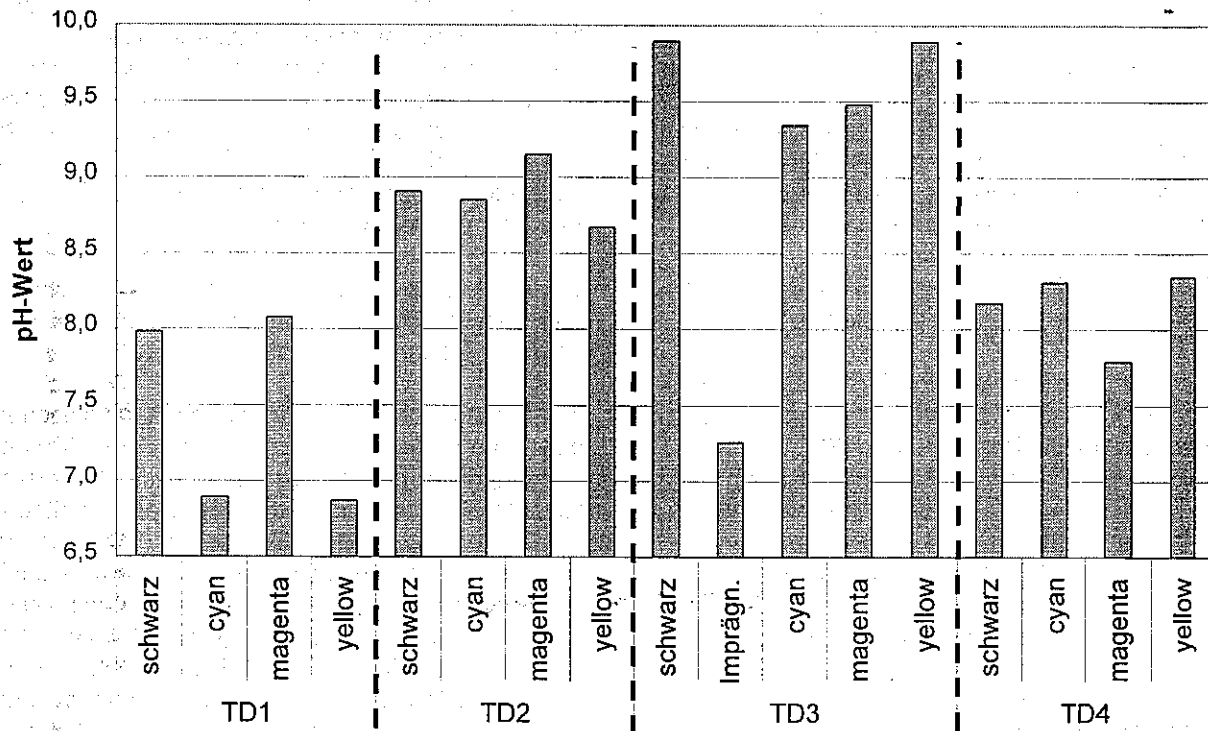


Abbildung 3.2-8: pH-Werte der Ink-Jet-Tinten und des Imprägniermittels (TD3)

3.2.7 PCD-Ladung

Kolloidal gelöste Moleküle oder Partikel in wässrigen Suspensionen können elektrische Ladungen tragen, wenn sich in der Molekülkette, bzw. an der Oberfläche dissoziierbare funktionelle Gruppen befinden.

Trennt man die Gegenionen vom dissoziierten Makromolekül, bzw. Partikel wird ein Strömungspotential messbar. Die Einheit ist Millivolt (mV).

Beträgt das gemessene Potential genau 0 mV, befindet sich die Suspension am isoelektrischen Punkt. Das heißt die vorhandenen Ladungen in der Probe sind neutralisiert.

Ist ein messbares Potential vorhanden, gibt dessen Vorzeichen an, ob eine positive (kationische) oder negative (anionische) Ladung vorliegt. Die Potentialhöhe ist nur schwer reproduzierbar, sie hängt von verschiedenen äußeren Faktoren ab.

Dazu gehören z.B.:

- die elektrische Leitfähigkeit der Dispersion
- die Viskosität der Probe
- das Molekulargewicht, bzw. die Teilchengröße in der Probe
- Abmessungen der Messzelle
- Temperatur

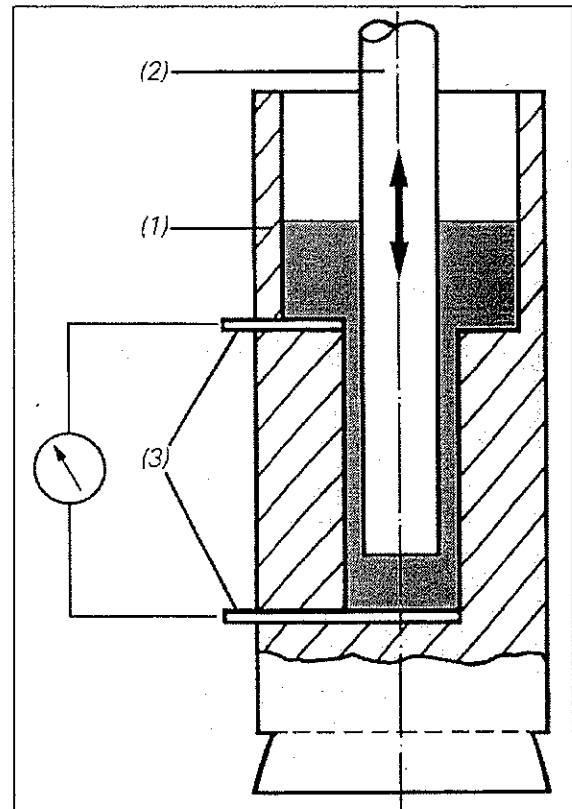


Abbildung 3.2-9: Probengefäß mit Verdrängerkolben

Die Ladungsbestimmung der Tinten wurde mittels eines PCD 02 der Firma Müttek durchgeführt. PCD steht für Particle Charge Detection, also Partikel-Ladungs-Bestimmung.

Anwendungsbereiche für dieses Gerät finden sich in der Papierindustrie, z.B. zur Bestimmung der Ladungen von Kreislaufwässern wie auch in der Pigmentherstellung, Pharmazie, Biologie, Getränkeindustrie, Erzaufbereitung u.a.

Das Gerät ermöglicht die quantitative Bestimmung von Oberflächenladungen in kolloidalen Partikelsystemen.

Die Hauptkomponente des PCD 02 besteht aus einem zylindrischen Kunststoff-Probengefäß (1) mit eingebautem Verdrängerkolben (2).

Dieser bewegt sich mit konstanter Frequenz auf und ab und bewirkt so, dass die Probenvorlage an der Gefäßwand entlang strömt. Zwei darin eingebaute Elektroden (3) greifen das hier entstehende Strömungspotential ab.

Während der Messung führen van der Waals'sche Kräfte zur bevorzugten Adsorption von höhermolekularen Ladungsträgern an der Gefäßwand bzw. der Oberfläche des Kolbens.

Durch die im Probengefäß erzeugte Strömung, bedingt durch die Auf- und Abbewegung des Kolbens, wird die diffuse Gegenionenwolke vom zu untersuchenden Partikel abgesichert und dadurch das obengenannte Strömungspotential induziert.

Um die Menge der Ladung in der Probenvorlage zu erhalten, wird eine Polyelektrolyttitration durchgeführt, bei der das Strömungspotential zur Erkennung des Endpunktes (=0 mV) genutzt wird.

Zur Probenvorlage wird ein entgegengesetzt geladener Polyelektrolyt (= Titrationsmittel) zugegeben, von dem die Ladungsdichte bekannt ist.

Die Ladungen des Titrationsmittels neutralisieren die vorhandenen Ladungen in der Probe. Ist der Ladungsnullpunkt 0 mV erreicht, wird die Titration beendet.

Der Verbrauch des Titrationsmittels in ml stellt den eigentlichen Messwert dar, mit dem weitere Berechnungen durchgeführt werden können.

Die Berechnung der spezifischen Ladungsmenge q [$\mu\text{eq/g}$] erfolgt nach der Formel:

$$q = \frac{V \cdot c \cdot 1000}{w}$$

V = Volumen des verbrauchten Titrationsmittels

C = Normalität des Titrationsmittels [eq/l]

1000 = Verrechnungsfaktor für die Einheit der Ladungsdichte

w = Menge der eingesetzten Probe in ml.

Sollen mehrere gleichartige Proben miteinander verglichen werden, ist es nicht unbedingt erforderlich, die Ladungsmenge q auszurechnen.

Wenn die Proben immer unter denselben Bedingungen titriert wird, d.h. wenn der Feststoffgehalt der Probe und die Konzentration des Titrationsmittels gleich bleiben, kann auch das Volumen des verbrauchten Titrationsmittels in ml direkt als Ergebnis verwendet werden.

Diese Werte sind untereinander direkt vergleichbar. Man spricht dann vom anionischen bzw. kationischen Bedarf einer Probe.

In Abbildung 3.2-10 sind die stets anionischen bzw. negativen Ladungen der PCD-Tinten-Ladungen dargestellt. Alle Tinten wurden mit dem kationischen Titrationsmittel Poly-Dadmac titriert. Es sind deutliche Unterschiede der PCD-Ladung im Vergleich der einzelnen Drucker, sowie auch der einzelnen Farben zu erkennen. Die schwarze Tinte des Testdruckers 2 zeigt die höchste PCD-Ladung aller Tinten auf und liegt mit $385 \mu\text{eq/ml}$ um ein vielfaches höher als die schwarze Tinte des Testdruckers 1, welche mit $41 \mu\text{eq/ml}$ den kleinsten Wert hat. Bis auf die gelbe Tinte weisen die Farben des Testdruckers 2 immer die höchsten Ladungswerte auf.

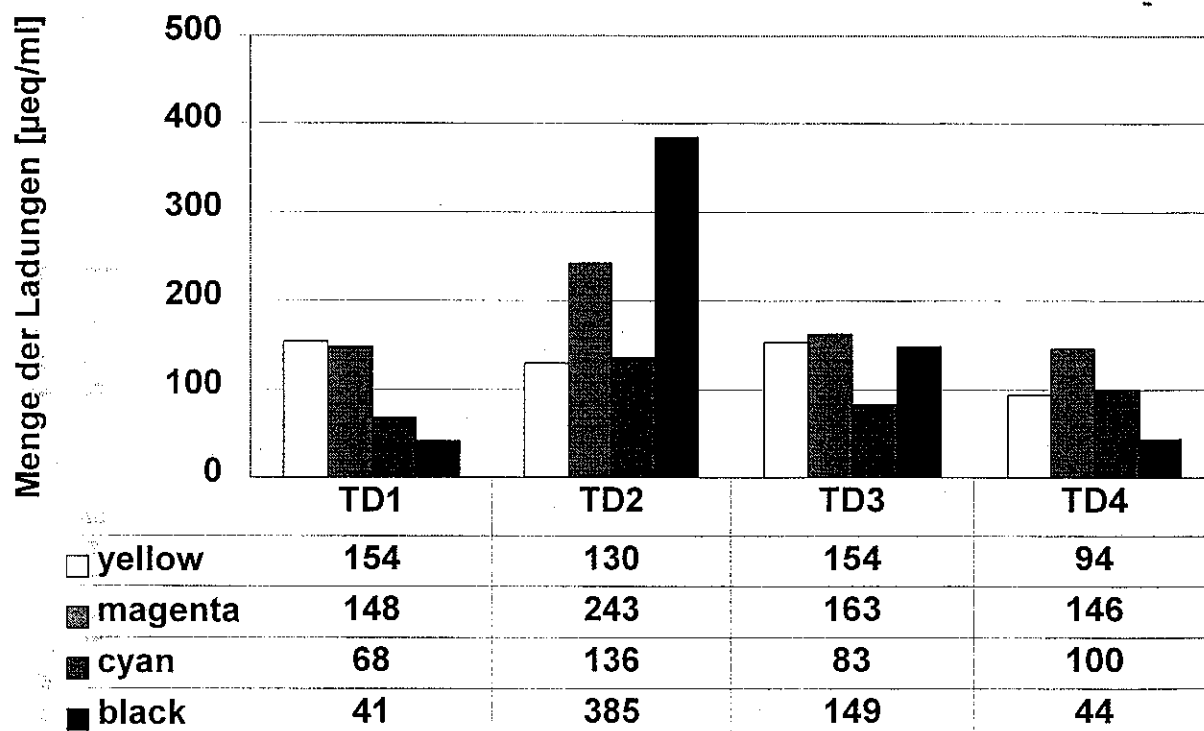


Abbildung 3.2-10: Anionische bzw. Negative PCD-Ladung der Tinten bezogen auf das Tintenvolumen

4 Tinten-, Papier- und Luft-Wechselwirkungen

4.1 Benetzungsspannung/Kontaktwinkel

Zur Messung des Kontaktwinkels und der Benetzungsspannung wird der in Abbildung 4.1-1 gezeigte Versuchsaufbau genutzt. Eingesetzt wird eine Farbkamera mit einer Bildgröße von 752 x 582 Pixel und einer Auflösung von 8 μm ohne Vergrößerung (Abbildungsmaßstab 1:1), ein auf zwei Achsen beweglicher Tisch, der zur Probenaufnahme dient und drei Lichtquellen, welche die Probe von oben und links, sowie rechts beleuchten. Auf dem Tisch werden die Tintentropfen aus einer Mikropipette mit einem Volumen von 1 μl auf die Testpapiere aufgebracht. Da die Forderung bestand, die Tropfengröße so klein wie möglich zu halten und die Tinte an der engen Düse der Mikropipette nicht ohne weiteres abfällt (aufgrund der Kapillarkwirkung), müssen die Tropfen auf das Papier leicht aufgesetzt werden.

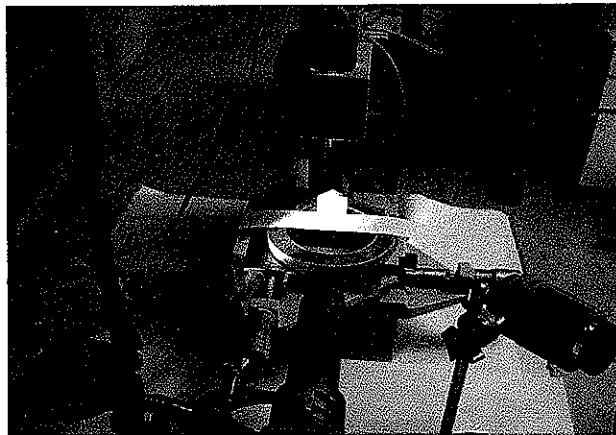


Abbildung 4.1-1: Versuchsaufbau Kontaktwinkelbestimmung

Dabei wird darauf geachtet, dass das Papier nicht mit der Pipettenspitze in Berührung kommt und diese möglichst schnell von der Tinte nach Berührung mit dem Papier weggezogen wird. Im Drucker werden die im Picoliter-Bereich liegenden Tropfen durch Überdruck aus der Düse herausgeschossen. Die Kamera bildet mit den Auflagepunkt des Papiers auf dem Tisch einen Winkel von 0°, im Bild ist also der Tropfen von der zur Kamera gewandten Seite zu sehen.

Mit Hilfe der optischen Aufnahmen, sowie eines Winkelmessers wird der Kontaktwinkel bestimmt. Der Kontaktwinkel wird durch das Kräftegleichgewicht im Dreiphasenkontakt solid (s) / liquid (l) / vapour (v) bestimmt. Aus diesem Gleichgewicht folgt die von Young eingeführte Gleichung:

$$\gamma_s = \gamma_l \cos \Theta + \gamma_{sl}$$

in der γ der jeweiligen Ober-, bzw. Grenzflächenspannung entspricht.

Für den Kontaktwinkel Θ können vier unterschiedliche Fälle auftreten:

$\Theta < 90^\circ$: Das Papier wird durch die Flüssigkeit benetzt.

$\Theta > 90^\circ$: Das Papier wird nicht oder nur unvollständig benetzt.

$\Theta = 180^\circ$: Entspricht dem hypothetischen Fall absoluter Unbenetzbarkeit.

$\Theta = 0^\circ$: Die Flüssigkeit benetzt den Festkörper vollständig, sie spreitet als dünner Film.

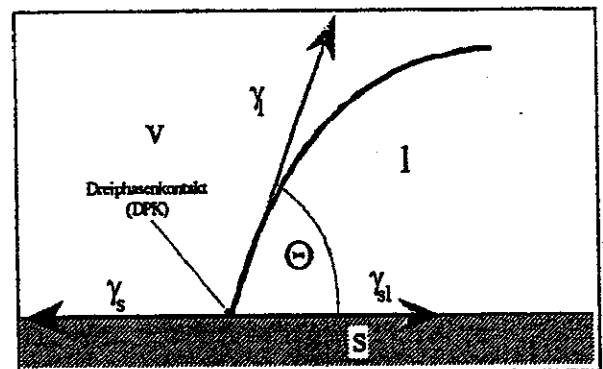


Abbildung 4.1-2: Drei-Phasen-System bei Benetzung

Leider entspricht der Randwinkel selten dem idealen Bild eines statischen Kontaktwinkels auf einer glatten, homogenen Oberfläche aus Abbildung 4.1-2. Vielmehr treten in der Realität eine Reihe von Faktoren auf, die seinen Wert beeinflussen können. (Abbildung 4.1-3).

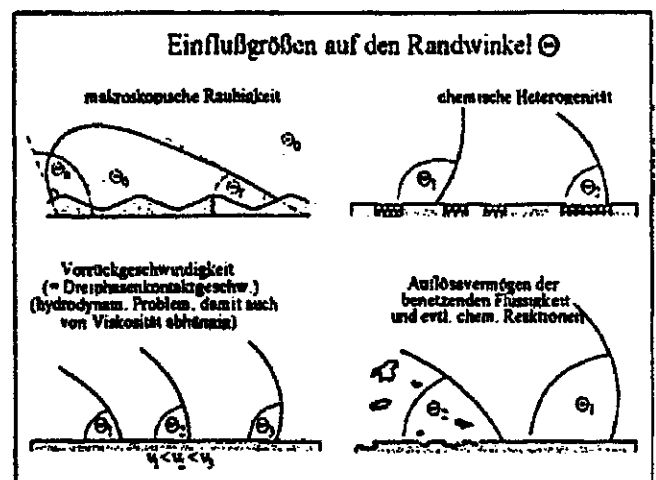


Abbildung 4.1-3: Einflussgrößen auf den Randwinkel

Zum einen ist dies die makroskopische Rauheit, die bei technischen Produkten nahezu immer zu erwarten ist. Ebenso häufig ist die chemische Heterogenität, da Papieroberflächen aus unter-

schiedlichen Komponenten zusammengesetzt sind. Nicht zu vernachlässigen sind außerdem das Auflösungsvermögen der benetzenden Flüssigkeit und eventuelle chemische Reaktionen, wenn die Testsubstanz länger auf die Probe einwirkt [6]. Die Benetzungsspannung γ_B wurde aus den gemessenen Kontaktwinkeln und den Oberflächenspannungen der Tinten nach der Formel:

$$\gamma_B = \gamma_L \cdot \cos \Theta$$

berechnet. Die Kontaktwinkel der verschiedenen Druckertinten fallen auf den Testpapieren sehr unterschiedlich aus und variieren im Bereich zwischen 15,0° und 93,8°.

Bei den Tinten des Testdruckers 2 liegen die Kontaktwinkel auf NKP5 und NKP6 deutlich höher als die auf GKP2. Dieses Verhalten wurde bei allen Versuchen festgestellt. Daraus folgt, dass auf dem gestrichenen Papier GKP2 eine bessere Benetzung stattfindet, was auch mit der hohen Glätte des Papiers zusammenhängt. Die schwarze Tinte bildet mit 46,2° auf NKP5 und 43,1° auf NKP6 im Gegensatz zu 18,1° auf GKP2 sehr hohe Kontaktwinkel.

In Tabelle 4.1-1 sind die Kontaktwinkel auf den drei Testpapieren, sowie die Benetzungsspannung dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die Kontaktwinkel der übrigen Farben kleiner als die der TD 2 Farben sind. Sieht man sich in diesem Zusammenhang die Oberflächenspannung der einzelnen Tinten (Tabelle 3.2-3) an, so ist festzustellen, dass die Oberflächenspannungen der Farben Magenta, Cyan und Yellow von Testdrucker 2 um ca. 10 mN/m größer sind als die von Testdrucker 1 und somit eine Differenz der Kontaktwinkel zu erwarten war. Besonders deutlich wird dies beim Vergleich der schwarzen Tinten. Die schwarze Tinte von Testdrucker 2 hat eine Oberflächenspannung von 34 mN/m, die von Testdrucker 1 weist einen Wert von 48 mN/m auf. Als Folge liegen die Kontaktwinkel auf den ungestrichenen Papieren bei Testdrucker 2 im Bereich zwischen 43,1° und 46,2°, bei Testdrucker 1 zwischen 63,7° und 91,3°.

Die Kontaktwinkel der Tinten des Testdruckers 3 liegen im allgemeinen höher als bei Testdrucker 1 und 2. Außerdem weisen diese auch höhere Oberflächenspannungen auf.

Bei den Tinten des Testdruckers 4 ist festzustellen, dass enge Zusammenhänge zwischen den Kontaktwinkel auf GKP2 und den zugehörigen Oberflächenspannungen der Tinten bestehen. Schwarz hat den größten Kontaktwinkel (63,2°) und die höchste Oberflächenspannung (52 mN/m), Cyan dagegen den kleinsten Kontaktwinkel (26,1°) und die geringste Oberflächenspannung (28 mN/m).

			Θ [°]	$\cos \Theta$	γ_L [mN/m]	γ_B [mN/m]
TD1	NKP5	schwarz	91,3	-0,02	48,3	-1,1
		cyan	38,8	0,78	29,4	22,9
		magenta	37,6	0,79	28,8	22,8
		yellow	44,1	0,72	29,8	21,4
	NKP6	schwarz	63,7	0,44	48,3	21,4
		cyan	37,9	0,79	29,4	23,2
		magenta	41,2	0,75	28,8	21,7
		yellow	40,7	0,76	29,8	22,6
	GKP2	schwarz	72,6	0,30	48,3	14,5
		cyan	15,5	0,96	29,4	28,3
		magenta	30,1	0,87	28,8	24,9
		yellow	20,6	0,94	29,8	27,8
TD2	NKP5	schwarz	46,2	0,69	33,8	23,4
		cyan	46,9	0,68	33,0	22,6
		magenta	62,1	0,47	33,2	15,6
		yellow	55,4	0,57	34,6	19,6
	NKP6	schwarz	43,1	0,73	33,8	24,7
		cyan	41,0	0,76	33,0	24,9
		magenta	40,4	0,76	33,2	25,3
		yellow	53,3	0,60	34,6	20,7
	GKP2	schwarz	18,1	0,95	33,8	32,1
		cyan	15,0	0,97	33,0	31,9
		magenta	21,0	0,93	33,2	31,0
		yellow	26,7	0,89	34,6	30,9
TD3	NKP5	schwarz	93,8	-0,07	41,2	-2,7
		cyan	89,9	0,00	35,7	0,1
		magenta	81,1	0,16	36,1	5,6
		yellow	82,2	0,14	37,7	5,1
	NKP6	schwarz	90,7	-0,01	41,2	-0,5
		cyan	61,2	0,48	35,7	17,2
		magenta	82,1	0,14	36,1	5,0
		yellow	78,4	0,20	37,7	7,6
	GKP2	schwarz	45,6	0,70	41,2	28,8
		cyan	26,2	0,90	35,7	32,0
		magenta	34,0	0,83	36,1	29,9
		yellow	33,3	0,84	37,7	31,5
TD4	NKP5	schwarz	82,1	0,14	51,9	7,1
		cyan	83,4	0,12	28,5	3,3
		magenta	75,0	0,26	28,5	7,4
		yellow	35,6	0,81	27,7	22,6
	NKP6	schwarz	84,2	0,10	51,9	5,2
		cyan	71,3	0,32	28,5	9,1
		magenta	57,2	0,54	28,5	15,4
		yellow	63,0	0,45	27,7	12,6
	GKP2	schwarz	63,2	0,45	51,9	23,4
		cyan	29,6	0,87	28,5	24,8
		magenta	26,1	0,90	28,5	25,6
		yellow	47,2	0,68	27,7	18,9

Tabelle 4.1-1: Kontaktwinkel Θ , Oberflächenspannung der Tinten γ_L und Benetzungsspannung γ_B auf den Papieren NKP 5, NKP 6 und GKP 2

Die Benetzungsspannung verhält sich indirekt proportional zum Kontaktwinkel. Das bedeutet, dass bei steigendem Kontaktwinkel die Benetzungsspannung sinkt. Wird mit der schwarzen Tinte des Testdruckers 1 auf NKP 5 gedruckt, ergibt sich eine negative Benetzungsspannung. Die schwarze Tinte des Testdruckers 3 zeigt auf den Papieren NKP 5 und 6 eine negative Benetzungsspannung. Das bedeutet, dass in diesen Fällen das Papier gar nicht bzw. nur unvollständig benetzt wird. Alle Testdrucker erzielen unabhängig von der benutzten Farbe auf dem gestrichenen Kopierpapier GKP 2 die höchsten Benetzungsspannungen. Zwischen der Benetzungsspannung des satinierten Naturkopierpapiers NKP 6 und des unsatinierten Naturkopierpapiers NKP 5 lassen sich keine so deutlichen Unterschiede feststellen. In Abhängigkeit von Drucker und verwendeter Tinte zeigt mal das NKP 5 und dann wieder das NKP 6 die höhere Benetzungsspannung.

4.2 Oberflächen-pH-Wert

Die Messung des Oberflächen-pH-Wertes erfolgt nach dem selben Prinzip, wie es in Kapitel 3.1.2 bereits beschrieben wurde. Anstatt des unbedruckten Papiers wird allerdings eine bedruckte Probe zur Messung verwendet. Mit dem verwendeten Messgerät war eine automatische Temperaturkompensation des angezeigten pH-Wertes auf 23°C möglich.

Papier	MW-pH	STABW	VB (95%)
NKP 1	7,89	0,37	0,46
NKP 2	7,87	0,04	0,06
NKP 3	7,69	0,06	0,07
NKP 4	8,01	0,04	0,05
NKP 5	7,73	0,06	0,08
NKP 6	7,61	0,09	0,12
NKP 7	7,38	0,05	0,07
NKP 8	7,63	0,13	0,16
NKP 9	7,89	0,06	0,07
GKP 1	5,34	0,06	0,07
GKP 2	7,26	0,13	0,16
GKP 3	7,54	0,07	0,09
GKP 4	9,46	0,12	0,15
GKP 5	7,79	0,04	0,06
PEP 1	7,41	0,12	0,15
PEP 2	8,28	0,16	0,20
PEP 3	5,63	0,12	0,15
PEP 4	4,68	0,09	0,11

Tabelle 4.2-1: Mittelwerte, Standardabweichung und Vertrauensbereich ($\alpha = 95\%$) Oberflächen-pH-Werte für die Referenzpapiere (23°C) bei 3 Einzelmessungen

		MW-pH	STABW	VB (95%)
TD1	schwarz	8,0	0,0	- 0,0
	cyan	6,9	0,1	0,8
	magenta	8,1	0,0	0,3
	yellow	6,9	0,0	0,4
TD2	schwarz	8,9	0,0	0,1
	cyan	8,9	0,0	0,0
	magenta	9,2	0,0	0,0
	yellow	8,7	0,0	0,1
TD3	schwarz	9,9	0,0	0,3
	Imprägn.	7,3	0,0	0,1
	cyan	9,3	0,3	0,6
	magenta	9,5	0,1	0,2
	yellow	9,9	0,1	0,3
TD4	schwarz	8,2	0,0	0,1
	cyan	8,3	0,0	0,0
	magenta	7,8	0,0	0,0
	yellow	8,3	0,0	0,0

Tabelle 4.2-2: Mittelwerte, Standardabweichung und Vertrauensbereich ($\alpha = 95\%$) der pH-Werte für die Ink-Jet-Tinten (23°C) bei 10 Einzelmessungen

4.3 Trocknungsgeschwindigkeit

Zur Charakterisierung des Trocknungsverlaufes der Tinten wurden ausgewählte Papiere mit den vier Farben: Schwarz, Magenta, Cyan und Yellow auf den vier Testdruckern bedruckt und anschließend auf einer Waage in definierten Zeitabständen im Normklima ($23 \pm 1^\circ\text{C}$, $50 \pm 2\%$ relative Luftfeuchte) gewogen.

Dabei wurde ein Farbstreifen mit den Abmaßen von 150 mm x 30 mm gewählt, der an der zuletzt zu bedruckenden Stelle des Blattes platziert wurde, um so die Zwischenzeit zwischen Ausdruck und Aufbringen auf die Waage zu minimieren. Diese Zeit ist möglichst knapp zu halten, da die Tinten direkt nach dem Aufbringen durch den Druckkopf die schnellste Trocknungsgeschwindigkeit aufweisen. Dies liegt daran, dass die flüchtigen Bestandteile spontan verdunsten.

Die ausgewählten Papiere für diese Versuchreihe waren:

NKP5	80 g/m ²	ungestrichen
NKP6	100 g/m ²	ungestrichen, satiniert
GKP2	135 g/m ²	gestrichen, satiniert.

Die Messungen wurden durchgeführt nach folgendem Schema:

1. Messung nach 30 s (nach Ausgabe des Papiers aus dem Drucker)
1. 2 Minuten Messungen im 5 Sekunden-Intervall
2. 2-5 Minuten: Messungen im 10 Sekunden-Intervall
3. 5-10 Minuten: Messungen im 30 Sekunden-Intervall
4. 10-60 Minuten: Messungen im 5 Minuten-Intervall
5. Endmessung nach 72 Stunden

Im Anhang A.1.3 befinden sich die Trocknungsverläufe gegliedert nach eingesetztem Drucker, Papier und Tinten. Dabei befinden sich jeweils hintereinander, der besseren Übersicht halber, Trocknungsverläufe eines mit Schwarz, Magenta, Cyan und Yellow bedruckten Papiers, ausgedruckt von einem Testdrucker. Es folgen zunächst Trocknungsverläufe des nächsten bedruckten Testpapiers mit gleichem Drucker und anschließend reiht sich nach gleicher Folge die Testreihe mit dem nächsten Testdrucker an. In den Diagrammen sind die Masseänderungen der mit definiertem Volltonfarbstreifen bedruckten DIN A4-Probe über der Trocknungszeit. Diese Zeitachse hat ihren Ursprung bei 30 Sekunden, da dies der Zeitpunkt der ersten Messung nach dem Ausdruck ist. 30 Sekunden, da die Testpapiere unmittelbar nach dem Auswerfen aus dem Drucker gerollt und in dieser Form fixiert wurden, um auf der Laborwaage stabil positioniert werden zu können. Der eigentliche Nullpunkt der Messung liegt mit 0 Sekunden beim Auswurf des bedruckten Testblattes aus dem Drucker.

Nach den einzelnen Trocknungsverlauf-Blättern befinden sich Diagramme, in denen die Trocknungsgeschwindigkeit dargestellt ist. Bei näherer Untersuchung und Betrachtung der Trocknungsverläufe wurden zwei Trocknungsabschnitte definiert, welche die Trocknungsgeschwindigkeit zu Beginn der Messreihe (30s...280s) und zwischen 1530 Sekunden und 3530 Sekunden charakterisieren sollen. Diese beiden Bereiche wurden festgelegt, da sich die Trocknungskurven hier in den meisten Fällen linear oder annähernd linear verhalten. Betrachtet man die Trocknungskurve ganzheitlich, so lässt sich ihre exponentiell-fallende Tendenz erkennen, (zumindest in den meisten Fällen). Auf die aufgetretenen Ausnahmen wird zu späterem Zeitpunkt noch eingegangen. Der anfänglich schnell fortschreitende Masseverlust der Tinte, der sich mit fortschreitender Zeit dann verlangsamt, ist für fast alle in dieser Untersuchung einbezogenen Tinten, charakteristisch. Der Grund für eben diesen Verlauf mit der anfänglich hohen, und mit fortschreitender Trocknungszeit sinkenden Trocknungsgeschwindigkeit, liegt in der chemischen Zusammensetzung der Tinten. Die schneller flüchtigen Bestandteile der Tinten verdunsten spontan nach dem Austreten aus der Düse und somit ist direkt nach dem Auftreffen auf das Papier die Verdunstung am größten. Mit der Zeit verlangsamt sich diese Ausdunstung, da die schnellflüchtigen Bestandteile bereits aus der Tinte entwichen sind und nun die weniger schnellflüchtigen Bestandteile das Trocknungsverhalten bestimmen.

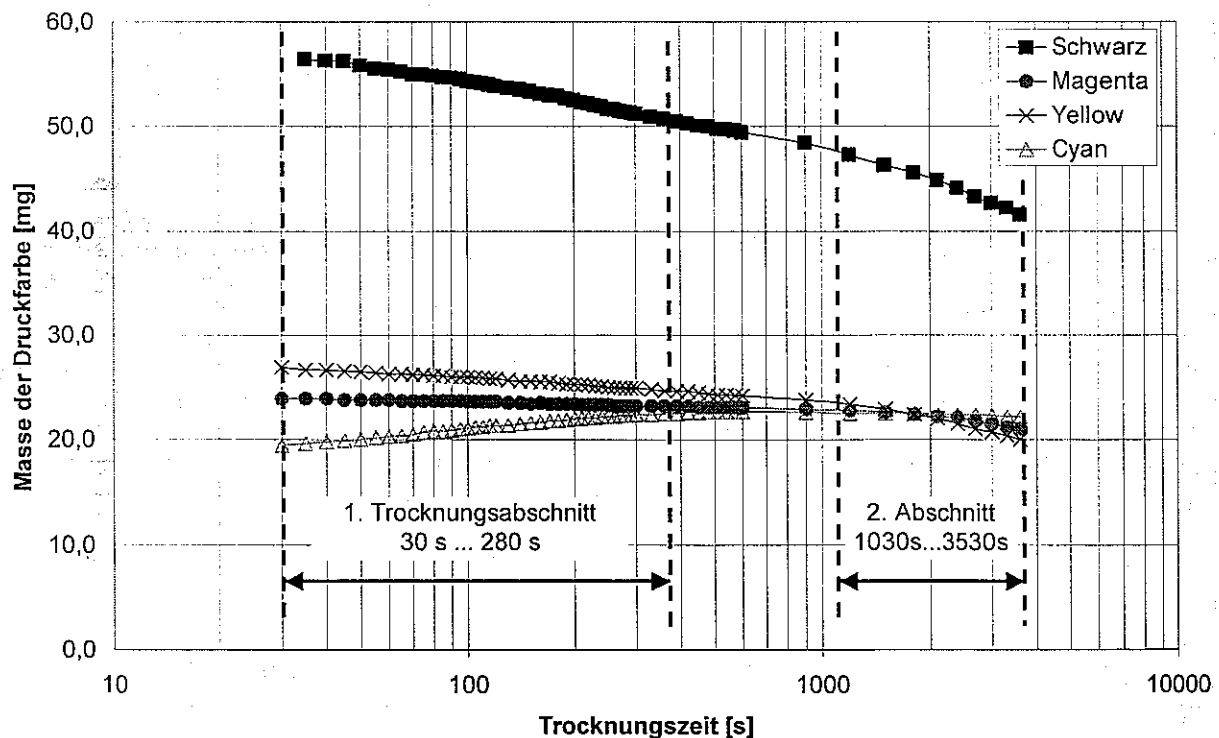


Abbildung 4.3-1: Trocknungsverlauf TD1 auf GKP2 bei einem Teststreifen 150 mm x 30 mm

Die Kurven der einzelnen Farben des TD 2 auf NKP 5 zeigen ein sehr ähnliches Trocknungsverhalten, wobei zu erkennen ist, dass die anfängliche Trocknungsgeschwindigkeit der gelben Tinte mit $22,0 \mu\text{g/s}$ am höchsten liegt. In einer Vergleichsbetrachtung der Testergebnisse des Testdruckers 2 auf den Papieren NKP5, NKP6 und GKP2 sind die Trocknungsgeschwindigkeiten der einzelnen Farben von Papier zu Papier unterschiedlich groß. War im Testdruck auf NKP5 Gelb die Farbe, die am schnellsten eintrocknete, so ist es z.B. beim Testdruck auf GKP2 Cyan, mit einer Trocknungsgeschwindigkeit von $22,8 \mu\text{g/s}$. Zu beachten sind bei diesen Messungen auch die Druckereinstellungen, die für die verschiedenen Papiere unterschiedlich gewählt wurden.

Drucker	Papier	Tinte	Trocknungsgeschwindigkeit [$\mu\text{g/s}$]	
			Trocknungsabschnitt	
			1. 30s...280s	2. 1030s...3530s
TD1	NKP5	schwarz	39,20	3,60
		cyan	-16,30	22,90
		magenta	12,70	0,64
		yellow	14,40	0,76
	NKP6	schwarz	32,70	3,20
		cyan	-2,49	0,26
		magenta	8,00	0,68
		yellow	17,80	1,40
	GKP2	schwarz	29,20	3,20
		cyan	22,50	0,26
		magenta	4,04	0,68
		yellow	17,80	1,40
TD2	NKP5	schwarz	13,70	2,00
		cyan	14,40	1,16
		magenta	8,32	1,64
		yellow	22,00	1,56
	NKP6	schwarz	28,00	1,28
		cyan	12,70	1,00
		magenta	13,20	1,48
		yellow	10,60	1,32
	GKP2	schwarz	11,80	1,12
		cyan	22,80	1,24
		magenta	-7,00	-0,20
		yellow	7,87	0,48
TD3	NKP5	schwarz	46,20	8,80
		cyan	30,70	2,64
		magenta	36,10	3,16
		yellow	22,40	7,36
	NKP6	schwarz	45,50	6,40
		cyan	8,36	2,32
		magenta	29,40	2,56
		yellow	21,90	3,04
	GKP2	schwarz	46,10	8,20
		cyan	37,50	3,95
		magenta	31,80	3,00
		yellow	28,30	2,64

Tabelle 4.3-1: Trocknungsgeschwindigkeiten der Ink-Jet-Tinten auf NKP5 und 6 sowie GKP2

Wie oben bereits erwähnt, gab es bei einigen Trocknungskurven Abweichungen von dem allgemein exponentiell sinkenden Verlauf. So stellte sich bei Testdrucker 2 (Magenta) auf GKP2 und bei Testdrucker 1 (Cyan) auf NKP5, NKP6 und GKP2 zunächst eine Massenzunahme ein, die erst nach Erreichen eines Maximums wieder sank. Bei Testdrucker 2 (Magenta) auf GKP2 stellt dieser Verlauf eine Ausnahme dar, da die ebenfalls mit Testdrucker 2 (Magenta) bedruckten Testpapiere NKP5 und NKP6 von Beginn an sinkenden Charakter zeigen. Durch eine Dreifachbestimmung wurde allerdings die anfängliche Massezunahme der Verbindung Papier-Tinte bestätigt. Im Gegensatz zu den mit Testdrucker 1 (Cyan) bedruckten Testpapieren weist das mit Testdrucker 2 (Magenta) bedruckte GKP2 auch noch nach einer Stunde und somit bei Abschluss der Messung noch leicht steigende Tendenz in der Masse auf. Bei Testdrucker 1 (Cyan) findet die Massezunahme innerhalb der ersten 550 Sekunden nach der Ausgabe aus dem Drucker statt um anschließend über den weiteren Verlauf zu sinken. Der Grund für diese Abweichung vom „normalen“ Trocknungsverlauf lässt sich bei Testdrucker 1 (Cyan) in den physiko-chemischen Eigenschaften der Tinte vermuten, d.h. es zeigt sich ein hygroscopisches Verhalten bei der Entstehung des Drei-Phasen-Systems Papier-Tinte-Luft. Bei Testdrucker 2 (Magenta) auf GKP2 mag das hygroscopische Verhalten auf etwaige Wechselwirkungen zwischen der Strichschicht des Papiers und der Tinte zurückzuführen sein. Insgesamt liegt Testdrucker 3 mit einer maximalen Trocknungsgeschwindigkeit von $45 \mu\text{g/s}$ im 1. Trocknungsabschnitt vor Testdrucker 1 mit maximal $40 \mu\text{g/s}$ und schließlich folgt Testdrucker 2 mit einer Geschwindigkeit von maximal $23 \mu\text{g/s}$. Im zweiten Trocknungsabschnitt bewegen sich die Trocknungsgeschwindigkeiten aller Tinten auf den Testpapieren zwischen Null und $10 \mu\text{g/s}$.

Ebenfalls im Anhang A.1.3 befinden sich Diagramme, die den verdunsteten Anteil der Druckfarben veranschaulichen. Die Verläufe reichen wieder von 30 Sekunden nach dem Ausdruck bis eine Stunde danach. Ausgerechnet wurden diese Messreihen aus den Trocknungskurven, wobei die Massenabgabe an die klimatisierte Umgebung über die Trocknungszeit, bezogen auf die anfängliche Auftragsmasse, in Prozent angegeben ist.

Auffällig sind hier wiederum die Verläufe von Testdrucker 2 (Magenta) auf GKP2 und die von Testdrucker 1 (Cyan) auf NKP5, NKP6 und GKP2. Wie schon bei den Trocknungskurven erläutert, nehmen sie zu Beginn der Messungen Wasser auf, was sich in den Diagrammen als negative Verdunstung widerspiegelt.

Der verdunstete Anteil der schwarzen Tinte im Versuch mit allen Druckern liegt zwischen 20 und 43%, der von Magenta zwischen -22 und 42%, der von Cyan zwischen -15 und 43% und der von Yellow zwischen 15 und 42%. Es lässt sich erkennen, dass die obere Grenze des verdunsteten Anteils bei allen Farben bei ungefähr 43 % in den ersten 60 Minuten der Trocknungszeit liegt, die untere Grenze jedoch nicht eindeutig einzugrenzen ist, sie bewegt sich zwischen -22% und +15%.

Da der verdunstete Anteil in den einstündigen Messreihen noch nicht vollständig angegeben werden konnte, wurden nach einer Trocknungszeit von 72 Stunden die Endwerte ermittelt. Für alle Tinten unterscheiden sich die Messergebnisse auf dem Papier GKP2 deutlich von denen der beiden anderen Papiere. Diese Beobachtung unterstreicht die Bedeutung der Oberflächenbehandlung von Papier; mit Strichschicht verhalten sich die Druckfarben auf dem Papier völlig anders als auf solchen ohne Strichschicht. Insgesamt ist die Streuung auch hier wieder sehr groß, für den verdunsteten Anteil werden Werte zwischen 2 und 97% erreicht, abhängig von Papier, Drucker und Farbe.

4.4 Wegschlagverhalten

Über das Wegschlagverhalten für das waagerechte Eindringen der Tinten lassen sich nur schwer Aussagen treffen.

Der allgemeine physikalische Vorgang, welcher beim Wegschlagen abläuft, soll durch die folgenden Formeln beschrieben werden:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{r \cdot \sigma_l \cdot \cos \delta}{4 \cdot \eta \cdot L}$$

Gleichung 4.4-1: Waagerechte Eindringgeschwindigkeit

Zur graphischen Darstellung dient die Abbildung 4.4-1.

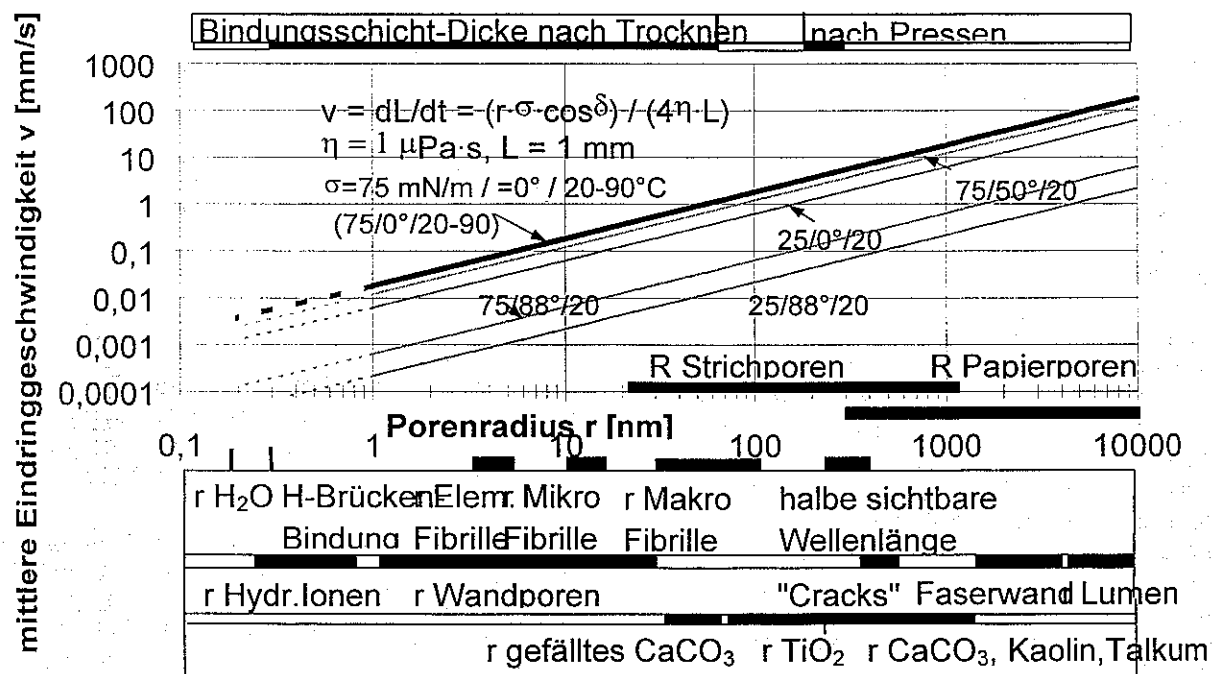


Abbildung 4.4-1: Mittlere Eindringgeschwindigkeit in Abhängigkeit von dem Porenradius

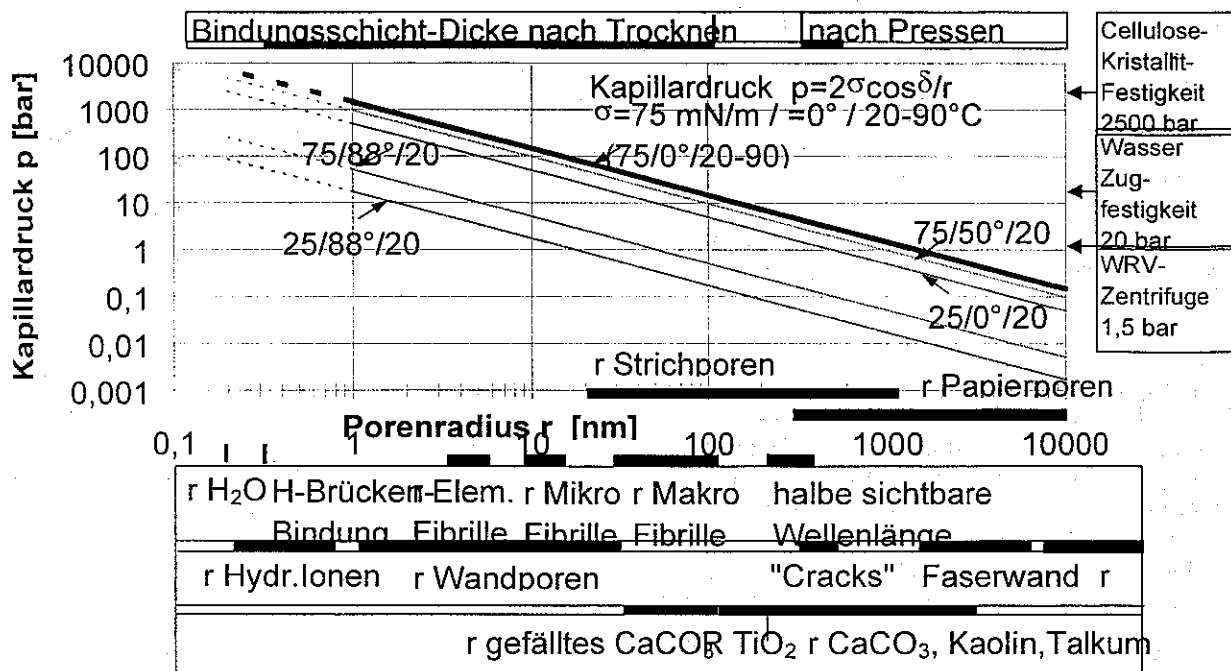


Abbildung 4.4-2: Kapillardruck in Abhängigkeit von dem Porenradius

$$p = \frac{2 \cdot \sigma_l \cdot \cos \delta}{r}$$

Gleichung 4.4-2: Kapillardruck

Dabei gilt:

p = Kapillardruck
 σ_l = Oberflächenspannung der Flüssigkeit
 δ = Kontaktwinkel
 r = Kapillarenradius
 η = Viskosität der Flüssigkeit
 L = Porentiefe

So hängt der Kapillardruck vor allem von der Oberflächenspannung und dem Benetzungswinkel der Flüssigkeit sowie dem Porenradius ab. Mit abnehmender Porengröße nimmt demzufolge der Kapillardruck zu.

Mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops lassen sich die Porengrößenverteilungen der Papiere ermitteln, anhand derer man zusammen mit anderen bekannten Größen Aussagen zur Penetrationsgeschwindigkeit treffen könnte.

Um Aussagen über die Eindringtiefe der Tinte nach dem Druckvorgang treffen zu können, bietet es sich an einzelne Schichten des bedruckten Papiers nach dem Drucken und Trocknen der Tinte mit Hilfe eines Fräasers (z.B. Surface Grinder) abzufräsen. Weiterführende Untersuchungen zu dieser Problematik werden demächst am Lehrstuhl für Papiertechnik der TU-Dresden durchgeführt.

4.5 Flächenmasse der Tinte

Um die Flächenmasse der Tinte bestimmen zu können, wurde das jeweilige Blatt Papier vor dem Bedrucken gewogen. Aus der Differenz der Masse des Papierblattes vor dem Druck und der beim Messen der Trocknungsgeschwindigkeit (vgl. 3.1.3) ermittelten Werte konnte dann die Masse der verbrauchten Tinte bestimmt werden.

Die übertragene Tintenmenge (M) in g/m² berechnet sich nach Formel:

$$M = \frac{m_1 - m_2}{A} \cdot 10^{-4}$$

wobei

M übertragene Tintenmenge [g/m²]
 m_1 Masse der Probe vor dem Druck [g]
 m_2 Masse der Probe nach dem Druck [g]
 A bedruckte Fläche [cm²], hier: 375 cm²

Im Anhang A.1 ist der Farbauftrag in Zusammenhang im der sich ändernden Tintenmasse über der Trocknungszeit dargestellt. Es wurden pro Seite jeweils die Farbaufträge eines Druckers auf den drei Testpapieren dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Testdrucker sind anschließend die Farbaufträge der drei Drucker mit jeweils einer Farbe dargestellt und letztlich werden die Verläufe einer Farbe mit drei Druckern auf drei Testpapieren gezeigt. In dieser Darstellungsweise lassen sich die Testpapiere am besten vergleichen.

Betrachtet man die Darstellungen, in denen die Farbaufträge von Testdrucker 2 auf den Testpapieren aufgetragen sind, so ist schnell zu erkennen, dass die Farben in unterschiedlicher Menge aufgetragen, oder besser gesagt, von den Papieren unterschiedlich aufgenommen werden. Die beiden ungestrichenen Papiere NKP5 und NKP6 sind sich in der Auftragsmenge und im Trocknungsverlauf sehr ähnlich, wohingegen das Diagramm in dem die Kurven für das gestrichene Papier GKP2 gezeigt sind, andere Verläufe widerspiegelt. Bei den ungestrichenen Papieren NKP5 und NKP6 liegen die Farbaufträge zwischen 25 und 45 mg wohingegen sie auf dem gestrichenen GKP2 Papier zwischen 13 und 34 mg schwanken. Unterschiede sind auch bei der Farbaufnahme der Papiere zu konstatieren. Während auf NKP5 und NKP6 die Farben Cyan und Magenta die höchsten Auftragsmassen erreichen, so sind es bei GKP2 an erster Stelle Schwarz und dann Cyan. Magenta stellt in dieser Darstellung, wie auch schon bei den Trocknungsverläufen auf GKP2 eine Sonderrolle dar; hier steigt die Masse der Farbe zu Beginn der Messung. Wären in den ersten 30 Sekunden nach Ausgabe der Blätter aus den Druckern Messungen gemacht worden, so könnte man den Wert der Masse für die aufgetragene Farbe bestimmen und somit sehen, ob die ausgeschossene Tintenmenge bei jeder Farbe gleich groß ist und wie das Trocknungsverhalten direkt nach Auftrag der Farbe aussieht. Betrachtet man die gemessenen Trocknungsverläufe und schließt auf den etwaigen Verlauf während der ersten 30 Sekunden, so ist anzunehmen, dass bei angenommen gleichem Farbauftrag die Farben Schwarz, Magenta, Cyan und Yellow unterschiedliche Gehalte an schnellflüchtigen Bestandteilen aufweisen und sich somit unterschiedliche Geschwindigkeitsgefälle im Trocknungsverlauf ergeben. So kann es z.B. sein, dass die Kurve von Magenta auf GKP2 in den ersten 30 Sekunden erst stark fallend Charakter hatte und dann einen Umkehrpunkt aufweist. Sind die anfänglichen Auftragsmengen jedoch verschieden, so ergeben sich in den ersten 30 Sekunden Trocknungsverläufe, die nicht gleichen Ursprungs sind.

Im Vergleich zu den Versuchen mit Testdrucker 2 hat die schwarze Tinte des Testdruckers 1 einen mit über 60 mg (auf der Fläche von 150 mm x 30 mm) sehr hohen Farbauftrag. Auf allen Papieren liegt Schwarz bei Testdrucker 1 in der Auftragsmenge weit über den anderen Farben, die hier bei 15 bis 30 mg angesiedelt sind.

Die Farbaufträge von Testdrucker 3 veranschaulichen sehr deutlich die Abhängigkeit von den Druckereinstellungen und den Papieren, erstaunlicherweise gleichen sich hier die Verläufe von NKP5 und GKP2, während sich die Farbe auf

NKP6 völlig anders verhält. Ist auf den beiden erstgenannten Papieren Schwarz mit einer Auftragsmenge von 150 mg bzw. 120 mg weit über den übrigen Farben zu finden, so liegt auf NKP6 Magenta mit 158 mg vor Schwarz mit 121 mg.

Man sieht, dass die Trocknungsverläufe und die Auftragsmengen der auf Testdrucker 1 und 2 ausgedruckten schwarzen Teststreifen sich auf allen Papieren sehr ähnlich sind. Bei Testdrucker 3 liegt die Kurve von NKP5 etwa 30 mg über denen von Testdrucker 1 und 2.

Im Vergleich der mit Magenta bedruckten Testpapiere zeigen die Drucker stark unterschiedliche Auftragsmengen. Ebenso bei Auftrag von Cyan. Mit Yellow bedruckte Papiere weisen wiederum, wie auch schon Schwarz, ähnliche Auftragsmengen und Trocknungsverläufe mit Testdrucker 2 und 3 auf. Bei Testdrucker 3 liegt die Auftragsmenge von Yellow auf GKP2 8 mg unterhalb der anderen Papiere.

Es zeigt sich, dass Testdrucker 3 im Vergleich zu Testdrucker 1 und 2 wesentlich mehr Schwarz auf allen Papieren aufträgt. Die Auftragsmenge von Testdrucker 3 (gemessen nach 30 Sekunden) liegt dabei zwischen 120 und 150 mg, die von Testdrucker 1 bei 60 mg und der von Testdrucker 2 zwischen 38 und 40 mg. Auffallend ist hier, dass die Schwankung der Auftragsmenge auf den drei Papieren bei Testdrucker 1 und 2 sehr gering sind, bei Testdrucker 3 jedoch 30 mg zwischen Auftrag auf GKP2 und NKP5 beträgt.

Bei der Farbe Magenta liegt Testdrucker 3 in der Auftragsmenge über denen von Testdrucker 1 und 2. Testdrucker 3 trägt 45 bis 160 mg auf, Testdrucker 1 25 bis 37 mg und Testdrucker 2 schießt zwischen 13 bis 40 mg Magenta auf die Papiere. Im Vergleich zum Auftrag von Schwarz sind die Schwankungen der Farbaufträge hier nicht nur bei Testdrucker 3 sondern auch bei Testdrucker 2 groß. Allgemein wird auf GKP2 mit allen Druckern die größte Auftragsmenge erzielt, was nach genutzten Druckereinstellungen (siehe Anhang A.1) auch zu erwarten war.

Bei Druck mit der Farbe cyan befindet sich Testdrucker 3 auf GKP2 und NKP6 wie gewohnt in der Farbauftragsmenge über denen der anderen Drucker. Auf NKP5 liegt der Teststreifen von Testdrucker 2 in der Auftragsmenge mit der von Testdrucker 3 auf gleicher Stelle bei 50 mg, jedoch ist die anfängliche Trocknungsgeschwindigkeit von Testdrucker 2-Cyan geringer als die von Testdrucker 3.

Auch bei der gelben Tinte liegt, was die Auftragsmenge betrifft, wieder Testdrucker 3 mit Werten zwischen 39 und 48 mg an der Spitze, gefolgt von Testdrucker 1 mit Werten zwischen 27 und 30 mg und schließlich von Testdrucker 2 mit 27 mg

4.6 Farbort und Druckglanz

Um eine Aussage über die Qualität des Druckbildes treffen zu können ist es notwendig die optischen Eigenschaften des bedruckten Papiers zu messen. Dazu wird das jeweilige Papier mit einer Volltonfläche bedruckt und nach dem Trocknen der Tinte werden die optischen Eigenschaften nach den jeweiligen Normen gemessen.

4.7 Schwärzung

Zur Bewertung der Druckqualität gibt es weder eine Methode noch ein Maß und so werden eine Reihe einfacher Messungen ausgeführt, um verschiedene Komponenten dieses Begriffes zu erfassen.

Eine Möglichkeit zur Bewertung der Druckqualität ist die Messung der Schwärze auch als optische Dichte bekannt.

Durch das Aufbringen der Druckfarbe auf das Papier wird eine optischer Kontrast geschaffen, wodurch das Druckbild sichtbar wird.

Die Schwärzung gibt ein Maß für den Grad des Kontrastes an.

Um diesem Merkmal der Druckqualität angemessen zu entsprechen, sollte das so angepasst sein, dass es an die menschliche Wahrnehmung (Perzeption) anschließt.

Die Schwärzung kann auf unterschiedlicher Art und Weise ermittelt werden. Eine der meist verbreitetsten Methoden ist die Berechnung mittels Densitometer.

Hier wurde der Elrepho-Reflektometer zur Ermittlung der Schwärzung benutzt.

Dabei werden die Reflektionswerte (R457 bei D10 Normlichtart) der unbedruckten und bedruckten Proben nach DIN 53145 Teil 1 März 2000 gemessen und nach der Formel

$$\text{Schwärzung} = \log \frac{R_{\text{unbedruckte Fläche}}}{R_{\text{bedruckte Fläche}}}$$

berechnet [21], [59]. Die Schwärzung ist der optischen Dichte gleichzusetzen, wobei „Schwärzung“ den Umstand kennzeichnen soll, dass die optische Dichte der mit schwarz bedruckten Flächen ermittelt wurde.

Die Messung erfolgt nach 60 minütiger Trocknung der Druckproben.

Neben Farbauftragsmenge und Tintenzusammensetzung hängt die optische Dichte natürlich auch von der Papierart ab.

Dies zeigen ganz deutlich die Tabelle 4.7-1. Es wurde jeweils die Schwärzung durch die schwarze Tinte in Abhängigkeit vom jeweiligen Drucker, sowie Papier gemessen. Das Prinzip der Messung der Schwärzung lässt sich problemlos auch auf die anderen Tinten anwenden.

Bei allen 3 Testdruckern ist zu erkennen, dass das zweiseitig gestrichene Papier die beste Schwärzung aufweist, gefolgt vom satinierten Papier.

Wie bereits erwähnt, hat auch die Tintenzusammensetzung einen Einfluss auf das Druckbild. So können die schwarzen Druckfarben bedingt durch eine unterschiedliche Zusammensetzung andere Reflektionsgrade aufweisen.

Geht man von Idealfall aus, d.h. 100 % Reflektionsgrad der unbedruckten Probe und 1 % Reflektion der Bedruckten, dann würde der Logarithmus des Quotienten 2 ergeben.

Dieser Wert soll aber nur als Anhaltspunkt dienen, um die erzielten Werte besser interpretieren zu können.

Drucker	Papier	BEN-Ra 1bar, hart [µm]	Mittelwerte Schwärzung	Standardabweichung	Vertrauensbereich (α=95%)
TD1	NKP5	9,1	1,36	0,02	0,03
	NKP6	6,1	1,51	0,00	0,01
	GKP2	3,6	1,53	0,02	0,02
TD2	NKP5	9,1	1,19	0,00	0,00
	NKP6	6,1	1,20	0,01	0,01
	GKP2	3,6	1,25	0,01	0,01
TD3	NKP5	9,1	1,20	0,02	0,03
	NKP6	6,1	1,22	0,01	0,01
	GKP2	3,6	1,32	0,01	0,01

Tabelle 4.7-1: Schwärzung der Papiere bei unterschiedlichen Druckertypen

Der Unterschied zwischen den Papieren ist in deren Oberflächenbeschaffenheit zu sehen.

So hat das gestrichene Papier eine viel glattere Oberfläche und weist kleinere Porenradien auf. Dadurch können Rußpartikel, welche Bestandteil der Druckfarbe sind, nicht mit den flüssigen Bestandteilen ins Papiergefüge penetrieren.

Es bildet sich ein dichter Farbauftrag. Der Einfluss des Porenradius lässt sich auch auf die sich ergebenden Unterschiede zwischen NKP5 und NKP6, dem satinierten Papier, beziehen.

Auch hier erfolgt durch die Satinage eine Glättung und Verdichtung der Papieroberfläche, wobei die Unterschiede beim Testdrucker 2 und 3 nur gering sind.

Auf den Zusammenhang von Schwärzung und Farbauftrag [g/m²] wird in Kapitel 5.3 näher eingegangen (vgl. Abb. 5.3-1).

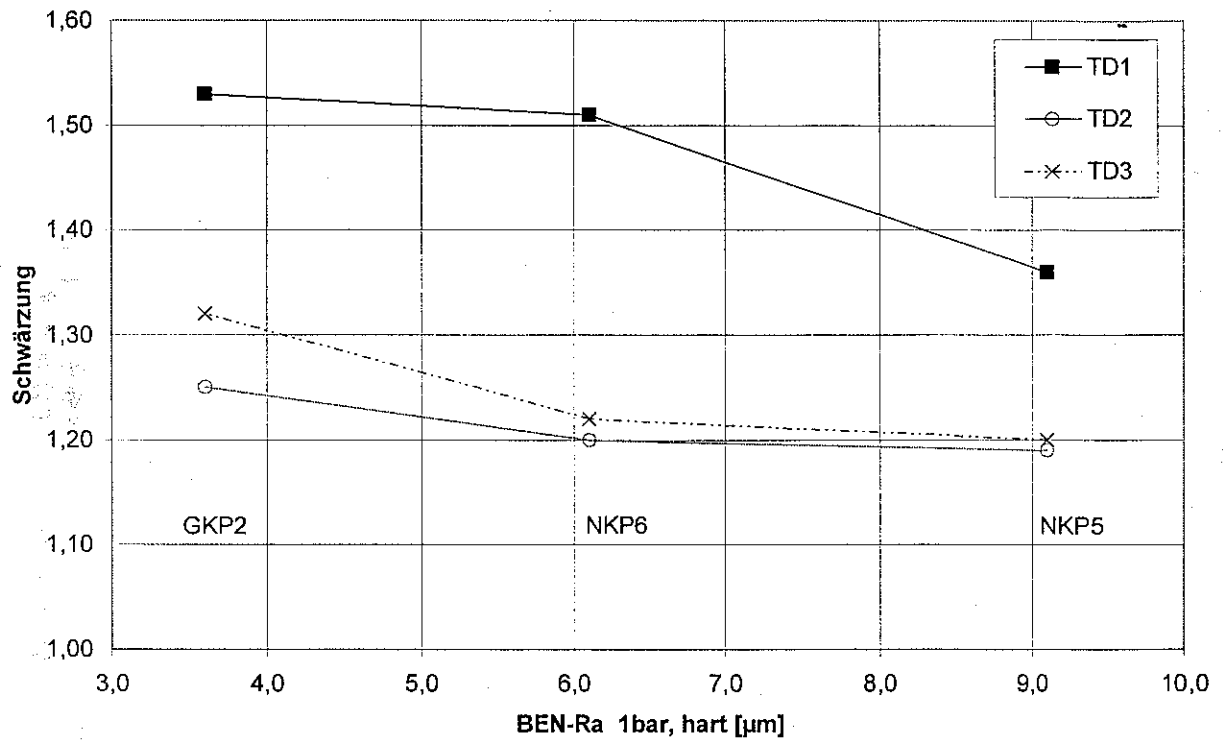


Abbildung 4.7-1: Zusammenhang zwischen Rauheit BEN-Ra der Papiere und Schwärzung

5. Printability und Runnability

5.1 Wechselwirkung Tinte-Papier (feathering, wicking)

Die Beurteilung der Druckqualität (Printability) ist eine komplexe Aufgabe. Wichtige Beeinträchtigungen der Ink-Jet-Druckqualität sind das Feathering und Wicking.

Der angewendete „I“-Test auf Feathering and Wicking wird im Anhang A.2 beschrieben.

Darin wird die Länge der Fransen, welche beim Druck entstehen können, als Maß zur Differenzierung zwischen Wicking und Feathering herangezogen.

Eine Fransenlänge von 0,4 mm gilt dabei als obere Grenze für das Feathering. (vgl. Abb. 5.1-1).

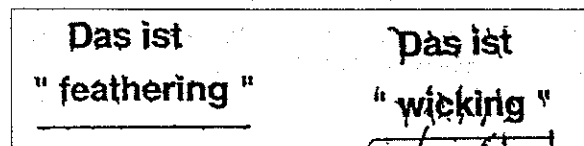


Abbildung 5.1-1: Beispiele für Feathering und Wicking

Das Wicking, welches eine wesentlich stärkere Beeinträchtigung des Schriftbildes darstellt, wird durch die drei folgenden Faktoren [19] dominiert:

- Tinteneigenschaften
- Papier- Faserstoff
- Papier- Leimung

Dabei neigen vor allem holzhaltige Papiere zum Wicking, wogegen bei holzfreien und gestrichenen Papieren Wicking ausgeschlossen werden kann. Dies bestätigte sich auch bei den durchgeführten Messungen. So fand bei keinem der getesteten Papierarten Wicking statt.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Tintenqualität und dabei vor allem ihre Oberflächenspannung. Durch die Oberflächenspannung kann das Problem verstärkt oder reduziert werden. Daß die Tintenqualität einen Einfluss auf die Druckqualität hat, zeigen die Ergebnisse des Tests.

Vergleicht man die Fransenlänge des Druckbildes von dem Testdrucker 3 (TD 3) mit denen des Testdrucker 1 (TD1) und Testdrucker 2 (TD2), dann fällt auf, daß die Fransenlänge in Querrichtung, trotz größerer Rauigkeit des Papiers NKP5, abnimmt. (Anhang A.1.5)

Auffällig war, dass während des Tests mit TD 3 ein verstärktes Verspritzen der Tintentropfen auf der gestrichenen oder polyethylenbeschichteten Oberfläche zu sehen war, wodurch eine Beeinflussung des Messergebnisses nicht ausgeschlossen werden kann.

Vergleicht man die beiden nichtbeschichteten Papiere NKP5 und NKP6, so zeigen die Messergebnisse des TD 2, dass die Fransenlänge trotz Satinage zugenommen hat.

Betrachtet man die Testdrucke von TD1, TD2 und TD3 so fällt auf, dass TD 3 das insgesamt beste Druckbild bezüglich „Feathering“ liefert.

Formfaktor

Eine weitere Methode („Formfaktor FOF der Bildpunkte“) zur Beurteilung des Verlaufs von Druckfarbe, welche in der Methodenbeschreibung (Anhang A.2) ausführlich dargestellt ist, soll hier mit einbezogen werden.

Momentan können aber nur Aussagen zum Testdrucker 2 getroffen werden. Es wurden nur 3 Papiere, genauer gesagt NKP5, NKP6 und GKP2 mit dieser Methode untersucht und mit **40% schwarz** bedruckt.

Die in Tabelle 5.1-1 dargestellten Messergebnisse zeigen, dass die beiden ungestrichenen Papiere einen wesentlich größeren Formfaktor (FOF) aufweisen als das gestrichene GKP2.

Papier	BEN-Ra 1bar, hart [µm]	Formfaktor FOF	Standardabweichung	Vertrauensbereich ($\alpha=95\%$)
NKP5	9,1	1,54	0,96	0,10
NKP6	6,1	1,50	0,99	0,10
GKP2	3,6	0,65	0,64	0,06

Tabelle 5.1-1: Formfaktor (FOF) der 3 Papiere NKP 5 und 6, sowie GKP 2 auf TD2

Die Formfaktoren, welche aus dem Umfang und Fläche der Druckpunkte gebildet werden, geben Aufschluss über das Verlaufen der Druckfarbe.

So nimmt bei steigendem Formfaktor auch der Umfang im Verhältnis zur Fläche zu. Das heißt, dass die Druckfarben auch in x-/y- Richtung der Papiere verlaufen. Deutlich zu erkennen ist die Tatsache, dass mit abnehmender Rauheit (BEN-Ra) der Formfaktor abnimmt. Demzufolge wird mit einer glatten Oberfläche eine dem Idealfall – kreisrunder Punkt – nahekommende Fläche erzeugt.

Auch die Anzahl der Druckpunkte stellt ein Maß für das Verlaufen dar (Anhang A.1.5). Sie ist ein Indiz dafür, dass durch das Verlaufen der Tinte zum Teil Druckpunkte nicht mehr als ganzer Punkt abgebildet werden. So sieht man, dass beim NKP5 und NKP6 eine sehr hohe Anzahl an Druckpunkten von der Bildbearbeitungssoftware erkannt wurde. Auch die Standardabweichungen deuten darauf hin, dass eine größere Streuung der Werte vorliegt und kann daher zur Bewertung der Druckqualität mit herangezogen werden.

Grauwert

R. Rosenberger [18] weist darauf hin, dass auch anhand der Grauwertverteilung der bedruckten Fläche, Aussagen zur Beurteilung von „wicking“ getroffen werden können. Die Grauwertverteilung wird aus den Graustufen der Pixel, des mittels Digitalkamera aufgenommenem Druckbildes, berechnet. Dabei liegen die Messergebnisse in einem Grauwertbereich von 0 (absolut Schwarz) bis 255 (absolut Weiß).

Betrachtet man die Grauwertverteilung der gedruckten Proben (vgl. Anhang A.1.5; Abbildung A.1.5-7 bis A.1.5-9), dann fällt auf, dass beim ungestrichenen NKP5 die Anzahl der Pixel zum gesetzten Graustufengrenzwert (für NKP5 bei 184) hin zunehmen und dort ihr Maximum erreichen.

Das heißt, dass bei NKP5 das Maximum der Pixelanzahl einen höheren Graustufenwert aufweist als beispielsweise das Maximum bei GKP2. (vgl. Anhang A.1.5, Abbildung A.1.5-1 bis A.1.5-6)

Dabei ist zu erwähnen, dass eigentlich nur bis zu einem GSV von 50 die Grautöne als absolutes Schwarz angesehen werden können.

Da die Messung aber nur durch den Einsatz von Schräglicht durchgeführt werden konnte, kam es zu einer Grauwertverschiebung der Druckpunkte auf der Grauwertskala vom absoluten Schwarz zum absoluten Weiß. Dadurch lässt sich auch der enge Grauwertbereich zwischen unbedruckter und bedruckter Probe erklären.

Trotzdem wird deutlich, dass beim GKP2 die max. Pixelanzahl bei einem GSV von 160 liegt und somit deutlich vor dem gesetzten Grenzwert von 187.

Der Grenzwert wurde ermittelt aus der Messung von 5 unbedruckten Proben. (s. Tabelle 5.1-2.)

	NKP5	NKP6	GKP2
MW	216	217,4	220,6
StAbw	5,05	4,04	1,14

Tabelle 5.1-2: Grauwerte der unbedruckten Proben

Anschließend wurden 85% des Mittelwertes der Proben als Grenzwert (s. Tabelle 5.1-3) gesetzt. Unterhalb des Grenzwertes werden alle Punkte als Schwarz

wiedergegeben und oberhalb des Grenzwertes als Weiß.

	NKP5	NKP6	GKP2
Grenzwerte	184	184	187

Tabelle 5.1-3: Grenzwert der Papiere NKP 5 und 6, sowie GKP 2

5.2 Wechselwirkungen zwischen den aufgetragenen Tinten auf Papier (bleeding)

Mit Hilfe eines speziellen Bildanalyseverfahren wurde das „Ausbluten“ der Tinten ineinander und im Vergleich der Papiere analysiert, dargestellt und beurteilt. Zur Bewertung der Druckqualität wurden spezielle Prüfbilder mit Streifenkombinationen verschiedener Tintenfarben verwendet. Als Vergleichsmethode diente die Messung von Weißgrad, Farbort und Reflektionsfaktor. Die genaue Beschreibung dieser Methode befindet sich im Anhang A.2.

Wie bereits erwähnt, wurde zur Beurteilung des Bleedings eine Bildanalysesoftware verwendet, mit deren Hilfe die Flächen und Dicken der Prüfstreifen ermittelt werden konnten. Das Verhältnis aus den ermittelten Flächen und Dicken ist die Grundlage für die weitere Beurteilung der Probe-drucke.

Zur Bewertung wurden Teststreifen in senkrechter und waagerechter Richtung auf die Papiere gedruckt. Damit können Aussagen hinsichtlich des Einflusses von Längs- und Querrichtung der Fasern auf das Druckbild getroffen werden.

Ein optimales Flächenverhältnis wäre 1, da dann die helle sowie die dunkle Fläche die gleichen Größen aufweisen würden.

Liegen die Werte unterhalb dieser Grenze von 1, dann erfolgt das Ausbluten der schwarzen Farbe in die Gelbe. Ein Verhältnis oberhalb von 1 spricht für einen größeren gelben Flächenanteil. Betrachtet man aber Zusammensetzung und Auftragsmenge der Tinten, dann kann ein Ausbluten der gelben in die schwarze Farbe ausgeschlossen werden. Auffällig ist, dass die Ergebnisse für alle drei Testdrucker sehr stark variieren, was an den unterschiedlichen Tintenzusammensetzungen liegen kann.

Die Werte für Testdrucker 1 zeigen, dass das Naturkopierpapier die schlechtesten Flächenverhältnisse aufweist. GKP2 liefert die beste Druckqualität betreffs bleeding. Für das polyethylenbeschichtete Papier wurde nur eine Messung durchgeführt. Es ist aber zu sehen, dass es eine schlechtere Druckqualität besitzt als z.B. das satinierte Papier.

Ursachen könnten in der Beschichtung des Papiers liegen, so kann es zu Reaktionen der Tinten mit der Polyethylenschicht kommen.

		Flächenverhältnis		Dickenverhältnis	
		MD	CD	MD	CD
TD1	NKP5	0,885	0,842	0,870	0,829
	NKP6	0,794	0,789	0,833	0,761
	GKP2	0,924	0,907	0,922	0,908
	PEP2	0,840	0,839	0,828	0,826
TD2	NKP5	0,802	0,796	0,692	0,770
	NKP6	0,803	0,807	0,762	0,788
	GKP2	-	-	-	-
	PEP2	0,851	0,827	0,848	0,811
TD3	NKP5	0,975	0,988	0,971	0,976
	NKP6	0,941	0,957	0,959	0,955
	GKP2	0,953	0,974	0,938	0,975
	PEP2	0,887	0,888	0,866	0,866

Tabelle 5.2-1: Mittelwerte Bleeding für TD 1 bis 3

Wo Testdrucker 1 noch die besten Ergebnisse für das gestrichene Papier GKP2 zeigt, konnten mit Testdrucker 2 für diese Papiersorte keine Flächen mit Hilfe der Software ermittelt werden, da die Druckfarben ein zu starkes bleeding aufwiesen. Dagegen schneidet das polyethylenbeschichtete Papier PEP2 bei diesem Testdruck als das mit der besten Druckqualität ab.

Auch das Dickenverhältnis spiegelt dieses Ergebnis wieder.

Betrachtet man dagegen die Messwerte für Testdrucker 3, dann liefert NKP6 die beste Druckqualität.

Die Flächenverhältnisse für das Naturkopierpapier NKP5 und satinierte Naturkopierpapier NKP6 liegen deutlich über denen des polyethylenbeschichteten Papiers PEP2. Dies spricht für ein qualitativ höheres Druckbild.

Wie man erkennen kann variieren die Ergebnisse zwischen den einzelnen Testdruckern sehr stark. So schneidet das als reines Laserdruckpapier ausgegebene GKP2 bei Testdrucker 1 und 3 am besten ab, wogegen beim Testdrucker 2 keine Flächen ermittelt werden konnte, da zu starkes bleeding auftrat.

Auch das Naturkopierpapier NKP5, welches die größte Rauigkeit aufweist, schneidet beim Testdrucker 3 deutlich besser ab als das Ink-Jet geeignete Fotopapier PEP2.

So kann man einen stärkeren Einfluss durch die Rauigkeiten der Papiere ausschließen.

Wegschlaggeschwindigkeit und vor allem die Tintenzusammensetzung zeigen einen wesentlich größeren Einfluss auf das Ausbluten auf.

Dagegen deuten die geringen Unterschiede hinsichtlich der Faserrichtung auf keine größere Beeinflussung der Druckqualität hin.

5.3 Schwärzung in Abhängigkeit von der Flächenmasse der Tinte

Vergleicht man die Schwärzung mit der Flächenmasse der aufgetragenen Tinte lassen sich Aussagen über die Qualität der Tinte, sowie des Druckes treffen. Anstrebenswert ist eine möglichst hohe Schwärzung, bei einer möglichst kleinen Flächenmasse der Tinte. In der Abbildung 5.3-1 ist die Schwärzung über dem Farbauftrag für die drei Referenzpapiere NKP 5, 6 und GKP 2, sowie die drei Testdrucker dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei allen Papieren, die beste Schwärzung mit dem Testdrucker 1 erzielt wurde. Auf den Papieren NKP 5 und GKP 2 erreicht der Testdrucker 1 dies sogar mit dem wenigsten Tinteaufwand. Im Gegensatz dazu erzielt der Testdrucker 3 bei wesentlich höherer Flächenmasse der aufgetragenen Tinte bei allen Papieren eine schlechtere Schwärzung. Die Schwärzung von Testdrucker 2 liegt bei allen drei Papieren noch geringfügig unter der von Testdrucker 3. Allerdings verbraucht Testdrucker 2 bei nur geringfügig schlechterer Schwärzung mindestens 50% weniger Tinte als Testdrucker 3.

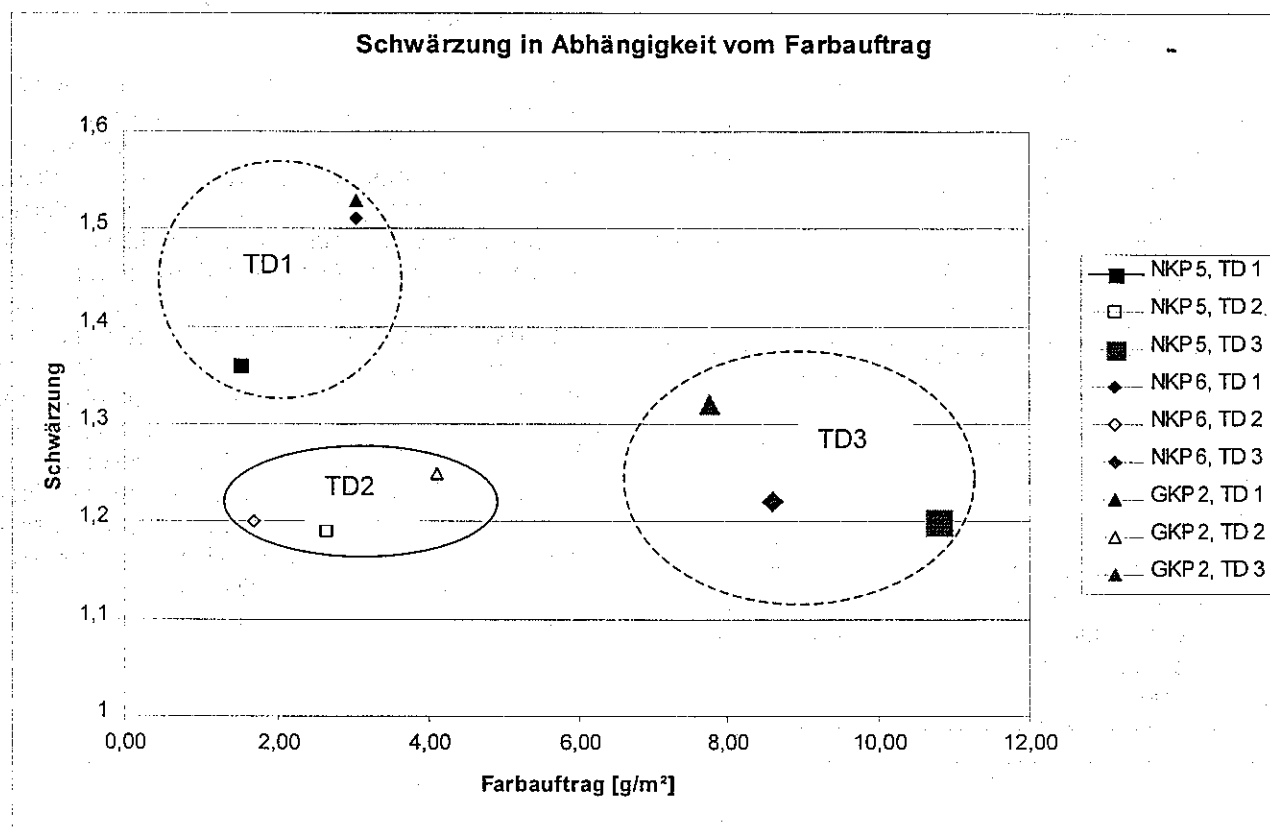


Abbildung 5.3-1: Schwärzung in Abhängigkeit vom Farbauftrag für die Referenzpapiere NKP 5,6 und GKP 2

5.4 Ablegen der Tinte auf dem Folgeblatt

Das Ablegen der Tinte auf dem Folgeblatt ist ein Runability Problem. Es ist ein Maß für die Neigung einer frisch bedruckten Papierprobe, Druckfarbe an eine andere Papierfläche abzugeben, wenn diese in einer bestimmten Weise in Kontakt gebracht werden./21/

Die Untersuchungen zum Ablegen von Druckfarbe erfolgten in einer Papierfabrik, welche hochwertige Ink-Jet Papiere herstellt.

Die Messungen wurden nach werksinternen Messmethoden durchgeführt. Aus diesem Grund konnten nicht alle der für das Projekt vorgesehenen Testdrucker verwendet werden. Die Messungen erfolgten mit dem Testdrucker 1.

Es wurden die gestrichenen Papiere GKP1, GKP2, GKP4, GKP5, die Naturkopierpapiere NKP4, NKP5, NKP6 und die polyethylenbeschichteten Papiere PEP1, PEP2, PEP3 und PEP4 untersucht.

Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass diese Messmethode eigentlich nur für polyethylenbeschichtete Papiere geeignet ist.

Deshalb müssen vor allem für die Naturkopierpapiere weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden.

Auch können mit dieser Messmethode nur indirekte Aussagen zum Ablegen der Druckfarbe getroffen werden.

Zur Ermittlung des Ablegens von Druckfarbe wurden zwei Messmethoden angewandt.

Zum Einen erfolgte die direkte Prüfung auf Trocknung mit der Fingermethode und zum Anderen die Prüfung der Trocknungszeit mit dem Drytime Tester.

Für diese Tests wurde ein vom Werk vorgegebenes Testmuster verwendet. (s. Abbildung 5.4-1)

Man beginnt mit dem Einlegen einer DIN A4 Probe des zu prüfenden Papiers und schickt anschließend den entsprechenden Druckauftrag ab.

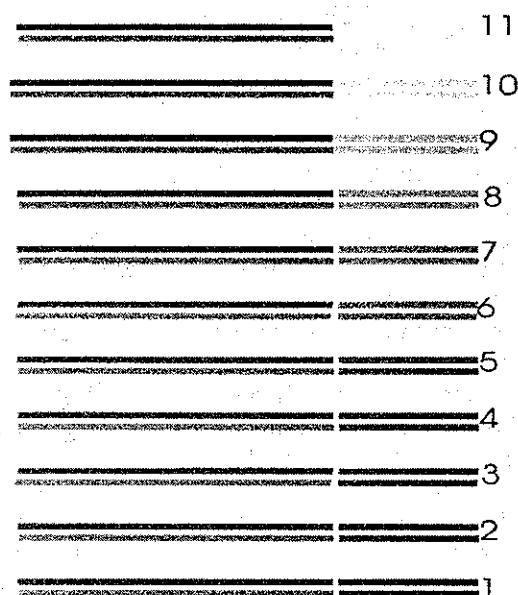


Abbildung 5.4-1: Testmuster

Position	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]
11	3	4	5	6	7	8	9	10
10	2,77	3,77	4,77	5,77	6,77	7,77	8,77	9,77
9	2,53	3,53	4,53	5,53	6,53	7,53	8,53	9,53
8	2,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3
7	2,07	3,07	4,07	5,07	6,07	7,07	8,07	9,07
6	1,83	2,83	3,83	4,83	5,83	6,83	7,83	8,83
5	1,6	2,6	3,6	4,6	5,6	6,6	7,6	8,6
4	1,36	2,36	3,36	4,36	5,36	6,36	7,36	8,36
3	1,13	2,13	3,13	4,13	5,13	6,13	7,13	8,13
2	0,9	1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9
1	0,67	1,67	2,67	3,67	4,67	5,67	6,67	7,67

Tabelle 5.4-1: Umrechnung der Trockenzeit

Eine Stoppuhr wird gestartet so bald die erste Linie gedruckt wird. Die Druckrichtung verläuft von Linie 11 nach Linie 1.

Unmittelbar nach Beendigung des Druckvorgangs, welcher 15 Sekunden dauert, fährt man mit dem Finger über die in Abbildung 5.4-1 rechts dargestellten kürzeren Linien von Linie 11 nach 1.

Als Ergebnis wird die Liniennummer angegeben, bei der kein Verwischen mehr nachgewiesen werden kann. Die gesamte Druckfarbenauftragsmenge liegt bei ca. 4,32 g/m².

Dieser Test gibt vor allem auch Aufschluss darüber, wie viel und wie schnell die flüssigen Bestandteile der Druckfarbe in das Papier wegschlagen.

Zur Ermittlung der Trocknungszeit mittels Drytime Tester wurden die längeren Linien, welche in der Abbildung 5.4-1 links zu sehen sind, verwendet.

Nachdem das Testmuster gedruckt und die direkte Prüfung auf Trocknung durchgeführt wurden, schneidet man ein für den Drytime Tester passendes Format zurecht. Zusätzlich sollte man an jedem Ende 50 mm unbedrucktes Papier stehen lassen.

Nun wird die Gummispitze des Drytime Testers angehoben und der Probestreifen eingelegt. Die Spitze senk man unmittelbar vor Position 11 wieder ab.

3 Minuten nach dem Start der Stoppuhr wird das Muster durch den Drytime Tester gezogen. Dabei muss der Holzrahmen des Testers festgehalten werden.

Anschließend wird das Testmuster (Abbildung 5.4-1) überprüft und entschieden, welche Linie als erste keine Beschädigung der Druckoberfläche aufweist. Aus einer Umrechnungstabelle (vgl. Tabelle 5.4-1) kann dann ein Wert für die Trockenzeit abgelesen werden.

Dieser drückt aber nicht die tatsächliche Trockenzeit aus und ist deshalb einheitenlos. Der Wert ist nur ein Maß dafür, wie stark die Beschädigung der Druckoberfläche ist.

Sollte also nach einer Startzeit von 3 Minuten z.B. Linie 5 keine Beschädigung mehr aufweisen, dann beträgt die Trockenzeit 1,6.

Wenn auf der Linie 11 eine Beschädigung der Druckoberfläche festgestellt wird, muss der Test erneut durchgeführt werden, indem man die Spitze auf eine saubere/ unbeschädigte Stelle aufsetzt.

Der Test wird dann im Abstand von einer Minute wiederholt, bis auf Linie 11 keine Beschädigung der Druckoberfläche mehr festzustellen ist.

Die Drytime-Zeiten werden der Trockenzeit Umrechnungstabelle (Tabelle 5.4-1) entnommen und gemeinsam mit den Testergebnissen des Fingertests protokolliert.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, können nur indirekt Aussagen über das Ablegen der Druckfarben getroffen werden, da die durchgeführten Test sich rein auf die Trocknungszeiten der Testdrucke bezogen.

Es besteht aber ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen den Trocknungszeiten und dem Ablegen der Druckfarbe.

Bleibt eine Druckfarbe länger auf der Papieroberfläche liegen, so neigt dieses bedruckte Papier stärker zum Ablegen als ein Papier das durch schnelles Wegschlagverhalten und kurze Trocknungszeiten der Druckfarbe gekennzeichnet ist.

Papierart	Fingertest	Trockenzeit	Trockenzeit
	[Liniennummer]	[min]	[aus Umrechnungstabelle]
GKP1	4	3	<0,67
GKP2	4	2	<0,67
GKP4	>11	10	>10
GKP5	<1	3	<0,67
NKP4	<1	3	<0,67
NKP5	<1	3	<0,67
NKP6	<1	3	<0,67
PEP1	>11	10	>10
PEP2	2	3	<0,67
PEP3	<1	3	<0,67
PEP4	<1	3	<0,67

Tabelle 5.4-2: Ergebnisse des Fingertests

Tabelle 5.4-2 zeigt die erhaltenen Werte der beiden durchgeführten Tests.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass diese Testmethoden eigentlich nur für polyethylenbeschichtete Papiere geeignet sind.

Es konnte also erwartet werden, dass für die Naturkopierpapier keine aussagekräftige Bewertung hinsichtlich Ablegens möglich ist.

Die Wegschlagzeiten und Trocknungszeiten liegen deutlich unter denen der gestrichenen und polyethylenbeschichteten Papiere. So konnten selbst nach nur 1 Minute Trockenzeit noch keine detaillierten Aussagen getroffen werden.

Vergleicht man aber die Naturkopierpapiere z.B. mit dem gussgestrichenen Papier GKP4 oder dem zweiseitig gestrichenen GKP2, dann wird deutlich, dass die Neigung der Naturkopierpapiere zum Ablegen wesentlich geringer ist, da der Druck sich schneller verfestigt.

Es fällt auf, dass GKP4 bei beiden Tests neben PEP1 am schlechtesten abschneidet.

Beiden Papieren kann eine starke Neigung zum Ablegen der Druckfarbe auf ein anderes Papier zugeschrieben werden.

Dagegen weisen PEP3 und PEP4 ein sehr gutes Trocknungsverhalten auf und somit eine geringere Neigung zum Ablegen.

An dieser Stelle muss auch noch einmal darauf hingewiesen werden, dass natürlich die Zeit zwischen dem Bedrucken eines Papiers und dem Auflegen eines weiteren auf die bedruckte Fläche einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Betrachtet man jetzt den Fall, dass zwei Papiere mit dem gleichen Testmuster (s. Abbildung 5.4-1) bedruckt werden und zwischen den Drucken nur die benötigte Druckzeit des Druckers für das Muster liegt, dann kann mit Sicherheit behauptet werden, dass bei den Papieren GKP4 und PEP1 ein Ablegen der Druckfarbe erfolgen wird.

Um für die anderen Papiere noch exaktere Aussagen treffen zu können, werden am Lehrstuhl für Papiertechnik in Dresden weitere mögliche Testmethoden untersucht und entwickelt.

5.5 Verschmieren und Abreiben der Tinte

Das Ablegen der Druckfarbe stellt ein nicht gewünschtes Runability Problem dar, bei dem die bedruckte Papierfläche die Neigung ausdrückt, Druckfarbe an eine andere Fläche abzugeben, wenn beide Fläche in einer bestimmten Weise gegeneinander gerieben werden./21/

Die Messungen erfolgten in einer Papierfabrik, welche hochwertige Ink-Jet Papiere herstellt, und konnten auf Grund fabrikspezifischer Messmethoden nicht mit unseren Testdruckern durchgeführt werden.

Es wurden zwei gestrichene Papiere GKP2, GKP5 und drei Naturkopierpapiere NKP4, NKP5 und NKP6 auf Abreiben untersucht.

Die polyethylenbeschichteten Papiere wurden für diesen Test nicht benutzt, da diese Papiere ihrer Verwendung spezifisch nicht für ein Abreiben ausgelegt sind.

Außerdem kann der Einfluss des Abreibens beim Ink-Jet Druck als eher gering eingeschätzt werden, da der direkte Kontakt und das Reiben der Papierbogen miteinander ausgeschlossen werden kann.

Die genauen Bezeichnungen der Papiere können der im Anhang A1 befindlichen Tabelle entnommen werden.

Die ausgewählten Papiere wurden mit einer lichtbeständigen und einer lichtunbeständigen Tinte bedruckt, um den Einfluss der unterschiedlichen Tintenbeschaffenheit zu sehen.

Als Druckmuster diente ein schwarzer 153 x 45 mm großer Testbalken.

Die bedruckte Papierprobe muss 30 Minuten unter klimatisierten Bedingungen getrocknet werden, bevor sie für den weiteren Test verwendet werden kann.

Auf diese Weise kann eine Überlagerung mit einem weiteren unerwünschten Qualitätseffekt, dem Ablegen, eingegrenzt werden.

Anschließend wird die bedruckte Probe in das Prüfgerät eingelegt.

Von der unbedruckten Papierprobe wird ein Prüfstreifen zurechtgeschnitten, welchen man danach auf einen Metallblock aufspannt. Dabei ist darauf zu achten, dass bei einseitig gestrichenen Papieren die ungestrichene Papierseite auf den schwarzen Balken aufgesetzt wird.

Der Metallblock wird dann auf ein im Prüfgerät vorgesehenes Gewindestift aufgesetzt und mit einer Mutter befestigt.

Nun muss noch die Anzahl der Hübe des Metallblocks auf 10 eingestellt werden.

Die Starttaste wird betätigt und der Messvorgang durchgeführt.

Nach Beendigung des Messvorganges wird der Prüfstreifen aus dem Metallblock entfernt und mit Hilfe eines Densitometers ausgetestet. Es werden jeweils 5 Messungen auf einer unbedruckten Fläche des zu prüfenden Papiers und dem Prüfstreifen durchgeführt. Es ist wichtig, dass die Messungen auf einer weißen Unterlage erfolgen, so dass Messungenauigkeiten ausgeschlossen werden können.

Aus den Messwerten für die optische Dichte (D) der Prüfstreifen und der unbedruckten Probe wird ein Delta gebildet, welches den Grad des Abreibens wiedergibt.

Die Größe dieses Wertes bestimmt die Neigung der bedruckten Papierfläche zum Abgeben von Druckfarbe an eine andere Fläche.

lichtbeständige Farbe	$D_{\text{unbedruckte Fläche}}$	$D_{\text{Prüfstreifen}}$	$\Delta D_{\text{Prüfstr.-unbedr.Fl.}}$
1	0,03	0,17	0,14
2	0,04	0,20	0,16
3	0,03	0,21	0,18
4	0,03	0,17	0,14
5	0,03	0,19	0,16
Mittelwert	0,032	0,188	0,156

lichtunbeständige Farbe	$D_{\text{unbedruckte Fläche}}$	$D_{\text{Prüfstreifen}}$	$\Delta D_{\text{Prüfstr.-unbedr.Fl.}}$
1	0,03	0,04	0,01
2	0,04	0,04	0,00
3	0,03	0,04	0,01
4	0,04	0,05	0,01
5	0,04	0,04	0,00
Mittelwert	0,036	0,042	0,006

Tabelle 5.5-1: Abreiben, optische Dichte GKP 5

In den Tabellen 5.5-1 bis 5.5-5 sind die ermittelten Messergebnisse dargestellt. Betrachtet man die Werte hinsichtlich der Papierart, dann wird deutlich, dass die zweiseitig gestrichenen Papiere die stärkste Neigung zum Abreiben aufweisen.

Dies konnte auch so erwartet werden, da die Rauigkeit und die Porengrößen der Papiere einen großen Einfluss auf die Abreibneigung haben. So bleiben die in der schwarzen Druckfarbe enthaltenen festen Bestandteile vermehrt auf dem Strich liegen und penetrieren auf Grund der kleineren Porenradien als bei ungestrichenen Papiersorten weniger in das Papiergefüge. Dies bringt auf der einen Seite eine größere optische Dichte des Volltondruckes, aber hat den Nachteil des stärkeren Abreibens.

Durch ein größeres Rauigkeitsgebirge ist der Zugang zu den festen Bestandteilen der Tinte schwieriger als auf einer glatten Oberfläche.

Auch die Haftreibung zwischen den Komponenten Faser und Rußpartikel oder Strichschicht und Rußpartikel ist unterschiedlich.

So müsste ein größerer Haftreibungskoeffizient zwischen Rußpartikel und Faser bestehen.

Betrachtet man die ungestrichenen Naturkopierpapiere, dann wird sichtbar, dass auch hier das satinierte Papier den schlechtesten Deltawert aufweist.

Der Deltawert für die optische Dichte von NKP6 liegt bei 0,082, während für NKP4 nur ein Delta von 0,028 berechnet wurde.

Die Unterschiede zwischen der lichtbeständigen und lichtunbeständigen Farbe sind auffällig groß.

Die mit lichtbeständiger Druckfarbe bedruckten Proben wiesen nur eine sehr geringe Neigung für Abreiben auf.

lichtbeständige Farbe	$D_{\text{unbedruckte Fläche}}$	$D_{\text{Prüfstreifen}}$	$\Delta D_{\text{Prüfstr.-unbedr.Fl.}}$
1	0,03	0,12	0,09
2	0,03	0,11	0,08
3	0,03	0,11	0,08
4	0,03	0,09	0,06
5	0,03	0,13	0,10
Mittelwert	0,03	0,112	0,082

lichtunbeständige Farbe	$D_{\text{unbedruckte Fläche}}$	$D_{\text{Prüfstreifen}}$	$\Delta D_{\text{Prüfstr.-unbedr.Fl.}}$
1	0,03	0,04	0,01
2	0,03	0,04	0,01
3	0,03	0,04	0,01
4	0,03	0,04	0,01
5	0,04	0,04	0,00
Mittelwert	0,032	0,04	0,008

Tabelle 5.5-2: Abreiben, optische Dichte NKP6

In diesem Fall müssen die Ursachen in der Tintenzusammensetzung gesucht werden, da sich keine Zusammenhänge zur Papierart nachweisen lassen.

So könnte der UV-Licht absorbierende Anteil der Druckfarbe einen Einfluss auf die Haftfestigkeit der Tinte haben.

Durch weitere Untersuchungen am Lehrstuhl für Papiertechnik sollen diese Zusammenhänge näher untersucht werden.

lichtbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,04	0,26	0,22
2	0,03	0,25	0,22
3	0,03	0,20	0,17
4	0,03	0,22	0,19
5	0,04	0,18	0,14
Mittelwert	0,034	0,222	0,188

lichtunbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,04	0,06	0,02
2	0,04	0,04	0,00
3	0,04	0,05	0,01
4	0,04	0,04	0,00
5	0,04	0,05	0,01
Mittelwert	0,04	0,048	0,008

Tabelle 5.5-3: Abreiben, optische Dichte GKP 2

lichtbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,04	0,08	0,04
2	0,04	0,06	0,02
3	0,03	0,06	0,03
4	0,04	0,06	0,02
5	0,04	0,07	0,03
Mittelwert	0,038	0,066	0,028

lichtunbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,04	0,04	0,00
2	0,03	0,04	0,01
3	0,03	0,04	0,01
4	0,04	0,05	0,01
5	0,04	0,05	0,01
Mittelwert	0,036	0,044	0,008

Tabelle 5.5-4: Abreiben, optische Dichte NKP 4

lichtbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,02	0,08	0,06
2	0,02	0,07	0,05
3	0,02	0,06	0,04
4	0,02	0,05	0,03
5	0,02	0,06	0,04
Mittelwert	0,02	0,064	0,044

lichtunbeständige Farbe	D _{unbedruckte Fläche}	D _{Prüfstreifen}	$\Delta D_{\text{Prüfst.-unbedr.Fl.}}$
1	0,01	0,02	0,01
2	0,02	0,02	0,00
3	0,02	0,02	0,00
4	0,02	0,03	0,01
5	0,02	0,02	0,00
Mittelwert	0,018	0,022	0,004

Tabelle 5.5-5: Abreiben, optische Dichte NKP 5

6. Zusammenfassung

6.1 Ausgangssituation / Problemstellung

Beim Ink-Jet-Druck, insbesondere beim Mehrfarben-Ink-Jet-Druck, mit alkohol-, wasser- oder glycolhaltigen Tinten wird das ungestrichene, pigmentierte, gestrichene oder polyethylenbeschichtete Papier mit Flüssigkeits-Flächenmassen von bis zu mehreren g/m² meist einseitig beaufschlagt. Die Verfestigung der Tinte und des Papier-Tinten-Verbundes geschieht zeitabhängig wesentlich durch:

- Wegschlagen – also Penetrieren der Flüssigkeit in die Poren zwischen den Streichpigmenten und zwischen den Fasern sowie in die Faserwand-Poren mit gleichzeitiger Faserwandquellung und
- Trocknen – also durch Verdunsten in die Umgebungsluft.

Daraus können sich in der Praxis sowohl Runability als auch Printability-Probleme ergeben.

Zu den hervorragenden Runability-Problemen werden hier gezählt:

- Das Ablegen der Tinte auf den Nachbarbogen im Stapel durch Kontaktadhäsion.
- Das Verschmieren oder Abreiben der Tinte.

Als Printability-Probleme werden genannt:

- colour to colour bleeding
- feathering and wicking durch die dünnflüssige Tinte und
- cockling sowie curling durch die einseitige Penetration, Quellung und anschließende freie Schrumpfung beim Trocknen des Papiers.

Es fehlen Testverfahren für Wegschlagen, Trocknen und Verfestigen von wässrigen Ink-Jet-Drucken, die es erlauben, im Laborversuch die Runability und Printability des Systems Papier, Tinte und Drucker vorherzubestimmen. Die Testverfahren für cockling und curling gehören nicht zum Projektziel.

6.2 Forschungsziel / Forschungsergebnis

Voraussetzung für eine methodische Reduzierung dieser Runability- und Printability-Probleme ist eine Analyse der Wegschlag- und Trocknungs- sowie Verfestigungsvorgänge in Verbindung mit den physikalisch-chemischen Eigenschaften der wässrigen Ink-Jet-Tinte und des Papiers. Dabei werden die Untersuchungen auf die Sortengruppe holzfreie – ungestrichene, pigmentierte, gestrichene und polyethylenbeschichtete – Ink-Jet-Papiere konzentriert. Insgesamt wurden aus dem aktuellen und relevanten Sortenprogramm der Feinpapier-Industrie 18 Referenzpapiere ausgewählt, und zwar: 9 ungestrichene, 5 gestrichene und 4 polyethylenbeschichtete Papiere. Als Referenz-Drucker-Tinten-Systeme – jeweils Cyan,

Magenta, Yellow und Black – wurden Drop on Demand Drucker von 4 Herstellern mit bedeutendem Marktanteil ausgewählt, und zwar 3 Thermo-Ink-Jet Drucker und 1 Piezo-Ink-Jet Drucker.

Für die folgenden **Eigenschaften der Referenz-Tinten** konnten einfache und kostengünstige Prüfverfahren mit Tinten-Proben-Volumina zwischen 0,5 bis 30 ml entwickelt werden

Dichte	1,04 – 1,10 g/cm ³
Trockenrückstand (60 °C, 1-2d)	4 – 10(22) %
pH-Wert	(6,9) 7,1 – 9,9
Dynam. Viskosität (23°C)	2,5 – 4,4 mPa*s
Dynamische Oberflächenspannung (23°C) mit Blasenlebensdauer BLD	47,0 – 78,4 mN/m (BLD = 30 ms) 27,7 – 51,9 mN/m (BLD = 60 s)
anionische PCD-Ladung	41 – 385 µeq/ml

Nicht ausreichend untersucht wurde die Temperaturabhängigkeit der Viskosität und der Oberflächenspannung der Tinten, sowie ihre Zusammensetzung und damit auch ihre thermischen Stoffdaten.

Die Verringerung der dynamischen Oberflächenspannung der Tinten konnte im Blasenlebensdauer-Bereich von 30 ms bis 60 s gemessen werden.

Für die **ungestrichenen und gestrichenen Referenz-Papiere** wurden u.a. folgende **Oberflächeneigenschaften** gemessen:

Bendtsen-Rauheit Ra	3,0 – 10,6 µm
Print-Surf (10 bar, soft)	0,3 – 7,0 µm
Glanz DIN 54502 /03.92	0,6 – 90,3 % (75°) 1,1 – 69,2 % (45°)
Oberflächen-pH-Werte	(5,3) 7,3 – 8,0 (9,5)

Die Oberflächen-pH-Werte der gestrichenen und ungestrichenen Referenzpapiere liegen zwischen 7,3 und 8,0 mit Ausnahme zweier gestrichener Papiere mit den pH-Werten 5,3 bzw. 9,5. Mit Ausnahme zweier Tinten mit dem pH-Wert 6,9 liegen alle übrigen Tinten im pH-Bereich 7,1 – 9,9, decken also den Oberflächen-pH-Wert-Bereich der gestrichenen und ungestrichenen Papiere ab und zusätzlich den Bereich bis zu pH-Werten von 9,9.

Mit den vorhandenen Messeinrichtungen konnten nur **Schätzwerte für die Oberflächenspannung** der besonders glatten Papiere ermittelt werden. Es soll versucht werden, mit einer automatisierten Messeinrichtung auch die Oberflächenspannung selbstgeglätteter Papiere zu bestimmen.

Die **Benetzungsspannung (–2,7 bis 32,1 mN/m)** ist hier das Produkt aus der dynamischen Oberflächenspannung der Tinte (27,7 – 51,9 mN/m, BLD = 60 s) und dem Cosinus ihres Benetzungswinkels (15° bis 93,8° bzw. –0,07 bis +0,97) mit

der Papieroberfläche. Die vorstehenden Eigenschaftsbereiche ergeben sich aus der Kombination der Oberflächen von einem Naturkopierpapier (BEN-Ra = 9,1 μm), einem satinierten Naturkopierpapier (BEN-Ra = 6,1 μm) und einem satinierten gestrichenen Papier (BEN-Ra = 3,6 μm), jeweils mit den 4 Farben der ausgewählten 4 Ink-Jet-Drucker-Systeme.

Negative Benetzungsspannungen zwischen -0,5 bis -2,7 mN/m treten bei der Benetzung rauer Papiere mit 2 schwarzen Tinten auf. Erwartungsgemäß wächst die Benetzungsspannung derselben Tinte mit sinkender Bendtsen-Rauheit von BEN-Ra = 9,1 μm über 6,1 μm auf 3,6 μm .

Für die vorstehend diskutierte Kombination von 4x4 Tinten mit 3 Papieren wurden die **Trocknungskurven** für den Zeitraum von 30 s bis 3530 s nach Verlassen des Druckers aufgenommen. Im Regelfall konnten ein 1. und ein 2. Trocknungsabschnitt zwischen 30 bis 280 s mit Trocknungsgeschwindigkeiten von 10 – 50 $\mu\text{g/s}$ und zwischen 1030 bis 3530 s mit Trocknungsgeschwindigkeiten von 1 – 10 $\mu\text{g/s}$ unterschieden werden.

Für einige Cyan- und Magenta-Farben ergaben sich negative oder auffallend geringe Trocknungsgeschwindigkeiten. Vermutet wird beispielsweise eine ausgeprägte Hygroskopizität gewisser Cyan-Farben oder Wechselwirkungen zwischen den Strichschichten und den Tinten. Eine eingehende Diskussion erfordert die Kenntnis der Stoffzusammensetzung von Papier und Tinte.

Ergänzend soll der sog. Knickpunkt zwischen 1. und 2. Trocknungsabschnitt ermittelt werden. Errechnet wurde auch für alle Tinten-Papierkombinationen **der verdunstete prozentuale Anteil der Tinte** innerhalb einer Trocknungszeit von 30 s bis 3530 s.

Die **Wegschlaggeschwindigkeit** der Tinten wächst umgekehrt proportional mit ihrer Viskosität und proportional mit dem Porenradius der Papieroberfläche sowie der Benetzungsspannung als Produkt aus der Oberflächenspannung der Tinte und dem Cosinus des Kontaktwinkels. Zur Überprüfung dieser Beziehung bieten sich die Kompression der Papiere und damit der Porenradien sowie die zeitabhängige Messung der Eindringtiefe durch Abfräsen des bedruckten Papiers an.

Erfolgreich wurde mit einer einfachen Methode die **Bedruckbarkeit** der drei vorgenannten Papiere-Naturkopierpapier, satiniertes ungestrichenes Papier und satiniertes gestrichenes Papier mit Bendtsen-Rauheitswerten: 9,1 μm ; 6,1 μm und 3,6 μm – mit der schwarzen Tinte von 3 Gerätesystemen ermittelt. Für jedes Geräte-System stieg mit abnehmender Rauheit der Papiere die optische Dichte bzw. Schwärzung (S) – z.B. S = 1,20 über 1,22 auf 1,32.

Da gleichzeitig der Farbauftrag in g/m^2 in jedem Fall gemessen wurde, konnte auch die **Leistungsfähigkeit der Drucker-Systeme** verglichen werden: Die schwarze Tinte des Testdruckers TD1 erzielte eine mittlere Schwärzung von S = 1,45 mit einem Farbauftrag von 2 g/m^2 . Für die Systeme TD2 und TD3 waren die Ergebnisse: S = 1,2 mit 3 g/m^2 und S = 1,25 mit 9 g/m^2 . Auffällig ist, dass die schwarze Tinte des Testdruckers TD1 einen Trockenrückstand (TRR) von 22,0 % hat, während die für TD2 und TD3 die TRR-Werte nur 5,0 % und 4,5 % betragen.

Angestrebt werden sollte die Anwendung dieser einfachen Methode zur Kennzeichnung eines Ink-Jet-Bedruckbarkeits-Kriteriums und eines Kriteriums für die Leistungsfähigkeit von Ink-Jet-Druck-Systemen auf weitere Papierqualitäten und das gesamte Farben-Spektrum.

Weitere Methoden zur Kennzeichnung der **Printability** und **Runability** wurden vorbereitet:

- Die Methode zur Kennzeichnung des „**Wicking**“ durch die „**Fransenlänge**“ ist definiert, muß aber im größeren Umfang erprobt werden.
- Das gilt auch für die Bestimmung des **Formfaktors (FOF) der Bildpunkte** und des **Bleeding-Problems**.

Die Methodik zur Kennzeichnung der **Runability-Probleme**:

- Ablegen der Tinte auf dem Folgebogen im Stapel durch Kontaktadhäsion, sowie
- Verschmieren oder Abreiben der Tinte muß auf ungestrichene und gestrichene Papiere übertragen werden.

6.3 Anwendung / Wirtschaftliche Bedeutung

Das Ink-Jet-Verfahren hat für die papiererzeugende Industrie bereits eine große wirtschaftliche Bedeutung, die schnell wächst. Der Zwang zur weiteren Steigerung der Qualität der Ink-Jet-Papierprodukte wird die Innovationsgeschwindigkeit hinsichtlich der Druckgeräte mit den angepassten Tinten-Systemen ebenfalls beschleunigen. Damit wird der Bedarf der Papierindustrie an einem Printability-/Runability-Modell und einfachen Labormethoden zur Überprüfung der Kompatibilität von Papier mit dem System Tinte und Ink-Jet-Gerät wachsen.

Mittelfristig sollte im Gesamtinteresse der Ink-Jet-Papierproduktkette die materialgerechte flüssigkeits- oder mindestens wasserarme Tinte favorisiert werden – wie das Hot-Melt-Konzept im piezoelektrischen DOP (Drop on Demand) Ink-Jet-Verfahren. Nur für hochwertige Ink-Jet-Papierprodukte sind die Kosten für die PE-Beschichtungen oder dicke feinporige Strichschichten mit ausreichendem Tinten-Rückhaltevermögen vor den Fasern des Basis-Papiers und mit hoher Saugfähigkeit angebracht.

7. Literaturverzeichnis

- 001 Dr. R.H. Leach, Dr.C. Armstrong, J.F. Brown, M.J. Mackenzie, L. Randall, Dr.H.G. Smith;
The printing Ink Manual (1988)
Society of British Printing Ink Manufacturers;
ISBN 0-7476-0000-7, S. 54 – 59, S. 562 – 571
- 002 E. Stark;
Chemisch-physikalische Vorgänge bei der Druckfarben-Trocknung, speziell bei Off-set
Wochenblatt für Papierfabrikation Nr. 8, 1982, 110, S. 263-266
- 003 Druck vom Feinsten - *Die EPSON Micro Piezo Technologie*;
www.epson.de/about/piezo
- 004 Gerald Himmelein;
Pixel – Nachhilfe;
Computer Technik 2000, Heft 11;
S. 180 – 187
- 005 Tröpfchenschleuder;
Computer Technik 2000, Heft 11
S. 188 – 191
- 006 HP PhotoREt III – Precision Technology;
www.hewlett-packard.de/printer/ink/photoret3.html
- 007 N.N.;
Ink jet systems for desktop and graphics application;
MODO Paper GmbH
- 008 Gregory E. Kowalczyk, Ralph M. Trksak;
Image analysis of ink-jet quality for multi use office paper;
TAPPI Journal Vol.81, (Oct. '98), No.10, S. 181 – 190
- 009 N.N.;
The solid Advantage – *High-Performance solid ink technology*;
Tektronix
- 010 D.F. Varnell;
Paper properties that influence ink-jet printing;
Pulp and Paper Canada 99, (1998), Nr.4, S. 37 – 42
- 011 P. Hentschel, R.Pelzer;
Verbesserung der Bedruckbarkeit von Ink-jet-Papieren durch Polyvinylalkohol und andere Komponenten;
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 18, 1996, S. 795 – 801
- 012 J.F. Oliver;
Initial stages of ink jet drop impaction, spreading, and wetting on paper;
TAPPI Journal, Vol.67, 1984, No.10, S.90 – 94
- 013 Dr. Ing. Reinhard Sangl, Josef Weigl;
Kostengünstige Herstellung ink-jet geeigneter Papiere bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten;
Das Papier 10A, 1998, S. V109 – V120
- 014 J.L. Hemmes, D. Glittenberg;
Oberflächenleimungsstrategien für ink-jet geeignete Büropapiere;
Allgemeine Papier-Rundschau 29, 1996, S. 787 – 792
- 015 George L. Batten Jr.;
The effects of SMA surface sizes on paper end-use properties;
TAPPI Journal Vol.78, 1995, No.1
- 016 M.B. Lyne, J.S. Aspler;
Paper for ink jet printing;
TAPPI Journal Vol.68, 1985, No.5, S. 106 – 110
- 017 Joseph S. Aspler;
Interactions of ink and water with the paper surface in printing;
Nordic Pulp and Paper Research Journal, No. 1, 1993, S. 68 – 74
- 018 Roy Rosenberg;
A Method for measuring ink-jet wicking using a document scanner and a personal computer;
TAPPI Journal Vol.81, 1998, No.3, S. 71 – 81
- 019 H. Arnold, K. Eisenschmid, S.G. Kleeman;
Inkjet Eignung von holzhaltigen Papieren;
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 21, 1995, S. 945 – 950
- 020 Steven J. Bares, Kelly D. Rennels;
Paper compatibility with next generation ink-jet printers;
TAPPI Journal Vol.73, (Jan. '90), No.1, S. 123 – 125

- 021 L. O. Larsson;
Druckqualität – theoretische und praktische Aspekte;
Das Papier 10A, 1989, S. V68 – V79
- 022 K.-W. Klemm;
Penetrationsverhalten von Druckfarben bei LWC- und SC-Papieren – Auswirkungen auf die Trocknung;
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 6, 1999, S. 397 – 400
- 023 Douglas W. Donigian, Patrick C. Wernett, Michael G. McFadden, John J. McKay;
Ink-Jet dye fixation and coating pigments;
TAPPI Journal Vol.82, 1999, No.8, S. 175 – 182
- 024 D. Glittenberg, A. Voigt;
Preisgünstige Wege zu höherwertigen Ink-Jet Qualitäten;
Papier aus Österreich Nr.2, 2001, S. 46 – 48
- 025 Paul A. McManus, C. Wayne Jaeger, Hue P. Le, Don R. Titterington;
Paper requirements for color imaging with ink-jets;
TAPPI Journal Vol.66, 1983, No.7, S. 81 – 85
- 026 Rolf Nießner;
Prüfmethoden zur Beurteilung des Zusammenwirkens von Papier und Druckfarbe (Kurzfassung);
Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 17, 1970, S. 798 – 799
- 027 I. M. Kajanto;
Effect of ink penetration and optical properties of paper on print unevenness;
Paperi Ja PUU Vol.74, 1992, No.2, S. 140 – 144
- 028 Nelson N.-C. HSU, PhD, Robert J. Proverb, PhD, Lesley J. Barker;
Influence of surface treatment chemicals on the recyclability of alkaline paper. Part I: Paper printed with offset and Ink-Jet processes;
TAPPI Proceedings, Recycling Symposium 1996, S. 305 – 310
- 029 Hans Schefer, Kurt Schläpfer;
Properties of digitally printed ink films;
IARIGAI Research Conference 1999, S. 2 – 11
- 030 R. Sangl, J. Weigl;
On the interaction between substrate and printing ink for ink jet printing;
IARIGAI Research Conference 1999, S. 1 – 10
- 031 Verfahren zur Prüfung von SD- und Ink-Jet Papieren;
PTS – MS 68, 1998, S. 2 – 4
- 032 Inkjetpapiere;
PTS – MS 68, 1998, S. 2 – 19
- 033 Roy Rosenberg;
A measure of ink jet wicking and bleed properties using a document scanner and PC;
TAPPI Proceedings, Recycling Symposium, 1996, S. 99 – 106
- 034 Ulf Lindqvist, Jali Heilmann;
The paper dependence of the print quality in drop-on-demand ink jet printing;
IARIGAI Research Conference, 1999, S. 1 – 9
- 035 A. Proksch, G. Nießner;
Bestimmung des Wegschlagverhaltens;
APR 1972, S. 1208 – 1209
- 036 Robert W. Johnson, Lloyd Abrams, Richard B. Maynard, Trude J. Amick;
Use of mercury porosimetry to characterize pore structure and model end use properties of coated papers – Part I: Optical and strength properties;
TAPPI Journal, VOL. 82, 1999, No. 1, S. 239 – 250
- 037 R. Wilken, M.C. Zech, J. Strauß;
Zum Einfluß von Substrat und Verarbeitungsbedingungen auf die Gebrauchseigenschaften von Haftklebstoffen;
Allgemeine Papier-Rundschau 14, 1982, S. 360 – 377
- 038 Prüfung der Oberflächenspannung und Polarität aus Randwinkelmessungen (Methode der harmonischen Mittelung);
PTS – Methode, PTS – PP 103/85
- 039 Marie Wickmann, Mikael Sundin, Jan-Erik P. Nordström;
A New Method for the Direct Measurement of Ink Setting on Coated Paper;
PIRA International 1997, S. 1-17
- 040 Dropje voor Dropje;
Page 9, Nr. 10, 1994, S. 72 – 76

- 041 Georg Pantel;
FOGRA-Gutachten: Schlechte Trocknung;
Druckwelt, 64-64, 1996, Nr. 10, S. 64
- 042 Yang Xiang, Douglas W. Bousfield;
Effect of fountain solution on ink tack
development and print quality;
TAPPI Press 1999, S. 179-189
- 043 Christine Barratte, Jean-Francois LeNest,
Christian Voillot, Jean-Claude Roux;
Ink transfer to paper surface model;
TAPPI Press 2000, S. 211-220
- 044 Douglas W. Bousfield, Peter Pellerin,
Martti Toivakka;
Modeling of short time penetration into
complex porous structures;
TAPPI Press 2000, S. 211-223
- 045 J.S. Aspler, M.-C. Beland, L. Piquard, J.H.
De Grace, C. Maine;
Transfer and setting of water-based ink,
part II: pH, water absorbency and
uncoated paper structure;
TAPPI Press 1992, S. 251 – 263
- 046 Robert E. Hardy;
Advances in ink-jet printing technology;
TAPPI Press 1998, S. 231 – 233
- 047 Ink rub on matt coated papers;
Pira International 1994, S. 1 – 17
- 048 Europäisches Patentamt;
Immobilization of cationic and anionic
dyes and pigment dispersions with
insoluble metal salts;
Patent-Nr. EP 0829374 A2,
Patent-Klassifikation:
B41M5/00D21H11/16;
- 049 The value of viscosity;
Converting Today (COTO) 1989,
Nr. 3, S.19
- 050 Pia Wagberg, Lars Wagberg;
Ink jet printing on uncoated fine papers;
TAPPI Press 1996, S. 187 – 197
- 051 Yi-Guan Tsai, Mitsuo Inoue, Tony
Colasurdo;
The effect of sizing materials on the ink
absorption in paper;
TAPPI Press 1999, S. 111 – 122
- 052 Richard B. Bankhead, Kevin T. Hodgson,
Robert T. Hamilton;
The effect of fiber and filler wettability on
ink jet print quality;
TAPPI Press 1995, S. 373 – 382
- 053 Don R. Titterington;
A review of phase change ink jet
technology;
TAPPI Press 1996; S. 153 – 154
- 054 Mamoru Sakaki, Mifune Hirose, Masato
Katayama;
Development of plain paper for color
bubble jet printing;
TAPPI Press 1996, S. 149 – 152
- 055 Bipin Bhatt;
High speed digital color printing;
TAPPI Press 1996, S. 107 – 148
- 056 T. Sarada, J. Cartin;
Piezo driven drop on demand inkjet
technologies, inks and papers;
TAPPI Press 1996, S. 155 – 190
- 057 Europäisches Patentamt;
Printing medium, and ink-jet printing
process and image-forming process using
the same;
Patent-Nr.: EP 0732219 A2;
Patent-Klassifikation:
B41M5/00D21H19/44
- 058 Heinrich L. Baumgarten;
Papier- und Pappenverarbeitungstechnik;
Papiertechnisches Manuskript TUD-PTM
08/96
- 059 Druck- und Büropapiere – Bestimmung
der Tonerhaftung;
DIN V ENV 12283, Dezember 1996
- 060 N.N.
PERIPHERALS – Flowing with the tide
7/15/2000
<http://dqweek.ciol.com/content/search/showarticle.asp?artid=15134>
- 061 Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Wehl
Nur nicht kleckern
CHIP 8/94
S. 104-112

Anhang A

	Seite
A.1 Referenz-Papiere und Referenz-Tinten	A.1-2
A.1.1 Ausgewählte Kopier-, Laserdruck- und Ink-Jet-Papiere (zu Kapitel 3.1)	A.1-2
A.1.2 Referenz-Tinten	A.1-4
A.1.3 Trocknungsgeschwindigkeit (zu Kapitel 4.3)	A.1-4 bis A.1-38
A.1.4 Farbauftrag (zu Kapitel 4.5)	A.1-39 bis A.1-44
A.1.5 Feathering and wicking (zu Kapitel 5.1)	A.1-45 bis A.1-77

A.1 Referenz-Papiere und Referenz-Tinten**A.1.1 Ausgewählte Kopier-, Laserdruck- und Ink-Jet-Papiere (zu Kapitel 3.1)**

Lfd. Nr.	Kurzbezeichnung	Papierart	Flächenmasse [g/m ²]
1	NKP 1	ILK	80
2	NKP 2	ILK	80
3	NKP 3	IL	80
4	NKP 4	ILK	80
5	NKP 5	Farb-K; IL	80
6	NKP 6	Farb-K, IL, sat.	100
7	NKP 7	Farb-ILK, sat.	100
8	NKP 8	Farb-ILK	80
9	NKP 9	K	80
10	GKP 1	Farb-K, hgl	210
11	GKP 2	Farb-K, gl	135
12	GKP 3	Farb-K, m	135
13	GKP 4	Farb-KL, gg	160
14	GKP 5	Farb-KL	100
15	PEP 1	PI	170
16	PEP 2	PI	150
17	PEP 3	PI	220
18	PEP 4	PI	260

Tabelle A.1.1-1: Übersicht der 18 verwendeten Referenzpapiere

Wobei:

NKP Naturkopierpapier
 GKP Gestrichenes Kopierpapier
 PEP Polyethylenbeschichtetes Papier
 I Inkjetdruck
 L Laserdruck
 K Kopierpapier
 P Photo
 Farb Mehrfarbig bedruckbar bzw. kopierbar
 sat. satiniert
 hgl hochglänzend
 gl glänzend
 m matt
 gg gussgestrichen

Kennzeichnung	Flächenbezogene Masse [g/m ²]	mittlere Einzelblattstärke [μm]	Scheinbare Blattstärke [g/cm ³]	Glätte nach Bekk [s]	BEN-Ra bei 1 bar [μm]	Print-Surf 10 bar soft [μm]	Weißgrad (R ₄₅₇) ohne UV [%]	Glanz nach DIN 45° [%]	Glanz nach DIN 75° [%]	Opazität [%]	Lichtstreuungskoeffizient s [m ² /kg]	Lichtabsorptionskoeffizient k [m ² /kg]	CIELAB-Farbort Helligkeit [L]	CIELAB-Farbort a*	CIELAB-Farbort b*
NKP1	80	103	0,78	19	9,8	6,91	93,28	1,1	0,7	93,34	61,63	0,78	94,19	1,03	-4,61
NKP2	80	94	0,86	33	10,5	5,63	91,97	1,1	0,7	91,08	51,07	0,71	93,87	0,75	-4,19
NKP3	80	97	0,84	35	9,8	6,15	92,18	1,1	0,7	92,89	60,88	0,73	94,31	0,55	-3,71
NKP4	80	102	0,80	20	10,6	6,68	93,02	1,2	0,7	92,35	60,84	0,61	94,78	0,92	-3,53
NKP5	80	104	0,78	40	9,1	4,96	95,91	1,1	0,6	93,19	62,15	0,73	94,44	0,99	-5,39
NKP6	100	95	1,05	196	6,1	2,70	90,71	1,8	3,0	93,19	45,07	0,74	93,36	0,57	-4,05
NKP7	100	109	0,93	69	6,1	4,19	93,78	1,2	1,2	95,88	57,99	0,92	93,49	0,03	-5,62
NKP8	80	102	0,80	30	8,6	5,53	94,67	1,1	0,6	92,49	56,44	0,77	94,01	0,70	-5,56
NKP9	80	100	0,80	36	9,1	5,46	92,44	1,2	0,8	91,95	56,55	0,67	94,39	0,49	-3,91
GKP1	210	205	1,01	106	3,3	0,66	81,91	46,6	70,9	98,27	39,73	0,58	93,56	-0,30	2,41
GKP2	135	106	1,20	469	3,6	1,49	87,76	6,1	18,2	96,83	50,35	0,69	93,83	-0,15	-1,69
GKP3	135	105	1,23	491	3,0	1,31	88,31	1,4	11,0	96,19	51,61	0,52	94,73	-0,45	-0,65
GKP4	160	180	0,87	183	3,2	0,38	86,31	69,2	90,3	97,28	46,76	0,59	94,03	-0,39	1,75
GKP5	100	107	0,95	91	5,8	3,69	89,71	1,2	2,2	93,08	56,44	0,40	95,52	0,89	0,25
PEP 1	170	159	1,06	732	32,6	1,02	89,74	63,6	63,8	92,10	27,68	0,29	92,73	-0,30	-4,51
PEP 2	150	162	1,03	352	21,8	1,69	89,53	6,9	14,7	93,10	32,84	0,39	92,75	-0,27	-4,79
PEP 3	220	196	1,09	617	0,6	0,87	89,36	23,8	49,5	96,74	37,41	0,28	94,64	-0,93	-1,26
PEP 4	260	250	1,03	7052	0,1	0,41	90,91	23,6	55,1	96,91	33,62	0,22	94,85	-1,08	-1,85

Tabelle A.1.1-2: Leiteigenschaften der 18 Referenzpapiere (Oberflächeneigenschaften jeweils nur Oberseite)

Flächenbezogene Masse	ISO 536 -95
Scheinbare Blattstärke	ISO 534: 1995
Dicke	ISO 534: 1995
Glätte nach Bekk (1 bar)	DIN ISO 5627: 1995 Verfahren A
Rauheit nach Bendtsen (1bar)	ISO 8791-2 1990
Rauheit Print Surf (10 bar weich)	ISO 8791-3 1990
Weißgrad mit und ohne UV	DIN 53145 März 2000 Teil 1 und 2
Glanz DIN 45° und 75°	DIN 54502 (März '92) in MD gemessen
Opazität, Streu- und Absorptionskoeffizient	DIN 53146-93
Farbort (CIELAB -L, a*, b*)	DIN 6174 01-79

A.1.2 Referenz-Tinten (zu Kapitel 3.2)

	Farbe	Dichte [g/cm ³]	TRR [%]	η [mPa*s]	σ_{stat} [mN/m]	$\sigma_{\text{dyn-30ms}}$ [mN/m]	$\sigma_{\text{dyn-60s}}$ [mN/m]	pHW	PCD [µeq/ml]
TD 1	SC	1,05	22,0	3,12	48,3	58,4	48,3	8,0	41
	MA	1,09	-	3,83	29,4	48,6	28,8	8,0	148
	CY	1,06	-	3,58	28,8	48,5	29,4	7,2	68
	YE	1,06	-	3,98	29,8	47,0	29,8	7,1	154
TD 2	SC	1,07	5,0	4,00	33,8	50,2	33,8	9,0	385
	MA	1,09	-	4,36	33,0	47,7	33,2	9,2	243
	CY	1,10	-	4,03	33,2	49,5	33,0	9,0	136
	YE	1,09	-	4,10	34,6	50,3	34,6	8,7	130
TD 3	SC	1,06	4,5	2,57	41,2	64,4	41,2	9,9	149
	MA	1,04	-	2,79	32,2	62,3	36,1	9,5	163
	CY	1,09	-	2,50	35,7	65,0	35,7	9,5	83
	YE	1,06	-	2,81	36,1	65,8	37,7	9,9	154
	Imprägn.	1,07	-	2,87	37,7	66,2	32,2	7,3	-
TD 4	SC	1,07	8,0	3,24	51,9	60,6	51,9	8,2	44
	MA	1,08	-	3,22	28,5	64,9	28,5	7,4	146
	CY	1,08	-	3,24	28,5	78,4	28,5	8,2	100
	YE	1,07	-	3,41	27,7	61,1	27,7	7,7	94

Tabelle A.1.2-1: Eigenschaften der Referenz-Tinten von Testdrucker TD1-TD4 (Schwarz SC, Magenta MA, Cyan CY, Yellow YE) mit Dichte, Trockenrückstand (TRR), dyn. Viskosität (VIS), Oberflächenspannung (OSP), pH-Wert (pHW) und PCD-Ladung (PCD)

A.1.3 Trocknungsgeschwindigkeit (zu Kapitel 4.3)

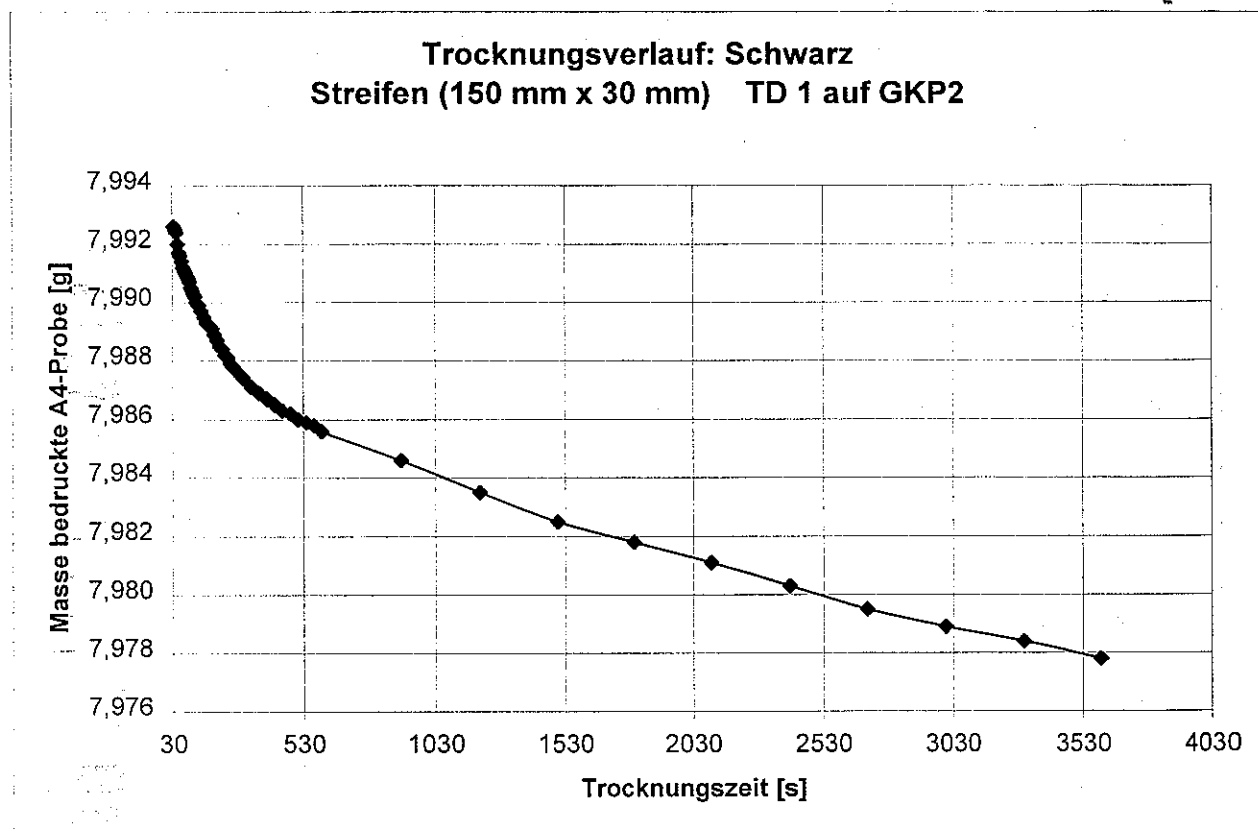


Abbildung A.1.3-1: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Schwarz) auf GKP 2

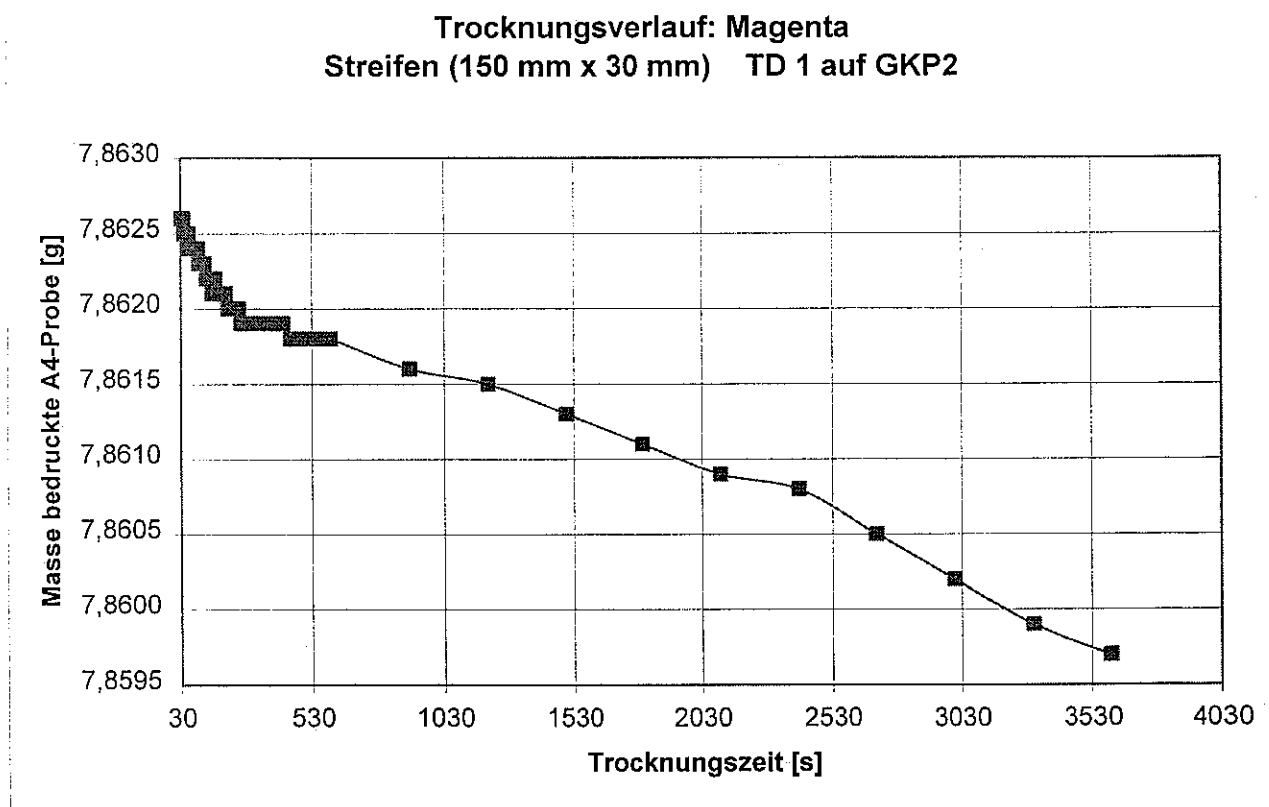


Abbildung A.1.3-2: Trocknungsgeschwindigkeit: TD1 (Magenta) auf GKP 2

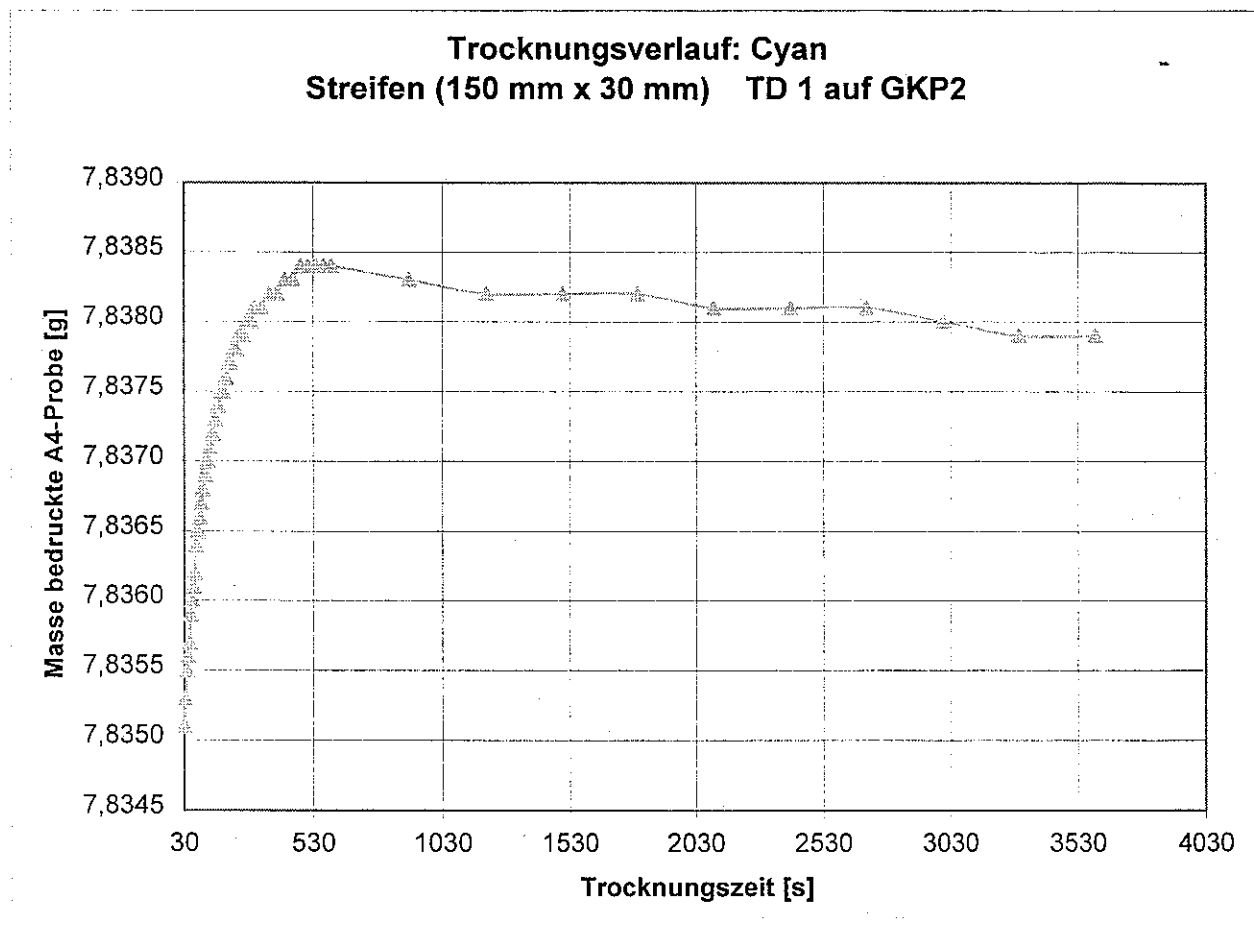


Abbildung A.1.3-3: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Cyan) auf GKP 2

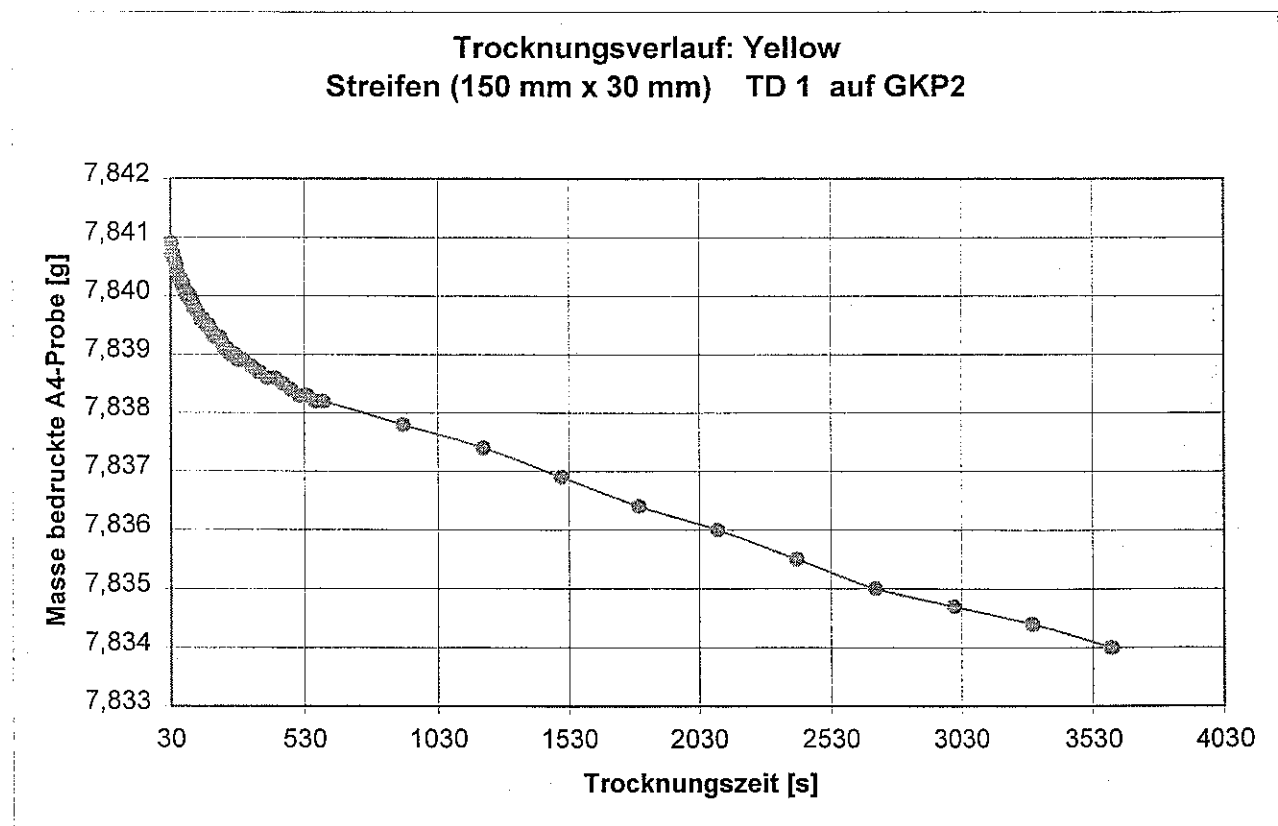


Abbildung A.1.3-4: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Yellow) auf GKP 2

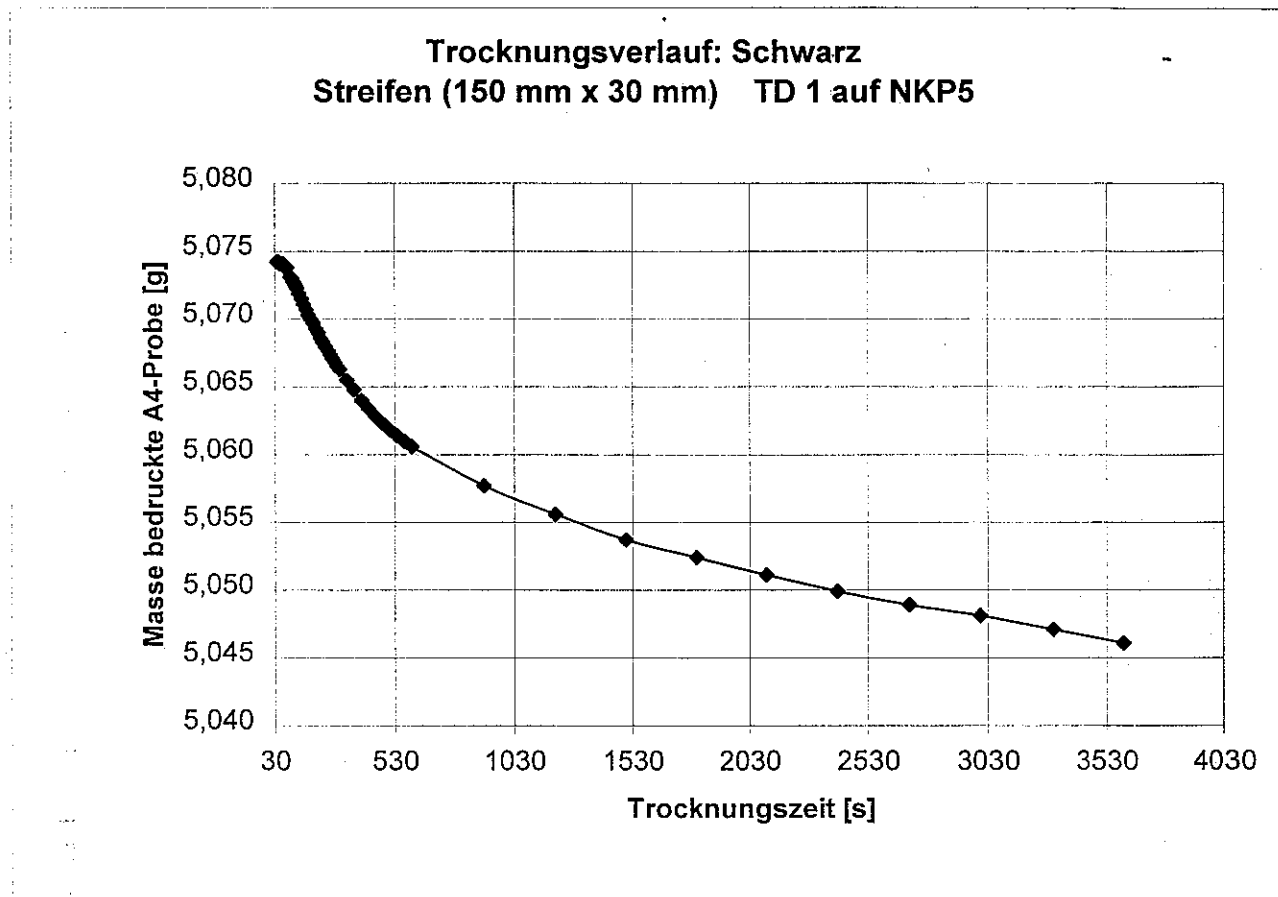


Abbildung A.1.3-5: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Schwarz) auf NKP 5

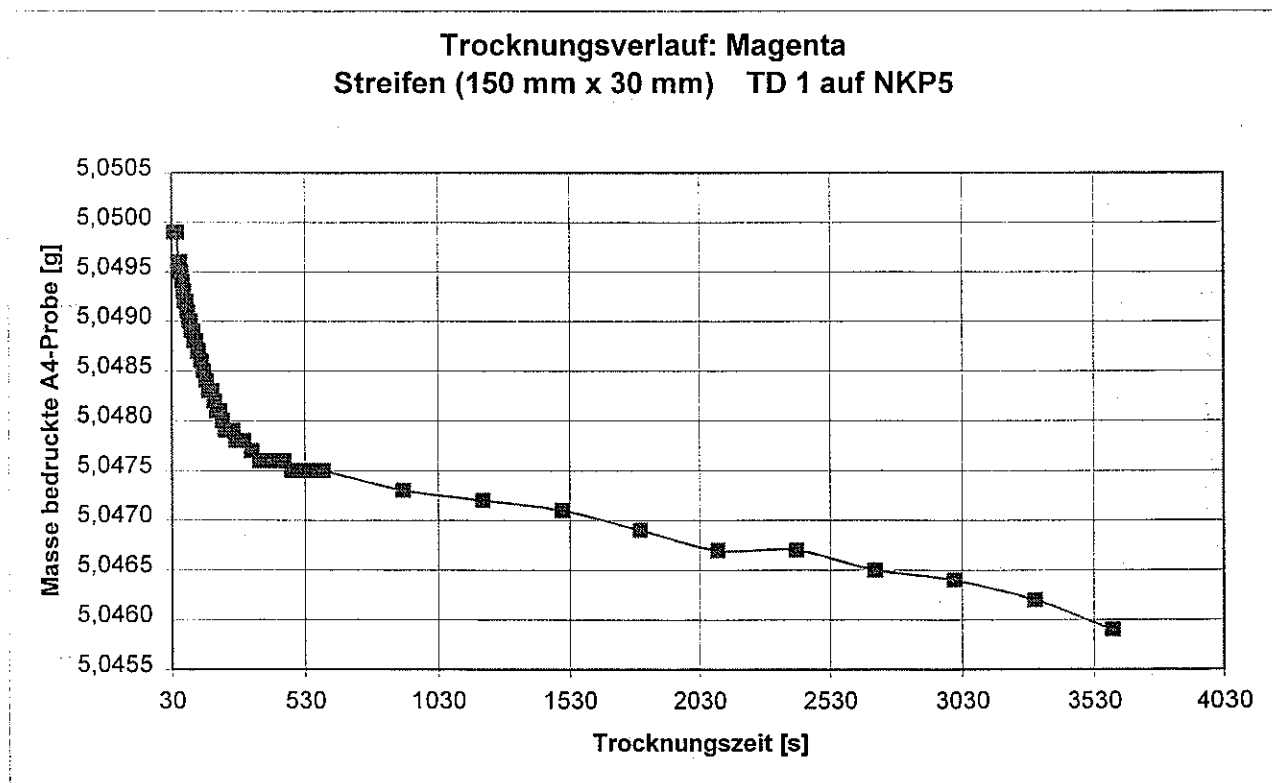


Abbildung A.1.3-6: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Magenta) auf NKP 5

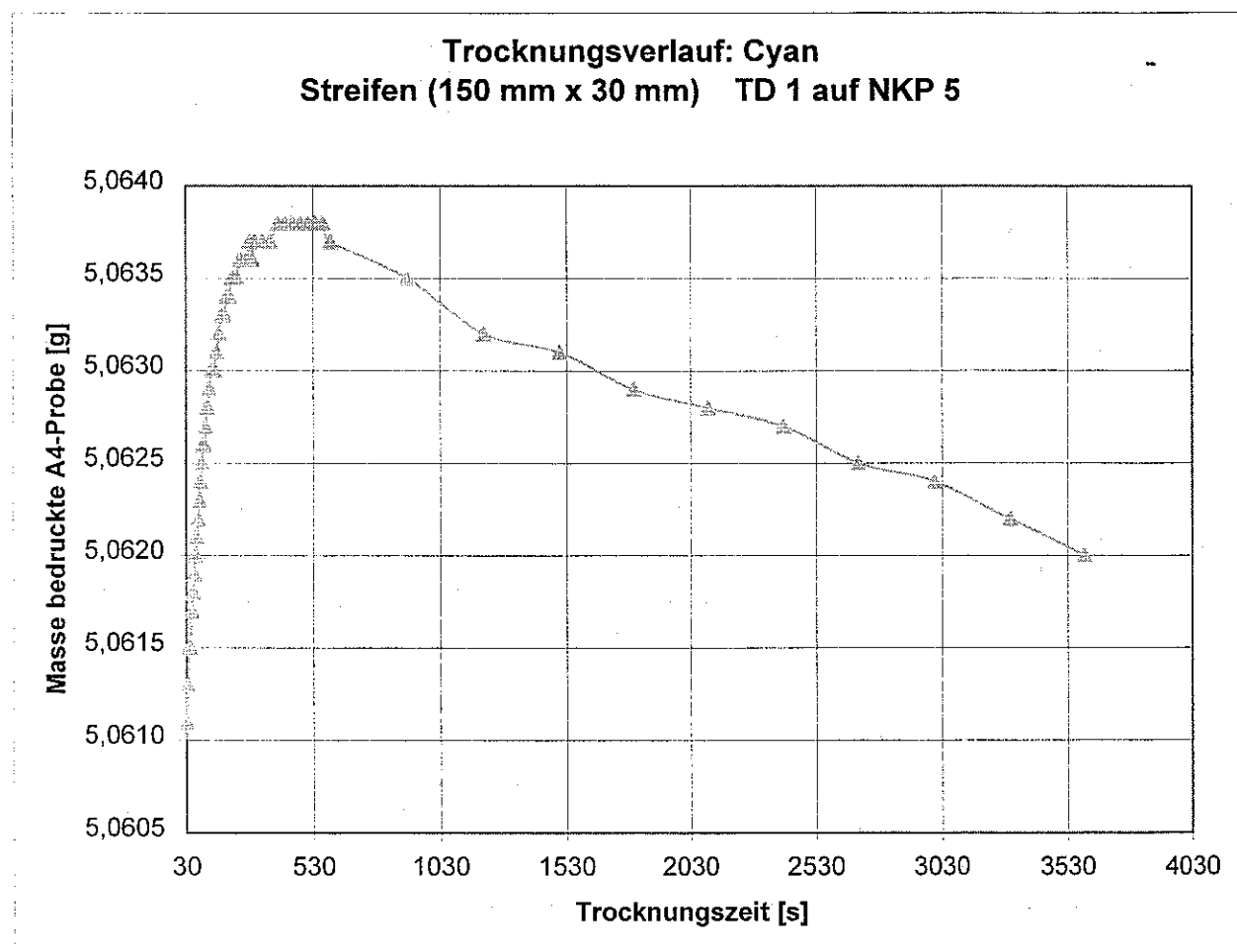


Abbildung A.1.3-7: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Cyan) auf NKP 5

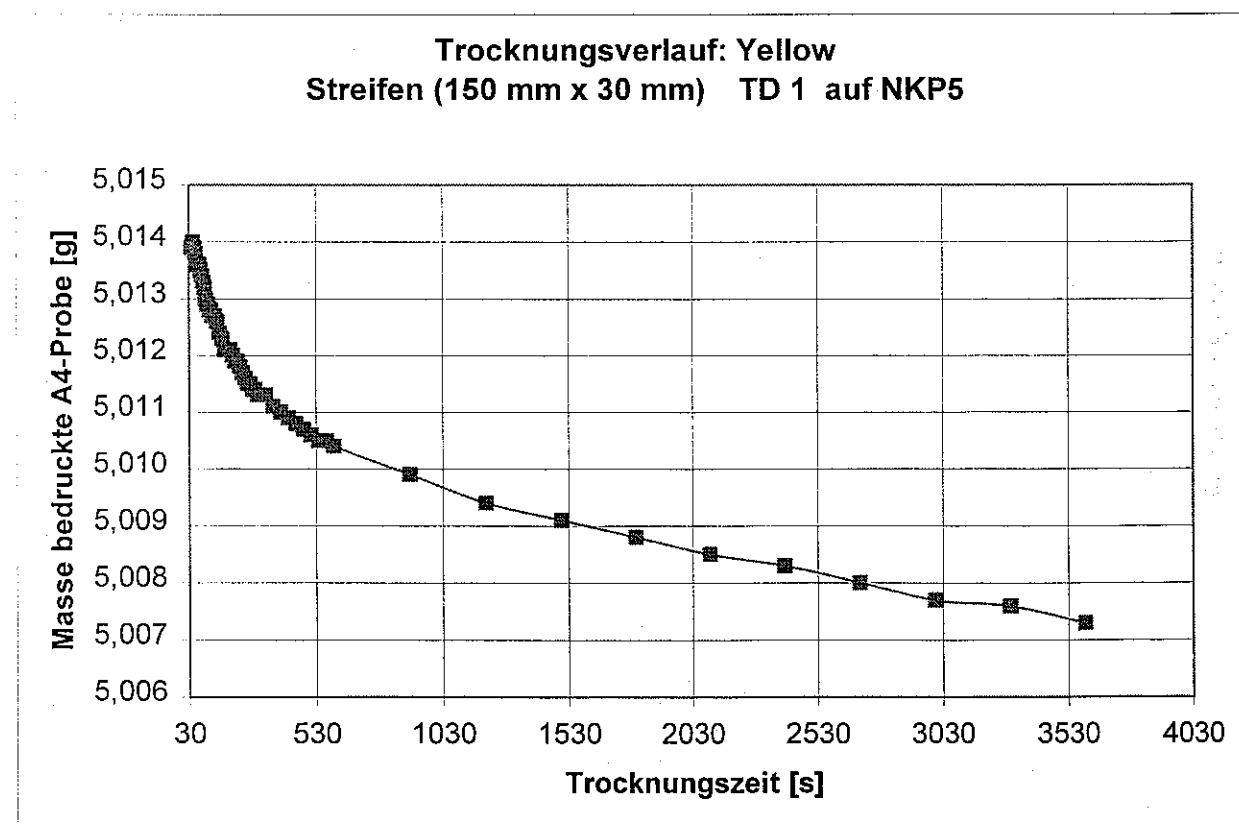


Abbildung A.1.3-8: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Yellow) auf NKP 5

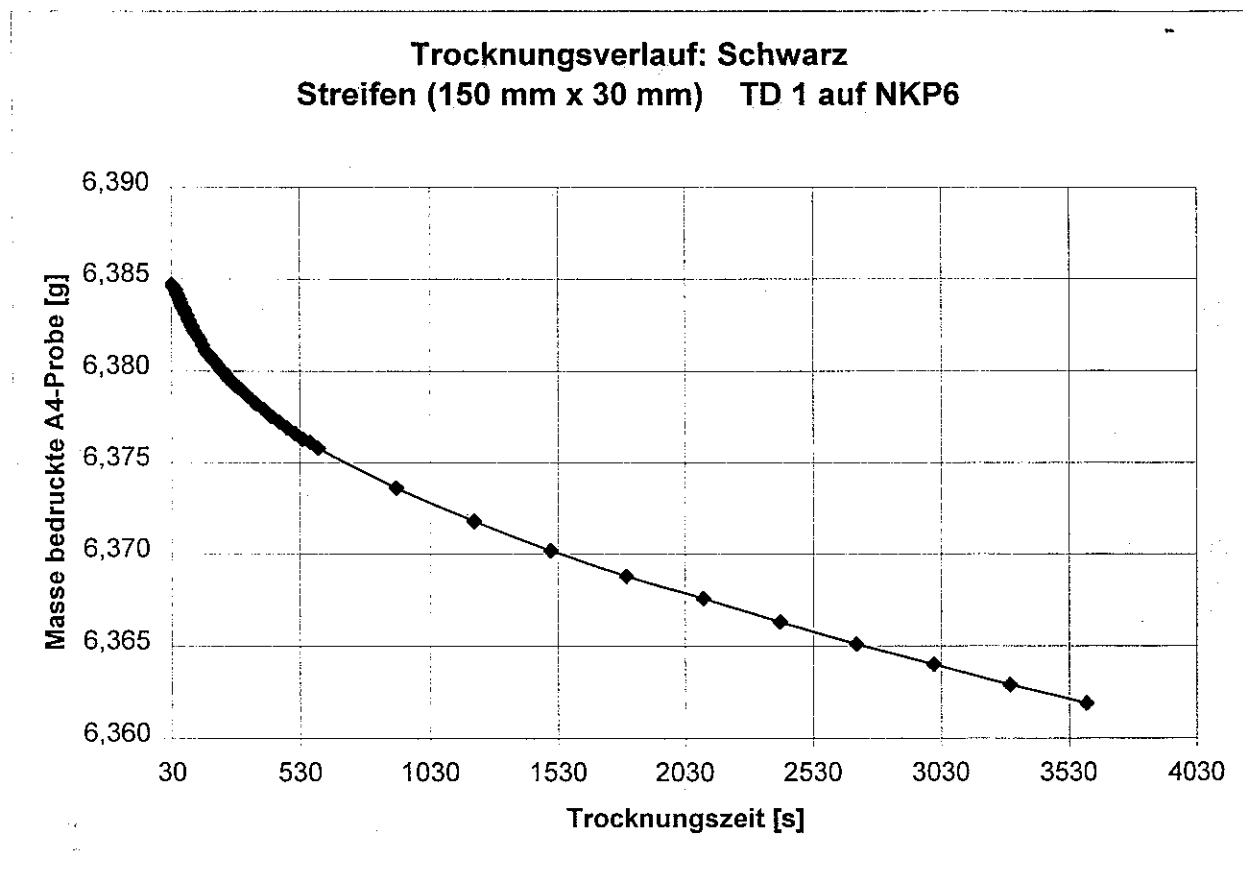


Abbildung A.1.3-9: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Schwarz) auf NKP 6

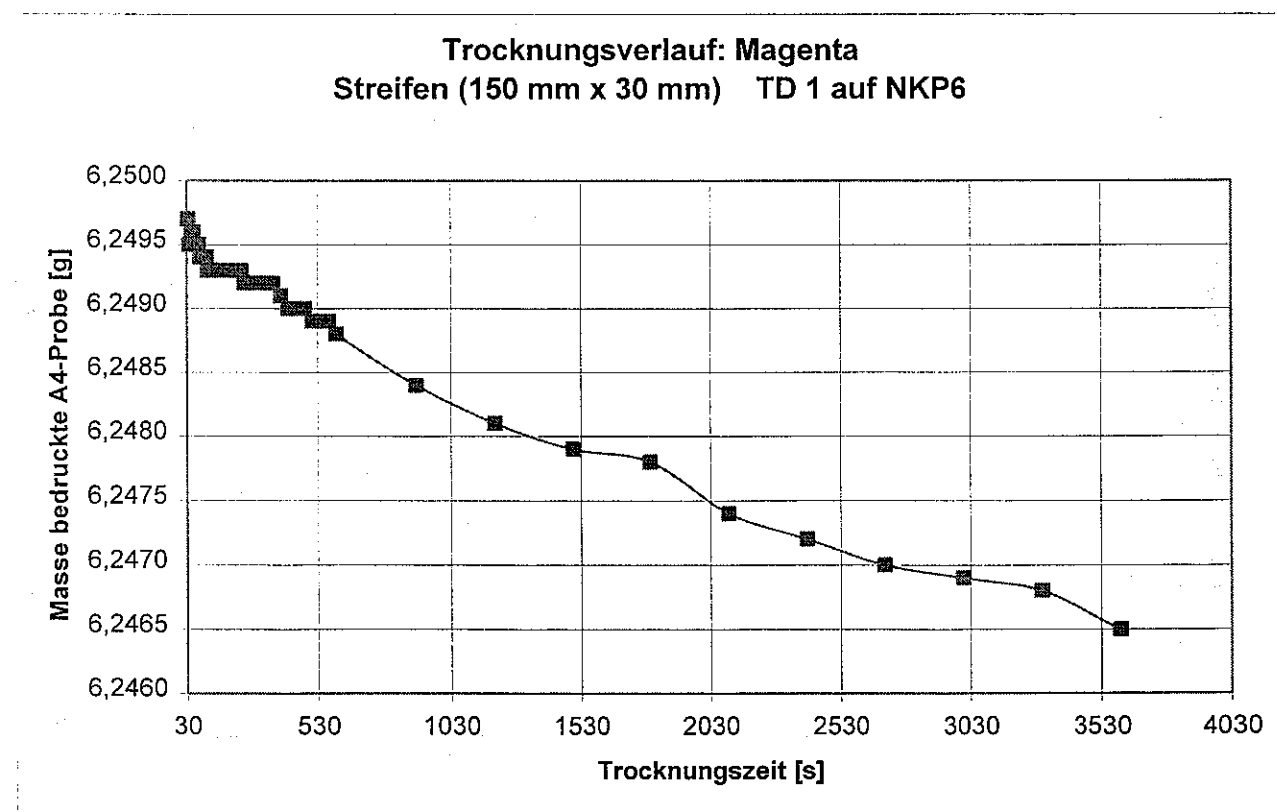


Abbildung A.1.3-10: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Magenta) auf NKP 6

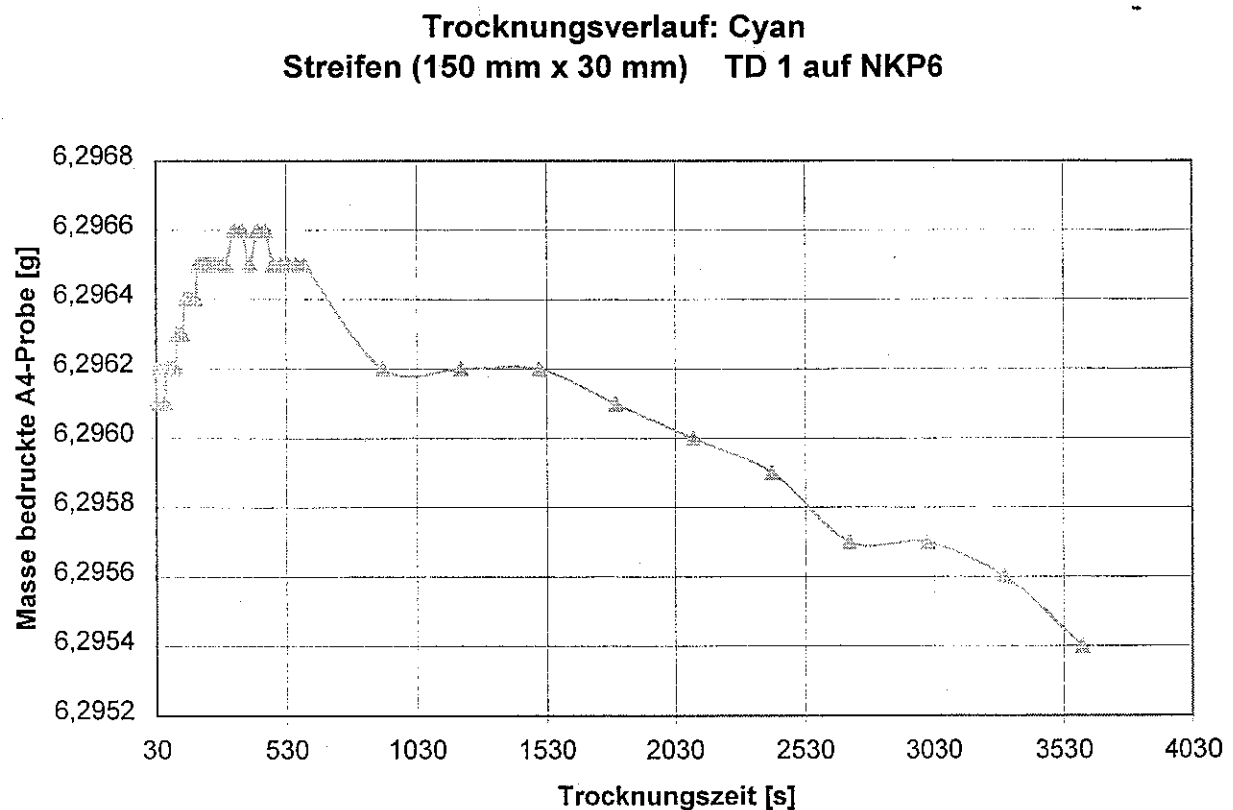


Abbildung A.1.3-11: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Cyan) auf NKP 6

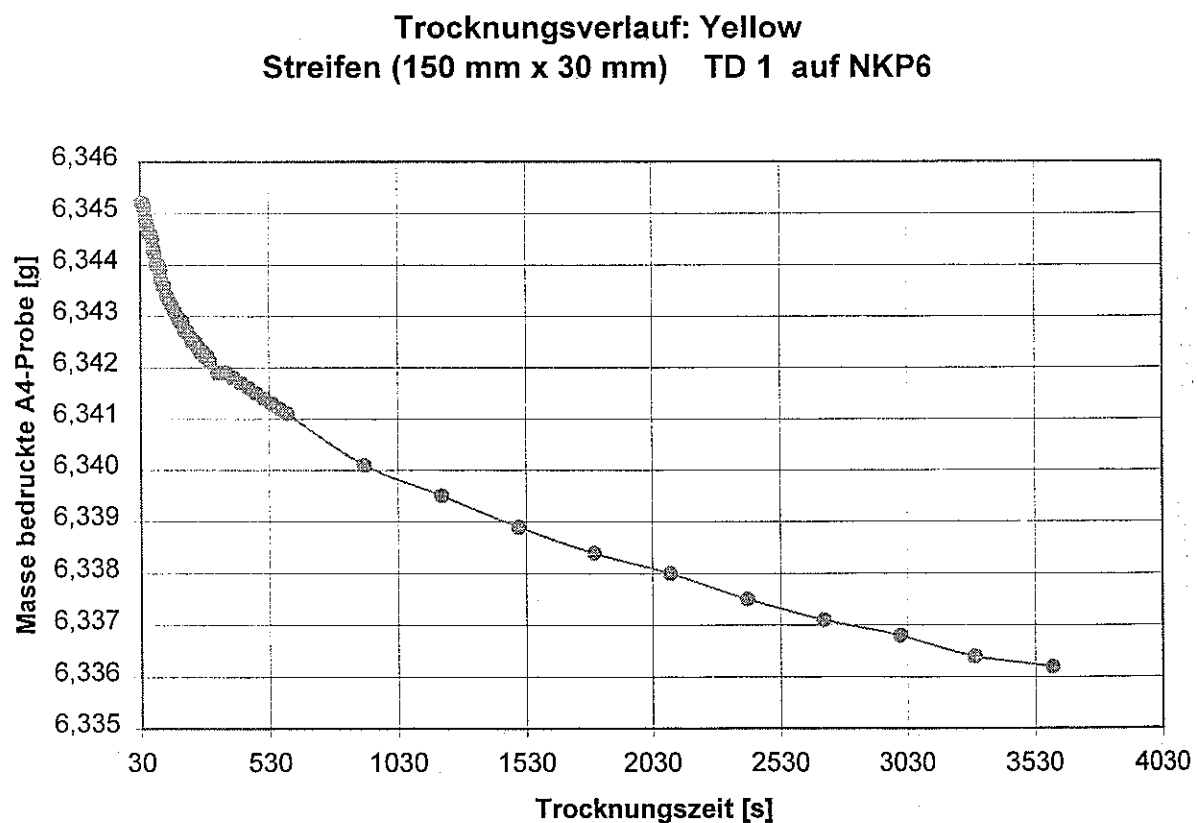


Abbildung A.1.3-12: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 (Yellow) auf NKP 6

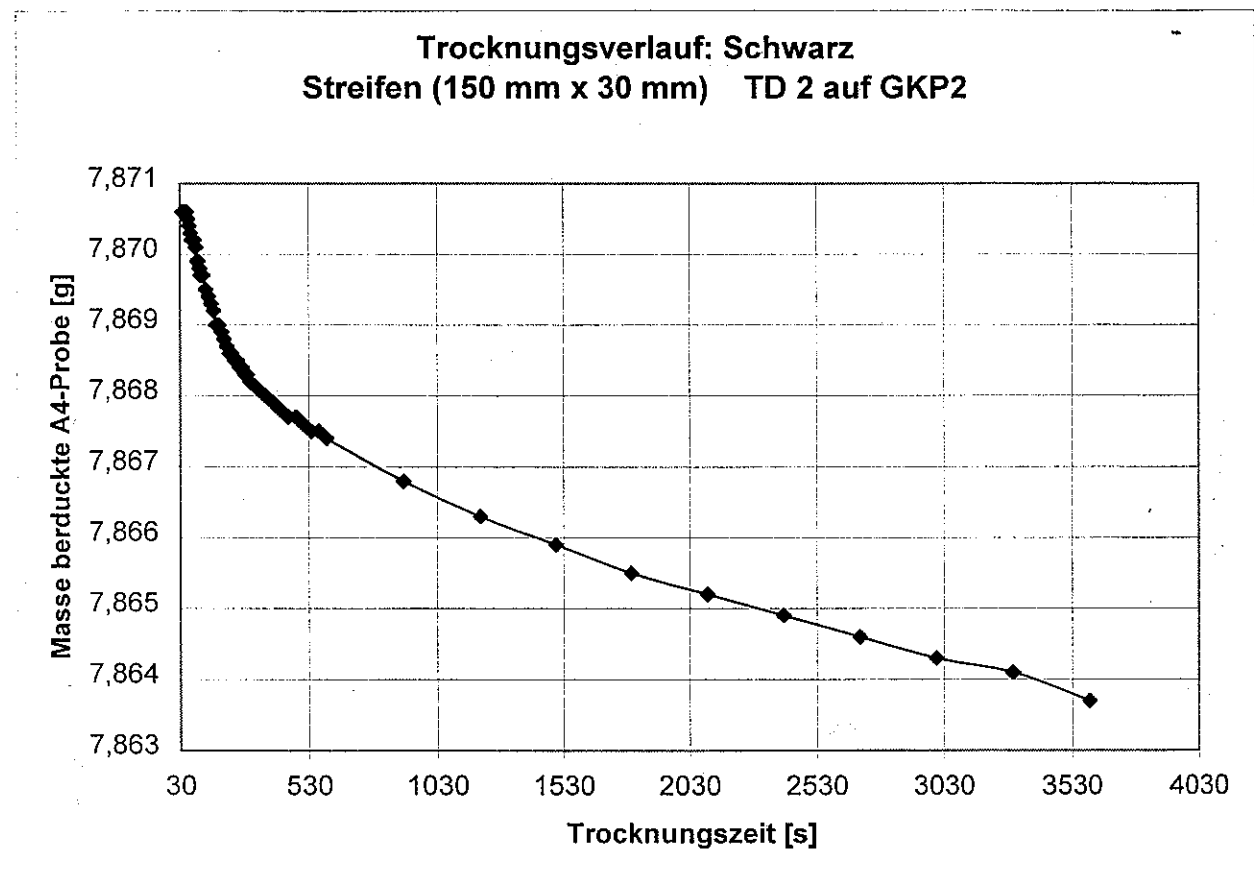


Abbildung A.1.3-13: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Schwarz) auf GKP 2

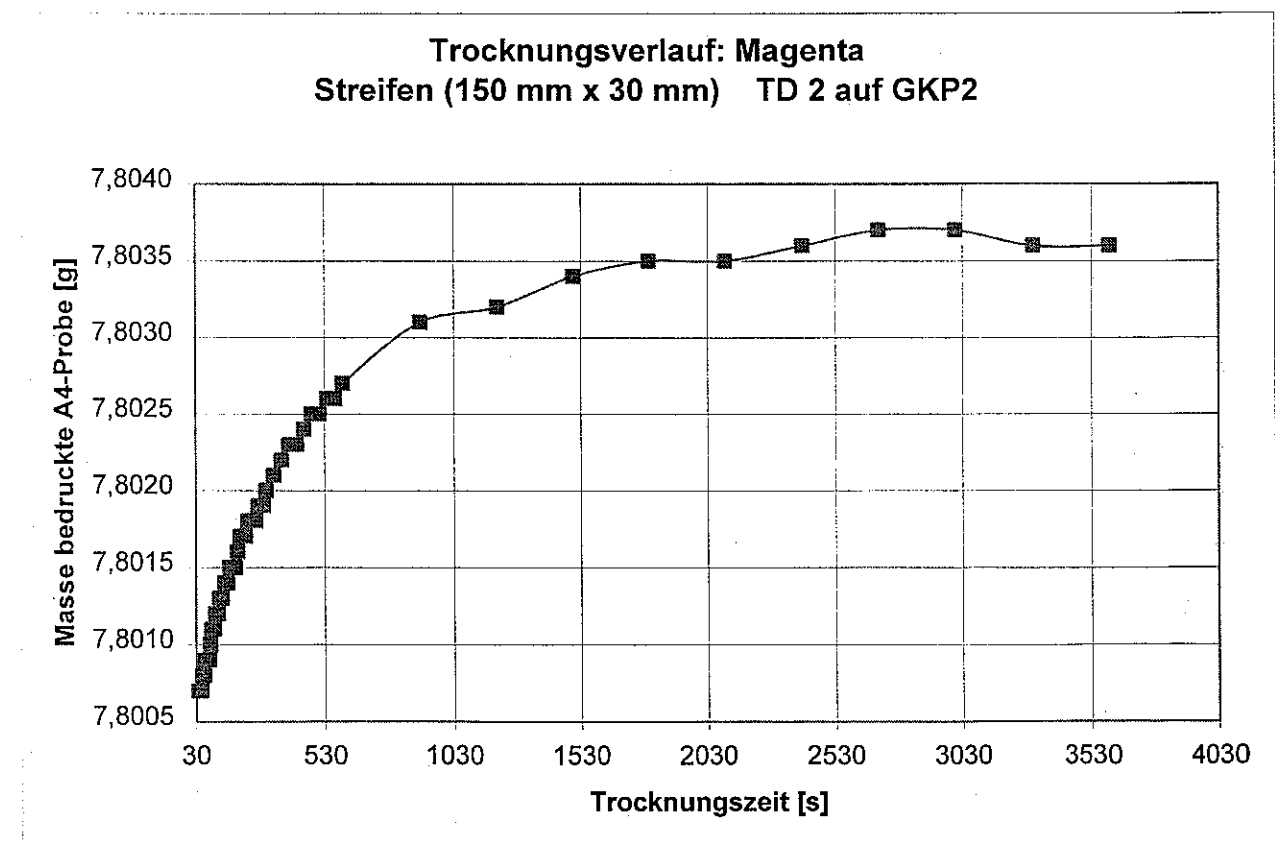


Abbildung A.1.3-14: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Magenta) auf GKP 2

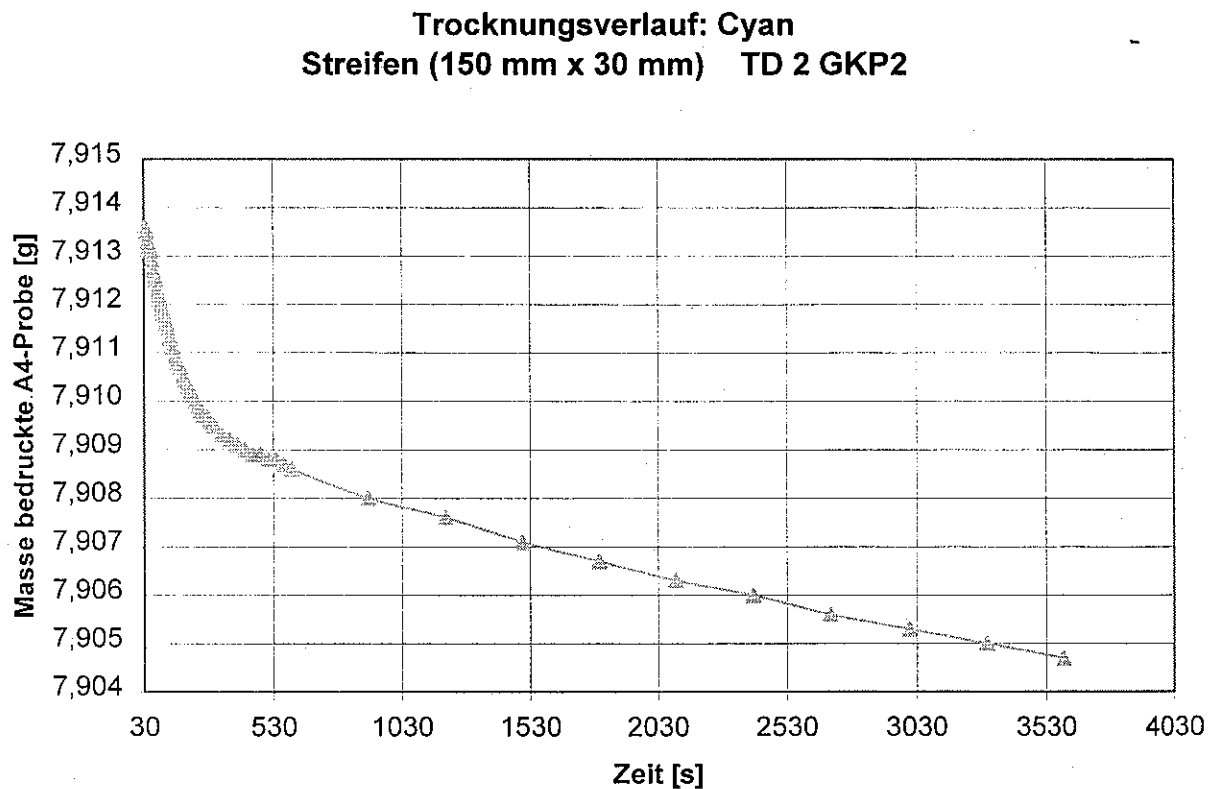


Abbildung A.1.3-15: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Cyan) auf GKP 2

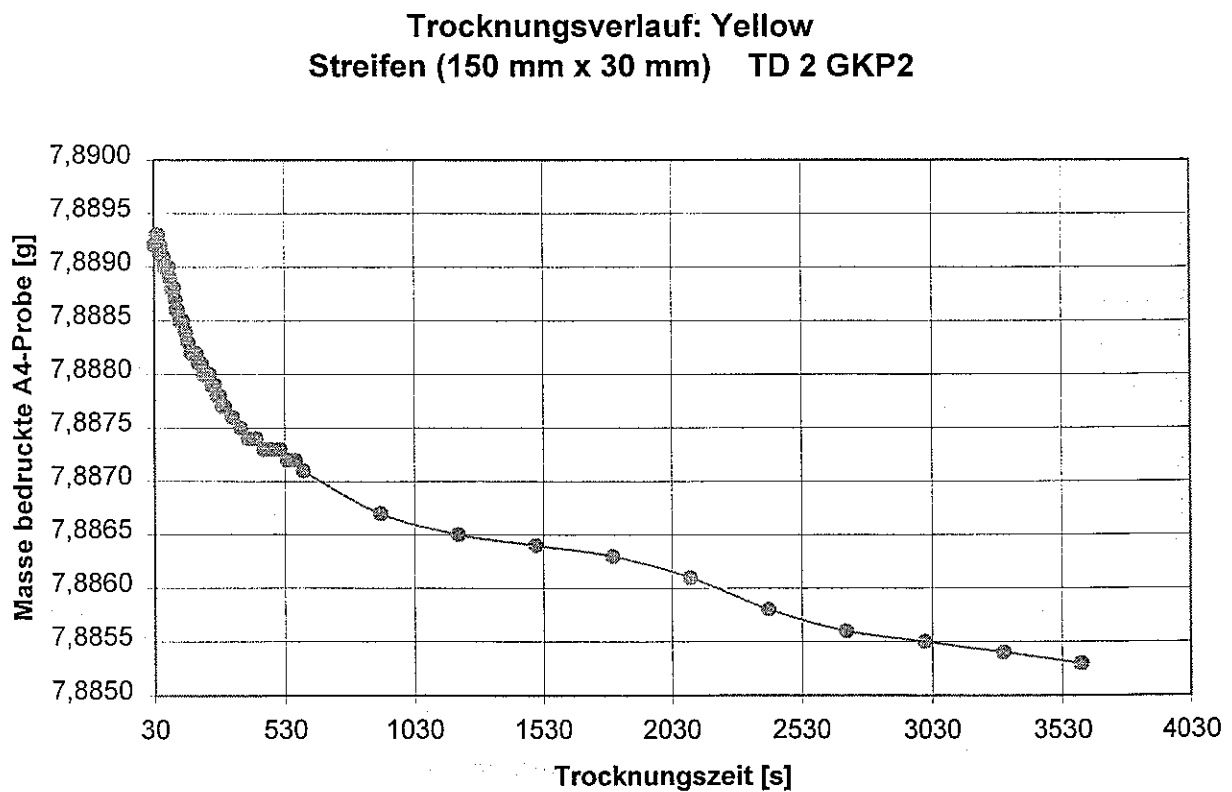


Abbildung A.1.3-16: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Yellow) auf GKP 2

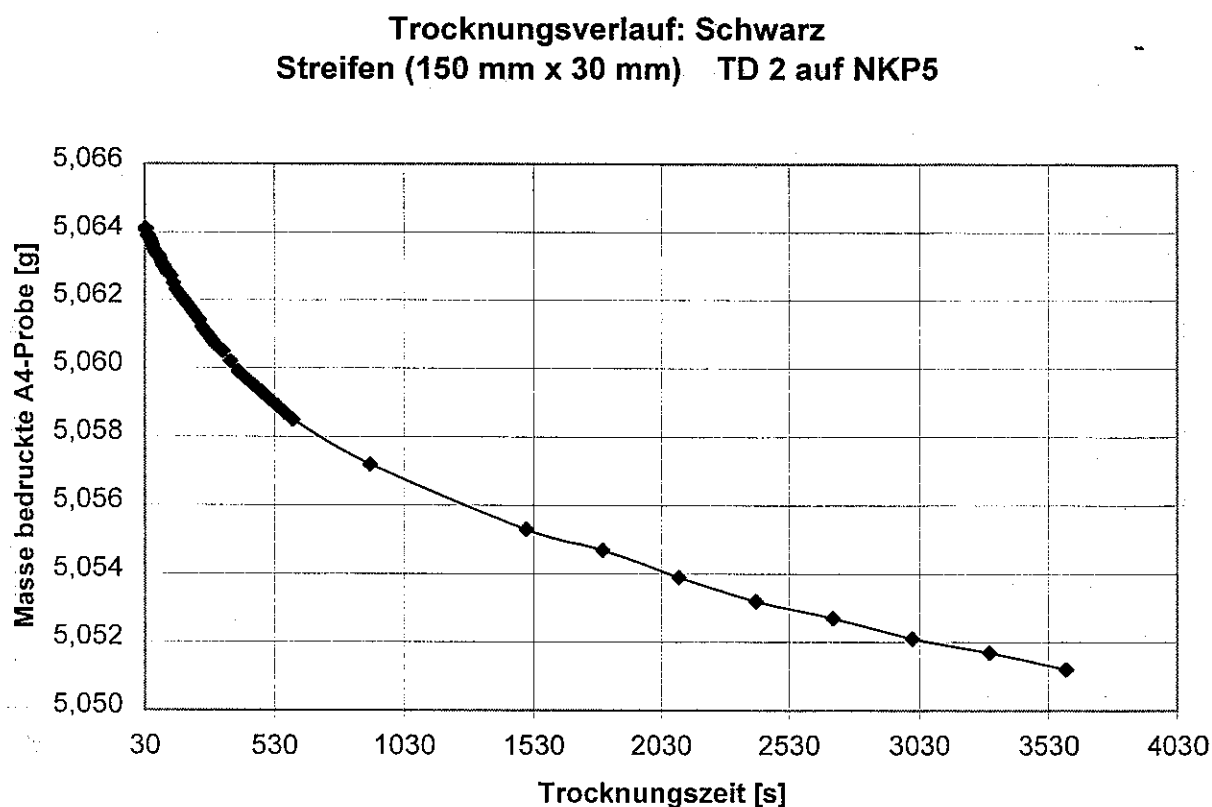


Abbildung A.1.3-17: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Schwarz) auf NKP 5

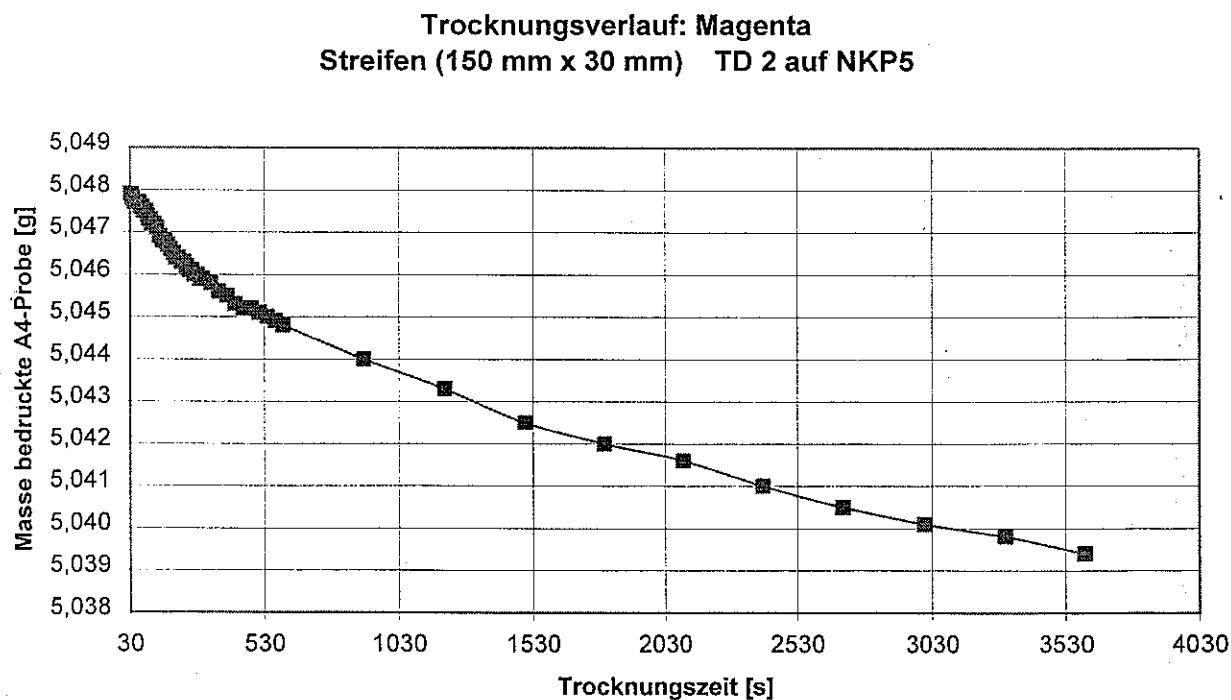


Abbildung A.1.3-18: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Magenta) auf NKP 5

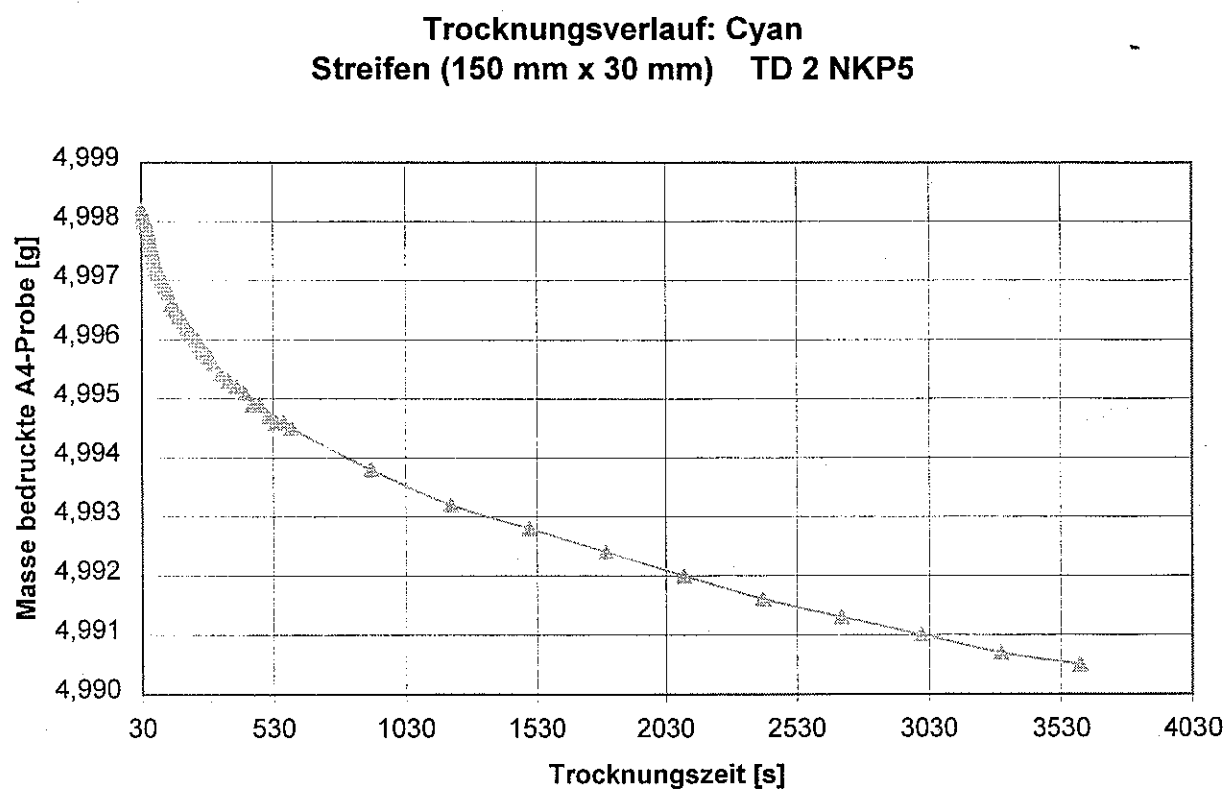


Abbildung A.1.3-19: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Cyan) auf NKP 5

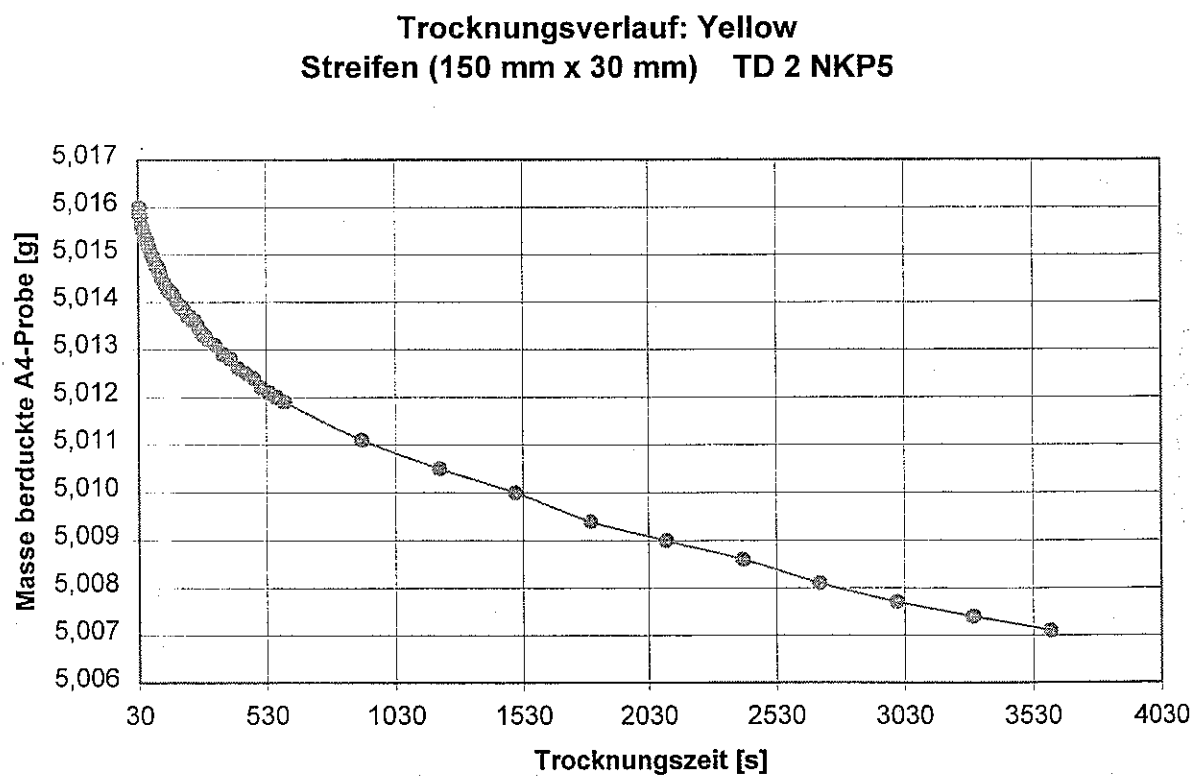


Abbildung A.1.3-20: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Yellow) auf NKP 5

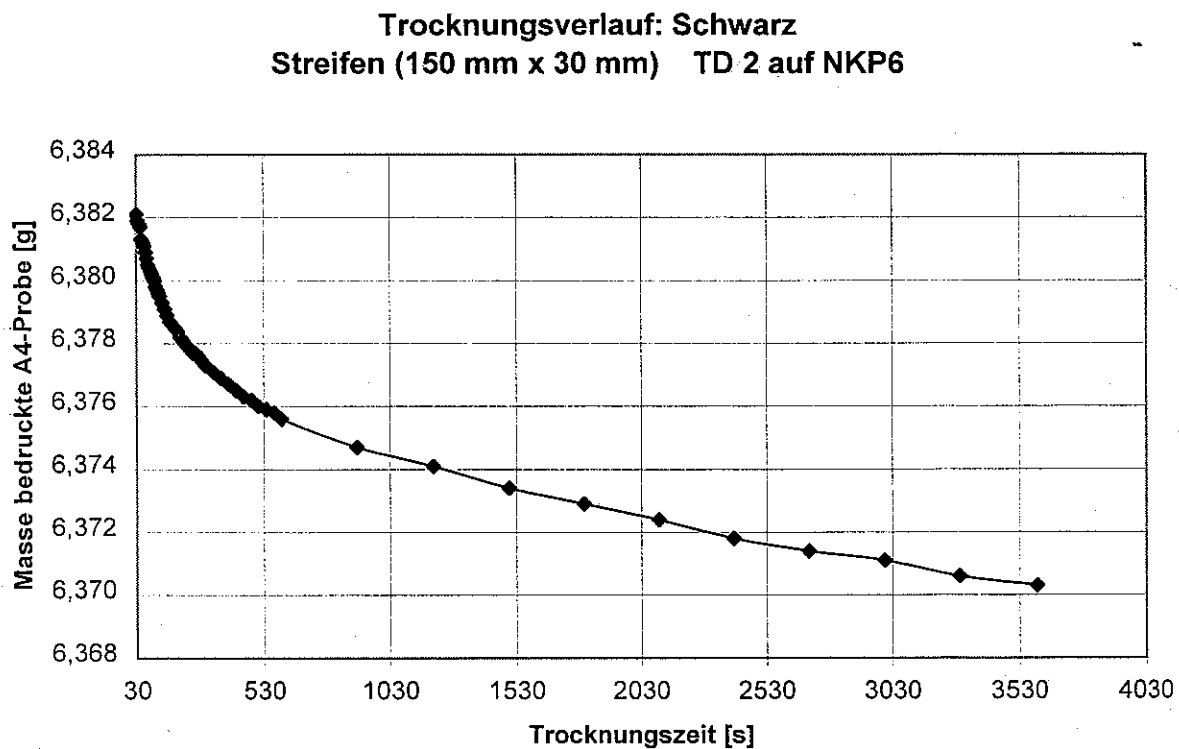


Abbildung A.1.3-21: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Schwarz) auf NKP 6

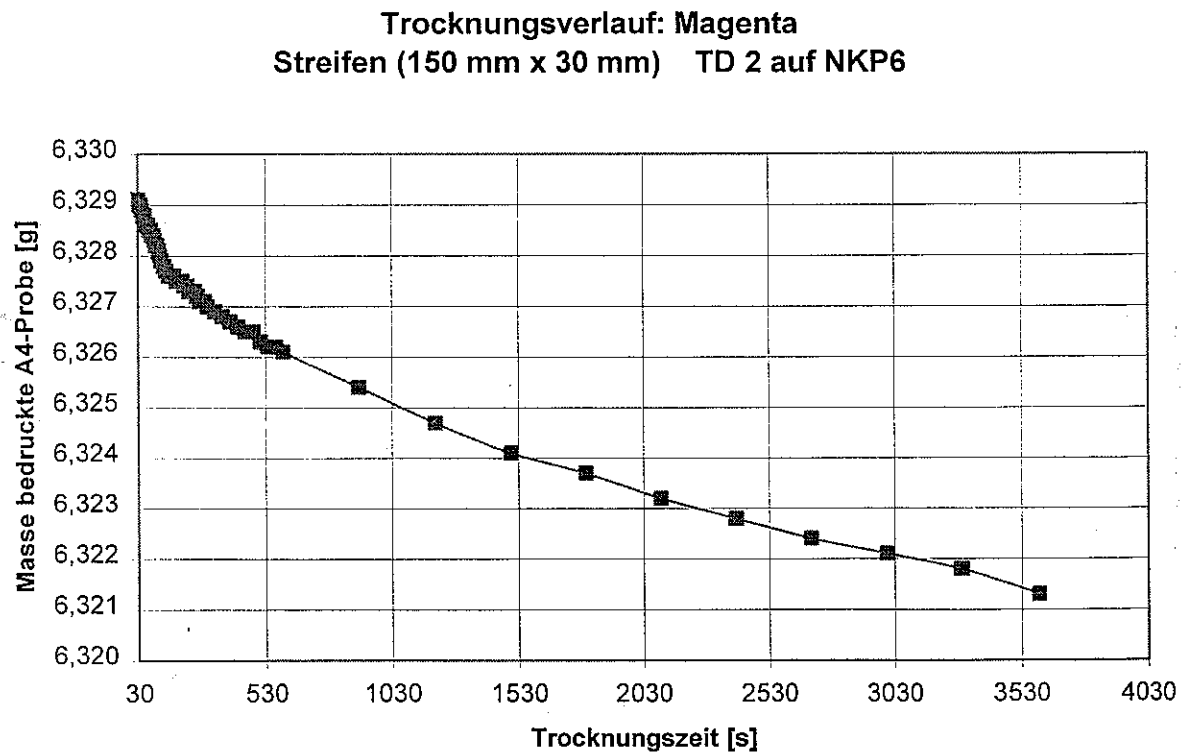


Abbildung A.1.3-22: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Magenta) auf NKP 6

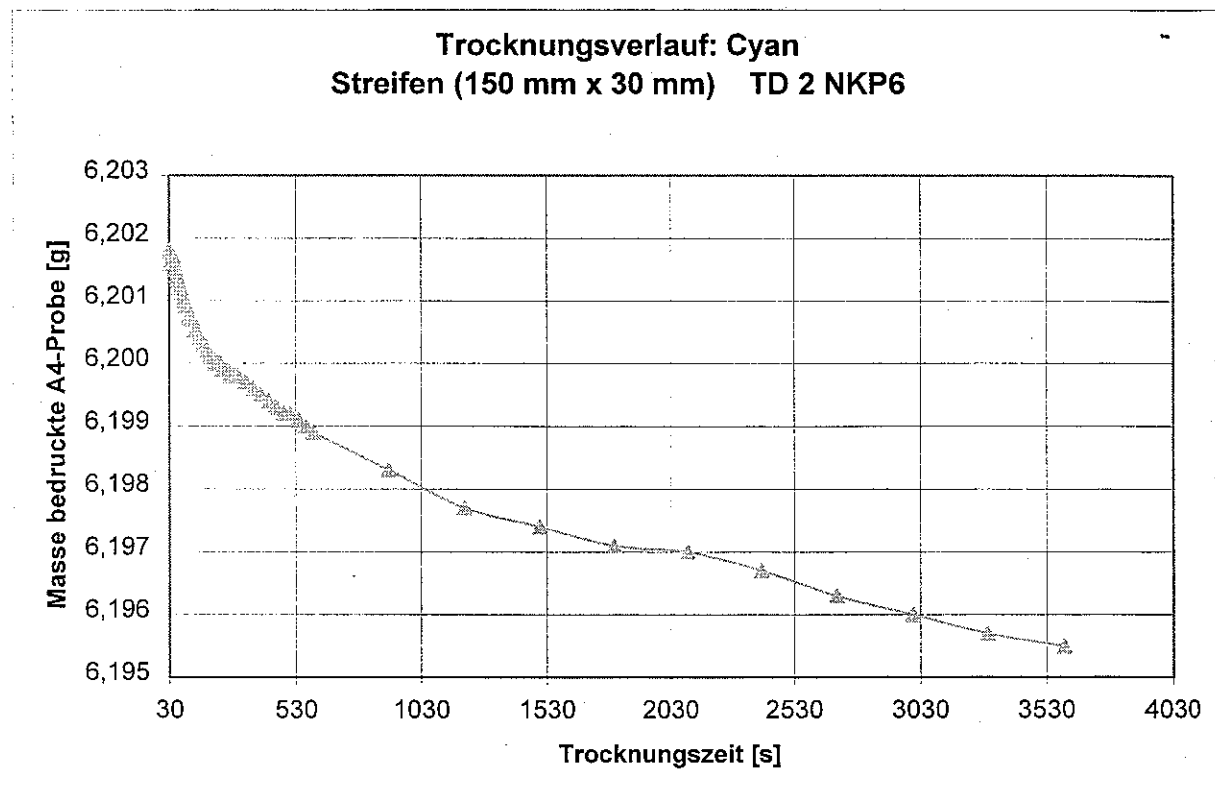


Abbildung A.1.3-23: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Cyan) auf NKP 6

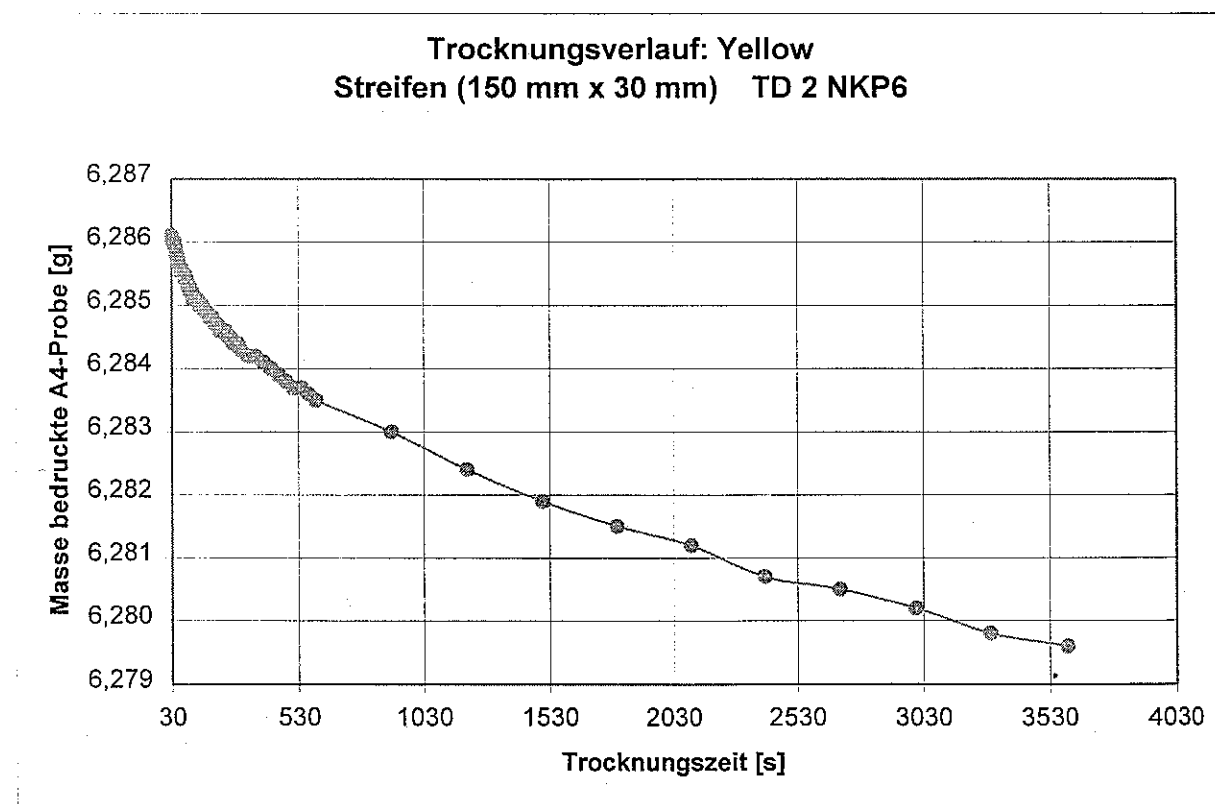


Abbildung A.1.3-24: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 (Yellow) auf NKP 6

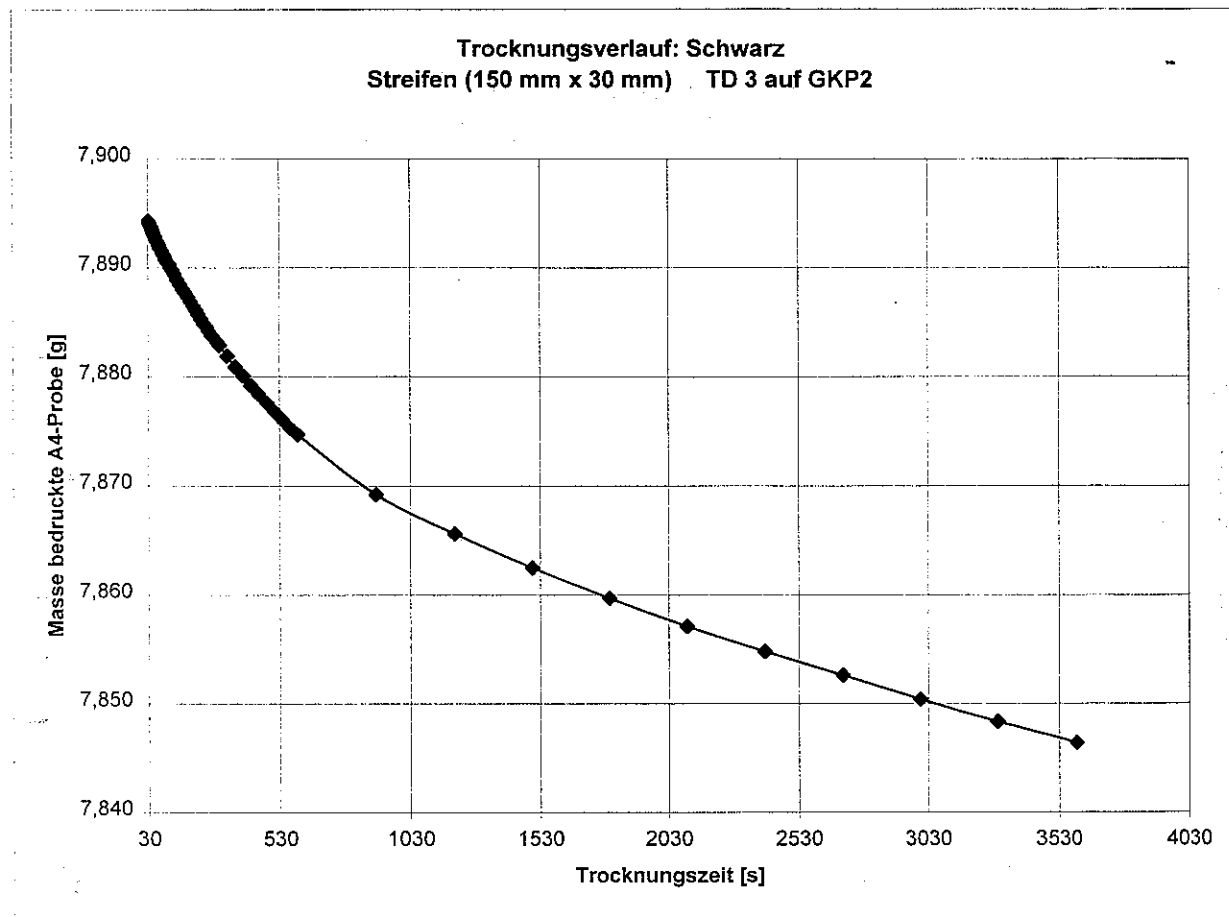


Abbildung A.1.3-25: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Schwarz) auf GKP 2

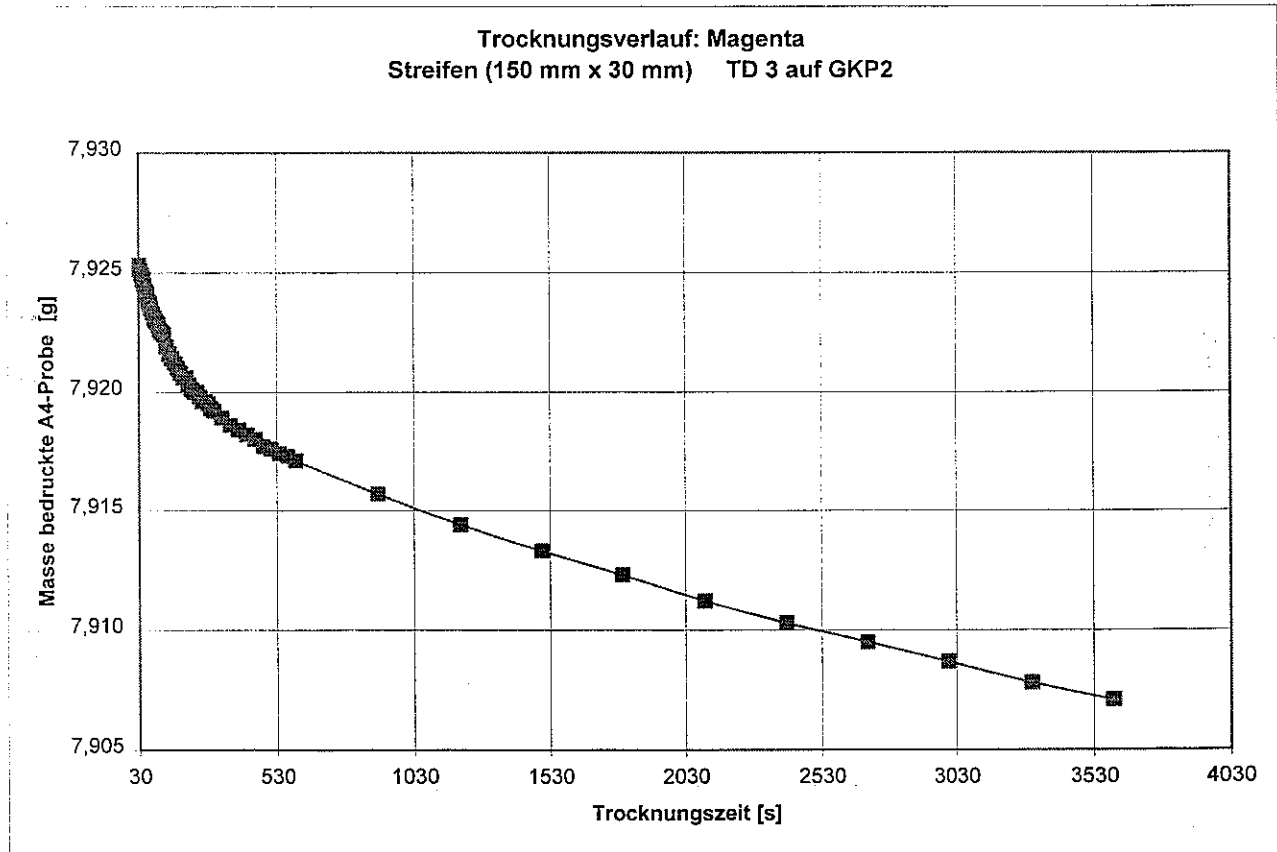


Abbildung A.1.3-26: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Magenta) auf GKP 2

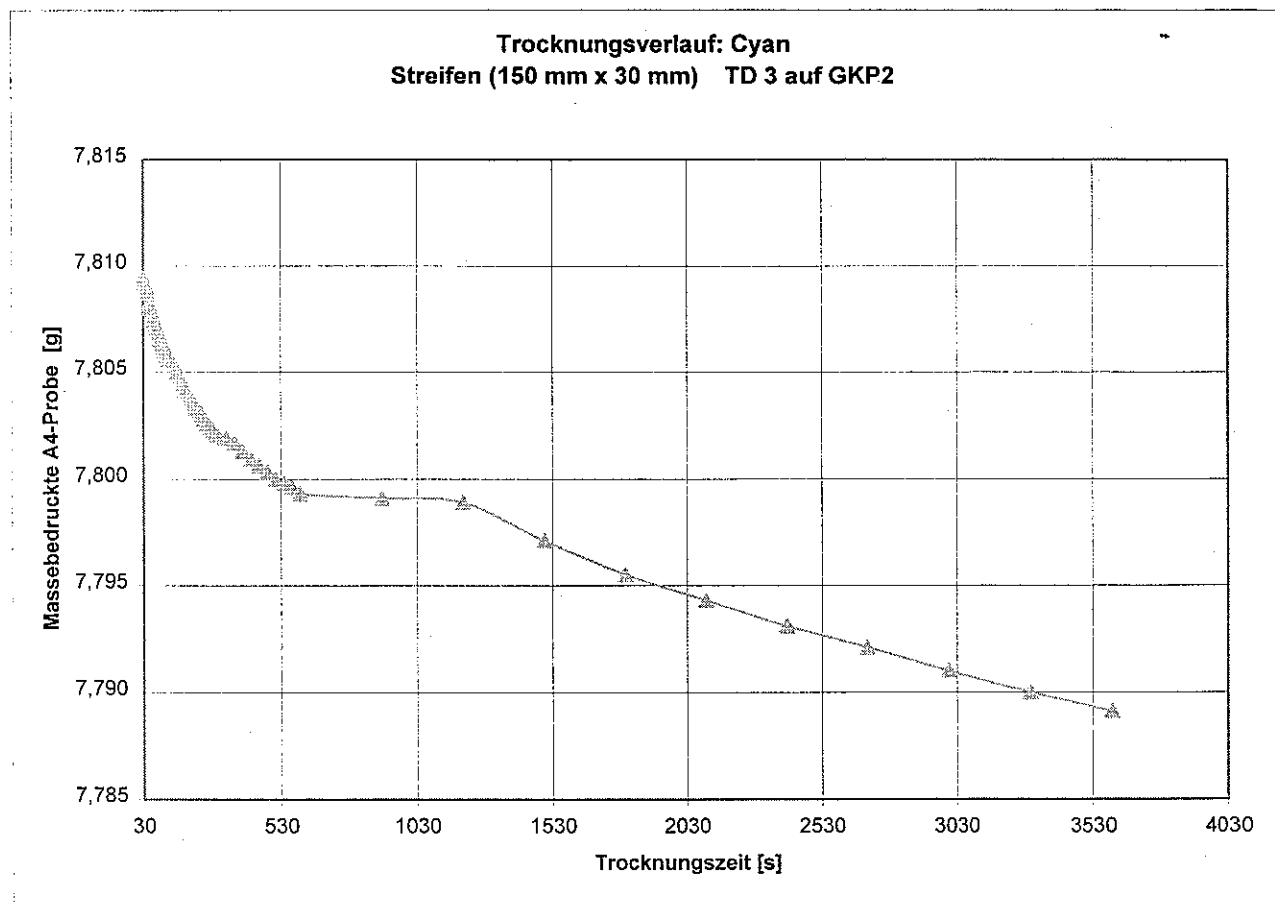


Abbildung A.1.3-27: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Cyan) auf GKP 2

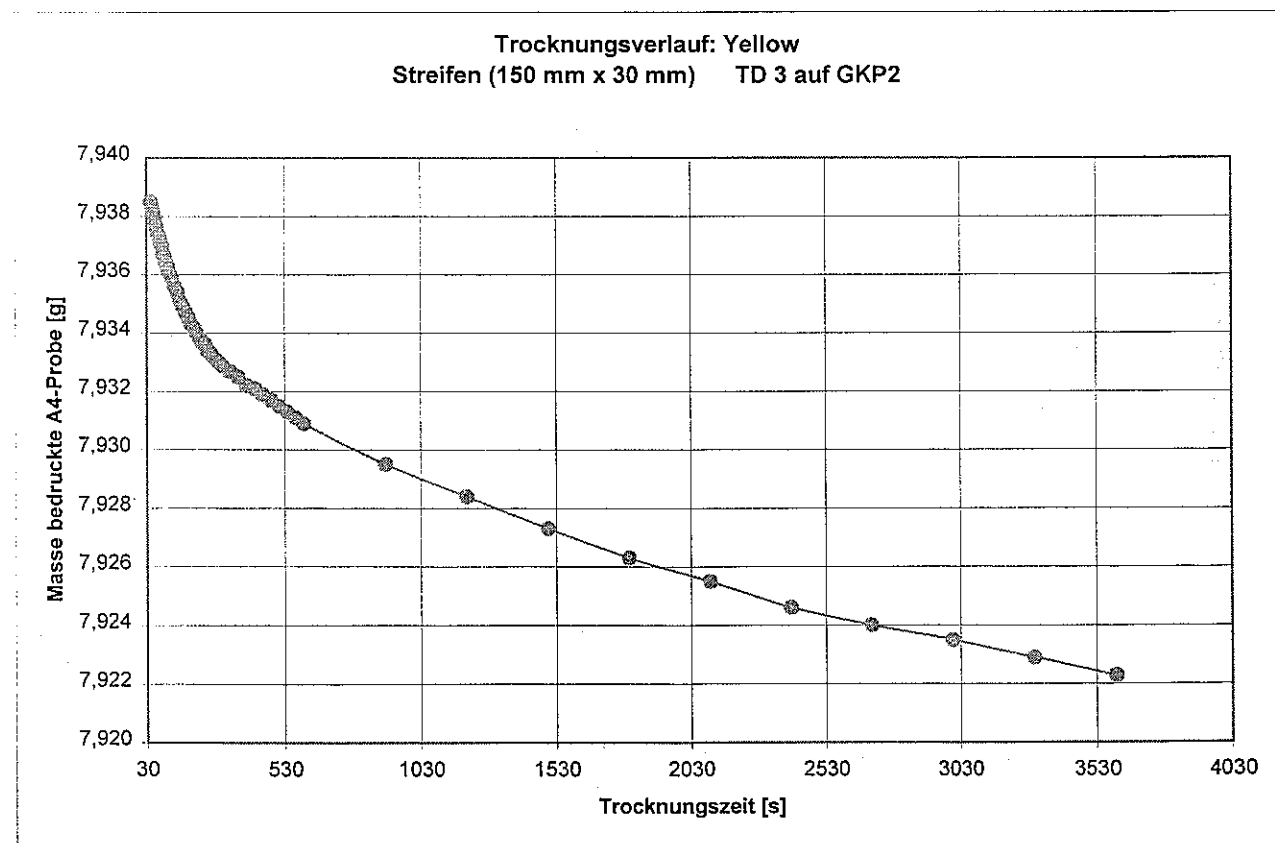


Abbildung A.1.3-28: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Yellow) auf GKP 2

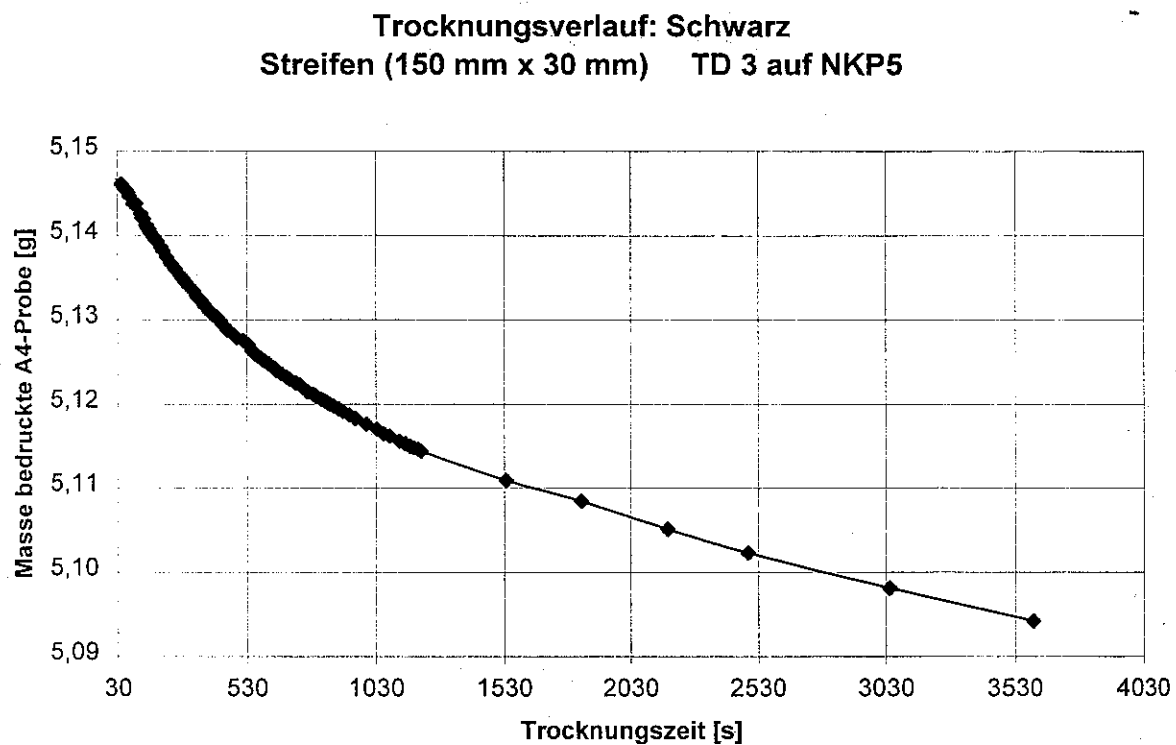


Abbildung A.1.3-29: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Schwarz) auf NKP 5

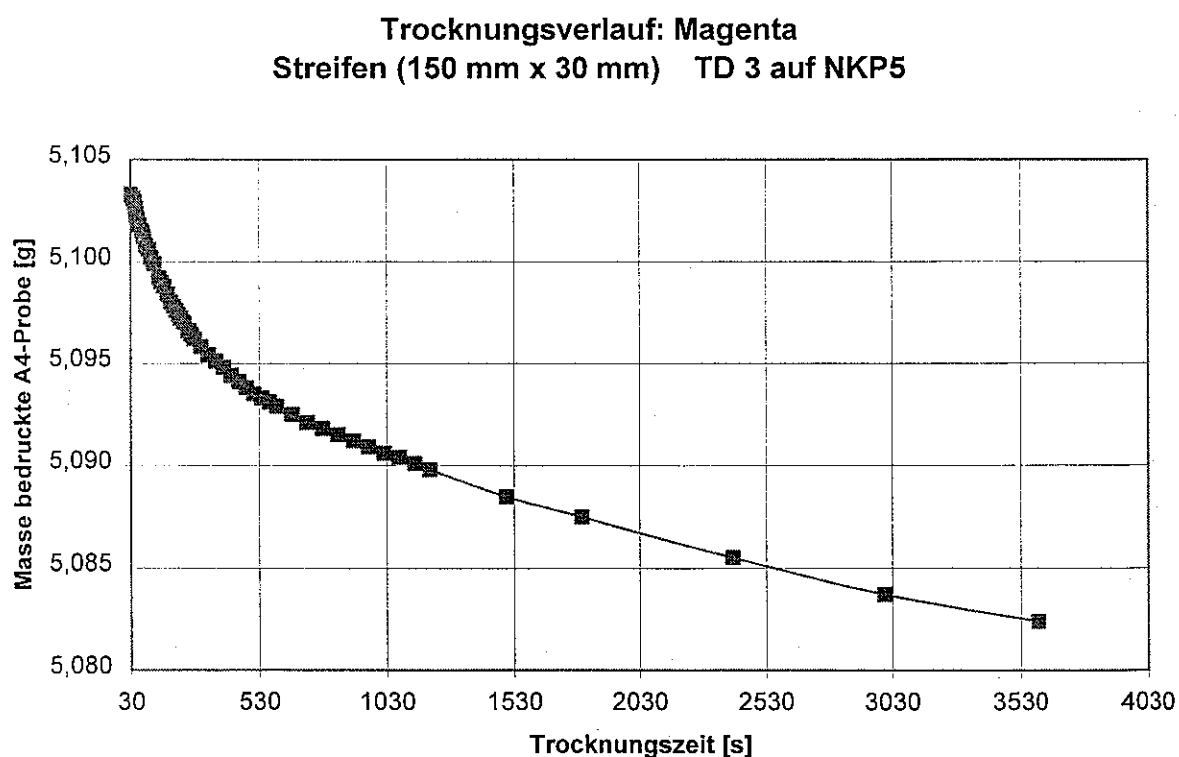


Abbildung A.1.3-30: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Magenta) auf NKP 5

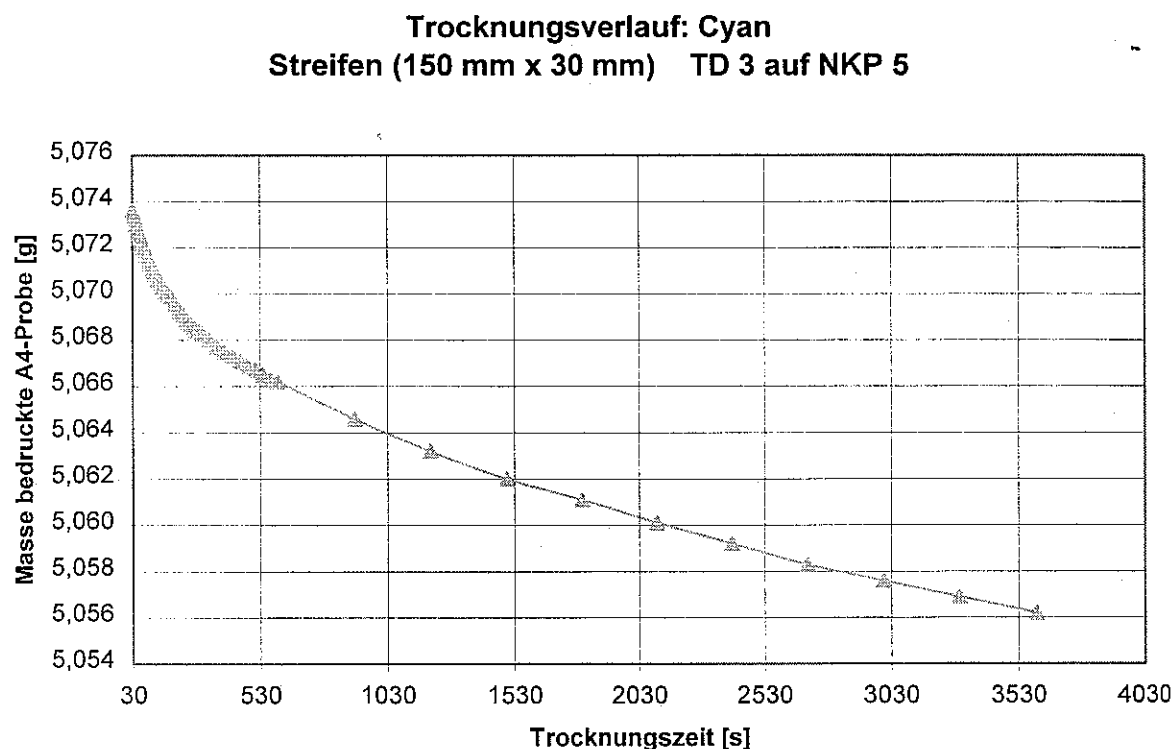


Abbildung A.1.3-31: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Cyan) auf NKP 5

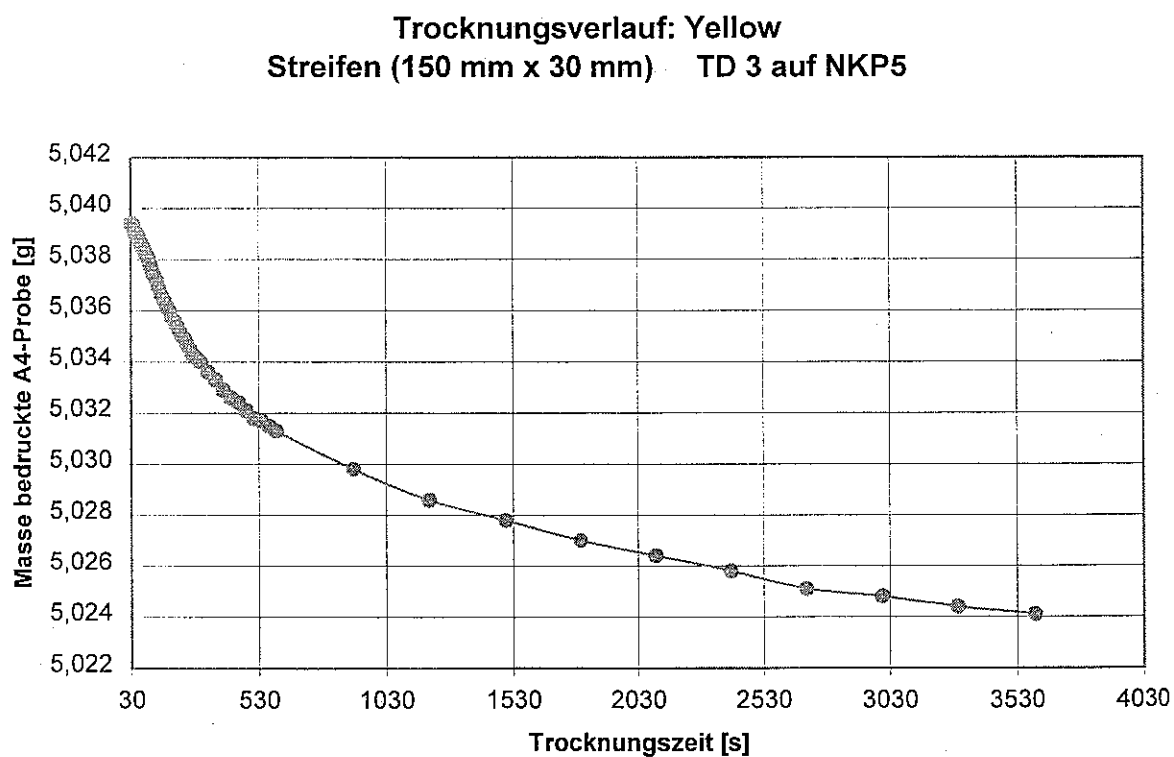


Abbildung A.1.3-32: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Yellow) auf NKP 5

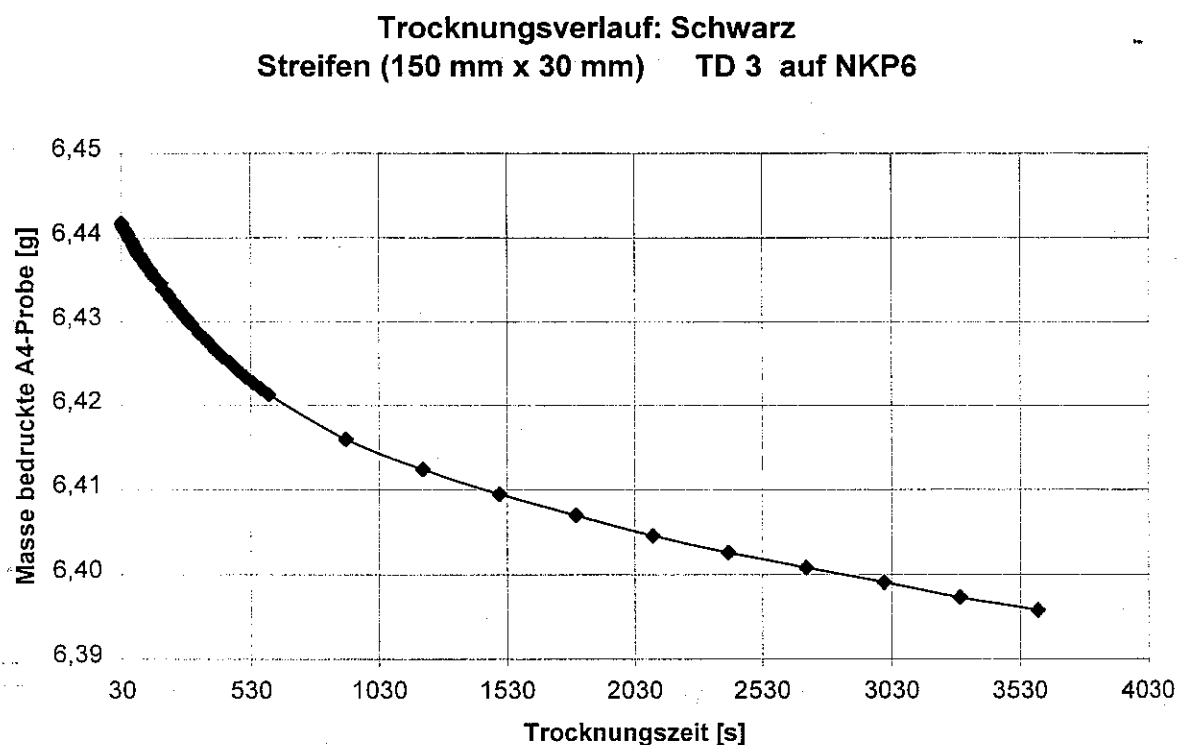


Abbildung A.1.3-33: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Schwarz) auf NKP 6

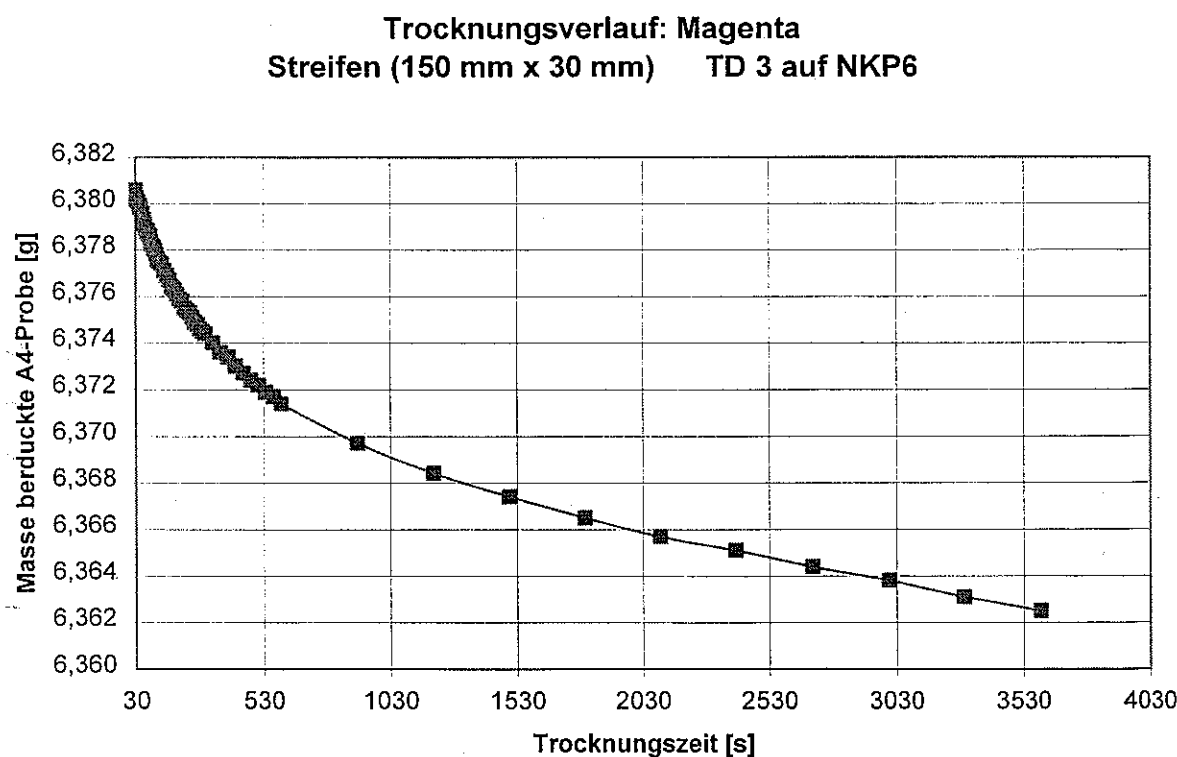


Abbildung A.1.3-34: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Magenta) auf NKP 6

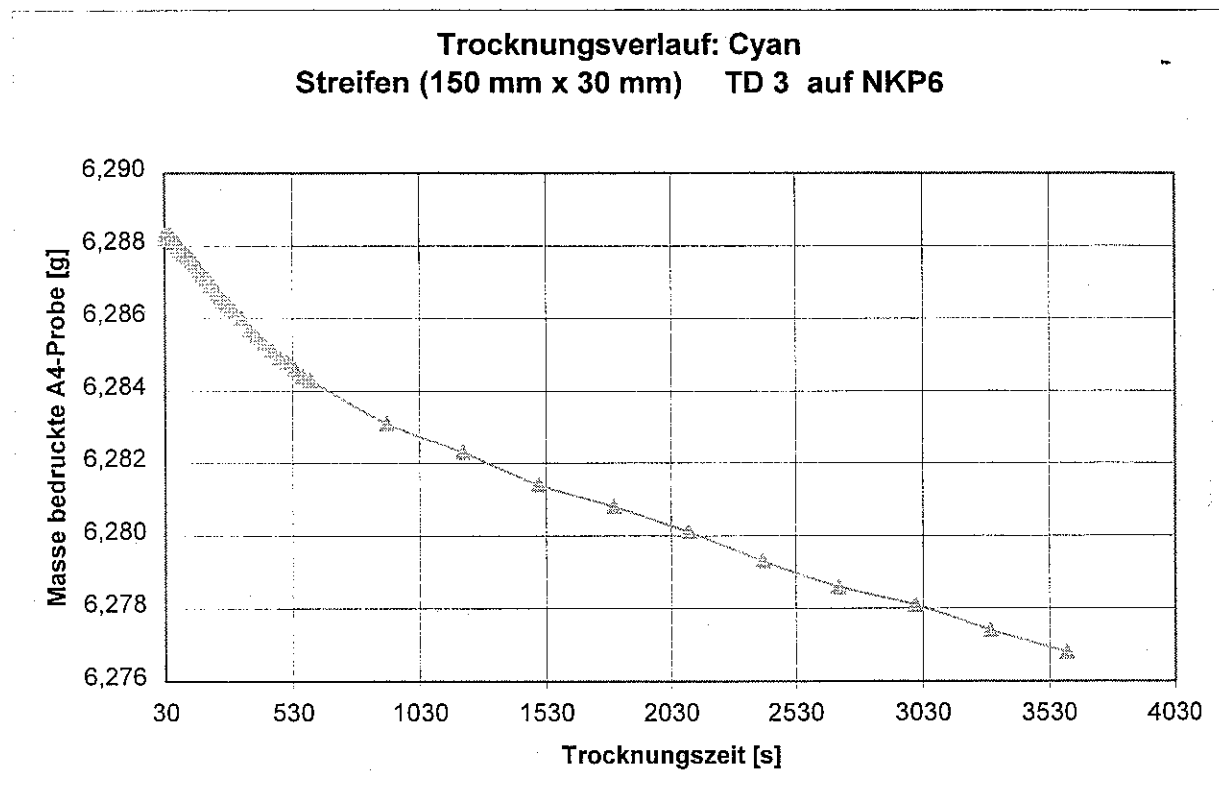


Abbildung A.1.3-35: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Cyan) auf NKP 6

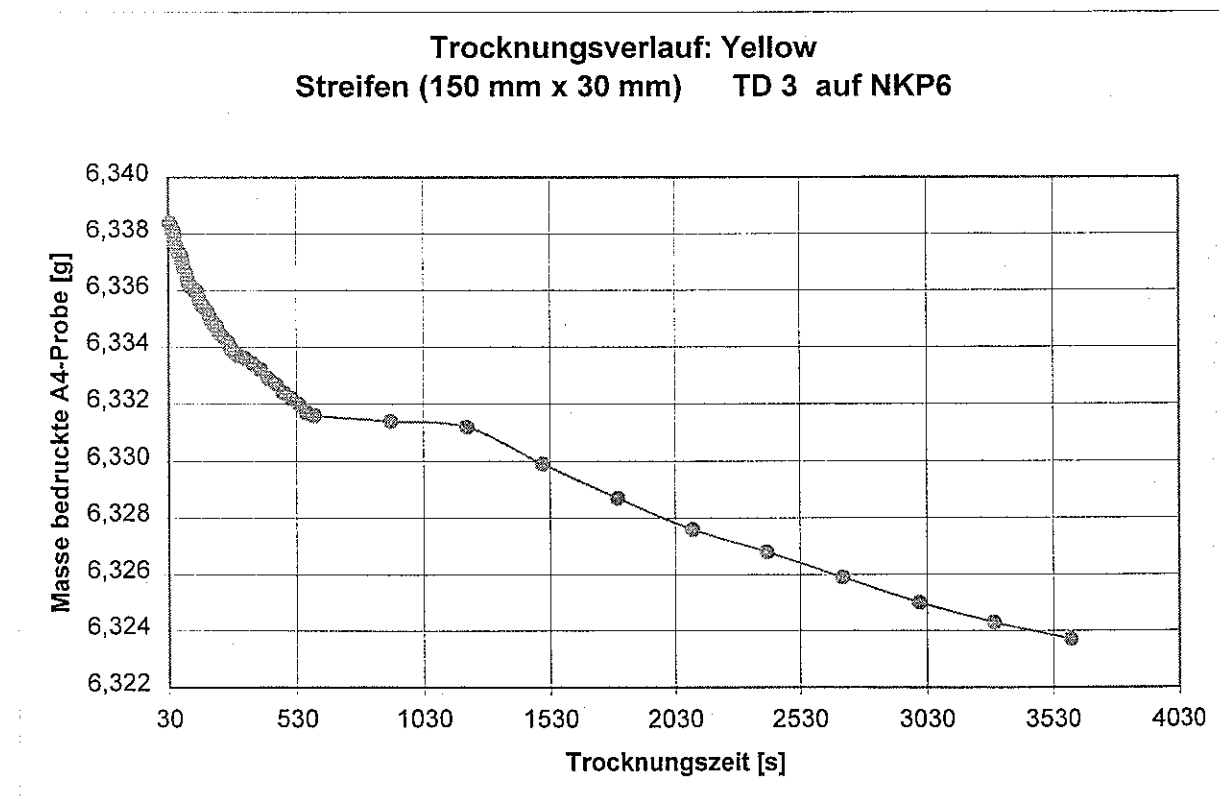


Abbildung A.1.3-36: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 (Yellow) auf NKP 6

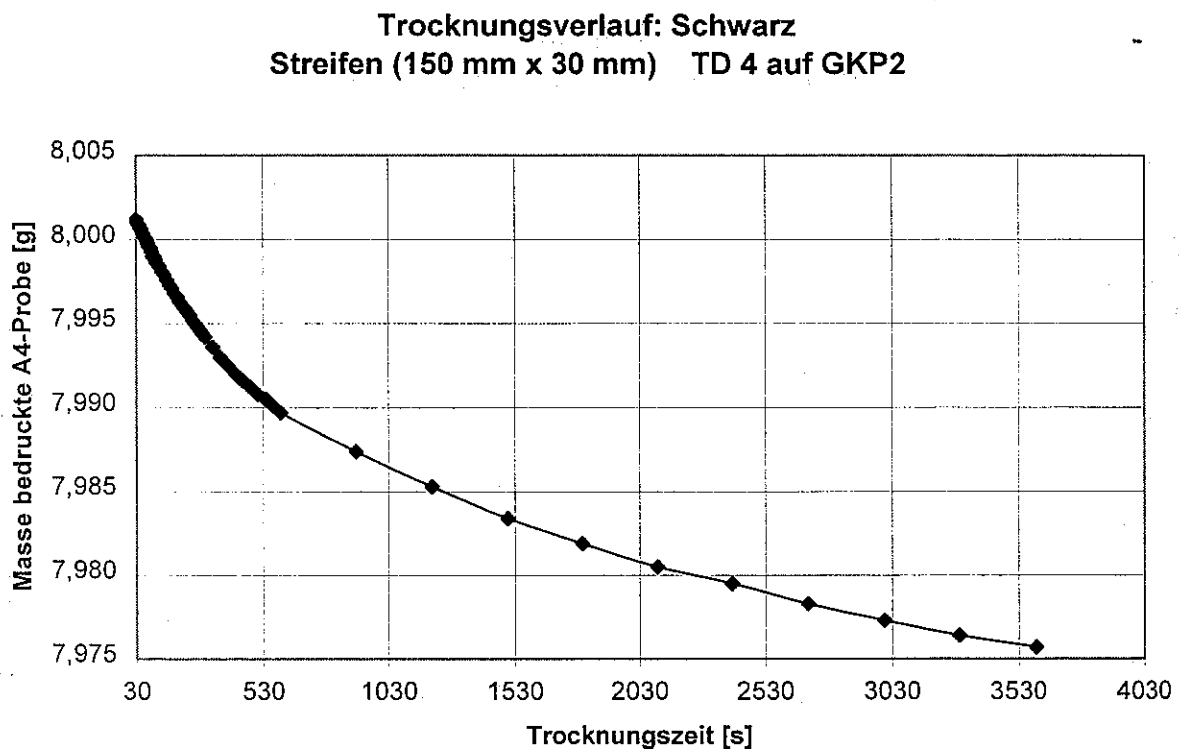


Abbildung A.1.3-37: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Schwarz) auf GKP 2

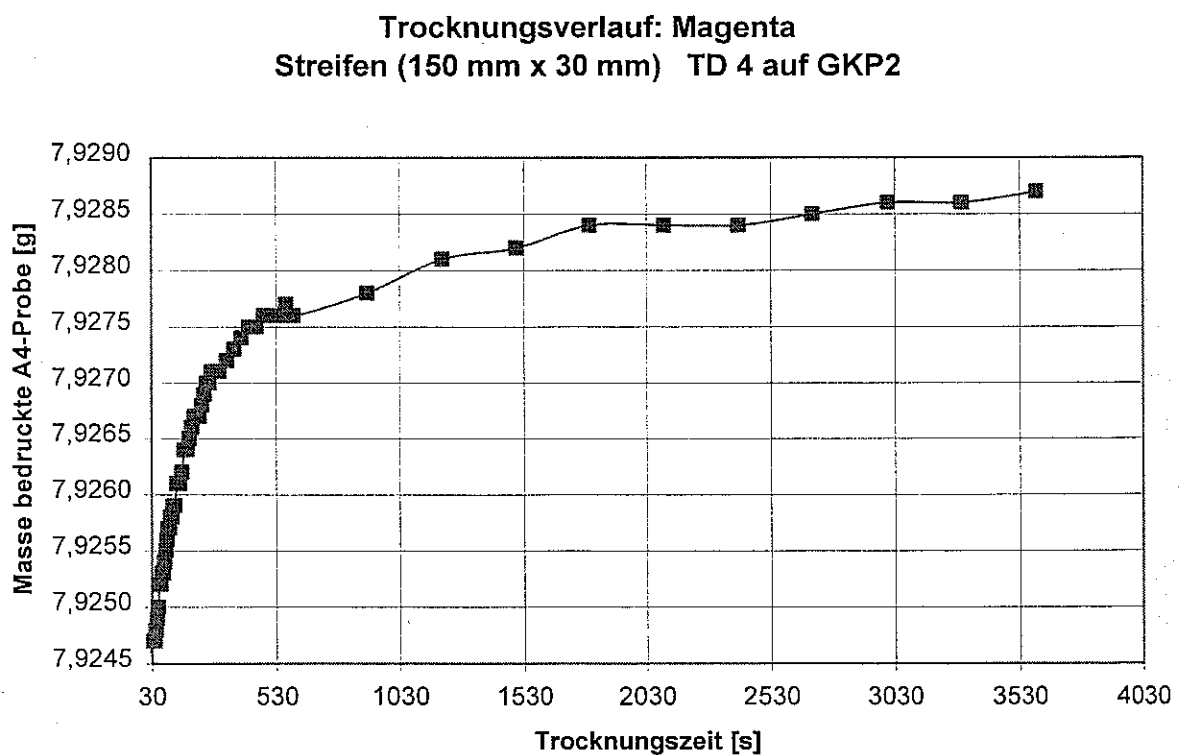


Abbildung A.1.3-38: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Magenta) auf GKP 2

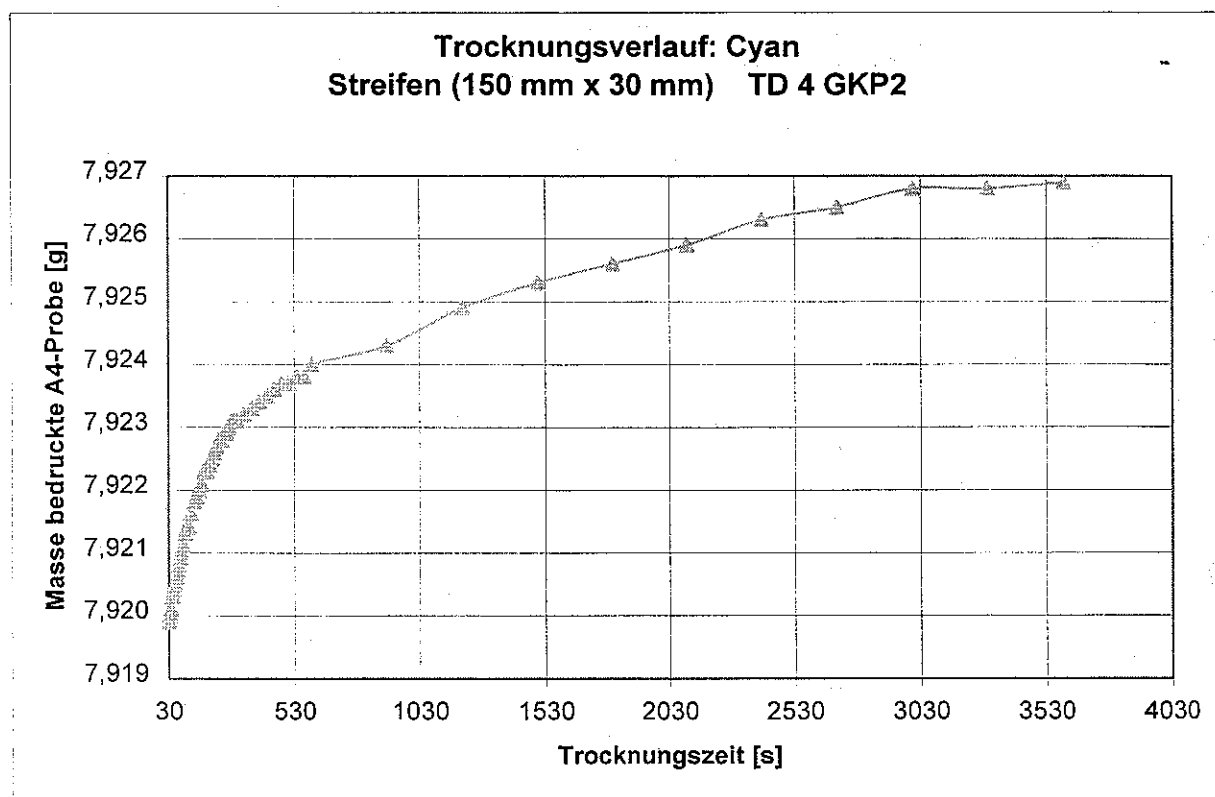


Abbildung A.1.3-39: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Cyan) auf GKP 2

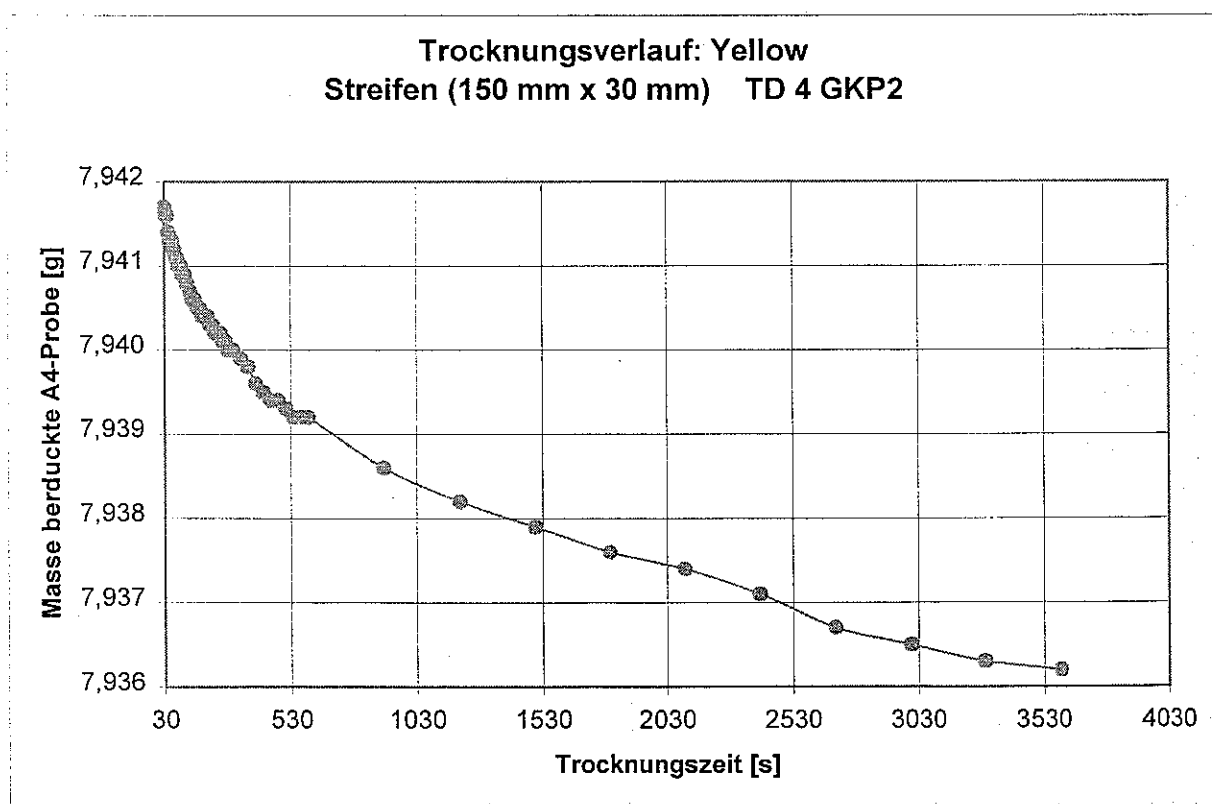


Abbildung A.1.3-40: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Yellow) auf GKP 2

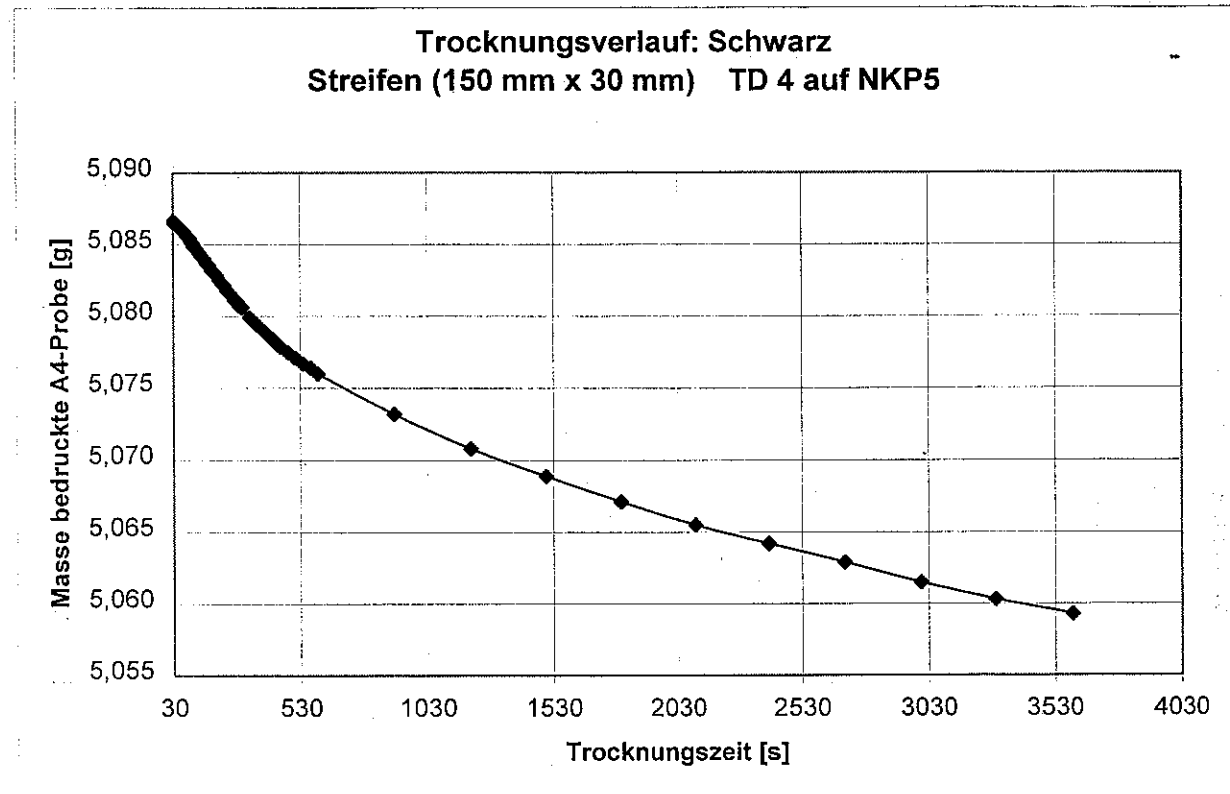


Abbildung A.1.3-41: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Schwarz) auf NKP 5

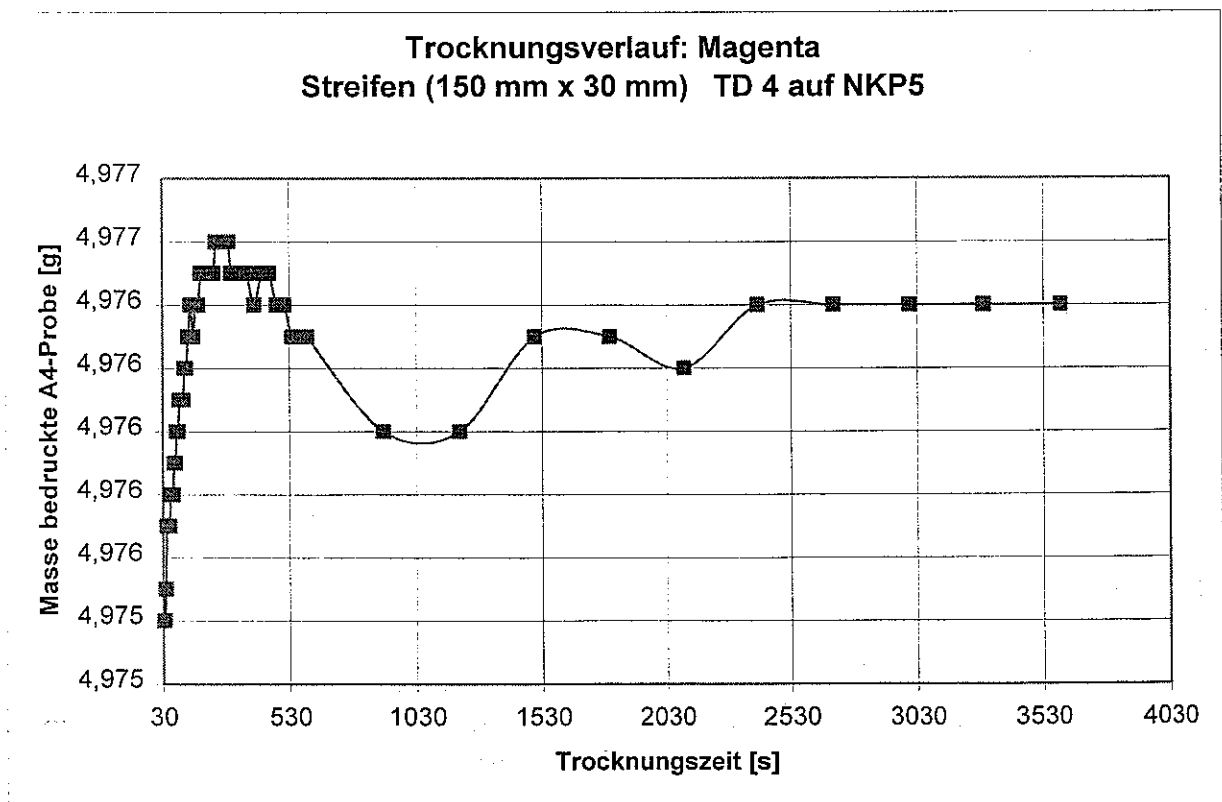


Abbildung A.1.3-42: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Magenta) auf NKP 5

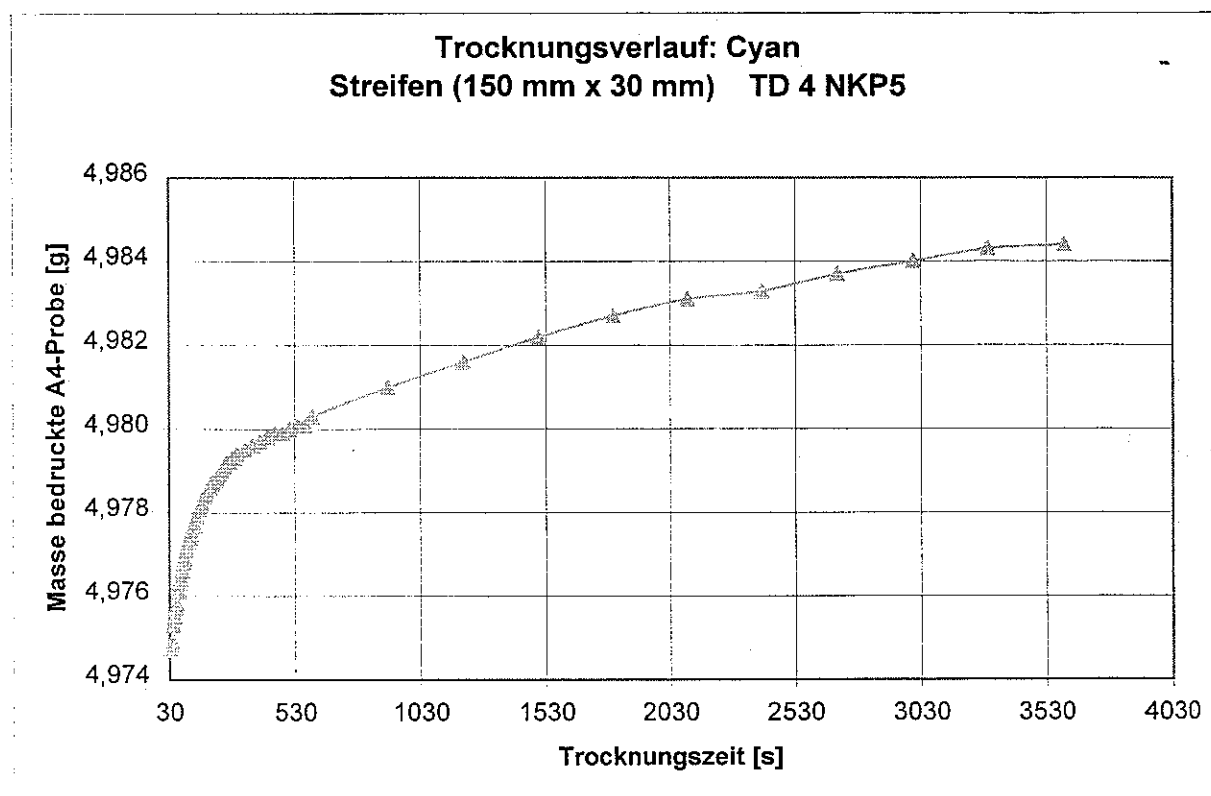


Abbildung A.1.3-43: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Cyan) auf NKP 5

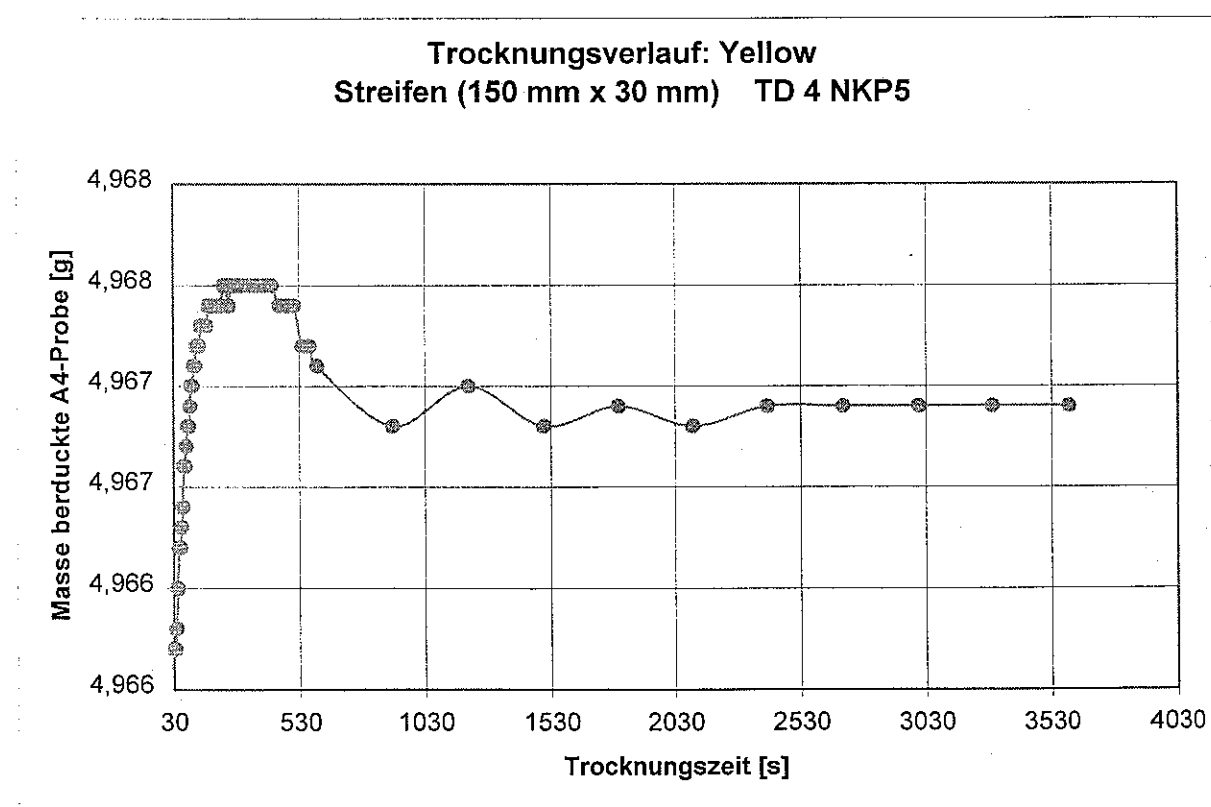


Abbildung A.1.3-44: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Yellow) auf NKP 5

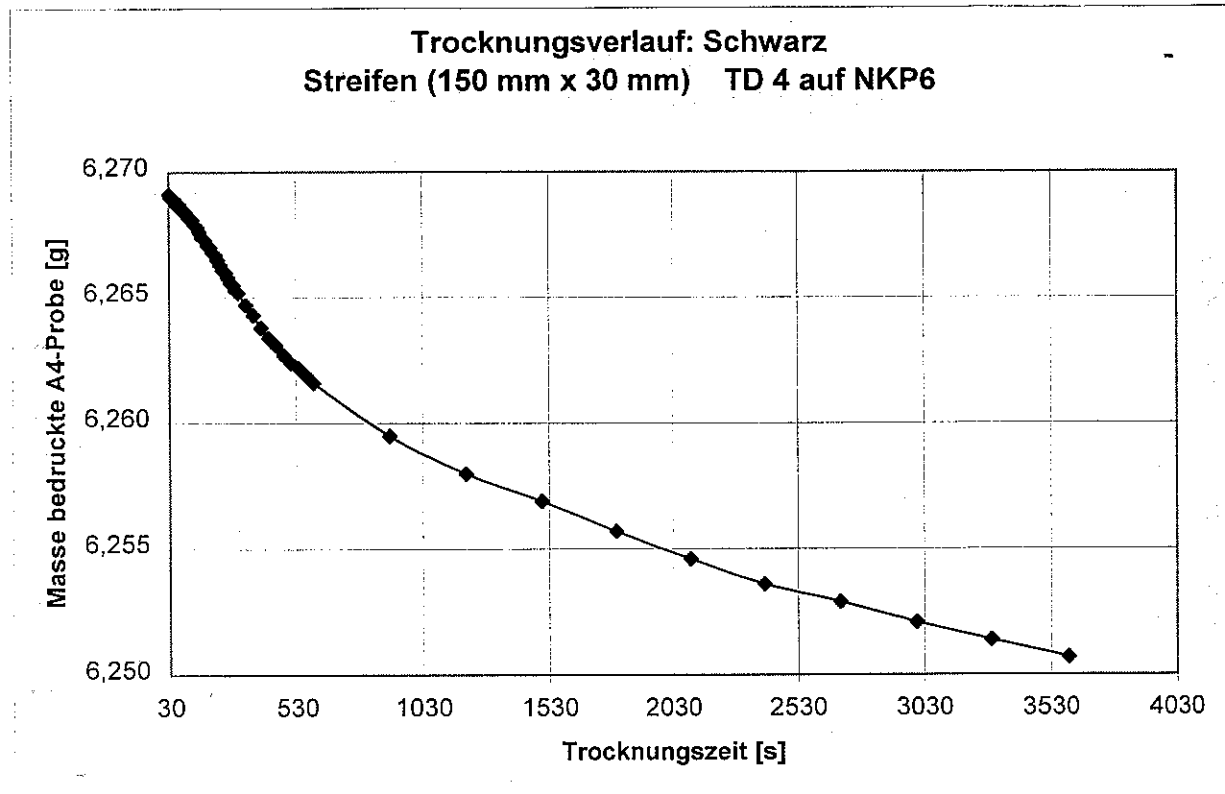


Abbildung A.1.3-45: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Schwarz) auf NKP 6

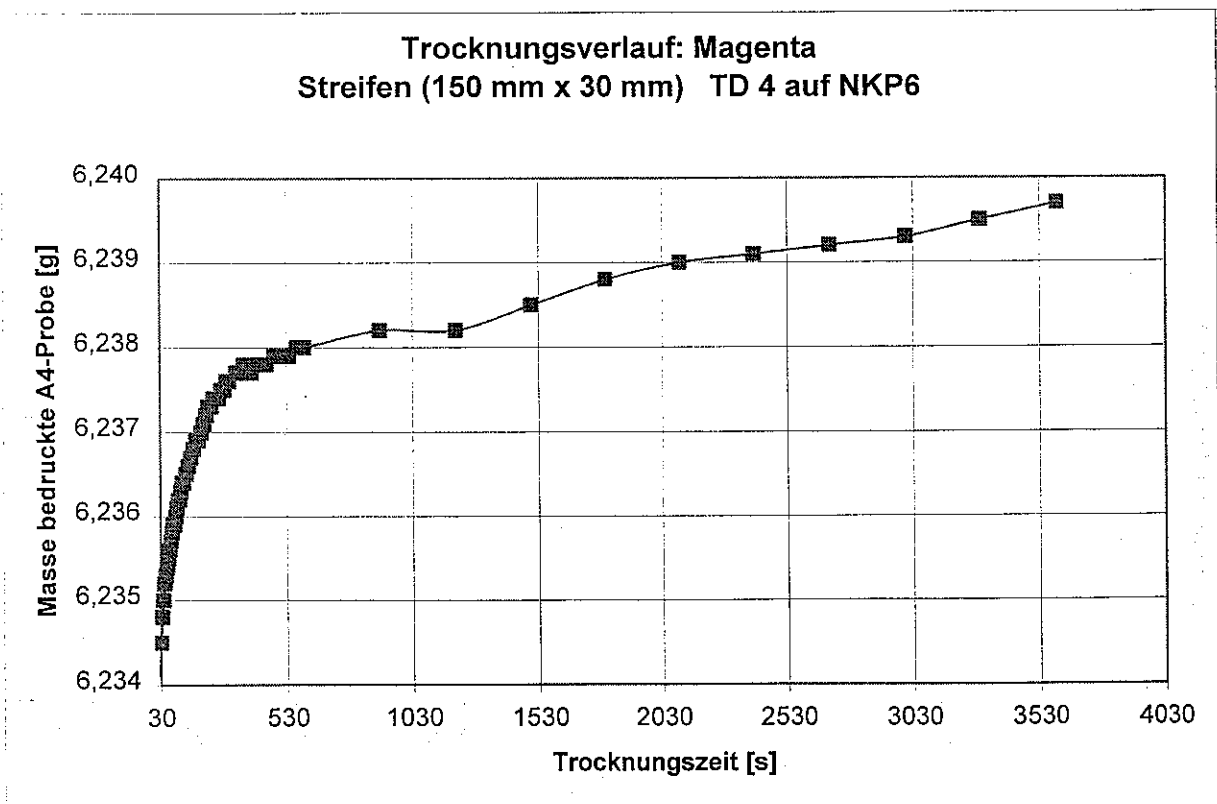


Abbildung A.1.3-46: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Magenta) auf NKP 6

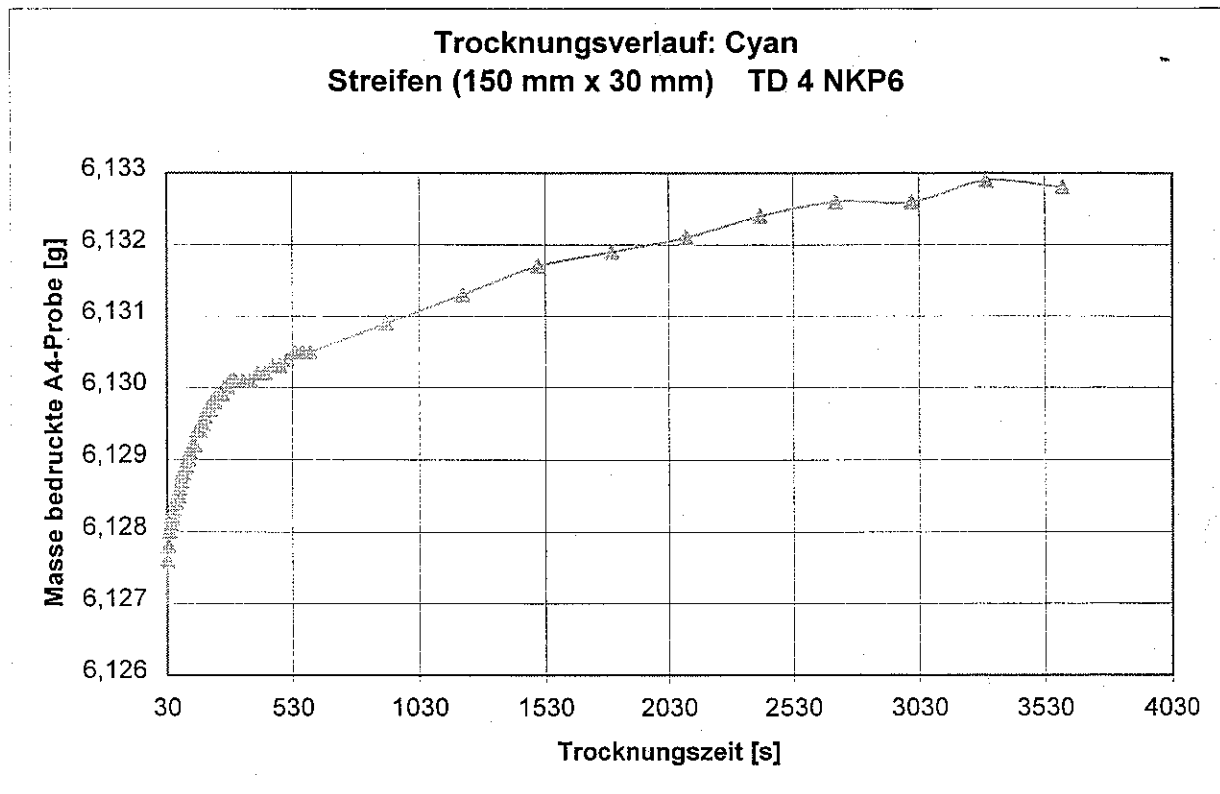


Abbildung A.1.3-47: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Cyan) auf NKP 6

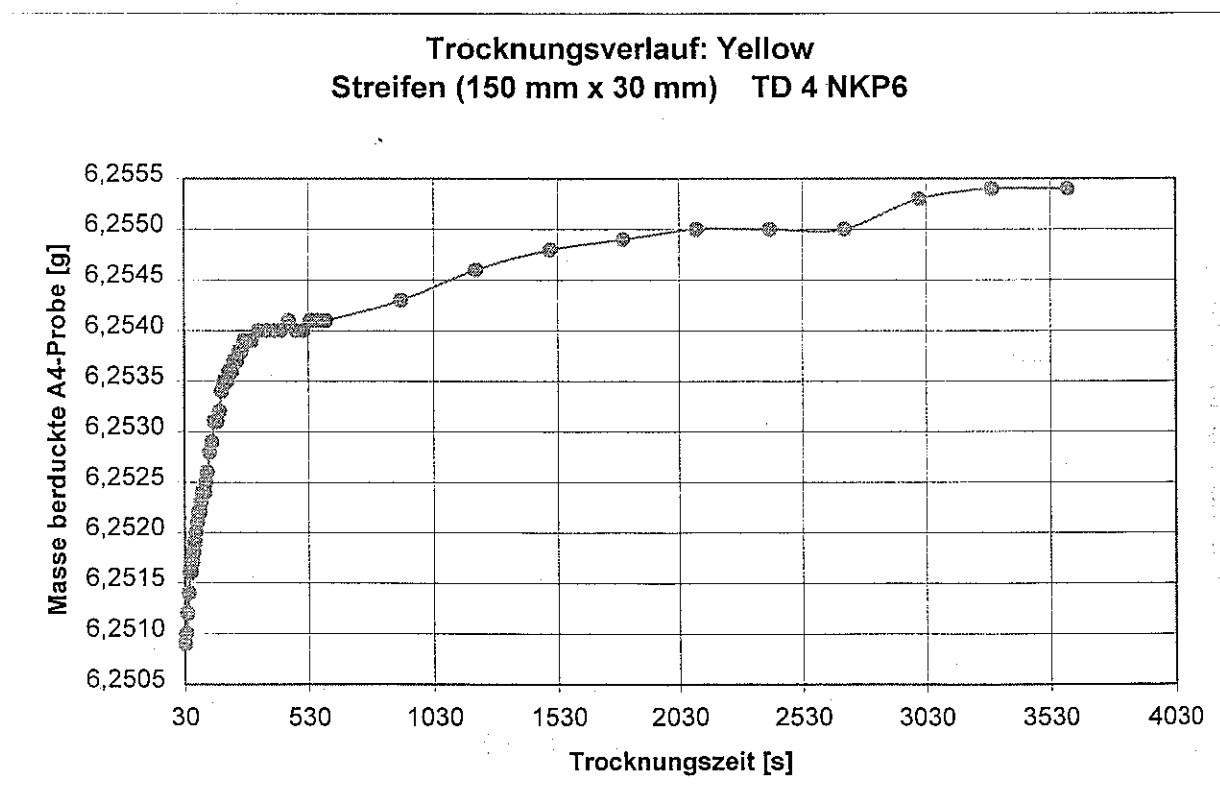


Abbildung A.1.3-48: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 4 (Yellow) auf NKP 6

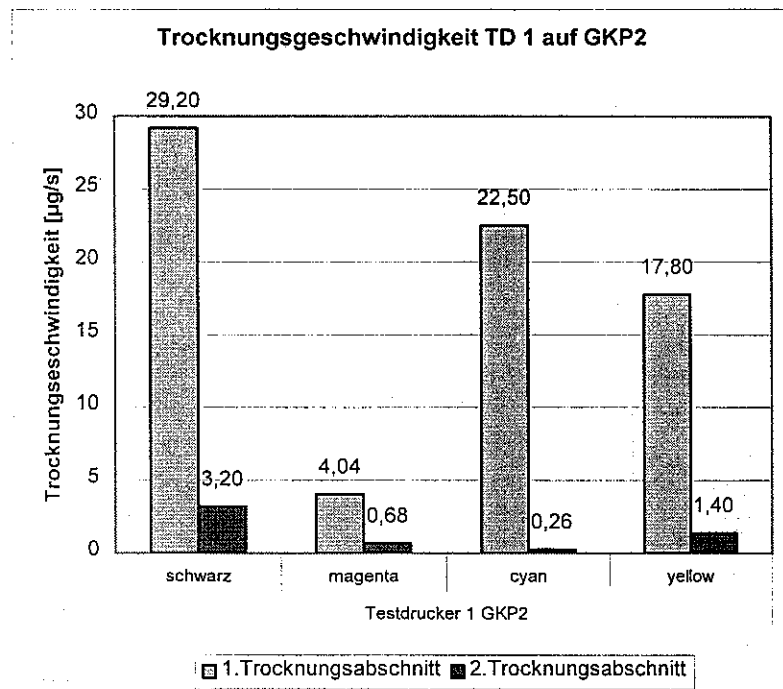


Abbildung A.1.3-49: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 auf GKP 2

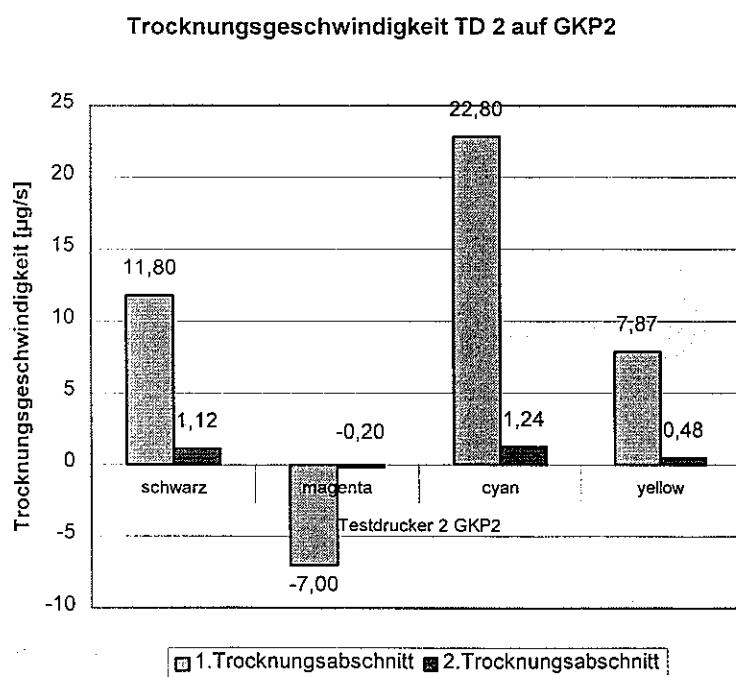


Abbildung A.1.3-50: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 auf GKP 2

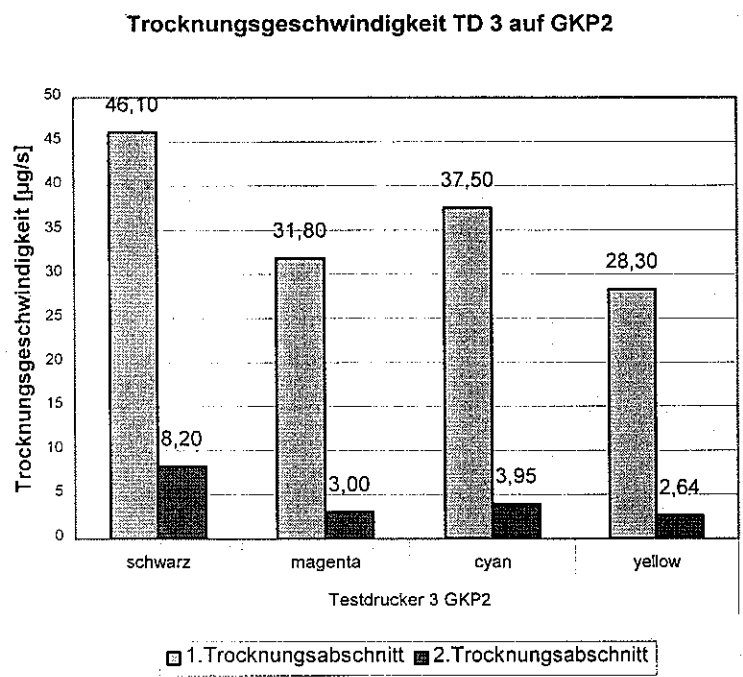


Abbildung A.1.3-51: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 auf GKP 2

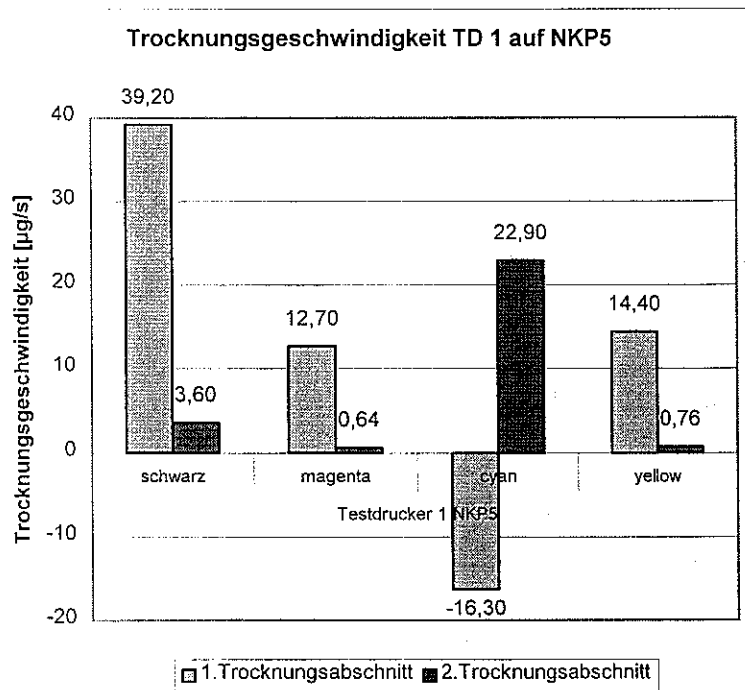


Abbildung A.1.3-52: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 auf NKP 5

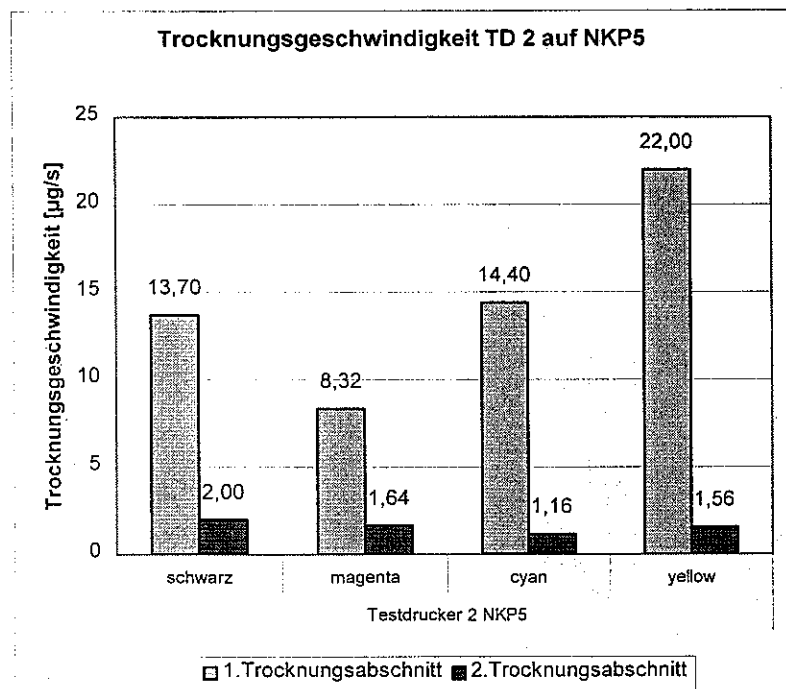


Abbildung A.1.3-53: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 auf NKP 5

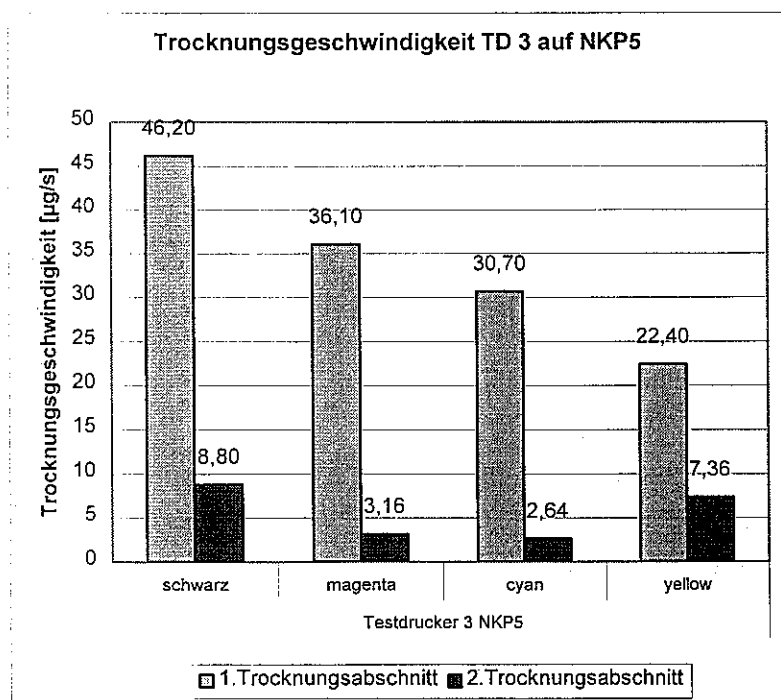


Abbildung A.1.3-54: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 auf NKP 5

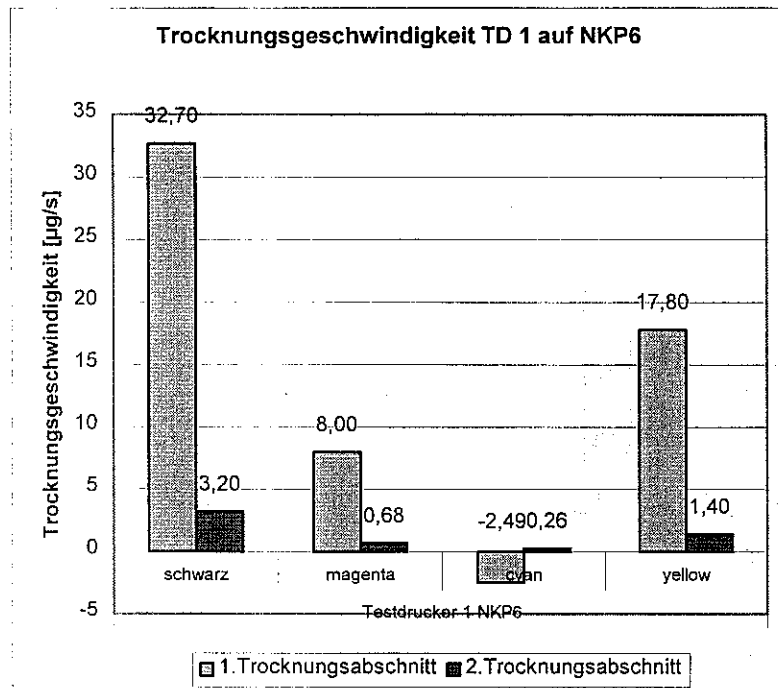


Abbildung A.1.3-55: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 1 auf NKP 6

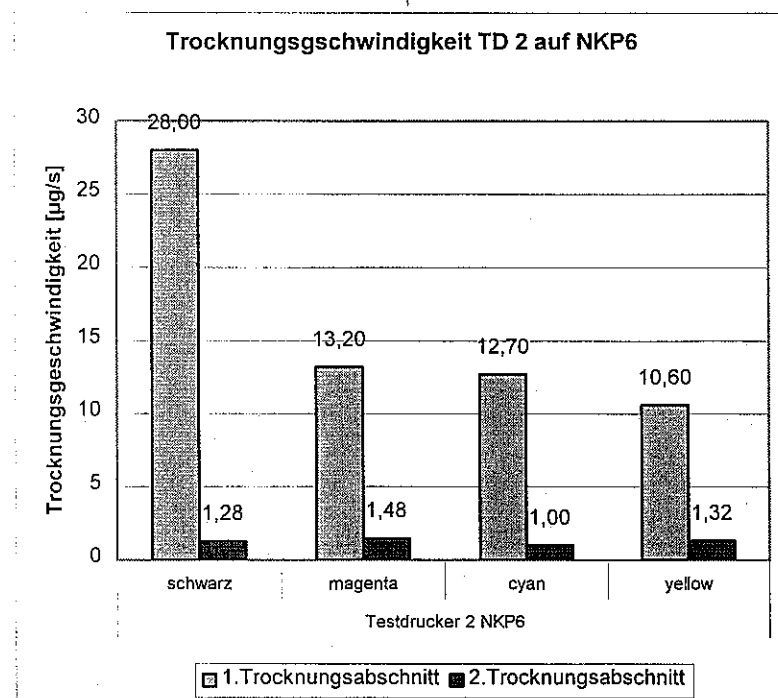


Abbildung A.1.3-56: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 2 auf NKP 6

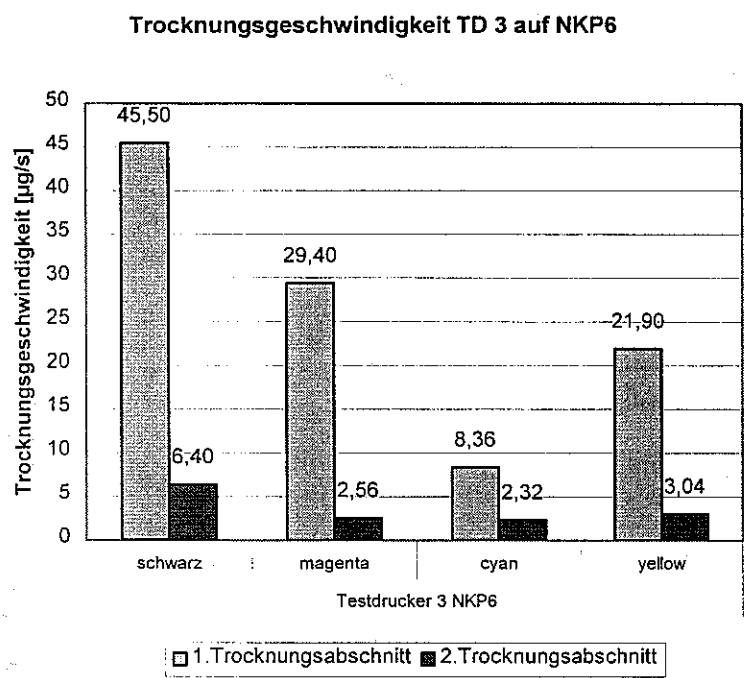


Abbildung A.1.3-57: Trocknungsgeschwindigkeit: TD 3 auf NKP 6

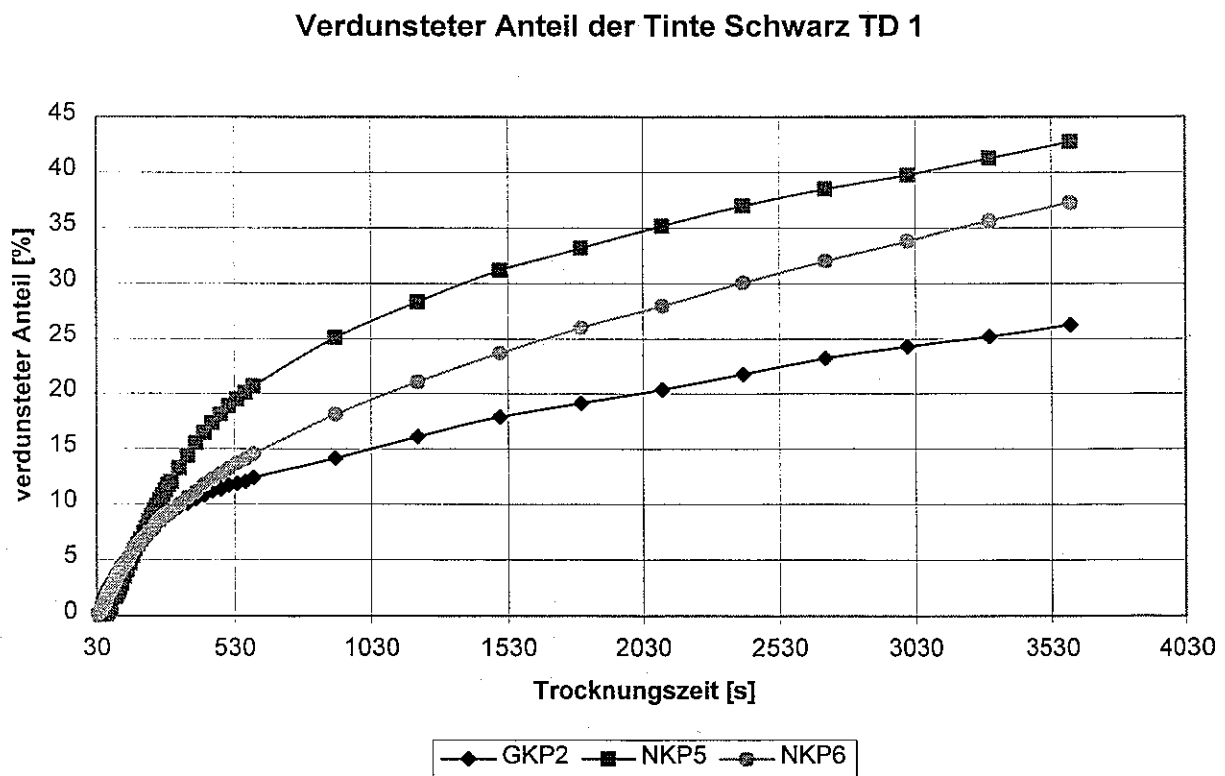


Abbildung A.1.3-58: Verdunsteter Anteil: TD 1 (Schwarz)

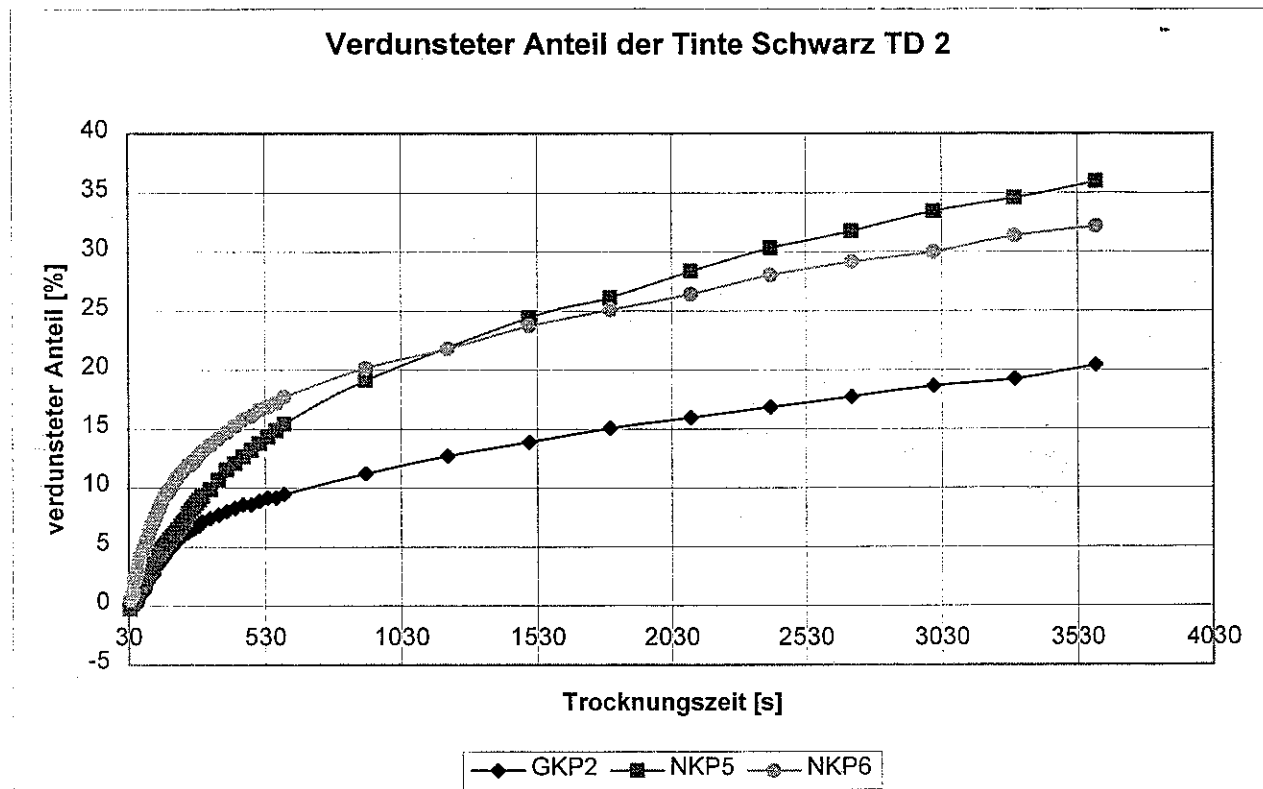


Abbildung A.1.3-59: Verdunsteter Anteil: TD 2 (Schwarz)

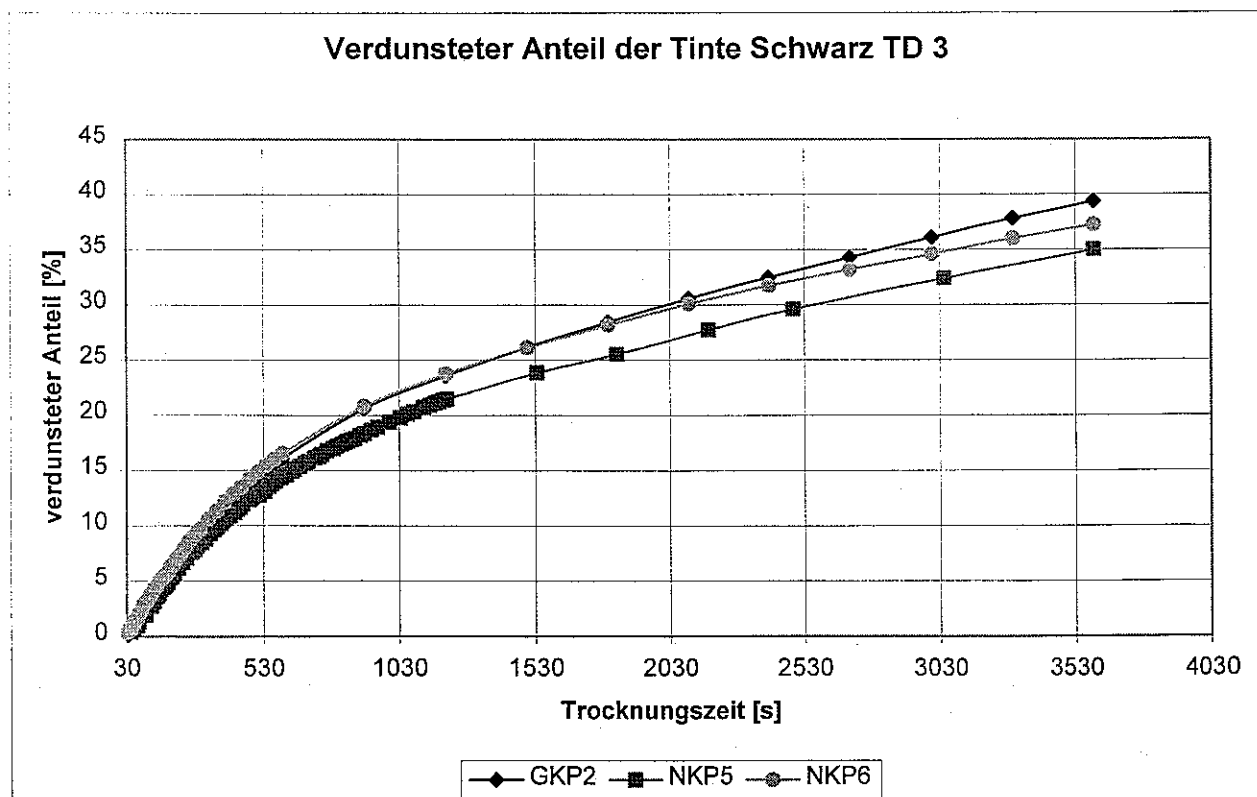


Abbildung A.1.3-60: Verdunsteter Anteil: TD 3 (Schwarz)

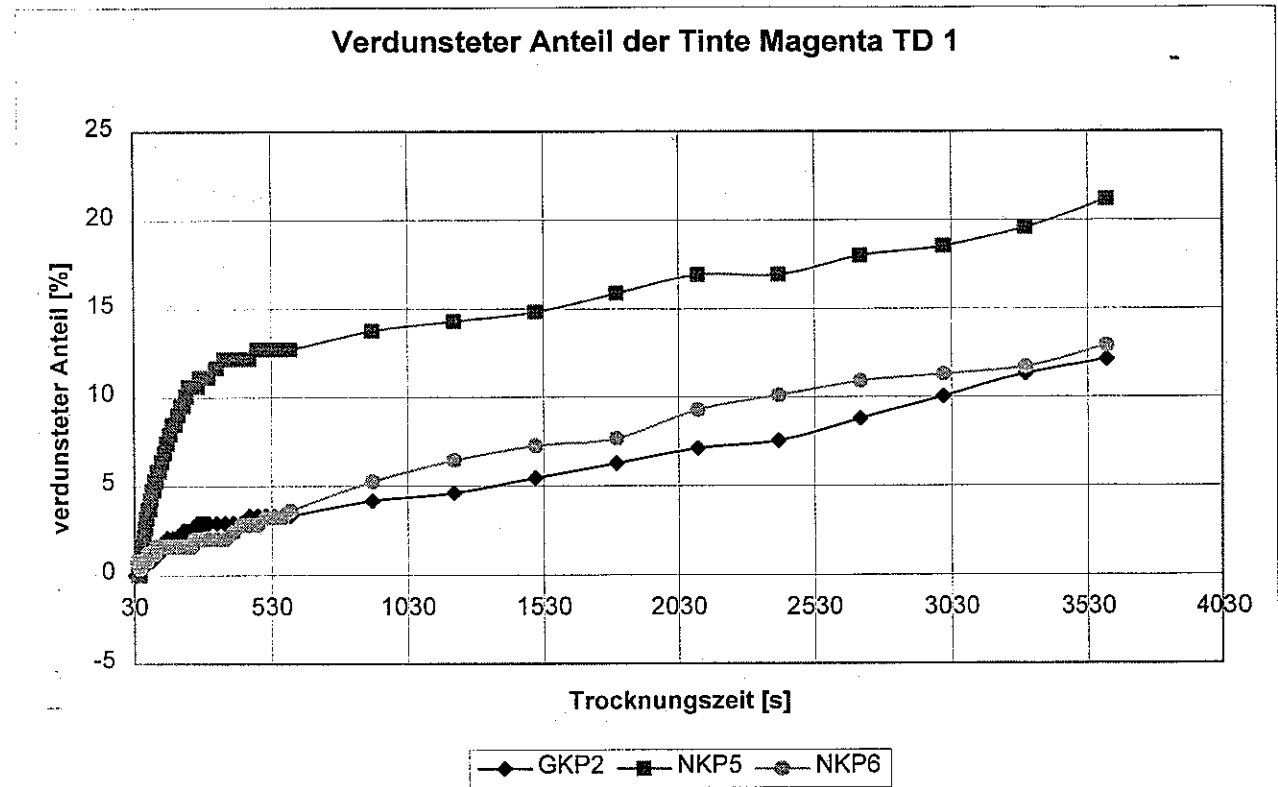


Abbildung A.1.3-61: Verdunsteter Anteil: TD 1 (Magenta)

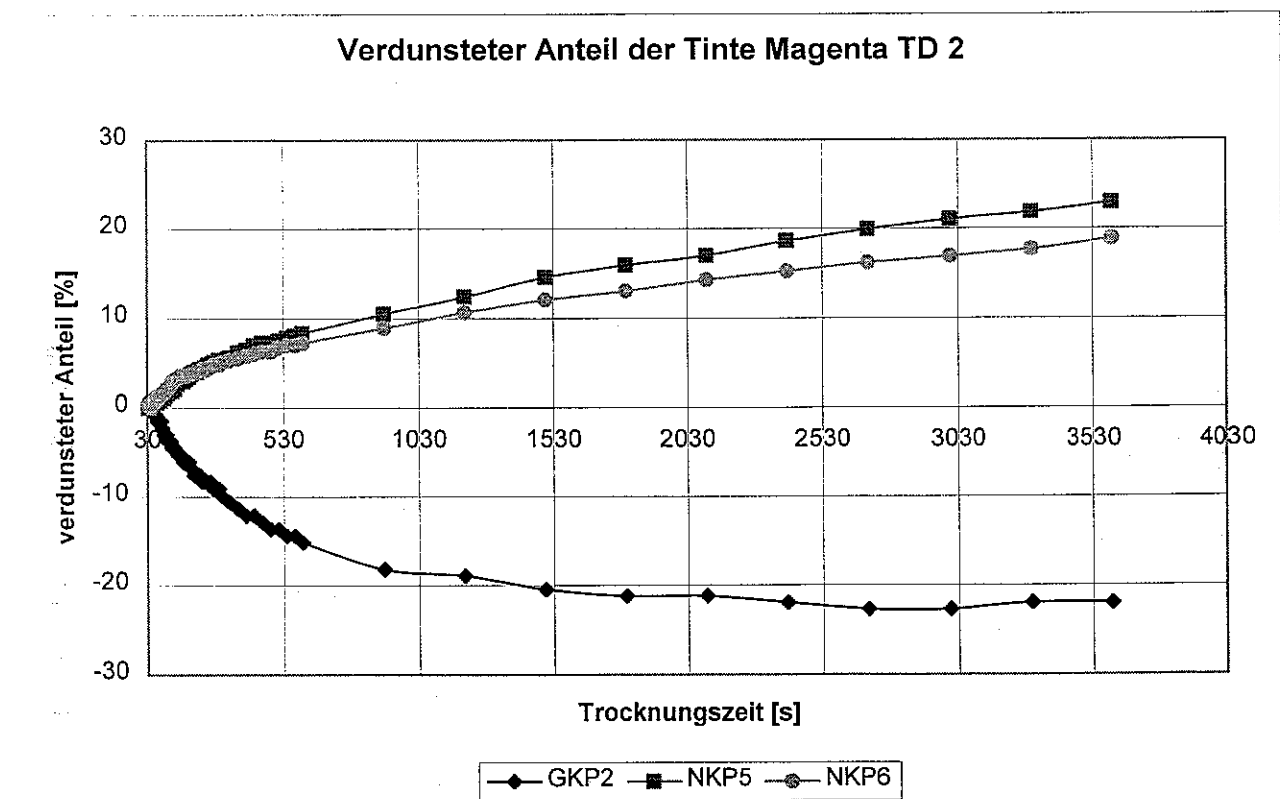


Abbildung A.1.3-62: Verdunsteter Anteil: TD 2 (Magenta)

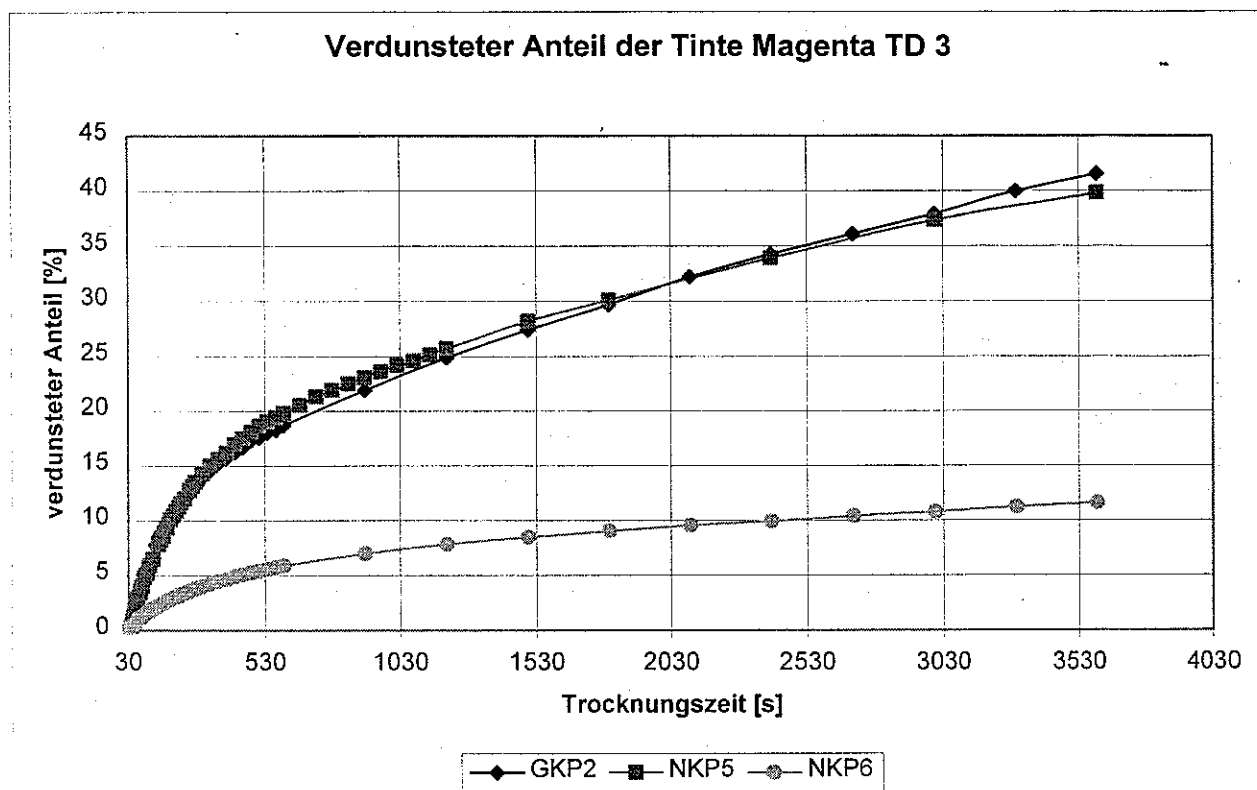


Abbildung A.1.3-63: Verdunsteter Anteil: TD 3 (Magenta)

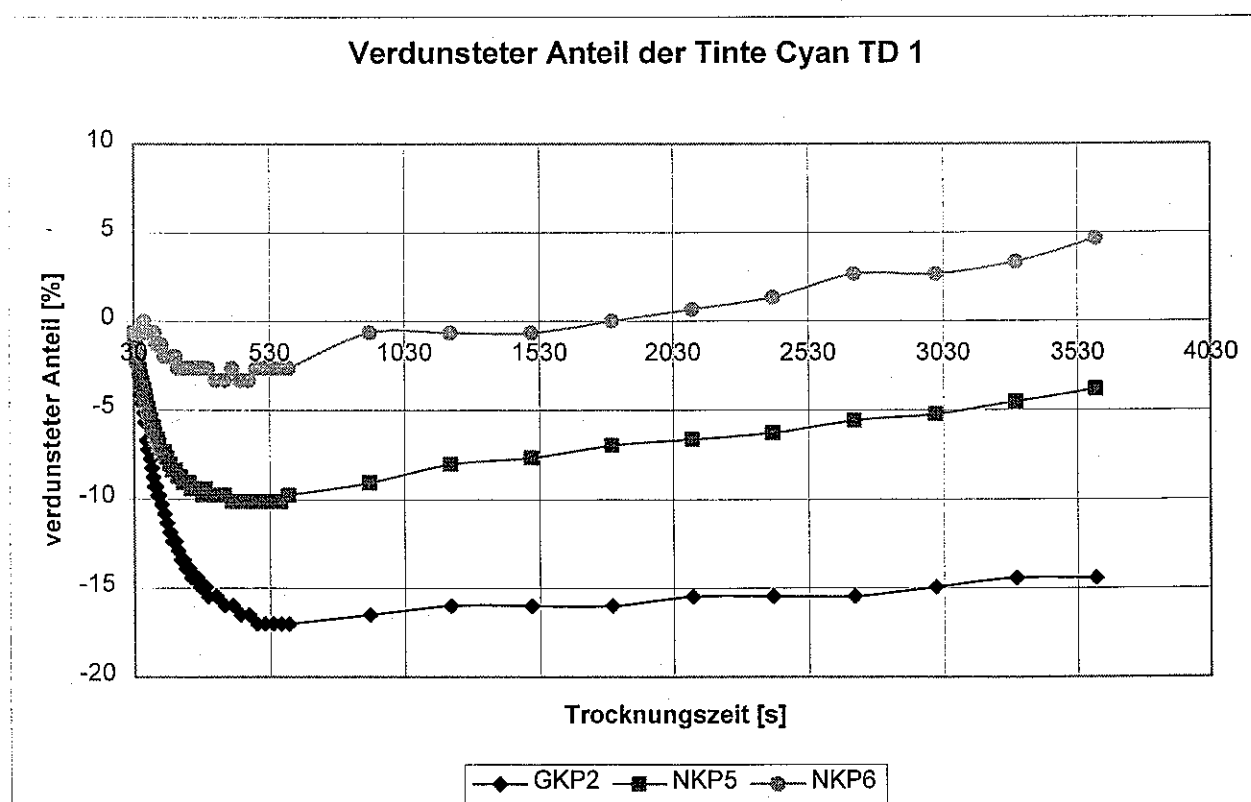


Abbildung A.1.3-64: Verdunsteter Anteil: TD 1 (Cyan)

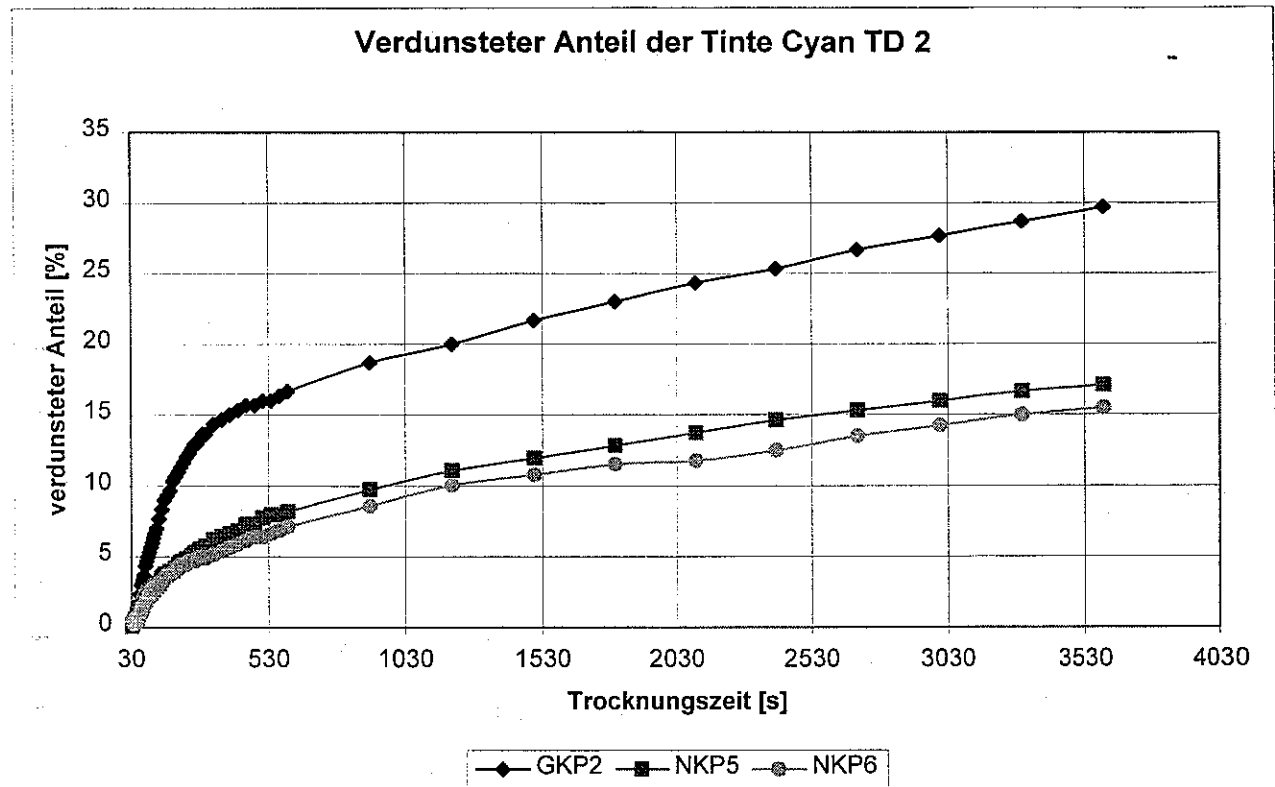


Abbildung A.1.3-65: Verdunsteter Anteil: TD 2 (Cyan)

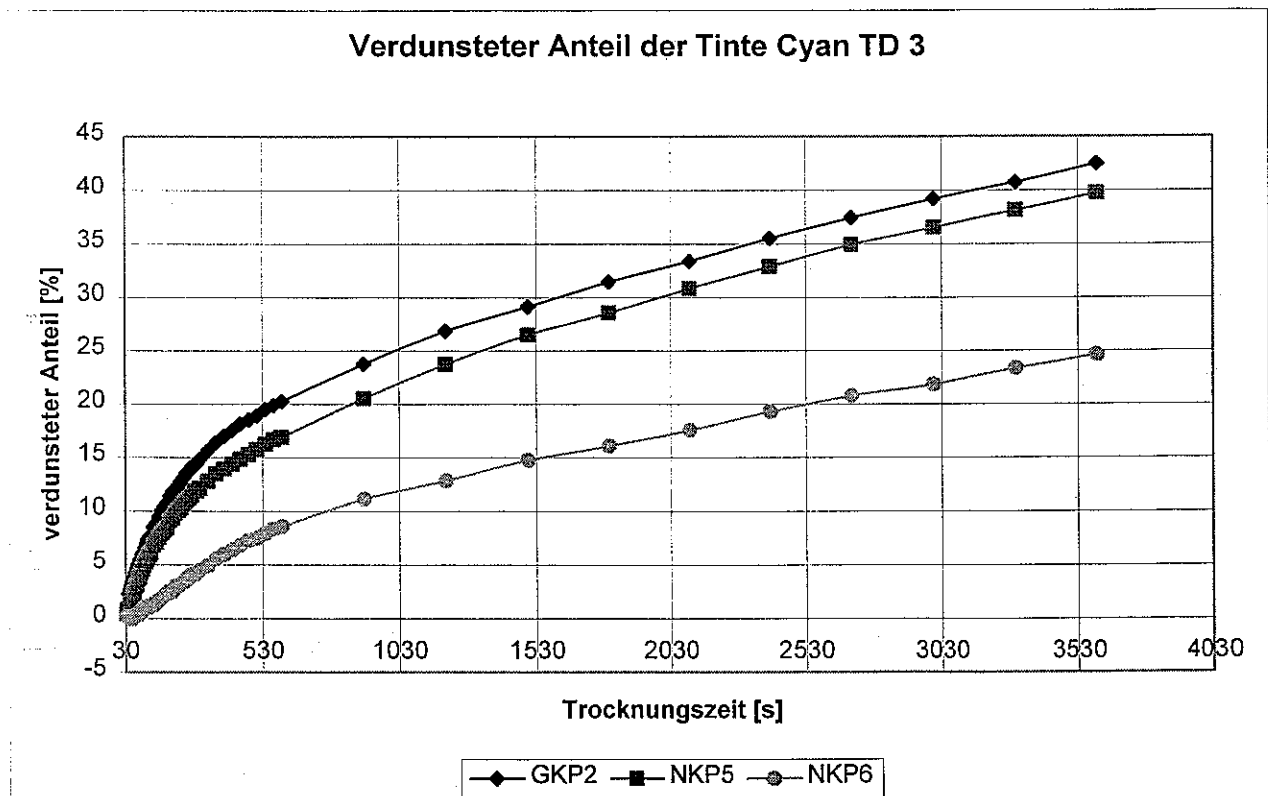


Abbildung A.1.3-66: Verdunsteter Anteil: TD 3 (Cyan)

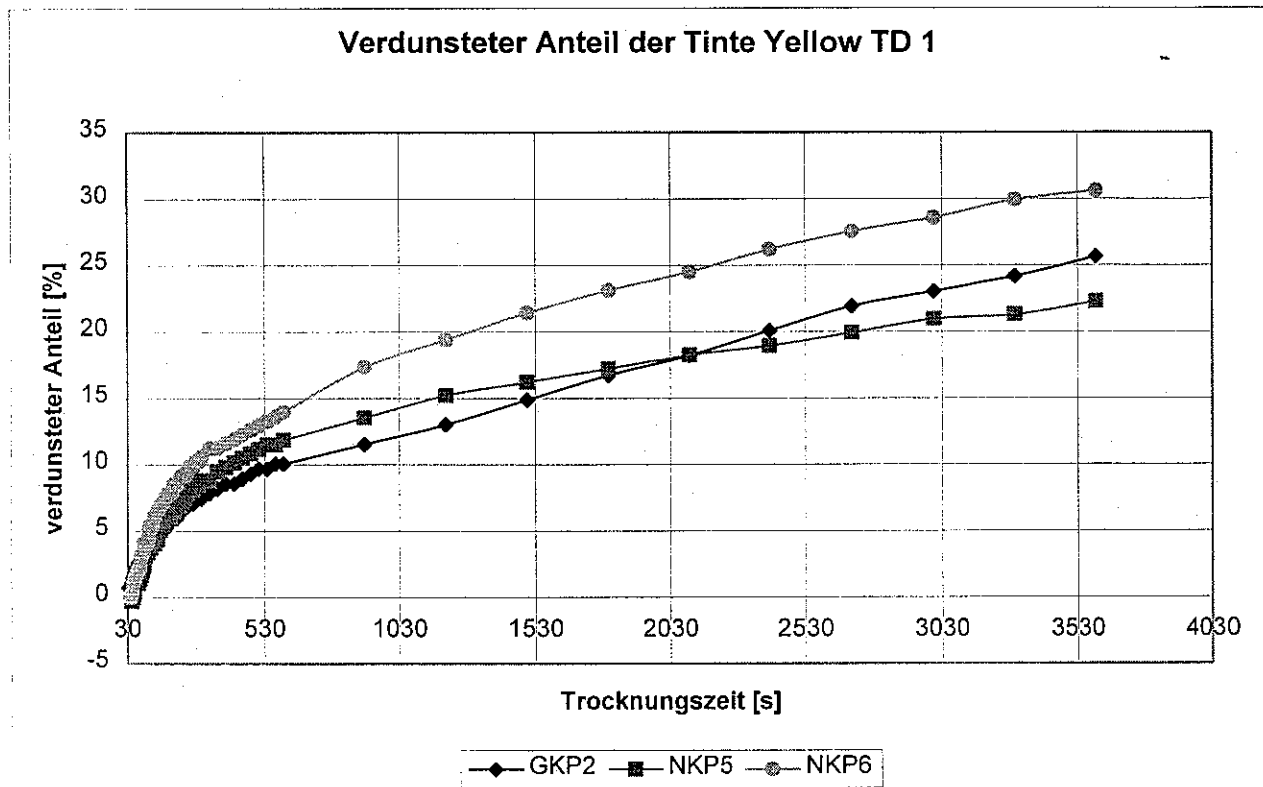


Abbildung A.1.3-67: Verdunsteter Anteil: TD 1 (Yellow)

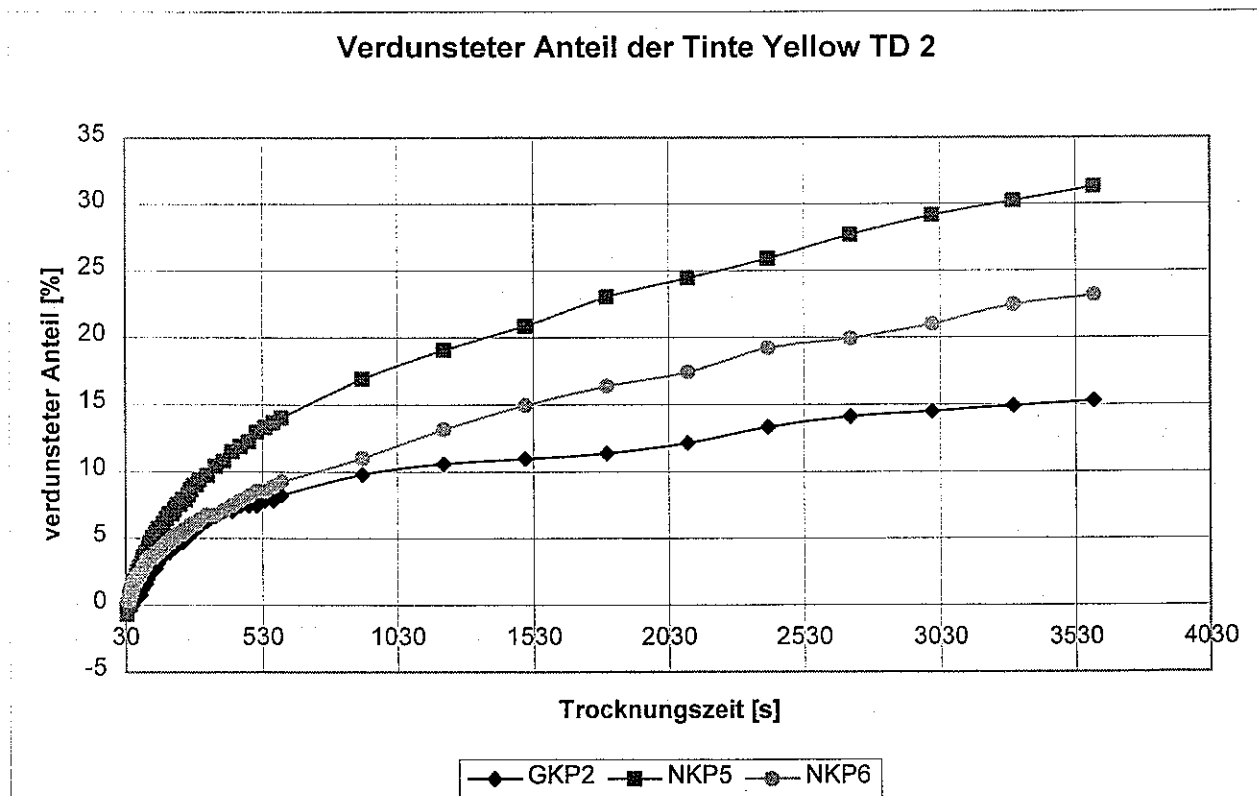


Abbildung A.1.3-68: Verdunsteter Anteil: TD 2 (Yellow)

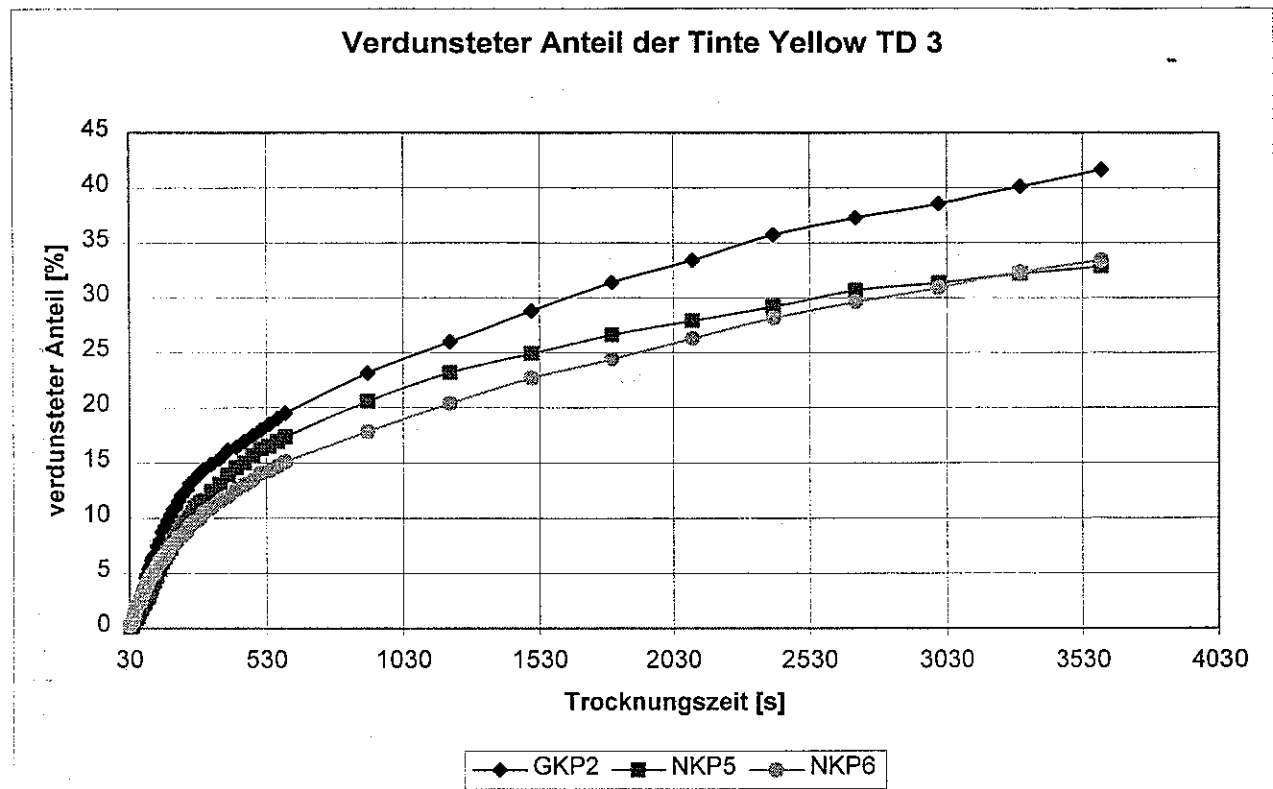


Abbildung A.1.3-69: Verdunsteter Anteil: TD 3 (Yellow)

A.1.4 Farbauftrag (zu Kapitel 4.5)

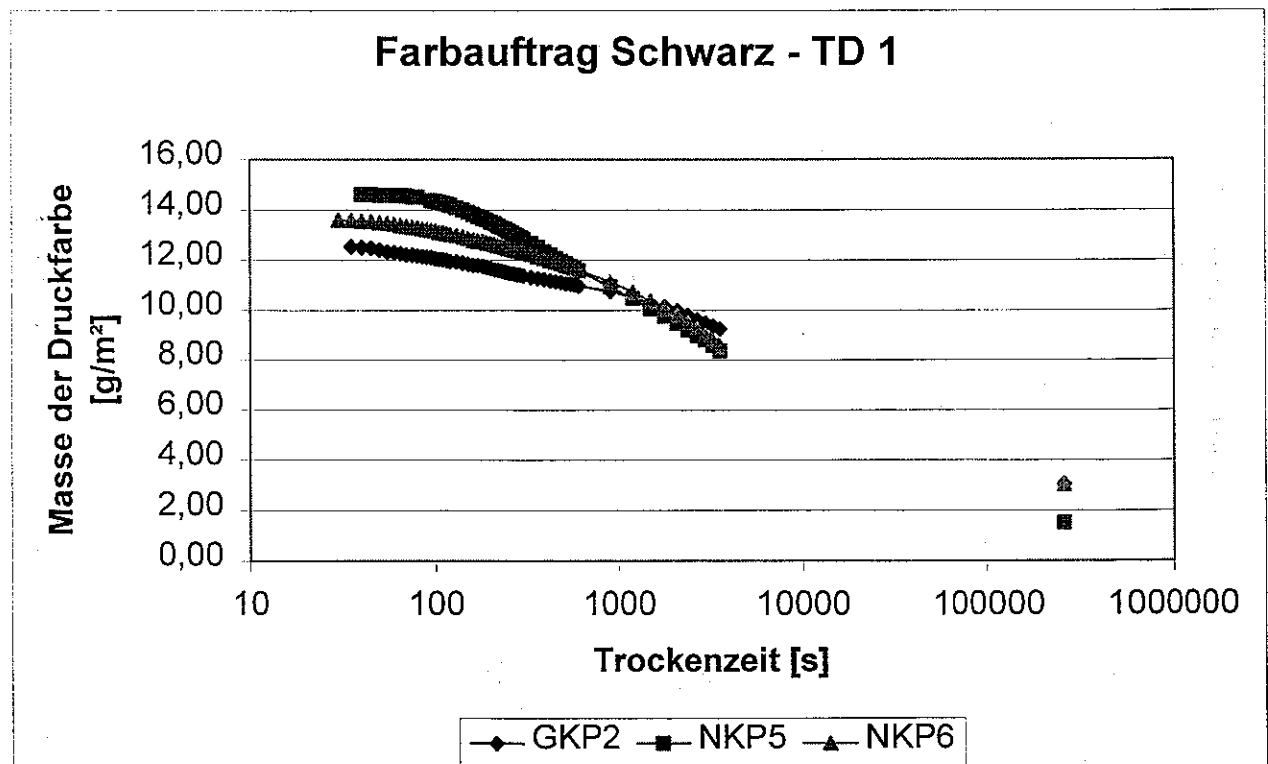


Abbildung A.1.4-1: Farbauftrag: TD 1 (Schwarz)

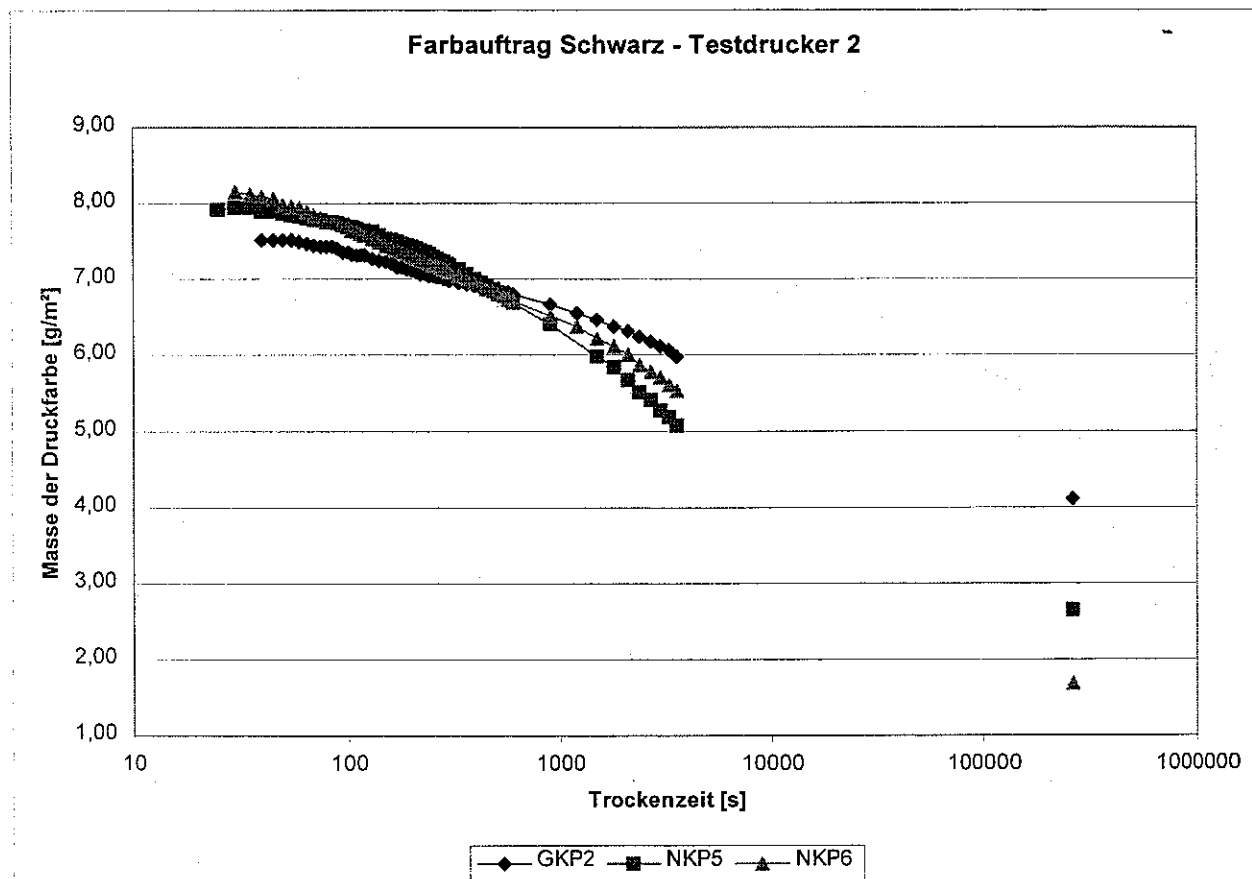


Abbildung A.1.4-2: Farbauftrag: TD 2 (Schwarz)

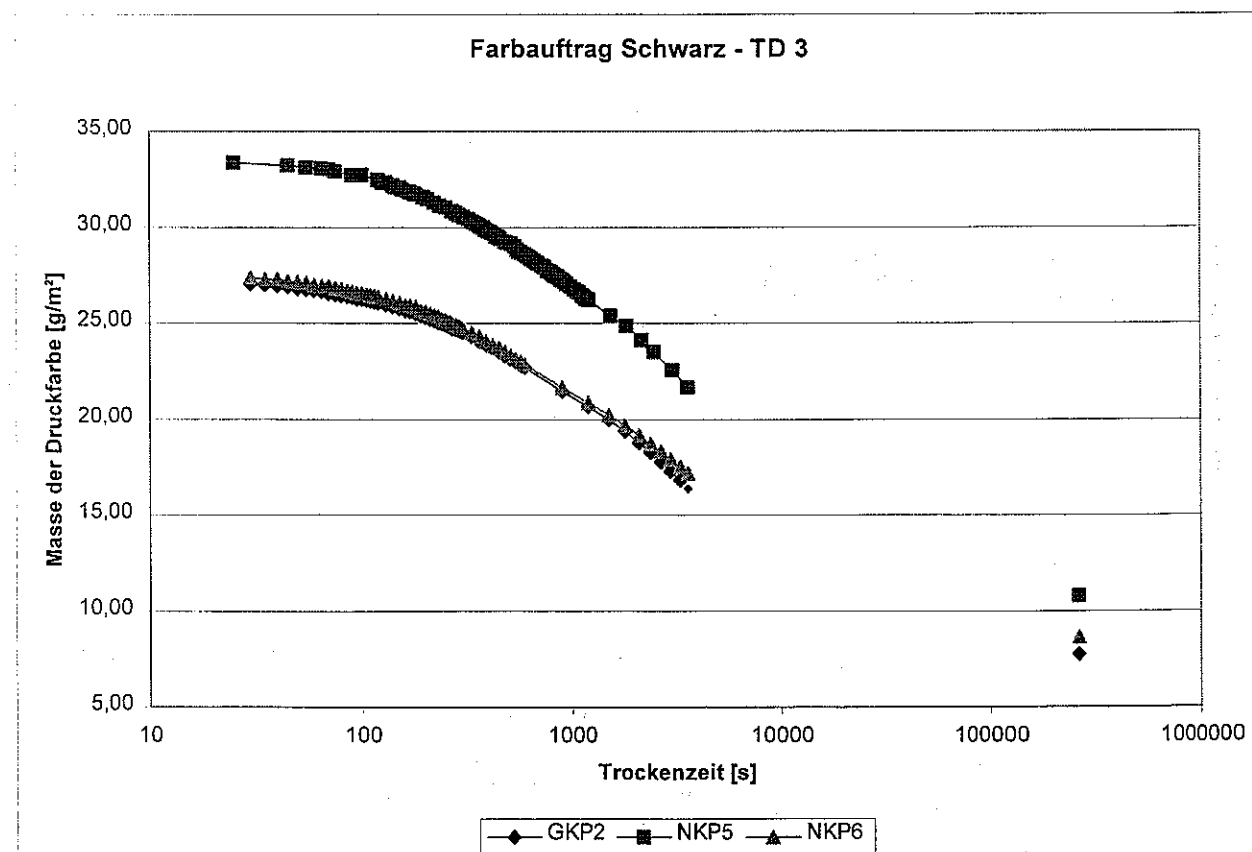


Abbildung A.1.4-3: Farbauftrag: TD 3 (Schwarz)

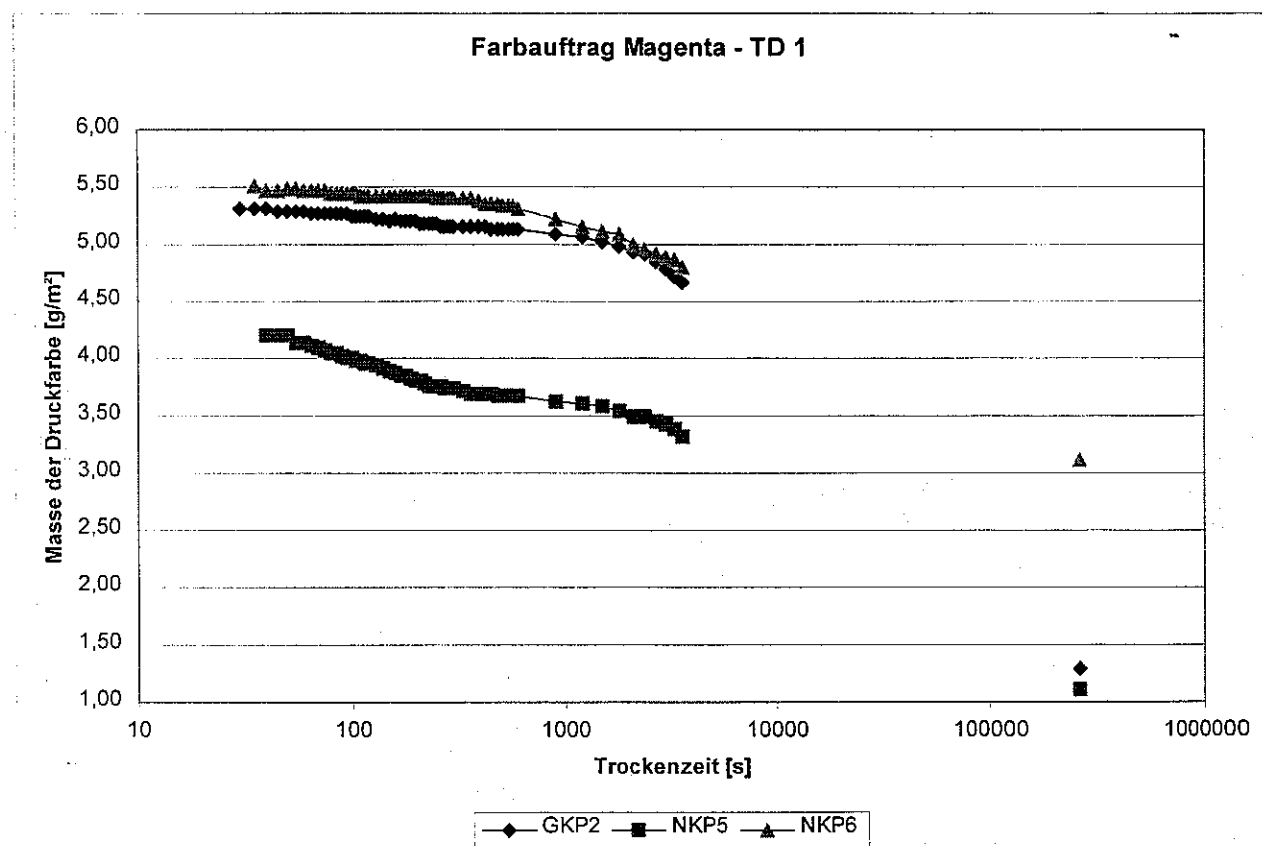


Abbildung A.1.4-4: Farbauftrag: TD 1 (Magenta)

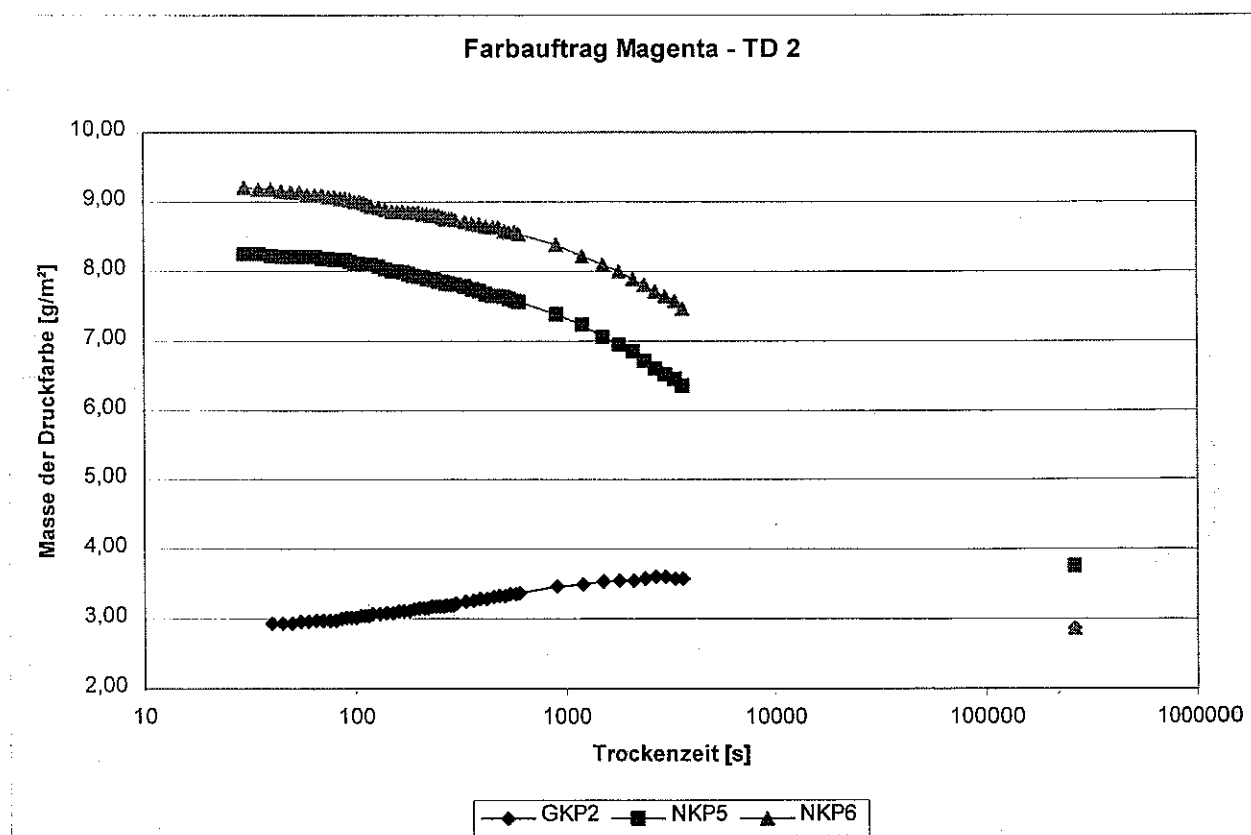


Abbildung A.1.4-5: Farbauftrag: TD 2 (Magenta)

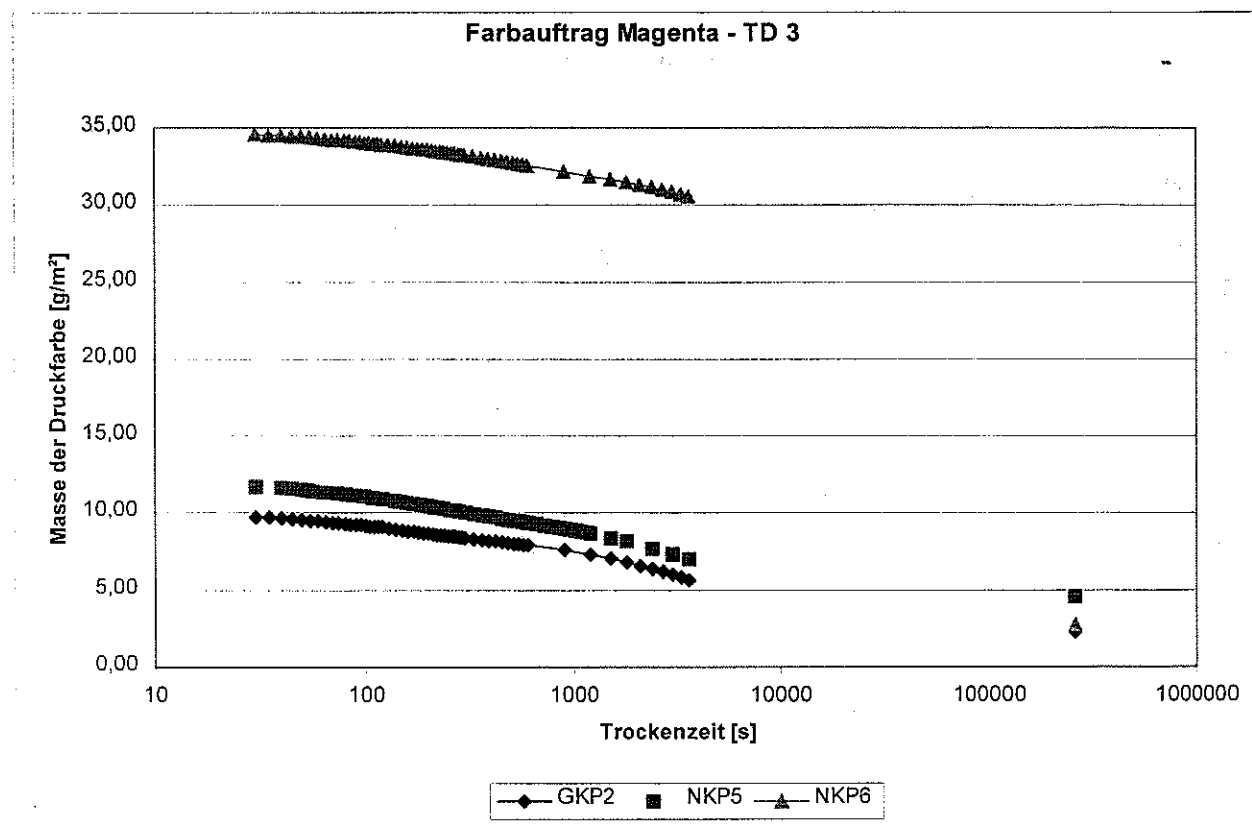


Abbildung A.1.4-6: Farbauftrag: TD 3 (Magenta)

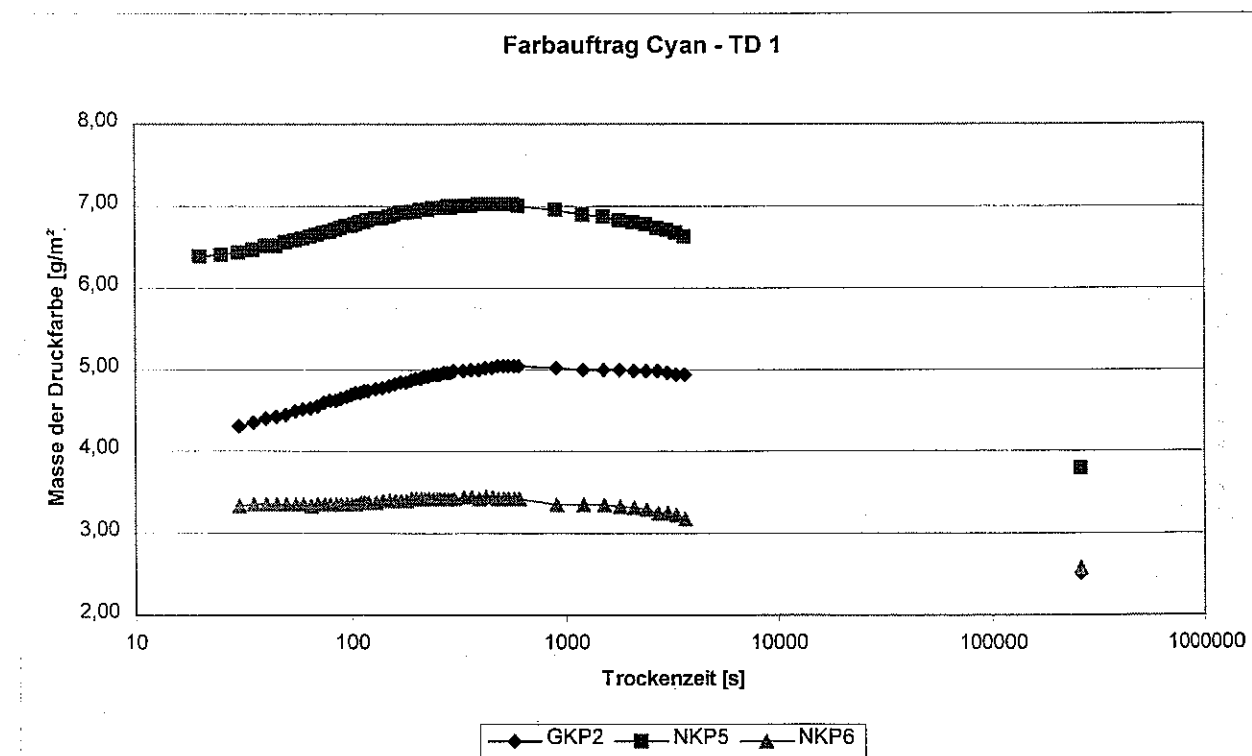


Abbildung A.1.4-7: Farbauftrag: TD 1 (Cyan)

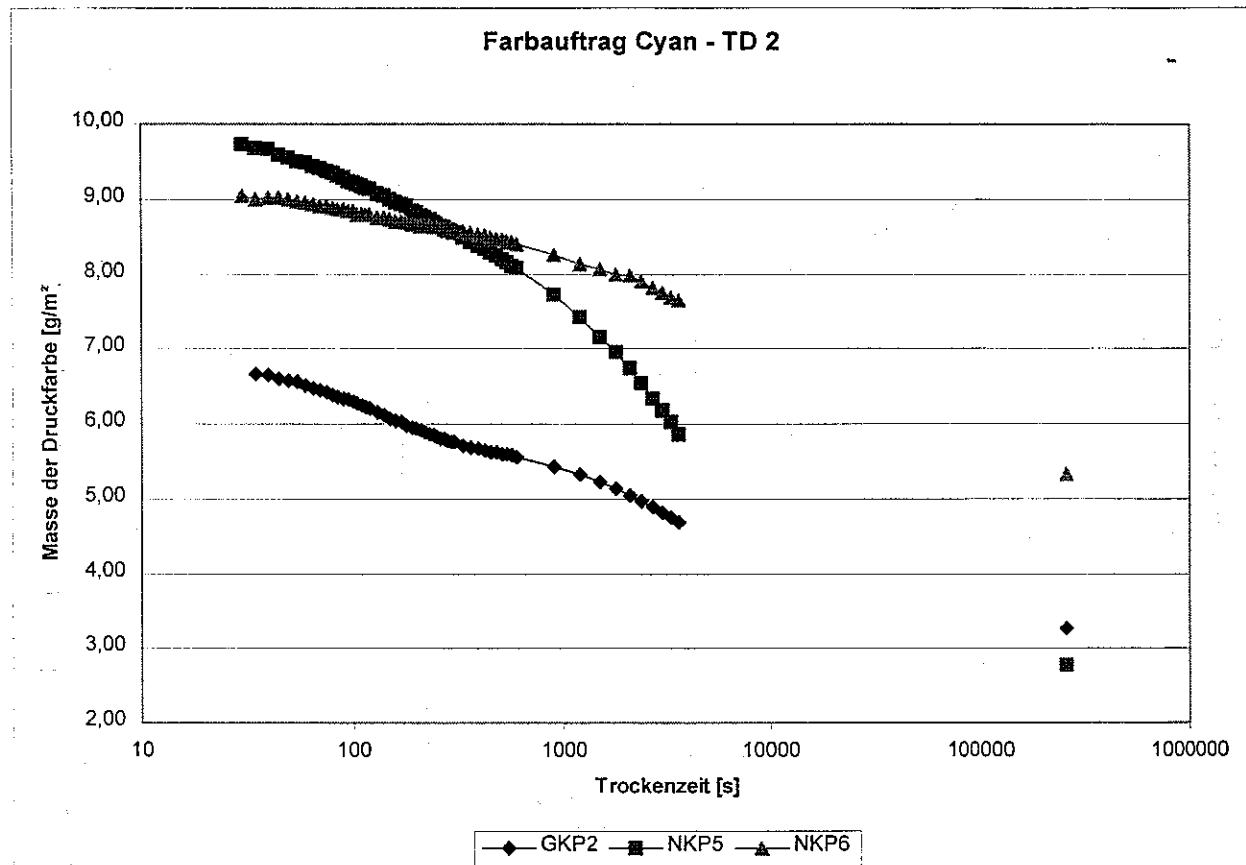


Abbildung A.1.4-8: Farbauftrag: TD 2 (Cyan)

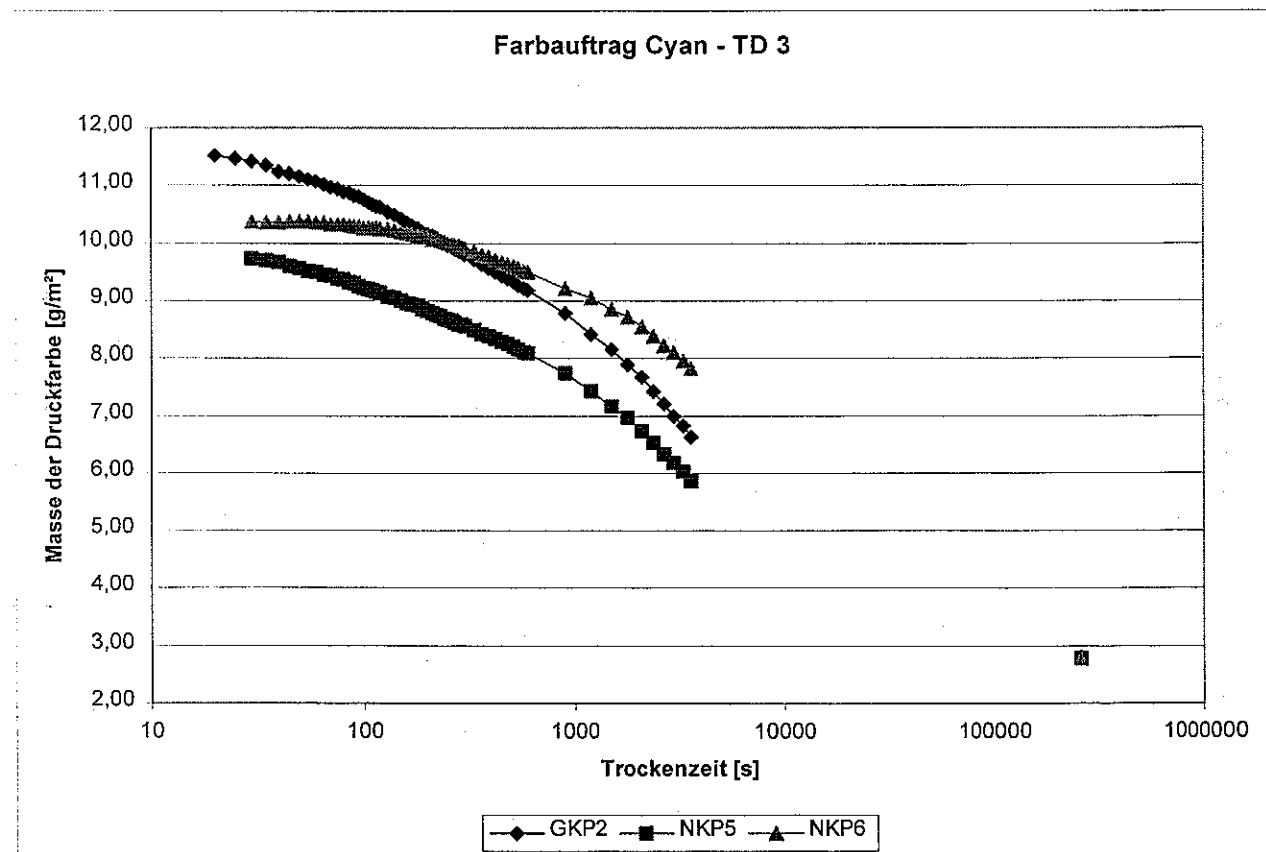


Abbildung A.1.4-9: Farbauftrag: TD 3 (Cyan)

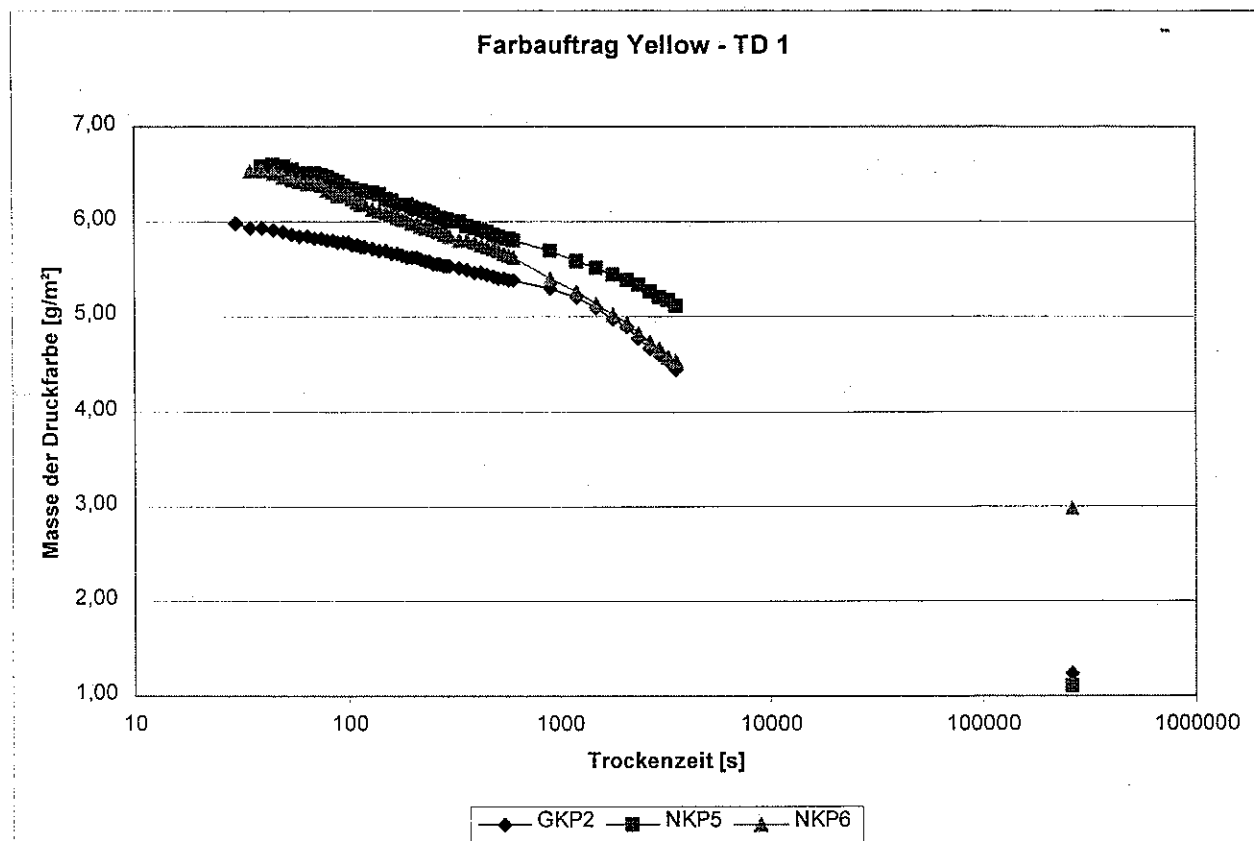


Abbildung A.1.4-10: Farbauftrag: TD 1 (Yellow)

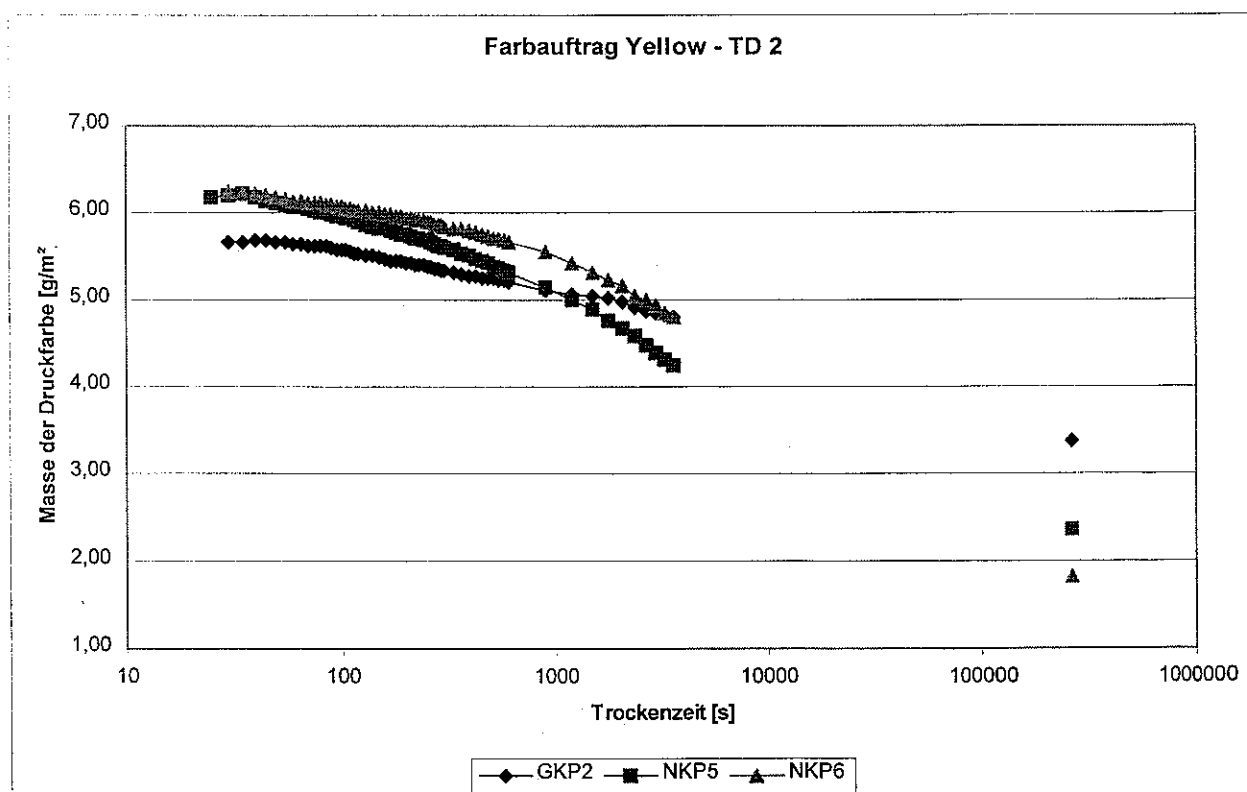


Abbildung A.1.4-11: Farbauftrag: TD 2 (Yellow)

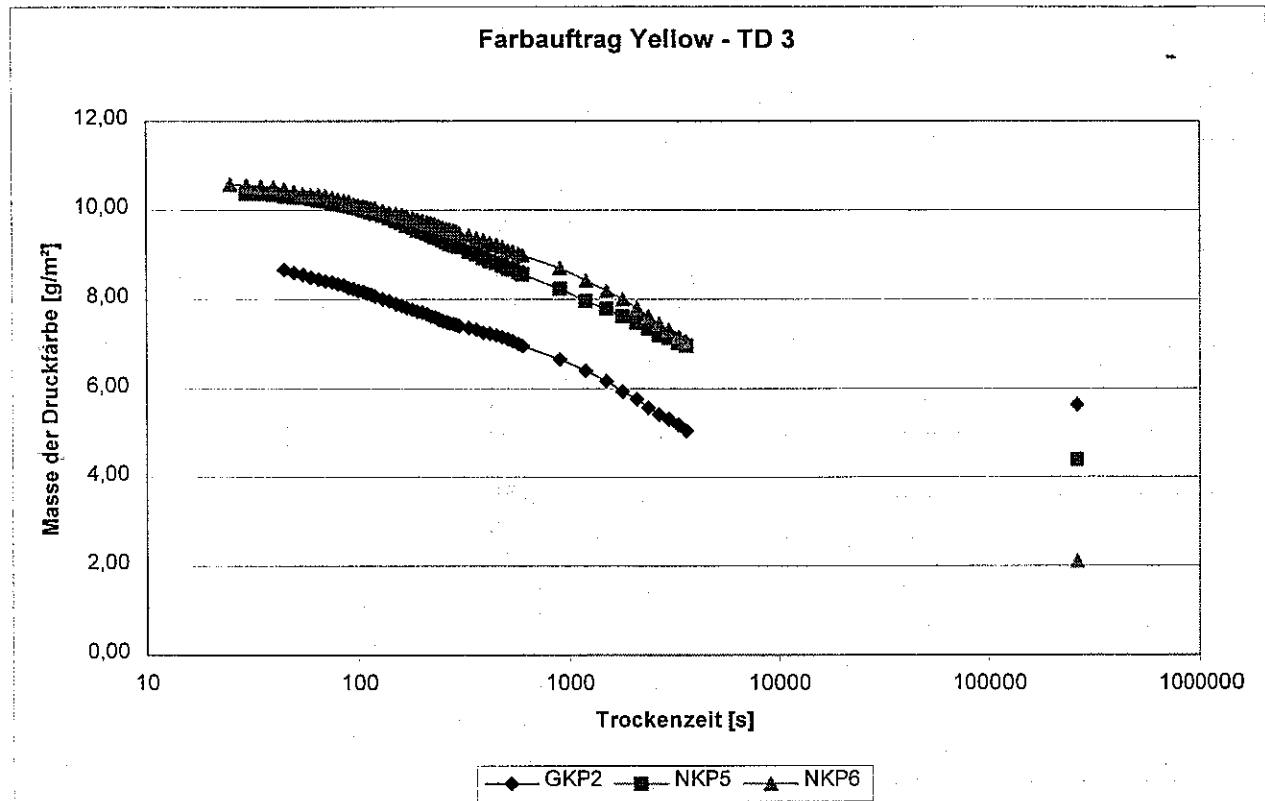


Abbildung A.1.4-12: Farbauftrag: TD 3 (Yellow)

A.1.5 Feathering and wicking (zu Kapitel 5.1)

Nummer des Bild- punktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
1	1	2,34	4	6,12	2,614
2	464	1086,22	100	153,00	0,141
3	425	994,93	94	143,82	0,145
4	309	723,37	88	134,64	0,186
5	91	213,03	56	85,68	0,402
6	9	21,07	20	30,60	1,452
7	615	1439,72	118	180,54	0,125
8	508	1189,23	114	174,42	0,147
9	5	11,71	12	18,36	1,569
10	42	98,32	30	45,90	0,467
11	2	4,68	6	9,18	1,961
12	2	4,68	6	9,18	1,961
13	506	1184,55	108	165,24	0,139
14	604	1413,96	120	183,60	0,130
15	520	1217,32	122	186,66	0,153
16	650	1521,65	136	208,08	0,137
17	2	4,68	6	9,18	1,961
18	1	2,34	4	6,12	2,614
19	1	2,34	4	6,12	2,614
20	607	1420,99	118	180,54	0,127
21	648	1516,97	122	186,66	0,123
22	492	1151,77	104	159,12	0,138
23	577	1350,76	110	168,30	0,125
24	493	1154,11	104	159,12	0,138
25	564	1320,32	122	186,66	0,141
26	552	1292,23	122	186,66	0,144
27	566	1325,01	110	168,30	0,127
28	559	1308,62	110	168,30	0,129
29	460	1076,86	102	156,06	0,145
30	547	1280,53	108	165,24	0,129
31	536	1254,78	110	168,30	0,134
32	4	9,36	8	12,24	1,307
33	193	451,81	74	113,22	0,251
34	470	1100,27	102	156,06	0,142
35	728	1704,25	140	214,20	0,126
36	3	7,02	8	12,24	1,743
37	436	1020,68	98	149,94	0,147
38	478	1119,00	102	156,06	0,139
39	636	1488,88	120	183,60	0,123
40	8	18,73	12	18,36	0,980
41	435	1018,34	102	156,06	0,153
42	501	1172,84	104	159,12	0,136
43	487	1140,07	106	162,18	0,142
44	590	1381,19	118	180,54	0,131
45	530	1240,73	106	162,18	0,131
46	305	714,01	94	143,82	0,201
47	121	283,26	64	97,92	0,346
48	402	941,08	92	140,76	0,150
49	477	1116,66	108	165,24	0,148
50	607	1420,99	114	174,42	0,123
51	561	1313,30	112	171,36	0,130
52	447	1046,43	102	156,06	0,149
53	568	1329,69	120	183,60	0,138
54	629	1472,49	116	177,48	0,121

Nummer des Bild- punktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
55	6	14,05	12	18,36	1,307
56	21	49,16	32	48,96	0,996
57	459	1074,52	110	168,30	0,157
58	27	63,21	38	58,14	0,920
59	439	1027,70	106	162,18	0,158
60	24	56,18	50	76,50	1,362
61	524	1226,68	128	195,84	0,160
62	71	166,21	40	61,20	0,368
63	92	215,37	66	100,98	0,469
64	290	678,89	126	192,78	0,284
65	528	1236,05	108	165,24	0,134
66	5	11,71	14	21,42	1,830
67	12	28,09	26	39,78	1,416
68	503	1177,52	118	180,54	0,153
69	313	732,73	88	134,64	0,184
70	15	35,12	26	39,78	1,133
71	10	23,41	22	33,66	1,438
72	589	1378,85	124	189,72	0,138
73	483	1130,70	110	168,30	0,149
74	79	184,94	48	73,44	0,397
75	35	81,94	38	58,14	0,710
76	674	1577,83	142	217,26	0,138
77	419	980,88	120	183,60	0,187
78	40	93,64	38	58,14	0,621
79	431	1008,97	114	174,42	0,173
80	602	1409,28	118	180,54	0,128
81	562	1315,64	110	168,30	0,128
82	598	1399,92	116	177,48	0,127
83	478	1119,00	102	156,06	0,139
84	415	971,52	150	229,50	0,236
85	596	1395,24	112	171,36	0,123
86	137	320,72	66	100,98	0,315
87	532	1245,41	114	174,42	0,140
88	652	1526,33	122	186,66	0,122
89	554	1296,91	138	211,14	0,163
90	16	37,46	34	52,02	1,389
91	602	1409,28	116	177,48	0,126
92	61	142,80	50	76,50	0,536
93	598	1399,92	124	189,72	0,136
94	577	1350,76	182	278,46	0,206
95	24	56,18	50	76,50	1,362
96	29	67,89	60	91,80	1,352
97	467	1093,25	98	149,94	0,137
98	459	1074,52	100	153,00	0,142
99	473	1107,29	104	159,12	0,144
100	494	1156,45	130	198,90	0,172
101	16	37,46	34	52,02	1,389
102	496	1161,14	106	162,18	0,140
103	567	1327,35	128	195,84	0,148
104	844	1975,80	982	1502,46	0,760
105	5	11,71	12	18,36	1,569
MW					0,654
StAbw.					0,644

Tabelle A.1.5-1: Formfaktor GKP 2-1/ TD 2

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
1	480	1123,68	138	211,14	0,188
2	625	1463,13	134	205,02	0,140
3	534	1250,09	164	250,92	0,201
4	1111	2600,85	326	498,78	0,192
5	1	2,34	4	6,12	2,614
6	1	2,34	4	6,12	2,614
7	2	4,68	6	9,18	1,961
8	661	1547,40	158	241,74	0,156
9	2	4,68	6	9,18	1,961
10	1	2,34	4	6,12	2,614
11	1	2,34	4	6,12	2,614
12	1	2,34	4	6,12	2,614
13	2	4,68	6	9,18	1,961
14	1	2,34	4	6,12	2,614
15	1	2,34	4	6,12	2,614
16	1	2,34	4	6,12	2,614
17	2	4,68	6	9,18	1,961
18	2	4,68	6	9,18	1,961
19	2058	4817,78	432	660,96	0,137
20	1	2,34	4	6,12	2,614
21	313	732,73	98	149,94	0,205
22	19	44,48	30	45,90	1,032
23	571	1336,71	130	198,90	0,149
24	221	517,36	194	296,82	0,574
25	1	2,34	4	6,12	2,614
26	1	2,34	4	6,12	2,614
27	699	1636,36	154	235,62	0,144
28	1	2,34	4	6,12	2,614
29	1	2,34	4	6,12	2,614
30	1	2,34	4	6,12	2,614
31	551	1289,89	148	226,44	0,176
32	1	2,34	4	6,12	2,614
33	1	2,34	4	6,12	2,614
34	1	2,34	4	6,12	2,614
35	2	4,68	6	9,18	1,961
36	1	2,34	4	6,12	2,614
37	355	831,06	138	211,14	0,254
38	22	51,50	22	33,66	0,654
39	1	2,34	4	6,12	2,614
40	1	2,34	4	6,12	2,614
41	1	2,34	4	6,12	2,614
42	6	14,05	12	18,36	1,307
43	278	650,80	102	156,06	0,240
44	1	2,34	4	6,12	2,614
45	1203	2816,22	348	532,44	0,189
46	2	4,68	6	9,18	1,961
47	505	1182,21	144	220,32	0,186
48	408	955,13	114	174,42	0,183
49	195	456,50	100	153,00	0,335
50	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
51	1	2,34	4	6,12	2,614
52	177	414,36	76	116,28	0,281
53	1	2,34	4	6,12	2,614
54	8	18,73	14	21,42	1,144
55	2	4,68	6	9,18	1,961
56	73	170,89	94	143,82	0,842
57	1	2,34	4	6,12	2,614
58	3	7,02	8	12,24	1,743
59	3	7,02	8	12,24	1,743
60	27	63,21	32	48,96	0,775
61	1	2,34	4	6,12	2,614
62	2	4,68	6	9,18	1,961
63	1	2,34	4	6,12	2,614
64	1	2,34	4	6,12	2,614
65	499	1168,16	242	370,26	0,317
66	332	777,21	182	278,46	0,358
67	1	2,34	4	6,12	2,614
68	1	2,34	4	6,12	2,614
69	1	2,34	4	6,12	2,614
70	1	2,34	4	6,12	2,614
71	1	2,34	4	6,12	2,614
72	18	42,14	22	33,66	0,799
73	1	2,34	4	6,12	2,614
74	1	2,34	4	6,12	2,614
75	1	2,34	4	6,12	2,614
76	9	21,07	14	21,42	1,017
77	4	9,36	10	15,30	1,634
78	1	2,34	4	6,12	2,614
79	1	2,34	4	6,12	2,614
80	1	2,34	4	6,12	2,614
81	109	255,17	76	116,28	0,456
82	1	2,34	4	6,12	2,614
83	1	2,34	4	6,12	2,614
84	342	800,62	128	195,84	0,245
85	2	4,68	6	9,18	1,961
86	7	16,39	14	21,42	1,307
87	1	2,34	4	6,12	2,614
88	1	2,34	4	6,12	2,614
89	1	2,34	4	6,12	2,614
90	123	287,94	118	180,54	0,627
91	2	4,68	6	9,18	1,961
92	3	7,02	8	12,24	1,743
93	566	1325,01	144	220,32	0,166
94	1	2,34	4	6,12	2,614
95	8	18,73	16	24,48	1,307
96	1	2,34	4	6,12	2,614
97	394	922,35	110	168,30	0,182
98	201	470,54	100	153,00	0,325
99	25	58,53	22	33,66	0,575
100	217	508,00	84	128,52	0,253
101	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
102	251	587,59	138	211,14	0,359
103	406	950,45	100	153,00	0,161
104	292	683,57	100	153,00	0,224
105	1	2,34	4	6,12	2,614
106	1	2,34	4	6,12	2,614
107	1	2,34	4	6,12	2,614
108	1	2,34	4	6,12	2,614
109	1	2,34	4	6,12	2,614
110	6	14,05	12	18,36	1,307
111	298	697,62	150	229,50	0,329
112	19	44,48	24	36,72	0,826
113	1	2,34	4	6,12	2,614
114	1	2,34	4	6,12	2,614
115	102	238,78	134	205,02	0,859
116	7	16,39	14	21,42	1,307
117	660	1545,06	180	275,40	0,178
118	5	11,71	12	18,36	1,569
119	5	11,71	10	15,30	1,307
120	1	2,34	4	6,12	2,614
121	3	7,02	8	12,24	1,743
122	122	285,60	64	97,92	0,343
123	1	2,34	4	6,12	2,614
124	97	227,08	78	119,34	0,526
125	7	16,39	12	18,36	1,120
126	1	2,34	4	6,12	2,614
127	1	2,34	4	6,12	2,614
128	1	2,34	4	6,12	2,614
129	4	9,36	8	12,24	1,307
130	693	1622,31	142	217,26	0,134
131	227	531,41	84	128,52	0,242
132	355	831,06	126	192,78	0,232
133	46	107,69	40	61,20	0,568
134	1	2,34	4	6,12	2,614
135	1	2,34	4	6,12	2,614
136	108	252,83	62	94,86	0,375
137	1	2,34	4	6,12	2,614
138	9	21,07	16	24,48	1,162
139	5	11,71	10	15,30	1,307
140	3	7,02	8	12,24	1,743
141	3	7,02	8	12,24	1,743
142	5	11,71	12	18,36	1,569
143	155	362,86	66	100,98	0,278
144	192	449,47	80	122,40	0,272
145	70	163,87	82	125,46	0,766
146	284	664,84	86	131,58	0,198
147	1	2,34	4	6,12	2,614
148	43	100,66	52	79,56	0,790
149	1	2,34	4	6,12	2,614
150	3	7,02	8	12,24	1,743
151	133	311,35	96	146,88	0,472
152	10	23,41	22	33,66	1,438

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
153	64	149,82	72	110,16	0,735
154	44	103,00	36	55,08	0,535
155	10	23,41	14	21,42	0,915
156	1	2,34	4	6,12	2,614
157	1	2,34	4	6,12	2,614
158	19	44,48	40	61,20	1,376
159	448	1048,77	136	208,08	0,198
160	1	2,34	4	6,12	2,614
161	5	11,71	10	15,30	1,307
162	320	749,12	104	159,12	0,212
163	67	156,85	56	85,68	0,546
164	195	456,50	108	165,24	0,362
165	1	2,34	4	6,12	2,614
166	3	7,02	8	12,24	1,743
167	1	2,34	4	6,12	2,614
168	2	4,68	6	9,18	1,961
169	511	1196,25	262	400,86	0,335
170	2	4,68	6	9,18	1,961
171	1420	3324,22	288	440,64	0,133
172	2	4,68	6	9,18	1,961
173	78	182,60	74	113,22	0,620
174	5	11,71	10	15,30	1,307
175	1	2,34	4	6,12	2,614
176	75	175,58	86	131,58	0,749
177	1	2,34	4	6,12	2,614
178	1	2,34	4	6,12	2,614
179	369	863,83	106	162,18	0,188
180	17	39,80	22	33,66	0,846
181	524	1226,68	208	318,24	0,259
182	281	657,82	90	137,70	0,209
183	272	636,75	128	195,84	0,308
184	1	2,34	4	6,12	2,614
185	4	9,36	10	15,30	1,634
186	1	2,34	4	6,12	2,614
187	18	42,14	24	36,72	0,871
188	2	4,68	6	9,18	1,961
189	1	2,34	4	6,12	2,614
190	1	2,34	4	6,12	2,614
191	2	4,68	6	9,18	1,961
192	21	49,16	36	55,08	1,120
193	1	2,34	4	6,12	2,614
194	3	7,02	8	12,24	1,743
195	417	976,20	120	183,60	0,188
196	1	2,34	4	6,12	2,614
197	1	2,34	4	6,12	2,614
198	1	2,34	4	6,12	2,614
199	26	60,87	52	79,56	1,307
200	1	2,34	4	6,12	2,614
201	24	56,18	28	42,84	0,762
202	136	318,38	64	97,92	0,308
203	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
204	61	142,80	38	58,14	0,407
205	1	2,34	4	6,12	2,614
206	2	4,68	6	9,18	1,961
207	2	4,68	6	9,18	1,961
208	4	9,36	12	18,36	1,961
209	537	1257,12	234	358,02	0,285
210	248	580,57	94	143,82	0,248
211	6	14,05	12	18,36	1,307
212	78	182,60	58	88,74	0,486
213	2	4,68	6	9,18	1,961
214	1	2,34	4	6,12	2,614
215	4	9,36	8	12,24	1,307
216	82	191,96	52	79,56	0,414
217	365	854,47	130	198,90	0,233
218	18	42,14	28	42,84	1,017
219	2	4,68	6	9,18	1,961
220	1	2,34	4	6,12	2,614
221	2	4,68	6	9,18	1,961
222	48	112,37	44	67,32	0,599
223	2	4,68	6	9,18	1,961
224	591	1383,53	184	281,52	0,203
225	52	121,73	46	70,38	0,578
226	123	287,94	82	125,46	0,436
227	1	2,34	4	6,12	2,614
228	266	622,71	84	128,52	0,206
229	259	606,32	90	137,70	0,227
230	200	468,20	112	171,36	0,366
231	2	4,68	6	9,18	1,961
232	25	58,53	28	42,84	0,732
233	9	21,07	20	30,60	1,452
234	34	79,59	56	85,68	1,076
235	1	2,34	4	6,12	2,614
236	3	7,02	10	15,30	2,179
237	2	4,68	6	9,18	1,961
238	6	14,05	14	21,42	1,525
239	1	2,34	4	6,12	2,614
240	1	2,34	4	6,12	2,614
241	34	79,59	34	52,02	0,654
242	1	2,34	4	6,12	2,614
243	38	88,96	26	39,78	0,447
244	147	344,13	88	134,64	0,391
245	2	4,68	6	9,18	1,961
246	95	222,40	52	79,56	0,358
247	3	7,02	10	15,30	2,179
248	295	690,60	154	235,62	0,341
249	3	7,02	8	12,24	1,743
250	5	11,71	12	18,36	1,569
251	1	2,34	4	6,12	2,614
252	11	25,75	24	36,72	1,426
253	2	4,68	6	9,18	1,961
254	13	30,43	30	45,90	1,508

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
255	21	49,16	44	67,32	1,369
256	376	880,22	134	205,02	0,233
257	1	2,34	4	6,12	2,614
258	15	35,12	22	33,66	0,959
259	1	2,34	4	6,12	2,614
260	1	2,34	4	6,12	2,614
261	1	2,34	4	6,12	2,614
262	4	9,36	10	15,30	1,634
263	3	7,02	8	12,24	1,743
264	6	14,05	14	21,42	1,525
265	277	648,46	100	153,00	0,236
266	19	44,48	32	48,96	1,101
267	24	56,18	54	82,62	1,471
268	18	42,14	38	58,14	1,380
269	8	18,73	16	24,48	1,307
270	47	110,03	56	85,68	0,779
271	97	227,08	54	82,62	0,364
272	233	545,45	140	214,20	0,393
273	6	14,05	14	21,42	1,525
274	151	353,49	88	134,64	0,381
275	1	2,34	4	6,12	2,614
276	93	217,71	56	85,68	0,394
277	174	407,33	76	116,28	0,285
278	382	894,26	168	257,04	0,287
279	580	1357,78	154	235,62	0,174
280	1	2,34	4	6,12	2,614
281	534	1250,09	158	241,74	0,193
282	32	74,91	52	79,56	1,062
283	21	49,16	20	30,60	0,622
284	350	819,35	140	214,20	0,261
285	1	2,34	4	6,12	2,614
286	2	4,68	6	9,18	1,961
287	1	2,34	4	6,12	2,614
288	157	367,54	76	116,28	0,316
289	1	2,34	4	6,12	2,614
290	15	35,12	32	48,96	1,394
291	1	2,34	4	6,12	2,614
292	62	145,14	72	110,16	0,759
293	2	4,68	6	9,18	1,961
294	4	9,36	10	15,30	1,634
295	1101	2577,44	416	636,48	0,247
296	1	2,34	4	6,12	2,614
297	1	2,34	4	6,12	2,614
298	107	250,49	72	110,16	0,440
299	526	1231,37	146	223,38	0,181
300	1	2,34	4	6,12	2,614
301	7	16,39	14	21,42	1,307
302	1	2,34	4	6,12	2,614
303	1	2,34	4	6,12	2,614
304	1	2,34	4	6,12	2,614
305	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
306	1	2,34	4	6,12	2,614
307	2	4,68	8	12,24	2,614
308	292	683,57	152	232,56	0,340
309	113	264,53	100	153,00	0,578
310	1	2,34	4	6,12	2,614
311	1	2,34	4	6,12	2,614
312	44	103,00	86	131,58	1,277
313	8	18,73	16	24,48	1,307
314	1	2,34	4	6,12	2,614
315	1	2,34	4	6,12	2,614
316	231	540,77	78	119,34	0,221
317	622	1456,10	1074	1643,22	1,129
318	67	156,85	48	73,44	0,468
319	7	16,39	12	18,36	1,120
320	16	37,46	26	39,78	1,062
321	5	11,71	12	18,36	1,569
322	49	114,71	60	91,80	0,800
323	1	2,34	4	6,12	2,614
324	6	14,05	12	18,36	1,307
325	148	346,47	74	113,22	0,327
326	57	133,44	56	85,68	0,642
327	1	2,34	4	6,12	2,614
328	9	21,07	16	24,48	1,162
329	150	351,15	72	110,16	0,314
330	17	39,80	22	33,66	0,846
331	2	4,68	6	9,18	1,961
332	2	4,68	6	9,18	1,961
333	30	70,23	34	52,02	0,741
334	1	2,34	4	6,12	2,614
335	3	7,02	8	12,24	1,743
336	6	14,05	12	18,36	1,307
337	1	2,34	4	6,12	2,614
338	1	2,34	4	6,12	2,614
339	8	18,73	14	21,42	1,144
340	16	37,46	30	45,90	1,225
341	1	2,34	4	6,12	2,614
342	1	2,34	4	6,12	2,614
343	9	21,07	20	30,60	1,452
MW					1,538
StAbw.					0,957

Tabelle A.1.5-2: Formfaktor NKP 5-1/ TD 2

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
1	434	1015,99	112	171,36	0,169
2	279	653,14	106	162,18	0,248
3	350	819,35	100	153,00	0,187
4	396	927,04	138	211,14	0,228
5	3	7,02	8	12,24	1,743
6	2	4,68	6	9,18	1,961
7	1	2,34	4	6,12	2,614
8	2	4,68	6	9,18	1,961
9	1	2,34	4	6,12	2,614
10	36	84,28	30	45,90	0,545
11	195	456,50	112	171,36	0,375
12	1	2,34	4	6,12	2,614
13	43	100,66	36	55,08	0,547
14	1	2,34	4	6,12	2,614
15	118	276,24	88	134,64	0,487
16	1	2,34	4	6,12	2,614
17	591	1383,53	174	266,22	0,192
18	1628	3811,15	404	618,12	0,162
19	1	2,34	4	6,12	2,614
20	1	2,34	4	6,12	2,614
21	7	16,39	16	24,48	1,494
22	10	23,41	14	21,42	0,915
23	471	1102,61	212	324,36	0,294
24	4	9,36	8	12,24	1,307
25	332	777,21	90	137,70	0,177
26	1	2,34	4	6,12	2,614
27	2	4,68	6	9,18	1,961
28	5	11,71	12	18,36	1,569
29	3	7,02	8	12,24	1,743
30	10	23,41	22	33,66	1,438
31	346	809,99	134	205,02	0,253
32	3	7,02	8	12,24	1,743
33	1181	2764,72	356	544,68	0,197
34	1	2,34	4	6,12	2,614
35	1	2,34	4	6,12	2,614
36	33	77,25	32	48,96	0,634
37	1	2,34	4	6,12	2,614
38	1	2,34	4	6,12	2,614
39	1	2,34	4	6,12	2,614
40	1	2,34	4	6,12	2,614
41	1618	3787,74	282	431,46	0,114
42	1	2,34	4	6,12	2,614
43	5	11,71	12	18,36	1,569
44	2	4,68	6	9,18	1,961
45	11	25,75	22	33,66	1,307
46	4	9,36	10	15,30	1,634
47	327	765,51	98	149,94	0,196
48	2	4,68	6	9,18	1,961
49	2	4,68	6	9,18	1,961
50	697	1631,68	186	284,58	0,174
51	1	2,34	4	6,12	2,614
52	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
53	12	28,09	16	24,48	0,871
54	407	952,79	134	205,02	0,215
55	1	2,34	4	6,12	2,614
56	2	4,68	6	9,18	1,961
57	1	2,34	4	6,12	2,614
58	2	4,68	6	9,18	1,961
59	1	2,34	4	6,12	2,614
60	1	2,34	4	6,12	2,614
61	1	2,34	4	6,12	2,614
62	50	117,05	38	58,14	0,497
63	2	4,68	6	9,18	1,961
64	908	2125,63	398	608,94	0,286
65	1	2,34	4	6,12	2,614
66	6	14,05	14	21,42	1,525
67	193	451,81	94	143,82	0,318
68	1	2,34	4	6,12	2,614
69	2	4,68	6	9,18	1,961
70	25	58,53	28	42,84	0,732
71	433	1013,65	118	180,54	0,178
72	14	32,77	22	33,66	1,027
73	1	2,34	4	6,12	2,614
74	1	2,34	4	6,12	2,614
75	429	1004,29	148	226,44	0,225
76	45	105,35	44	67,32	0,639
77	7	16,39	14	21,42	1,307
78	353	826,37	114	174,42	0,211
79	1	2,34	4	6,12	2,614
80	1	2,34	4	6,12	2,614
81	1	2,34	4	6,12	2,614
82	283	662,50	92	140,76	0,212
83	1	2,34	4	6,12	2,614
84	73	170,89	58	88,74	0,519
85	132	309,01	88	134,64	0,436
86	3	7,02	8	12,24	1,743
87	19	44,48	20	30,60	0,688
88	1	2,34	4	6,12	2,614
89	1	2,34	4	6,12	2,614
90	379	887,24	172	263,16	0,297
91	2	4,68	6	9,18	1,961
92	3	7,02	8	12,24	1,743
93	2	4,68	6	9,18	1,961
94	1	2,34	4	6,12	2,614
95	4	9,36	10	15,30	1,634
96	2	4,68	6	9,18	1,961
97	1	2,34	4	6,12	2,614
98	583	1364,80	200	306,00	0,224
99	382	894,26	106	162,18	0,181
100	1	2,34	4	6,12	2,614
101	1	2,34	4	6,12	2,614
102	20	46,82	24	36,72	0,784
103	378	884,90	158	241,74	0,273
104	4	9,36	10	15,30	1,634
105	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
106	105	245,81	80	122,40	0,498
107	1	2,34	4	6,12	2,614
108	364	852,12	174	266,22	0,312
109	1	2,34	4	6,12	2,614
110	2	4,68	6	9,18	1,961
111	2	4,68	6	9,18	1,961
112	2	4,68	6	9,18	1,961
113	31	72,57	36	55,08	0,759
114	8	18,73	12	18,36	0,980
115	351	821,69	92	140,76	0,171
116	12	28,09	20	30,60	1,089
117	549	1285,21	182	278,46	0,217
118	4	9,36	8	12,24	1,307
119	246	575,89	94	143,82	0,250
120	373	873,19	122	186,66	0,214
121	49	114,71	38	58,14	0,507
122	3	7,02	8	12,24	1,743
123	5	11,71	12	18,36	1,569
124	3	7,02	8	12,24	1,743
125	1	2,34	4	6,12	2,614
126	31	72,57	36	55,08	0,759
127	1	2,34	4	6,12	2,614
128	572	1339,05	182	278,46	0,208
129	203	475,22	82	125,46	0,264
130	176	412,02	78	119,34	0,290
131	3	7,02	8	12,24	1,743
132	39	91,30	40	61,20	0,670
133	114	266,87	66	100,98	0,378
134	1	2,34	4	6,12	2,614
135	1	2,34	4	6,12	2,614
136	40	93,64	54	82,62	0,882
137	1	2,34	4	6,12	2,614
138	36	84,28	44	67,32	0,799
139	338	791,26	166	253,98	0,321
140	203	475,22	96	146,88	0,309
141	279	653,14	80	122,40	0,187
142	222	519,70	86	131,58	0,253
143	333	779,55	90	137,70	0,177
144	1	2,34	4	6,12	2,614
145	532	1245,41	160	244,80	0,197
146	50	117,05	62	94,86	0,810
147	4	9,36	10	15,30	1,634
148	23	53,84	48	73,44	1,364
149	18	42,14	28	42,84	1,017
150	182	426,06	112	171,36	0,402
151	37	86,62	40	61,20	0,707
152	1	2,34	4	6,12	2,614
153	1	2,34	4	6,12	2,614
154	149	348,81	126	192,78	0,553
155	286	669,53	104	159,12	0,238
156	1	2,34	4	6,12	2,614
157	1	2,34	4	6,12	2,614
158	191	447,13	144	220,32	0,493

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
159	332	777,21	242	370,26	0,476
160	146	341,79	82	125,46	0,367
161	320	749,12	142	217,26	0,290
162	2	4,68	6	9,18	1,961
163	2	4,68	6	9,18	1,961
164	84	196,64	68	104,04	0,529
165	3	7,02	8	12,24	1,743
166	749	1753,41	242	370,26	0,211
167	17	39,80	36	55,08	1,384
168	22	51,50	40	61,20	1,188
169	3	7,02	8	12,24	1,743
170	331	774,87	112	171,36	0,221
171	155	362,86	62	94,86	0,261
172	37	86,62	38	58,14	0,671
173	1	2,34	4	6,12	2,614
174	32	74,91	38	58,14	0,776
175	80	187,28	80	122,40	0,654
176	360	842,76	184	281,52	0,334
177	23	53,84	26	39,78	0,739
178	45	105,35	50	76,50	0,726
179	3	7,02	8	12,24	1,743
180	19	44,48	24	36,72	0,826
181	4	9,36	8	12,24	1,307
182	1	2,34	4	6,12	2,614
183	1	2,34	4	6,12	2,614
184	1	2,34	4	6,12	2,614
185	18	42,14	38	58,14	1,380
186	76	177,92	48	73,44	0,413
187	12	28,09	18	27,54	0,980
188	348	814,67	126	192,78	0,237
189	125	292,63	70	107,10	0,366
190	4	9,36	10	15,30	1,634
191	448	1048,77	116	177,48	0,169
192	1	2,34	4	6,12	2,614
193	282	660,16	104	159,12	0,241
194	32	74,91	32	48,96	0,654
195	353	826,37	108	165,24	0,200
196	23	53,84	32	48,96	0,909
197	405	948,11	144	220,32	0,232
198	18	42,14	38	58,14	1,380
199	25	58,53	28	42,84	0,732
200	61	142,80	52	79,56	0,557
201	68	159,19	50	76,50	0,481
202	1	2,34	4	6,12	2,614
203	326	763,17	108	165,24	0,217
204	1	2,34	4	6,12	2,614
205	480	1123,68	140	214,20	0,191
206	153	358,17	68	104,04	0,290
207	599	1402,26	152	232,56	0,166
208	69	161,53	58	88,74	0,549
209	84	196,64	54	82,62	0,420
210	284	664,84	88	134,64	0,203
211	1	2,34	4	6,12	2,614

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [1/ μm]
212	7	16,39	12	18,36	1,120
213	2	4,68	8	12,24	2,614
214	1	2,34	4	6,12	2,614
215	78	182,60	56	85,68	0,469
216	301	704,64	84	128,52	0,182
217	1	2,34	4	6,12	2,614
218	41	95,98	28	42,84	0,446
219	142	332,42	112	171,36	0,515
220	1	2,34	4	6,12	2,614
221	22	51,50	26	39,78	0,772
222	216	505,66	124	189,72	0,375
223	4	9,36	10	15,30	1,634
224	121	283,26	74	113,22	0,400
225	215	503,32	88	134,64	0,268
226	1	2,34	4	6,12	2,614
227	9	21,07	16	24,48	1,162
228	22	51,50	40	61,20	1,188
229	512	1198,59	158	241,74	0,202
230	1	2,34	4	6,12	2,614
231	32	74,91	26	39,78	0,531
232	1	2,34	4	6,12	2,614
233	9	21,07	18	27,54	1,307
234	1	2,34	4	6,12	2,614
235	2	4,68	6	9,18	1,961
236	95	222,40	50	76,50	0,344
237	69	161,53	50	76,50	0,474
238	70	163,87	54	82,62	0,504
239	4	9,36	8	12,24	1,307
240	16	37,46	28	42,84	1,144
241	2	4,68	6	9,18	1,961
242	649	1519,31	164	250,92	0,165
243	867	2029,65	254	388,62	0,191
244	1	2,34	4	6,12	2,614
245	1	2,34	4	6,12	2,614
246	2	4,68	6	9,18	1,961
247	4	9,36	10	15,30	1,634
248	1	2,34	4	6,12	2,614
249	9	21,07	20	30,60	1,452
250	61	142,80	78	119,34	0,836
251	475	1111,98	198	302,94	0,272
252	1	2,34	4	6,12	2,614
253	14	32,77	20	30,60	0,934
254	475	1111,98	134	205,02	0,184
255	17	39,80	22	33,66	0,846
256	35	81,94	32	48,96	0,598
257	4	9,36	10	15,30	1,634
258	1	2,34	4	6,12	2,614
259	30	70,23	24	36,72	0,523
260	119	278,58	82	125,46	0,450
261	2	4,68	6	9,18	1,961
262	1	2,34	4	6,12	2,614
263	302	706,98	124	189,72	0,268
264	3	7,02	8	12,24	1,743

Nummer des Bildpunktes	Fläche [FE]	Fläche [μm^2]	Umfang [FE]	Umfang [μm]	Formfaktor [$1/\mu\text{m}$]
265	3	7,02	8	12,24	1,743
266	548	1282,87	160	244,80	0,191
267	1	2,34	4	6,12	2,614
268	11	25,75	24	36,72	1,426
269	8	18,73	18	27,54	1,471
270	13	30,43	22	33,66	1,106
271	56	131,10	52	79,56	0,607
272	1	2,34	4	6,12	2,614
273	6	14,05	14	21,42	1,525
274	7	16,39	14	21,42	1,307
275	1	2,34	4	6,12	2,614
276	110	257,51	104	159,12	0,618
277	1	2,34	4	6,12	2,614
278	1	2,34	4	6,12	2,614
279	1	2,34	4	6,12	2,614
280	3	7,02	8	12,24	1,743
281	1	2,34	4	6,12	2,614
282	1	2,34	4	6,12	2,614
283	17	39,80	24	36,72	0,923
284	1	2,34	4	6,12	2,614
285	1	2,34	4	6,12	2,614
286	1	2,34	4	6,12	2,614
287	14	32,77	32	48,96	1,494
288	1	2,34	4	6,12	2,614
289	220	515,02	84	128,52	0,250
290	17	39,80	24	36,72	0,923
291	765	1790,87	990	1514,70	0,846
292	26	60,87	30	45,90	0,754
293	191	447,13	114	174,42	0,390
294	1	2,34	4	6,12	2,614
295	3	7,02	8	12,24	1,743
296	3	7,02	8	12,24	1,743
297	89	208,35	62	94,86	0,455
298	91	213,03	50	76,50	0,359
299	1	2,34	4	6,12	2,614
300	5	11,71	12	18,36	1,569
MW					1,497
Stabw.					0,989

Tabelle A.1.5-3: Formfaktor NKP 6-1/ TD 2

NKP5 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	24	0,3048	8	101,60
	2	23	0,2921	7	88,90
	3	24	0,3048	8	101,60
	4	19	0,2413	3	38,10
	5	25	0,3175	9	114,30
	6	22	0,2794	6	76,20
	7	22	0,2794	6	76,20
	8	28	0,3556	12	152,40
	9	21	0,2667	5	63,50
	10	22	0,2794	6	76,20
Mittelwert					88,90

NKP5 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	25	0,3175	10,5	133,35
	2	25	0,3175	10,5	133,35
	3	23	0,2921	8,5	107,95
	4	22	0,2794	7,5	95,25
	5	23	0,2921	8,5	107,95
	6	24	0,3048	9,5	120,65
	7	21	0,2667	6,5	82,55
	8	22	0,2794	7,5	95,25
	9	21	0,2667	6,5	82,55
	10	20	0,254	5,5	69,85
Mittelwert					102,87

Tabelle A.1.5-4: feathering and wicking: TD 1 auf NKP 5

NKP6 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	28	0,3556	12	152,40
	2	26	0,3302	10	127,00
	3	21	0,2667	5	63,50
	4	24	0,3048	8	101,60
	5	24	0,3048	8	101,60
	6	23	0,2921	7	88,90
	7	24	0,3048	8	101,60
	8	20	0,254	4	50,80
	9	22	0,2794	6	76,20
	10	22	0,2794	6	76,20
Mittelwert					93,98

NKP6 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	24	0,3048	9,5	120,65
	2	23	0,2921	8,5	107,95
	3	23	0,2921	8,5	107,95
	4	20	0,254	5,5	69,85
	5	21	0,2667	6,5	82,55
	6	19	0,2413	4,5	57,15
	7	21	0,2667	6,5	82,55
	8	21	0,2667	6,5	82,55
	9	21	0,2667	6,5	82,55
	10	20	0,254	5,5	69,85
Mittelwert					86,36

Tabelle A.1.5-5: feathering and wicking: TD 1 auf NKP 6

GKP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	23	0,2921	7	88,90
	2	21	0,2667	5	63,50
	3	25	0,3175	9	114,30
	4	21	0,2667	5	63,50
	5	22	0,2794	6	76,20
	6	21	0,2667	5	63,50
	7	21	0,2667	5	63,50
	8	24	0,3048	8	101,60
	9	21	0,2667	5	63,50
	10	22	0,2794	6	76,20
Mittelwert					77,47

GKP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	19	0,2413	4,5	57,15
	2	21	0,2667	6,5	82,55
	3	19	0,2413	4,5	57,15
	4	20	0,254	5,5	69,85
	5	21	0,2667	6,5	82,55
	6	20	0,254	5,5	69,85
	7	21	0,2667	6,5	82,55
	8	20	0,254	5,5	69,85
	9	21	0,2667	6,5	82,55
	10	20	0,254	5,5	69,85
Mittelwert					72,39

Tabelle A.1.5-6: feathering and wicking: TD 1 auf GKP 2

PEP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	19	0,2413	3	38,10
	2	21	0,2667	5	63,50
	3	21	0,2667	5	63,50
	4	22	0,2794	6	76,20
	5	21	0,2667	5	63,50
	6	22	0,2794	6	76,20
	7	21	0,2667	5	63,50
	8	22	0,2794	6	76,20
	9	22	0,2794	6	76,20
	10	21	0,2667	5	63,50
Mittelwert					66,04

PEP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	16	0,2032	1,5	19,05
	2	16	0,2032	1,5	19,05
	3	15	0,1905	0,5	6,35
	4	16	0,2032	1,5	19,05
	5	16	0,2032	1,5	19,05
	6	17	0,2159	2,5	31,75
	7	18	0,2286	3,5	44,45
	8	17	0,2159	2,5	31,75
	9	16	0,2032	1,5	19,05
	10	16	0,2032	1,5	19,05
Mittelwert					22,86

Tabelle A.1.5-7: feathering and wicking: TD 1 auf PEP 2

NKP5 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	22	0,2794	6	76,20
	2	22	0,2794	6	76,20
	3	22	0,2794	6	76,20
	4	21	0,2667	5	63,50
	5	21	0,2667	5	63,50
	6	24	0,3048	8	101,60
	7	22	0,2794	6	76,20
	8	23	0,2921	7	88,90
	9	24	0,3048	8	101,60
	10	25	0,3175	9	114,30
Mittelwert					83,82

NKP5 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	20	0,254	5,5	69,85
	2	21	0,2667	6,5	82,55
	3	21	0,2667	6,5	82,55
	4	22	0,2794	7,5	95,25
	5	23	0,2921	8,5	107,95
	6	20	0,254	5,5	69,85
	7	21	0,2667	6,5	82,55
	8	18	0,2286	3,5	44,45
	9	19	0,2413	4,5	57,15
	10	20	0,254	5,5	69,85
Mittelwert					76,20

Tabelle A.1.5-8: feathering and wicking: TD 2 auf NKP 5

NKP6 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	22	0,2794	6	76,20
	2	30	0,381	14	177,80
	3	26	0,3302	10	127,00
	4	30	0,381	14	177,80
	5	31	0,3937	15	190,50
	6	28	0,3556	12	152,40
	7	25	0,3175	9	114,30
	8	31	0,3937	15	190,50
	9	27	0,3429	11	139,70
	10	30	0,381	14	177,80
Mittelwert					152,40

NKP6 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	27	0,3429	12,5	158,75
	2	25	0,3175	10,5	133,35
	3	25	0,3175	10,5	133,35
	4	25	0,3175	10,5	133,35
	5	26	0,3302	11,5	146,05
	6	25	0,3175	10,5	133,35
	7	24	0,3048	9,5	120,65
	8	25	0,3175	10,5	133,35
	9	23	0,2921	8,5	107,95
	10	27	0,3429	12,5	158,75
Mittelwert					135,89

Tabelle A.1.5-9: feathering and wicking: TD 2 auf NKP 6

GKP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	21	0,2667	5	63,50
	2	24	0,3048	8	101,60
	3	19	0,2413	3	38,10
	4	20	0,254	4	50,80
	5	22	0,2794	6	76,20
	6	22	0,2794	6	76,20
	7	22	0,2794	6	76,20
	8	23	0,2921	7	88,90
	9	22	0,2794	6	76,20
	10	22	0,2794	6	76,20
Mittelwert					72,39

GKP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	18	0,2286	3,5	44,45
	2	19	0,2413	4,5	57,15
	3	16	0,2032	1,5	19,05
	4	20	0,254	5,5	69,85
	5	18	0,2286	3,5	44,45
	6	19	0,2413	4,5	57,15
	7	17	0,2159	2,5	31,75
	8	18	0,2286	3,5	44,45
	9	16	0,2032	1,5	19,05
	10	16	0,2032	1,5	19,05
Mittelwert					40,64

Tabelle A.1.5-10: feathering and wicking: TD 2 auf GKP 2

PEP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	19	0,2413	3	38,10
	2	21	0,2667	5	63,50
	3	19	0,2413	3	38,10
	4	18	0,2286	2	25,40
	5	19	0,2413	3	38,10
	6	19	0,2413	3	38,10
	7	17	0,2159	1	12,70
	8	18	0,2286	2	25,40
	9	18	0,2286	2	25,40
	10	21	0,2667	5	63,50
Mittelwert					36,83

PEP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	16	0,2032	1,5	19,05
	2	16	0,2032	1,5	19,05
	3	17	0,2159	2,5	31,75
	4	18	0,2286	3,5	44,45
	5	16	0,2032	1,5	19,05
	6	18	0,2286	3,5	44,45
	7	15	0,1905	0,5	6,35
	8	18	0,2286	3,5	44,45
	9	17	0,2159	2,5	31,75
	10	17	0,2159	2,5	31,75
Mittelwert					29,21

Tabelle A.1.5-11: feathering and wicking: TD 2 auf PEP 2

NKP5 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	19	0,2413	3	38,10
	2	20	0,254	4	50,80
	3	21	0,2667	5	63,50
	4	23	0,2921	7	88,90
	5	22	0,2794	6	76,20
	6	18	0,2286	2	25,40
	7	19	0,2413	3	38,10
	8	22	0,2794	6	76,20
	9	21	0,2667	5	63,50
	10	21	0,2667	5	63,50
Mittelwert					58,42

NKP5 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	16	0,2032	1,5	19,05
	2	18	0,2286	3,5	44,45
	3	15	0,1905	0,5	6,35
	4	17	0,2159	2,5	31,75
	5	15	0,1905	0,5	6,35
	6	17	0,2159	2,5	31,75
	7	17	0,2159	2,5	31,75
	8	21	0,2667	6,5	82,55
	9	18	0,2286	3,5	44,45
	10	21	0,2667	6,5	82,55
Mittelwert					38,10

Tabelle A.1.5-12: feathering and wicking: TD 3 auf NKP 5

NKP6 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	20	0,254	4	50,80
	2	19	0,2413	3	38,10
	3	21	0,2667	5	63,50
	4	20	0,254	4	50,80
	5	22	0,2794	6	76,20
	6	22	0,2794	6	76,20
	7	20	0,254	4	50,80
	8	20	0,254	4	50,80
	9	20	0,254	4	50,80
	10	19	0,2413	3	38,10
Mittelwert					54,61

NKP6 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	18	0,2286	3,5	44,45
	2	20	0,254	5,5	69,85
	3	16	0,2032	1,5	19,05
	4	20	0,254	5,5	69,85
	5	19	0,2413	4,5	57,15
	6	15	0,1905	0,5	6,35
	7	20	0,254	5,5	69,85
	8	17	0,2159	2,5	31,75
	9	18	0,2286	3,5	44,45
	10	18	0,2286	3,5	44,45
Mittelwert					45,72

Tabelle A.1.5-13: feathering and wicking: TD 3 auf NKP 6

GKP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	22	0,2794	6	76,20
	2	21	0,2667	5	63,50
	3	23	0,2921	7	88,90
	4	22	0,2794	6	76,20
	5	24	0,3048	8	101,60
	6	20	0,254	4	50,80
	7	23	0,2921	7	88,90
	8	19	0,2413	3	38,10
	9	24	0,3048	8	101,60
	10	23	0,2921	7	88,90
Mittelwert					77,47

GKP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [µm]
	1	17	0,2159	2,5	31,75
	2	19	0,2413	4,5	57,15
	3	18	0,2286	3,5	44,45
	4	20	0,254	5,5	69,85
	5	23	0,2921	8,5	107,95
	6	19	0,2413	4,5	57,15
	7	20	0,254	5,5	69,85
	8	20	0,254	5,5	69,85
	9	20	0,254	5,5	69,85
	10	18	0,2286	3,5	44,45
Mittelwert					62,23

Tabelle A.1.5-14: feathering and wicking: TD 3 auf GKP 2

PEP2 [CD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	23	0,2921	7	88,90
	2	22	0,2794	6	76,20
	3	22	0,2794	6	76,20
	4	21	0,2667	5	63,50
	5	22	0,2794	6	76,20
	6	22	0,2794	6	76,20
	7	22	0,2794	6	76,20
	8	20	0,254	4	50,80
	9	22	0,2794	6	76,20
	10	20	0,254	4	50,80
Mittelwert					71,12

PEP2 [MD]	Nr.	Breite [FE]	Breite [mm]	Fransenlänge [Pixel]	Fransenlänge [μm]
	1	20	0,254	5,5	69,85
	2	15	0,1905	0,5	6,35
	3	18	0,2286	3,5	44,45
	4	17	0,2159	2,5	31,75
	5	18	0,2286	3,5	44,45
	6	18	0,2286	3,5	44,45
	7	16	0,2032	1,5	19,05
	8	18	0,2286	3,5	44,45
	9	19	0,2413	4,5	57,15
	10	19	0,2413	4,5	57,15
Mittelwert					41,91

Tabelle A.1.5-15: feathering and wicking: TD 3 auf PEP 2

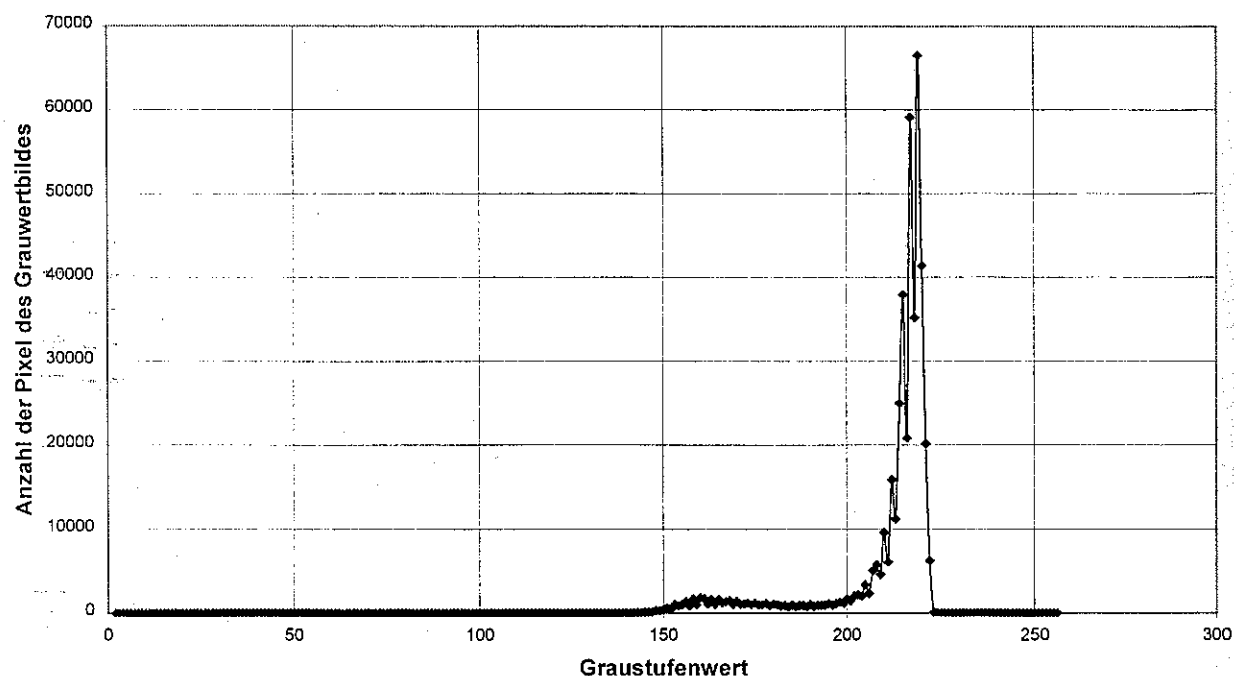


Abbildung A.1.5-1: Grauwerthistogramm TD 2 auf GKP 2-1

Wie bereits im Bericht erwähnt, wurde für jedes Papier ein Graustufengrenzwert festgelegt, und zwar auf 85% des mittleren Graustufenwertes (vgl. Tabelle 5.1-2) der unbedruckten Probe. Beim zweiseitig gestrichenen Papier GKP2 liegt der Graustufenwert der unbedruckten Probe bei 220,6 und ergibt somit einen Grenzwert von 187.

Um den Bereich unterhalb des Grenzwertes deutlicher sichtbar zu machen, wurde der Maximalwert der y-Achse herabgesetzt.

Zur Ermittlung des Grauwerthistogramms wurden die bedruckten Proben GKP2-1, NKP5-1 und NKP6-1 herangezogen. (vgl. Abbildung: 1.5-7 bis 1.5-9)

Die Grauwertverteilung wird aus den Graustufen der Pixel, des mittels Digitalkamera aufgenommenem Druckbildes, berechnet.

Dabei liegen die Messergebnisse in einem Grauwertbereich von 0 (absolut Schwarz) bis 255 (absolut Weiß). Betrachtet man die Grauwertverteilung der bedruckten Proben (vgl. Anhang A.1.5, Abbildung A.1.5-7 bis A.1.5-9), dann fällt auf, dass beim ungestrichenen NKP5 die Anzahl der Pixel der bedruckten Fläche am Graustufengrenzwert (für NKP5 bei 184) ihr Maximum erreichen. (vgl. A.1.5-4)

Das heißt, dass bei NKP5 das Maximum der Pixelanzahl einen höheren Graustufenwert aufweist als beispielsweise das Maximum bei GKP2. (vgl. Anhang A.1.5, Abbildung A.1.5-1 bis A.1.5-6)

Dies bedeutet, dass die Druckpunkte in das Papier verlaufen und damit vom Idealfall einer kreisrunden Fläche abweichen.

Diese Abweichung äußert sich in dem Anstieg der maximalen Pixelanzahl hin zum gesetzten Graustufengrenzwert.

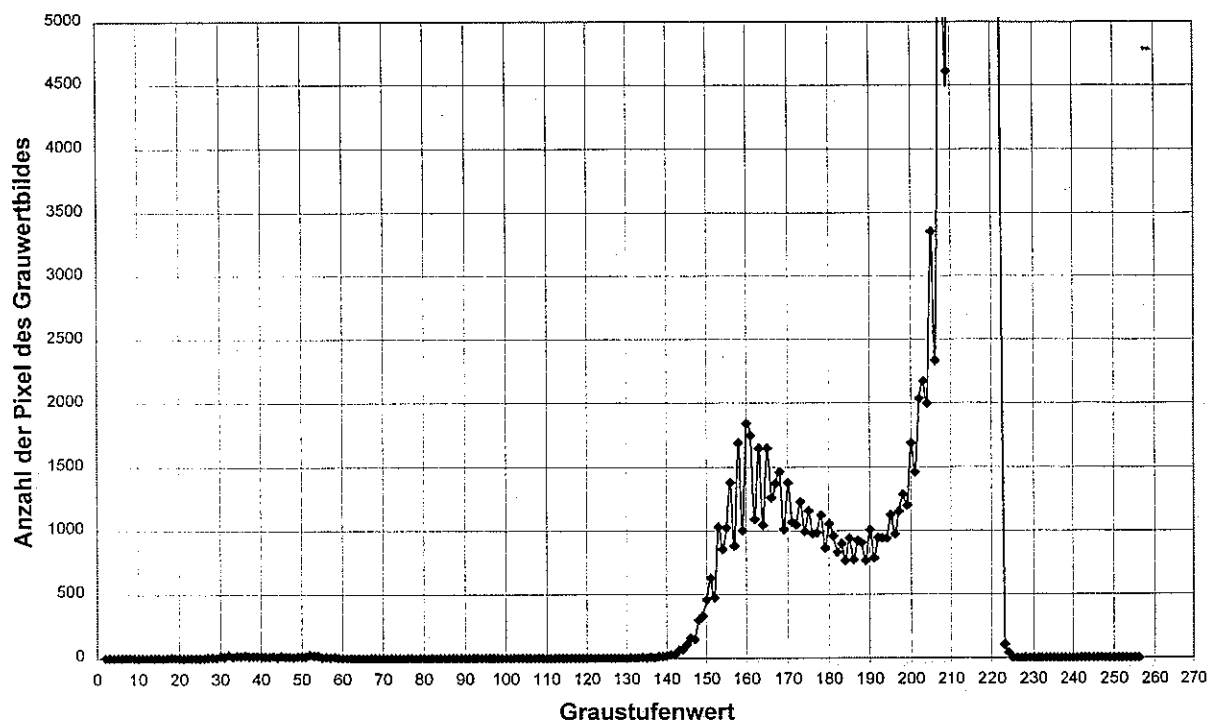


Abbildung A.1.5-2: Ausschnitt aus Grauerthistogramm TD 2 auf GKP 2-1

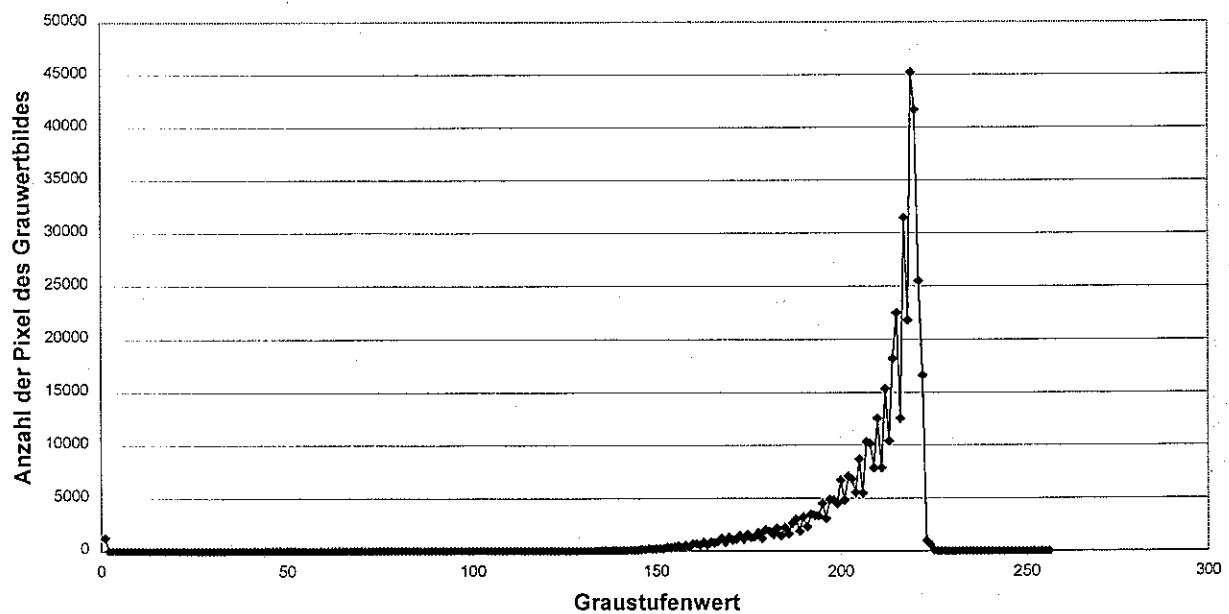


Abbildung A.1.5-3: Grauerthistogramm TD 2 auf NKP 5-1

Für NKP5 und NKP6 wurde der Grenzwert bei 184 gesetzt.

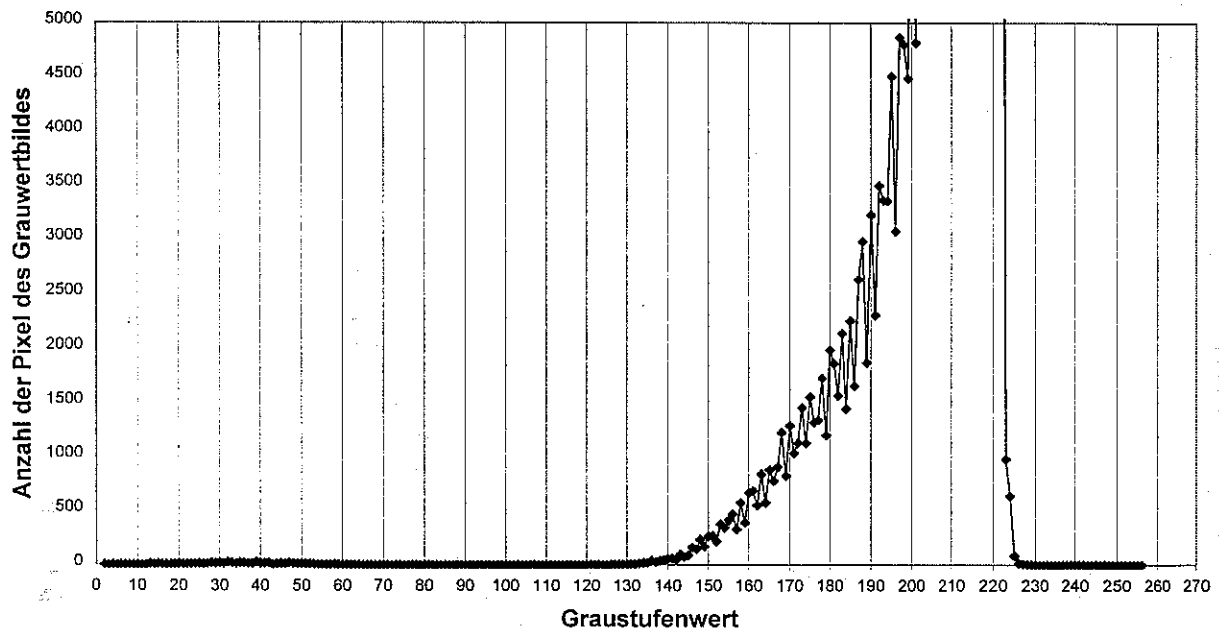


Abbildung A.1.5-4: Ausschnitt aus Grauerthistogramm TD 2 auf NKP 5-1

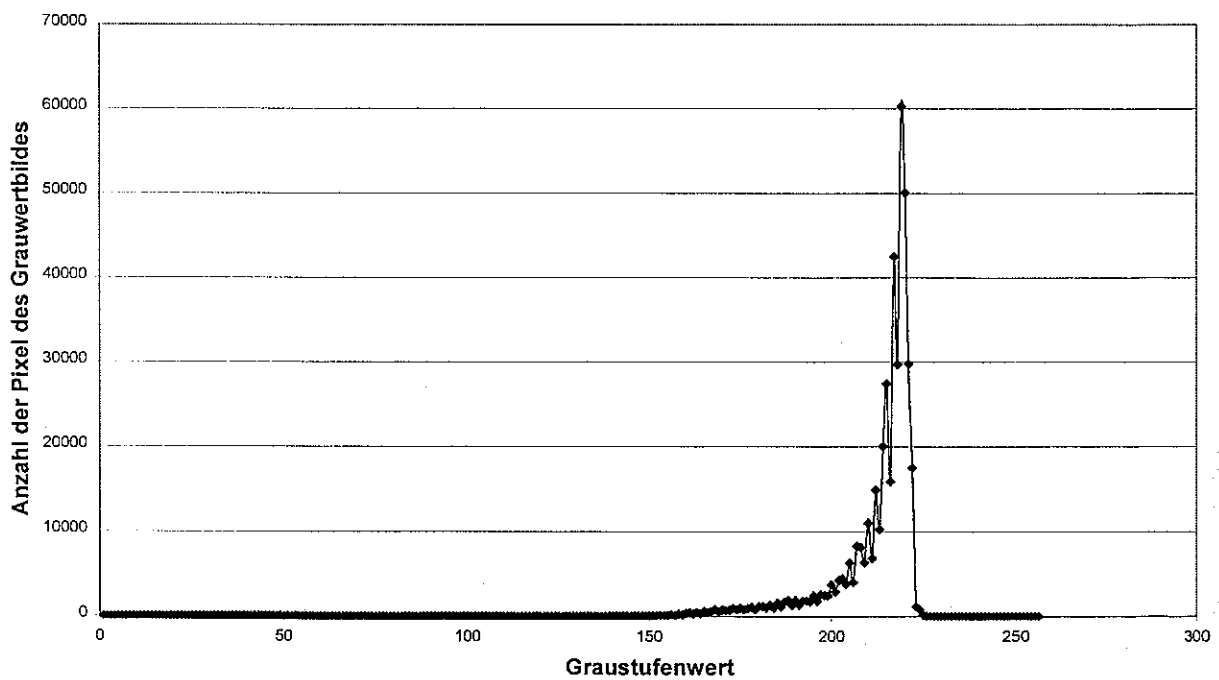


Abbildung A.1.5-5: Grauerthistogramm TD 2 auf NKP 6-1

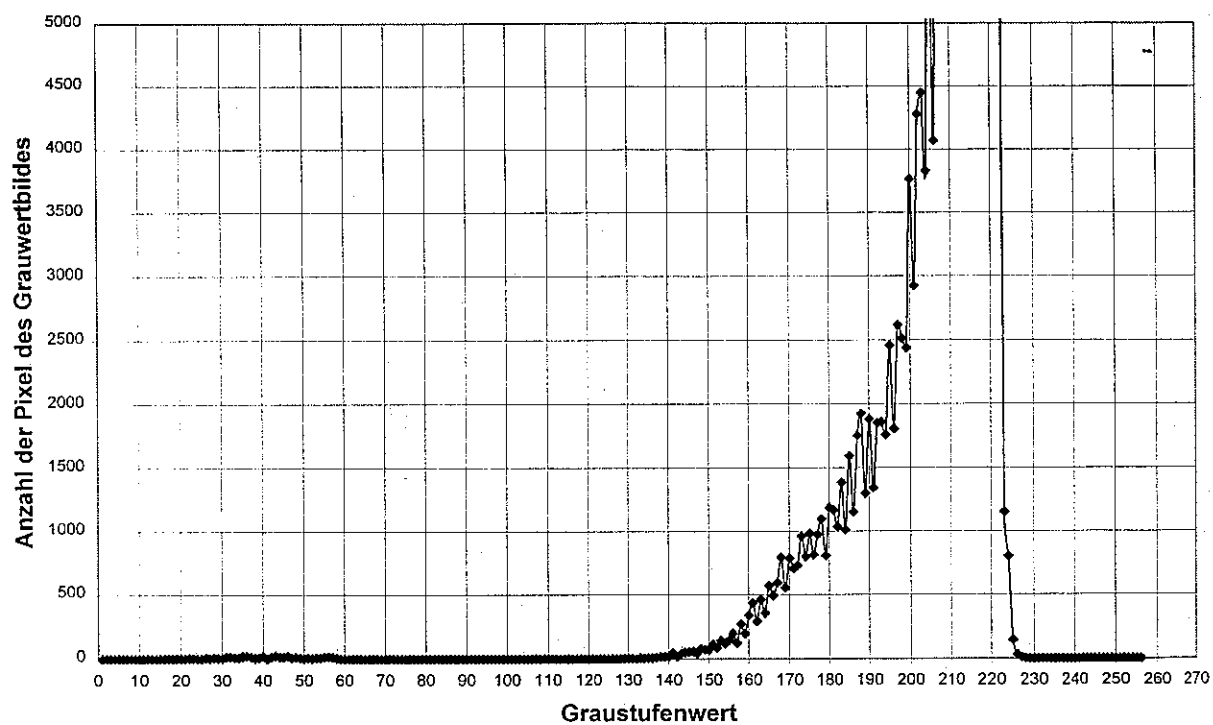


Abbildung A.1.5-6: Ausschnitt aus Grauerthistogramm TD 2 auf NKP 6-1

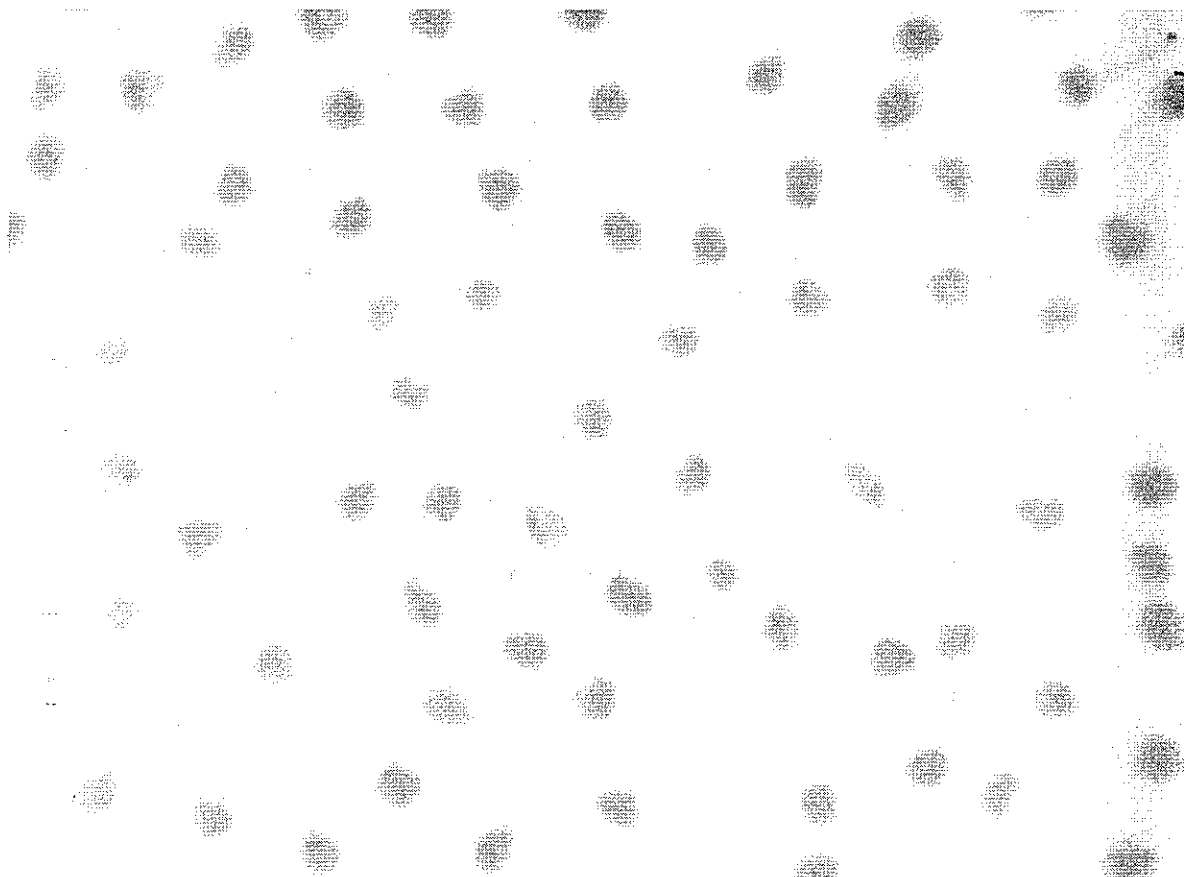


Abbildung A.1.5-7: bedruckte Probe GKP 2-1

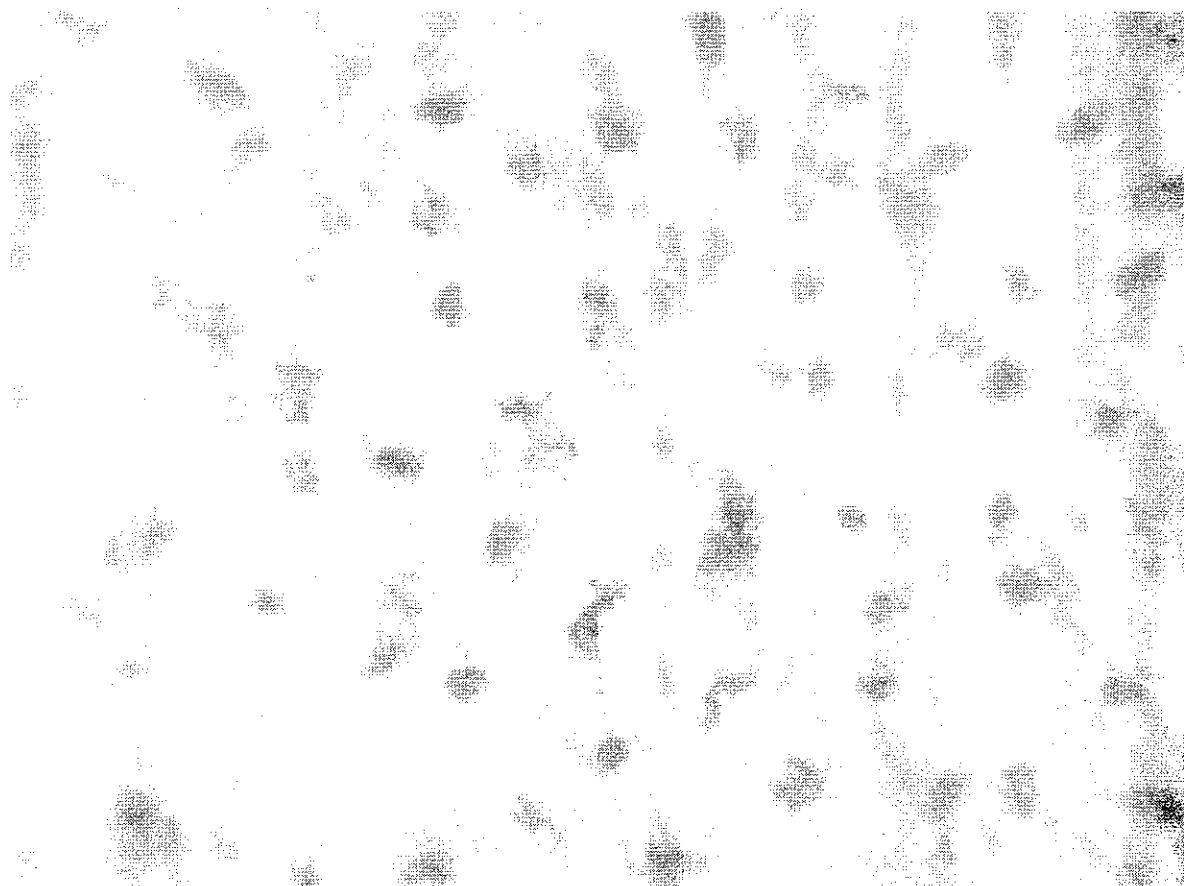


Abbildung A.1.5-8: bedruckte Probe NKP 5-1

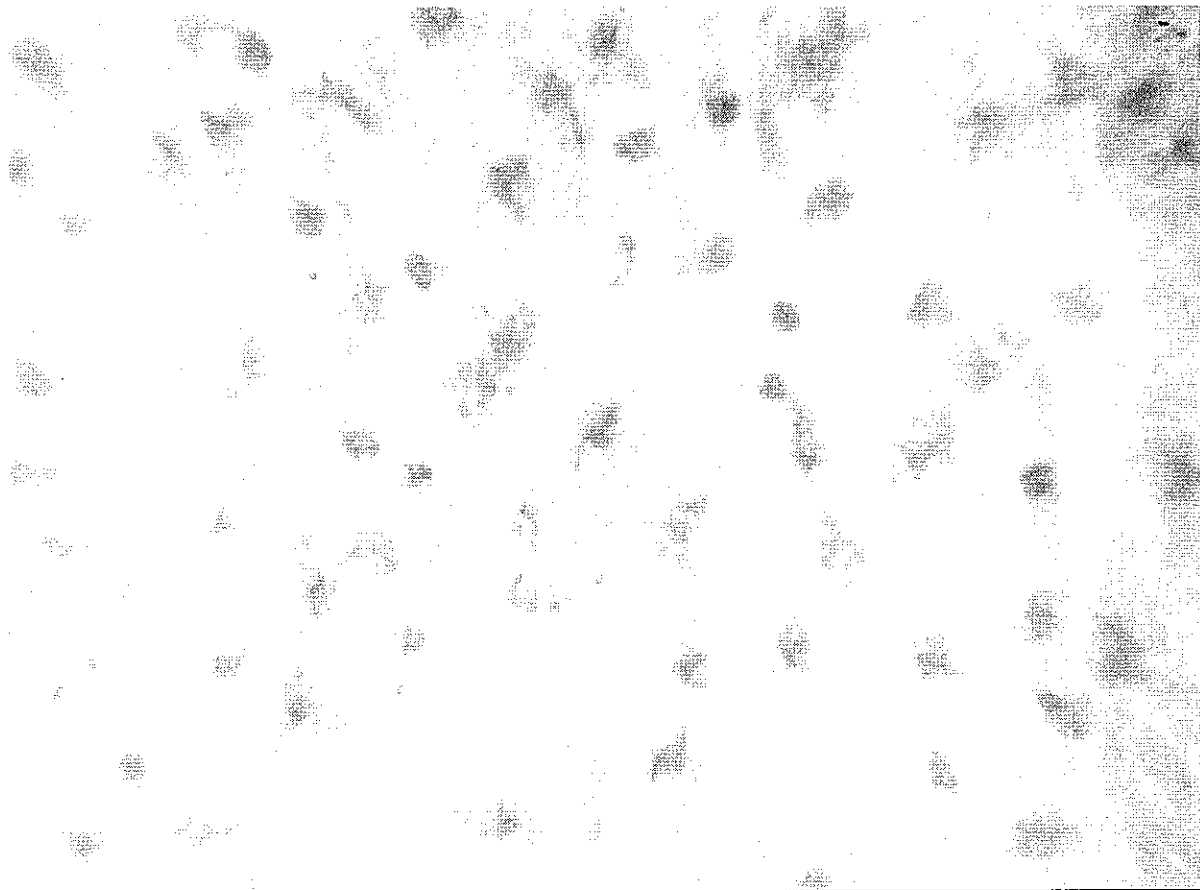


Abbildung A.1.5-9: bedruckte Probe NKP 6-1

A.2. Methode zur Charakterisierung der Ink-Jet-Bedruckbarkeit von Papieren hinsichtlich Feathering sowie von Wicking

A.2.1 Einführung

Die im Folgenden beschriebene Methode soll zur Charakterisierung der Bedruckbarkeit von Papieren hinsichtlich **Feathering** und **Wicking** herangezogen werden.

Das als **Feathering** bezeichnete **Verlaufen der Druckfarbe** stellt noch immer eines der größten Qualitätsprobleme im Ink-Jet Druck dar.

Die erhöhte und bevorzugte Diffusion der Druckfarbe in x-/y- Richtung ergibt neben Einbußen an Farbdichte unscharfe Konturen und Verbreiterungen der Linien.

Wicking, auch als **Dochten der Druckfarbe** bekannt, ist ein Effekt, der durch das Weglaufen der Farbe entlang der Faser bzw. im Lumen entsteht.

Auf der Grundlage dieser Definitionen sollte nun eine Methodik entwickelt werden, mit welcher die genannten Druckprobleme nachgewiesen werden können.

Abbildung A.2-1 soll noch einmal veranschaulichen, nach welchen Gesichtspunkten ein Druckbild auf Feathering und Wicking untersucht werden kann.

Dabei unterscheidet man nach der Art des

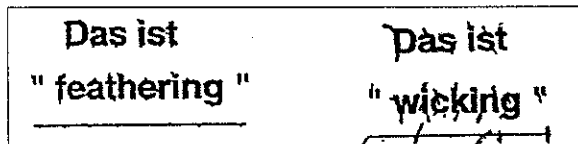


Abbildung A.2-1: Beispiele für Feathering und Wicking

Ausfransens des Tintenstriches. So spricht man von Feathering, wenn die Ausfransung des Tintenstriches kürzer als 0,4 mm ist.

Beim „Wicking“ sind die Fransen von 0,4 mm bis zu 4 mm wesentlich länger als beim Feathering und stören daher den Inkjet-Ausdruck stärker.

Die Untersuchung nach Feathering oder Wicking erfolgt mit Hilfe eines speziellen Bildanalyseverfahrens zur Ermittlung der Fransenlänge.

Zur Bewertung der Druckqualität wurde ein „I“-Test als Prüfmittel angefertigt, welcher aus einer Reihe von ausgewählten Textzeichen besteht – vgl. Abbildung A.2.2.

Eine weitere Methodik, die zur Charakterisierung der Bedruckbarkeit dienen soll, wurde mit gleicher Bildanalysesoftware durchgeführt. Mit dieser Methodik kann der **Formfaktor** der gedruckten Bildpunkte ermittelt werden und anhand des Formfak-

tor können Aussagen hinsichtlich des Verlaufs der Druckpunkte getroffen werden.

Die zur Auswertung notwendigen Geräte, Computerprogramme und Arbeitsabläufe sind im Folgenden beschrieben.

A.2.2 Verwendeten Geräte

„I“ – Test auf feathering und wicking

- PC (hier: 450 MHz, 256 MB)
- Ink-Jet-Testdrucker
- Scanner mit möglichst hoher Auflösung, z.B. 2000 dpi (hier: AGFA DUOSCAN T2500)

Formfaktor der Bildpunkte

- PC (hier: 450 MHz, 256 MB)
- Ink-Jet-Testdrucker
- Mikroskop „Amplival“
- Digitalkamera (hier: DBS the Imaging Source mit Image Size: 768 x 576)
- Mikroskopieleuchten (Halogen)

Zur Durchführung dieser Methode müssen alle Geräte in einem Klimaraum stehen, da klimatisierte Proben geprüft werden sollen (Normklima: $23 \pm 1^\circ\text{C}$, $50 \pm 2\%$ rel. Luftfeuchte).

Die Mikroskopieleuchten werden mit einem Auflichtwinkel von 45° zur horizontalen Probe und einem Strahlenbündel von 20 mm Durchmesser eingestellt.

A.2.3 Vorbereitungen am PC

Die Vorbereitungen am PC sind bei der erstmaligen Durchführung dieser Methode umfangreich, entfallen dann aber bei wiederholter Anwendung.

Es sind folgende Programme zu installieren:

- Treibersoftware des Scanners
- Micrografx Designer 7.0
- Micrografx Picture Publisher 7.0
- DBS AdOculus 3.1
- Microsoft Excel

oder ähnliche Programme, welche die gleichen Funktionen zur Verfügung stellen.

Anforderungen an den PC werden insofern gestellt, als das der PC in der Lage sein muss, die genannten Programme ausführen zu können. Je weniger Rechenleistung der PC hat, desto mehr Zeit muss natürlich für die Analyse der Bilddateien eingeplant werden.

A.2.4 Erstellen des Prüfbildes

„I“ – Test auf feathering und wicking

Das Prüfbild wird im Micrografx Designer nach Abbildung A.2-2 erstellt.

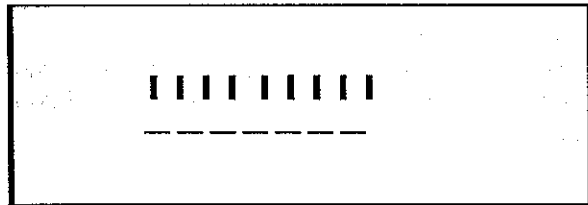


Abbildung A.2-2: I-Test Prüfbild

Dabei wird zur Bewertung des Ausfransens in Querrichtung des Papiers der Buchstabe „I“ und für die Längsrichtung der Trennstrich „–“ verwendet.

Als Schriftart dient Arial in der Standardeinstellung mit der Schriftgröße 12.

Formfaktor der Bildpunkte (Abb. A.2-6)

Das Prüfbild wird im Micrografx Picture Publisher erstellt.

Dazu wurde ein Testquadrat (50 mm x 50 mm) mit dem Graustufenwert 218 ausgefüllt.

A.2.5 Erstellen des Standardbildes

„I“ – Test auf feathering und wicking

Die Erstellung des Standardbildes erfolgt mittels Micrografx Designer. Es dient zum Vergleich mit den bedruckten Proben und muss daher eine optimale Konturenschärfe aufweisen. Aus diesem Grund wird deshalb der „Computerausdruck“ verwendet.

Dazu muss nach Erstellung des Testmusters ein Export in eine Bilddatei erfolgen. Dies geschieht über die obere Menüleiste unter „Datei“ -> „Export“ -> „Einrichten“.

Dabei muss der Befehl „Anti-Aliasing für exportierte Bitmaps“ ausgeschaltet werden, da sonst eine Kantenglättung der Textzeichen erfolgt. Nun kann die gewünschte Auflösung, mit welcher man die gedruckten Proben einscannen möchte, eingestellt werden (Abb. A.2-3).

Des weiteren muss der Rahmen des Druckmusters mit der ausgewählten Auflösung abgestimmt werden.

Formfaktor der Bildpunkte

Auch hier wird der Micrografx Designer verwendet, der ein Muster aus 7 Punkten anfertigt, durch welches die Druckpunkte imitiert werden sollen.

Somit kann anhand der Formfaktor der Punkte der Computergrafik als Vergleichswert zur späteren Auswertung herangezogen werden.

Bevor das Bild aber im AdOculus verwendet werden kann, muss es noch in eine Bilddatei exportiert werden

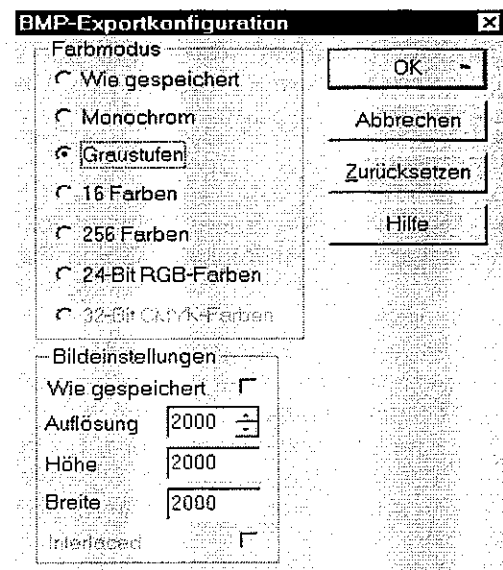


Abbildung A.2-3: Erstellung des Standardbildes

A.2.6 Erstellen des AdOculus-Setups

Das Setup im AdOculus dient zur Auswertung der Proben.

Mit diesem Programm kann zum einen die Franzenlänge der Textzeichen ermittelt werden und zum anderen werden die mikroskopierte Druckpunkte nach hell und dunkel unterschieden und bestimmte Merkmale berechnet.

Aus den Daten über die Fläche und Umfang der Punkte lässt sich ein Formfaktor berechnen, welcher Aufschluss über die Qualität der Druckprobe gibt.

Um das Setup zu erstellen, wird das AdOculus-Programm gestartet. Es wird automatisch ein neues, leeres Setup geladen. Falls das nicht der Fall sein sollte, kann man dieses im Hauptmenü „Datei“ unter „Setup neu“ nachholen. Jetzt müssen verschiedene Button mit Funktionen oder Bildern angeordnet und bezeichnet werden.

Um einen Bildbutton zu erhalten, klickt man mit der rechten Maustaste auf den Hintergrund im Setup-Feld. Es öffnet sich ein Menü, aus dem „neues Bild“ zu wählen ist. Im Feld erscheint ein Button mit einem Fenster und auf dem Programmhintergrund ein leeres Bildfenster – vgl. Abbildung A.2-4. In diesem Fenster werden später die zu berechnenden Bilder geladen. Als nächstes wird ein Funktions-button benötigt, den man im gleichen Menü unter „neue Funktion“ erhält. Desweiteren wird noch ein Bildbutton gebraucht, in dem dann das durch die Funktion erzeugte Bild ausgegeben wird.

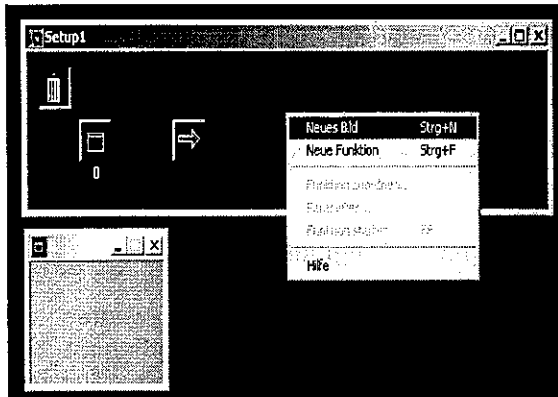


Abbildung A.2-4: Erstellen der Button

Dem Funktionsbutton muss jetzt eine Funktion zugewiesen und diese dann mit den Bildbuttons entsprechend verbunden werden. Dazu klickt man mit der rechten Maustaste auf den Funktionsbutton und wählt „Funktion zuordnen“. Man trägt bei „Funktion“ die auszuführende Funktion ein, hier „Binarisieren“ – vgl. Abbildung A.2-5. Bei „Eingabe“ wird der Name des zu bearbeitenden Bildes eingetragen, hier „0“, und bei „Ausgabe“, wo das Ergebnis ausgegeben werden soll, hier „1“.

Die Bildbuttons können jetzt noch bezeichnet werden, indem man einfach den Text unter den Buttons anklickt und überschreibt. Dadurch ändert sich auch die Bezeichnung der Fenster.

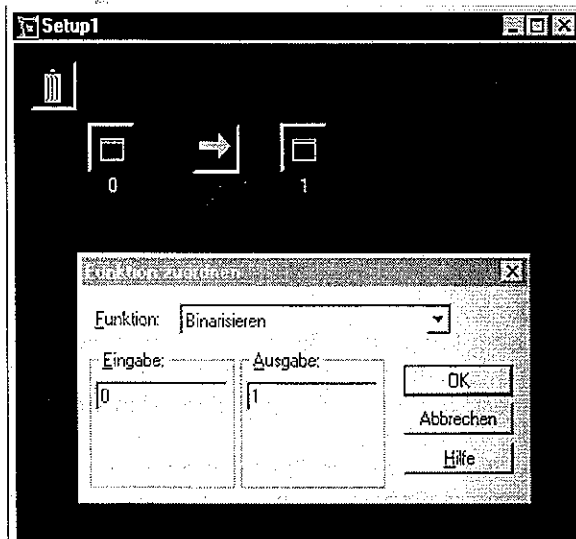


Abbildung A.2-5: Funktionszuweisung

Eine sinnvolle Bezeichnung der verschiedenen Buttons ist wegen ihrer hohen Anzahl notwendig. Damit ist der erste Funktionsabschnitt fertig und kann getestet werden. Man muss nun zunächst ein Prüfbild in das Fenster „Standardbild“ laden, wozu man das vorher erstellte Standardbild verwenden kann. Man klickt mit der rechten Maustaste auf das Fenster. In dem geöffneten Menü wählt man „Bild laden...“ und öffnet dann die entsprechende Bilddatei. Das eingelesene Bild kann jetzt mit dem Setup bearbeitet werden. Die Funktion

startet man im Hauptmenü „Start“ unter „Funktionskette starten“. Das Programm wandelt das geladene Druckbild in ein Schwarz/Weiß – Bild um und gibt es im Fenster „1“ aus. (Abbildung A.2-6)

Bei der Binarisierung muss ein Graustufenwert (GSV) eingegeben werden. Dieser legt fest, welche Punkte als Schwarz oder Weiß ausgegeben werden.

Zur Ermittlung des GSV wurden die ausgewählten Papiere unbedruckt mikroskopiert und mit der Kamera aufgenommen. Mit Hilfe von AdOculus kann dann der GSV des Papiers bestimmt werden.

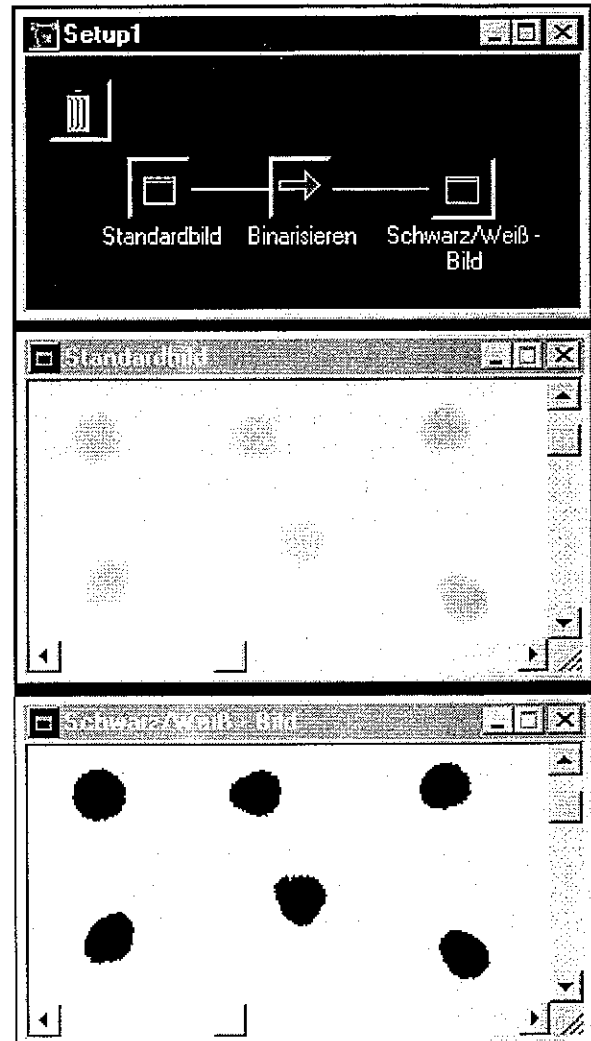


Abbildung A.2-6: Umwandlung des Standardbildes in ein Schwarz/Weiß-Bild zur Ermittlung des Formfaktors der Bildpunkte

Funktioniert alles wie oben beschrieben, werden auf die gleiche Weise alle weiteren Bild- und Funktionsbuttons erstellt und mit ihrer jeweiligen Funktion versehen.

A.2.7 Vorbereitung der Proben

Die zu untersuchenden Papierproben (A4) werden bis zur Massenkonzanz klimatisiert, wobei beim Aufhängen oder Lagern der Proben darauf zu achten ist, dass die zu bedruckende Oberfläche nicht z.B. durch Schmutz oder Hautkontakt verändert wird.

Zusätzlich müssen Proben klimatisiert werden, da zunächst noch die optimale Druckereinstellung für die jeweilige Papiersorte im Zusammenhang mit dem entsprechenden Testdrucker zu ermitteln ist. Dies ist notwendig, weil sich die Druckergebnisse auf verschiedenen Papiersorten mit der gleichen Druckereinstellung erheblich unterscheiden können. Man sollte für diese Untersuchung die optimale Einstellung zwischen Papier und Drucker finden. Dazu nutzt man im Micrografx Designer den Menüpunkt „Drucker einrichten“ im Hauptmenü „Datei“ und wählt zunächst das „Querformat“ als Papierformat und bei „Name“ den entsprechenden Testdrucker aus, um dann auf „Eigenschaften“ zu klicken.

Hier kann man je nach Druckertreiber verschiedene Optionen auswählen, wie z.B. Papiertyp und Druckqualität. Es werden dann beide geöffnete Fenster mit „OK“ bestätigt und das Prüfbild über den Button „Drucken“ in der Symbolleiste ausgegeben. Durch die Kombination verschiedener Einstellungen und anschließende visuelle Bewertung der Druckqualität ist die optimale Druckereinstellung festzulegen.

Nach dem Bedrucken werden die Proben erneut bis zur Massenkonzanz klimatisiert, wobei auch hier zu beachten ist, dass die Prüffläche der Proben nicht verändert werden darf.

A.2.8 Bildanalyse

Scannen

Für das Scannen der Prüfbilder gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder scannt man das gesamte A4-Blatt oder nur den Ausschnitt mit der gewählten Farbkombination. Letzteres geht wesentlich schneller und die Bilddatei benötigt weniger Speicherplatz (Abb. A.2-1).

	Zeit / min	Bildgröße / MB
A4-Blatt	7	360
Ausschnitt	1,5	14

Tabelle A.2-1: Vergleich Scann-Zeit und Speicherplatz (Dateien im bmp-Format)

Vor dem Scannen müssen die richtigen Einstellungen in der Treibersoftware des Scanners vorgenommen werden:

- Auflösung möglichst hoch (hier: 2000 ppi)
- Aufsicht
- Graustufen

In der Vorschauansicht muss man jetzt noch den zu scannenden Bereich festlegen und das Bild kann gescannt werden.

Die gescannten Bilder können anschließend sofort mittels der AdOculus Software bearbeitet werden.

Mikroskopie und Digitalkamera

Zur Ermittlung des Formfaktors werden die Druckpunkte bei 32-facher Vergrößerung z.B. über das Mikroskop „Amplival“ mittels Digitalkamera aufgenommen.

Die 32-fache Vergrößerung wird gewählt, um eine möglichst hohe Anzahl an Bildpunkten zur späteren Beurteilung heranziehen zu können.

Mit Hilfe der Digitalkamera können dann die mikroskopierte Bilder bei einer Bildgröße von 768 x 576 Pixeln aufgenommen werden und als Bilddateien abgespeichert werden. Es ist darauf zu achten, dass die Digitalkamera unter dem Menüpunkt „Properties“ auf „Monochrom“ eingestellt wird, da es sich um Schwarz-Weiß-Aufnahmen handelt.

Diese gespeicherten Bilddateien können dann sofort zur weiteren Bearbeitung im AdOculus benutzt werden.

A.2.9 Berechnen

Die Prüfbilder können nun mit AdOculus berechnet werden.

Dazu öffnet man im Programm das vorbereitete Setup und lädt das erste Prüfbild. Das Setup wird gestartet und die Berechnung beginnt.

„I“ – Test auf feathering und wicking

Das für den „I“ – Test vorbereitete Setup ist als Abbildung A.2-7 dargestellt.

Nach dem Laden des Bildes sollte unter dem Menüpunkt „Ansicht“ die Vergrößerung auf 200% eingestellt werden, da somit eine leichtere Auswertung möglich ist.

Anschließend wird der Startpfeil gedrückt und es erscheint ein Fenster, welches den Nutzer auffordert die Bemaßung der Textzeichen vorzunehmen.

Es kann nun die gesamte Breite oder die halbe Breite des Textzeichens bemaßt werden (vgl. Abb. A.2-7).

Hier wurde die halbe Breite verwendet, da so eine bessere Aussage über Feathering oder Wicking getroffen werden kann. Es kann damit die Länge jeder Franse festgelegt werden.

Zum Vergleich wurde die optimierte Probe („Computerausdruck“) verwendet, da diese kein Ausfransen aufweist.

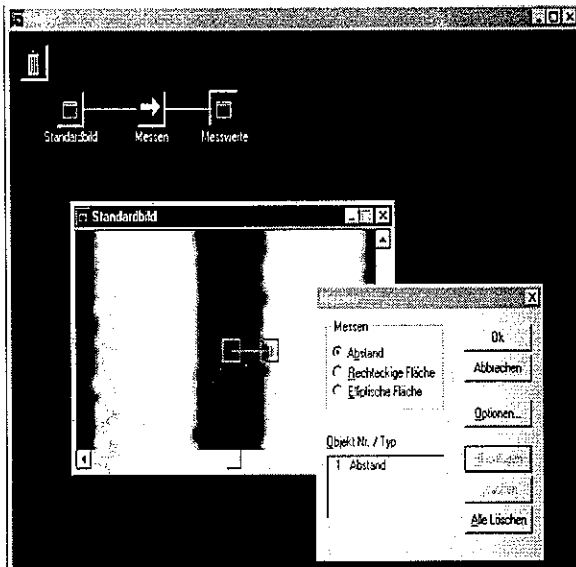


Abbildung A.2-7: Bemaßung des Textzeichens

Die Länge der Fransen wird in Pixeln berechnet und muss zum Schluss noch in μm umgerechnet werden.

Dazu wurden die Daten in Excel kopiert und ausgewertet.

Formfaktor der Bildpunkte

Das mit der Digitalkamera aufgenommene Mikroskopiebild muss zu Beginn der Berechnung im Fenster „Standardbild“ geladen werden. Anschließend muss ein Schwellenwert zwischen 0 und 255 festgelegt werden, ab dem alle Punkte unterhalb des Wertes als Schwarz wiedergegeben werden.

Nach der Binarisierung erfolgt dann die Invertierung des Bildes sowie das Zählen der Druckpunkte und eine Merkmalsextraktion.

Die Extraktion liefert die gewünschten Merkmale wie Fläche und Umfang der Druckpunkte sowie die Schwerpunktskoordinaten und die Kompaktheit.

Um diese Daten später weiter verarbeiten zu können, müssen die Tabellen als Textdateien gespeichert werden. Man klickt dazu mit der rechten Maustaste auf eine Tabelle und wählt im Menü „Bild speichern unter“. Es ist das richtige Dateiformat („txt“) zu wählen und eine genaue Bezeichnung der Daten einzutragen.

Hinweis: Es ist generell darauf zu achten, dass alle anfallenden Daten (Bilder, Textdateien usw.) hinreichend genau bezeichnet werden und in einem gut strukturiertem Ordner-System verwaltet werden. Dies erleichtert die Auswertung, da bei der Prüfung mehrerer Drucker und Papiere große Datenmengen entstehen.

Nummer	Fläche	Schwerp.	Umfang	Pol. Abst. min/max	Komp.
1	488	10, 45	138	7 28	31
2	625	14, 452	134	7 28	22
3	534	16, 643	164	2 21	40
4	1111	14, 746	326	1 32	76
5	1	3, 720	4	0 0	12
6	1	22, 726	4	0 0	12
7	2	29, 449	6	0 1	14
8	661	47, 133	158	0 23	30
9	2	31, 121	6	0 1	14
10	1	31, 458	4	0 0	12
11	1	34, 222	4	0 0	12
12	1	35, 220	4	0 0	12
13	2	35, 223	6	0 1	14
14	1	36, 222	4	0 0	12
15	1	39, 387	4	0 0	12
16	1	40, 385	4	0 0	12
17	2	41, 734	6	0 1	14
18	2	41, 766	6	0 1	14
19	2058	185, 9	432	0 1	72

Abbildung A.2-8: Speichern der ausgegebenen Tabelle

A.2.10 Auswertung

Die einzelnen Daten müssen aus der jeweiligen Textdatei in die Excel-Datei kopiert werden, wozu man die Textdatei im Excel öffnen muss. Dies ist ein sehr zeitaufwendiger Vorgang. Um ihn abzukürzen, kann man im Excel Makros aufzeichnen, mit deren Hilfe der Arbeitsablauf automatisiert werden kann. Darauf soll hier nicht näher eingegangen werden und nur auf einschlägige Fachliteratur bzw. die Excel-Hilfe verwiesen werden.

Das AdOculus gibt die in μm^2 bzw. in μm umgerechneten Werte der Fläche, des Umfangs und der Breite in Pixel an. Anhand eines Millimetermaßstabes wird die Breite eines Pixels bei eingestellter Kameraauflösung bestimmt, welche in diesem Fall $1,53 \mu\text{m}$ beträgt. So werden zum Beispiel bei der Berechnung des Umfangs alle freien Seiten des Pixels durch AdOculus gezählt und als Umfang ausgegeben. Folgende Formeln wurden zum Umrechnen verwendet:

„I“ – Test auf feathering und wicking

Fransenlänge FRL in μm :

$$\text{FRL} = \text{Pixelzahl} \cdot 25,4 \text{ mm} / 2000 \text{ dpi}$$

Formfaktor der Bildpunkte (FOF)Fläche A in μm^2 :

$$A = \text{Pixelzahl} \cdot 1,53^2$$

Umfang U in μm :

$$U = \text{Pixelzahl} \cdot 1,53$$

$$FOF = \frac{U}{A} \text{ [1/\mu m]}$$

Die ermittelten Einzelwerte werden in einer Tabelle zusammengestellt und zur Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung, sowie des Vertrauensbereiches verwendet.

A.3 Methode zur Charakterisierung der Ink-Jet-Bedruckbarkeit von Ink-Jet-Papieren hinsichtlich Bleeding

A.3.1 Einführung

Die folgende Methode soll zur Untersuchung der Ink-Jet-Bedruckbarkeit verschiedener Papiere und dem Verhalten der Ink-Jet-Tinten zueinander dienen. Mit einem speziellen Bildanalyseverfahren wird das „Verlaufen“ oder das „Ausbluten“ der Tinten ineinander und im Vergleich der Papiere analysiert, dargestellt und beurteilt.

Zur Bewertung der Druckqualität werden spezielle Prüfbilder mit Streifenkombinationen verschiedener Tintenfarben verwendet. Als Vergleichsmethode dient die Messung von Weißgrad, Farbort und Reflexionsfaktor.

Die dazu notwendigen Geräte, Computerprogramme und Arbeitsabläufe sind im Folgenden beschrieben.

A.3.2 Verwendete Geräte

Es werden folgende Geräte benötigt:

- PC (hier: 450 MHz, 256 MB)
- Ink-Jet-Testdrucker
- Scanner mit möglichst hoher Auflösung, z.B. 1200 ppi (hier: AGFA DUOSCAN T2500)
- Messgerät zur Bestimmung von Weißgrad und Farbort (hier: datacolor ELREPHO 2000)

Zur Durchführung dieser Methode müssen alle Geräte in einem Klimaraum stehen, da klimatisierte Proben geprüft werden sollen (Normklima: 23 °C, 50% rel. Luftfeuchte).

A.3.3 Vorbereitungen am PC

Die Vorbereitungen am PC sind bei der erstmaligen Durchführung dieser Methode umfangreich, entfallen dann aber bei wiederholter Anwendung.

Es sind folgende Programme zu installieren:

- Treibersoftware des Scanners
- MicrografX Designer 7.0
- MicrografX Picture Publisher 7.0
- DBS AdOculos 3.1
- Microsoft Excel ®

oder ähnliche Programme, die die gleichen Funktionen zur Verfügung stellen.

Anforderungen an den PC werden insofern gestellt, als das der PC in der Lage sein muss, die genann-

ten Programme ausführen zu können. Je weniger Rechenleistung der PC hat, desto mehr Zeit muss natürlich für die Analyse der Bilddateien eingeplant werden.

A.3.4 Erstellen des Prüfbildes

Das Prüfbild wird im MicrografX Designer nach dem Muster im Anhang A.1 erstellt. Die Breite der einzelnen Streifen beträgt jeweils 1 mm. Beim Karomuster sind die Kästchen 1x1 mm groß. Es ist allerdings besser, die Streifengröße in inch anzugeben, da auch die Drucker mit dieser Größe arbeiten und somit Rundungsfehler bei der Umrechnung von Millimeter in inch während der Druckausgabe entfallen. Die Ergebnisse werden genauer.

$$1 \text{ inch} = 25,4 \text{ mm} = 25400 \mu\text{m}$$

Im Prüfbild werden ausschließlich die im Drucker vorhandenen Farben Schwarz, Yellow, Cyan und Magenta verwendet. Es sollen alle Farben miteinander kombiniert werden, um das gegenseitige Verlaufen (Bleeding) vollständig prüfen zu können. Im Prüfbild werden in senkrechter Richtung je 25 Streifen und in waagerechter Richtung je 22 Streifen zweier Farben miteinander kombiniert. Diese Anzahl ergibt sich aus der Gesamtgröße des A4 Blattes und ist variabel.

A.3.5 Erstellen einer Ausschneid-Maske

Um bei der Auswertung vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen die zu berechnenden Bilder die gleiche Größe haben, z.B. 10x10 cm. Dazu wird im MicrografX Picture Publisher 7.0 eine Maske erstellt, mit der das gescannte Bild ausgeschnitten wird.

Nach dem Öffnen des MicrografX Picture Publisher 7.0 wird ein neues Bild erzeugt. Mit dem „Maskenwerkzeug zum Zeichnen rechteckiger/elliptischer Marken“ (Button linker Rand) und bei „Methode -> Feste Größe“ werden die benötigte „Höhe“ und „Breite“ der Bilder festgelegt. Zum Speichern der Maske klickt man im Hauptmenü „Maske“ auf „Speichern...“, trägt einen Namen ein und „Speichert“. Die Maske ist nun vorbereitet und kann angewendet werden.

A.3.6 Erstellen des Standardbildes

Nachdem das Prüfbild und die Maske zum Ausschneiden vorhanden sind, kann das Standardbild erstellt werden. Es dient zum Vergleich mit den bedruckten Proben und zu deren Einschätzung und muss daher optimal in seinen Eigenschaften

hinsichtlich der Farbverläufe sein. Als Standardbild wird hier zweckmäßig der „Computerausdruck“ genutzt.

Dazu wird aus dem Prüfbild im MicrografX Designer ein entsprechender Ausschnitt (z.B. schwarz-gelb-gestreift) in das MicrografX Picture Publisher kopiert, mit der Maske ausgeschnitten und abgespeichert.

A.3.7 Erstellen des AdOculus-Setups

Das Setup im AdOculus dient zur Auswertung der Proben. Mit diesem Programm werden im gesannten Bild die Streifen nach hell und dunkel unterschieden und bestimmte Merkmale berechnet. Die Daten über die Größe der Fläche, des Umfanges, der Länge und Breite der Streifen und ihrer Kompaktheit geben Aufschluss über die Qualität der Druckprobe.

Um das Setup zu erstellen, wird das AdOculus-Programm gestartet. Es wird automatisch ein neues, leeres Setup geladen. Falls das nicht der Fall sein sollte, kann man dieses im Hauptmenü „Datei“ unter „Setup neu“ nachholen. Jetzt müssen verschiedene Button mit Funktionen oder Bildern angeordnet und bezeichnet werden.

Um einen Bildbutton zu erhalten, klickt man mit der rechten Maustaste auf den Hintergrund im Setup-Feld. Es öffnet sich ein Menü, aus dem „neues Bild“ zu wählen ist. Im Feld erscheint ein Button mit einem Fenster und auf dem Programmhintergrund ein leeres Bildfenster – vgl. Abbildung A.3-1. In diesem Fenster werden später die zu berechnenden Bilder geladen.

Als nächstes wird ein Funktionsbutton benötigt, den man im gleichen Menü unter „neue Funktion“ erhält. Des weiteren wird noch ein Bildbutton gebraucht, in dem dann das durch die Funktion erzeugte Bild ausgegeben wird.

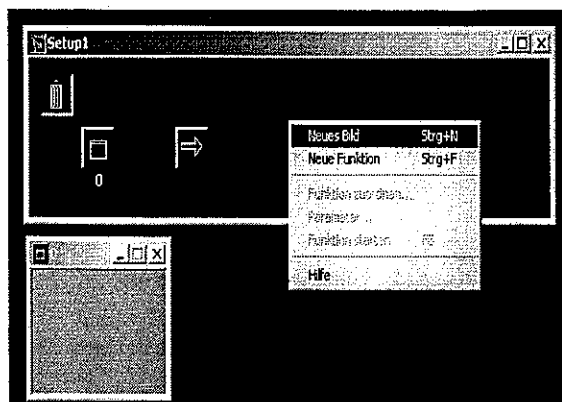


Abbildung A.3-1: Erstellen der Buttons

Dem Funktionsbutton muss jetzt eine Funktion zugewiesen und mit den Bildbuttons entsprechend verbunden werden – vgl. Abbildung A.3-2. Dazu klickt man mit der rechten Maustaste auf den Funktionsbutton und wählt „Funktion zuordnen“. Hier trägt man bei „Funktion“ die auszuführende Funktion ein, hier „Farbbild->Graubild“. Bei „Eingabe“ wird der Name des zu bearbeitenden Bildes eingetragen, hier „0“, und bei „Ausgabe“, wo das Ergebnis ausgegeben werden soll, hier „1“.

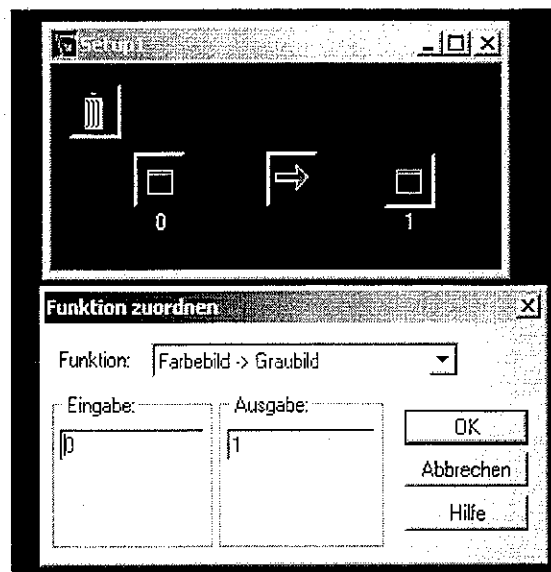


Abbildung A.3- 2: Funktionszuweisung

Die Bildbutton sollten jetzt noch sinnvoll bezeichnet werden, z.B. „0“ mit „Prüfbild“ und „1“ mit „Graubild“, indem man einfach den Text unter den Buttons anklickt und überschreibt. Dadurch ändert sich auch die Bezeichnung der Fenster.

Die sinnvolle Bezeichnung der verschiedenen Buttons ist wegen ihrer hohen Anzahl notwendig.

Damit ist der erste Funktionsabschnitt fertig und kann getestet werden. Man muss nun ein Prüfbild in das Fenster „Prüfbild“ laden, wozu man das vorher erstellte Standardbild verwenden kann. Man klickt mit der rechten Maustaste auf das Fenster. In dem geöffneten Menü wählt man „Bild laden...“ und öffnet dann die entsprechende Bilddatei. Das eingelesene Bild kann jetzt mit dem Setup bearbeitet werden. Die Funktion startet man im Hauptmenü „Start“ unter „Funktionskette starten“. Das Programm rechnet das Farbbild in ein Grauwertbild um und gibt es im Fenster „Graubild“ aus – vgl. Abbildung A.3-2.

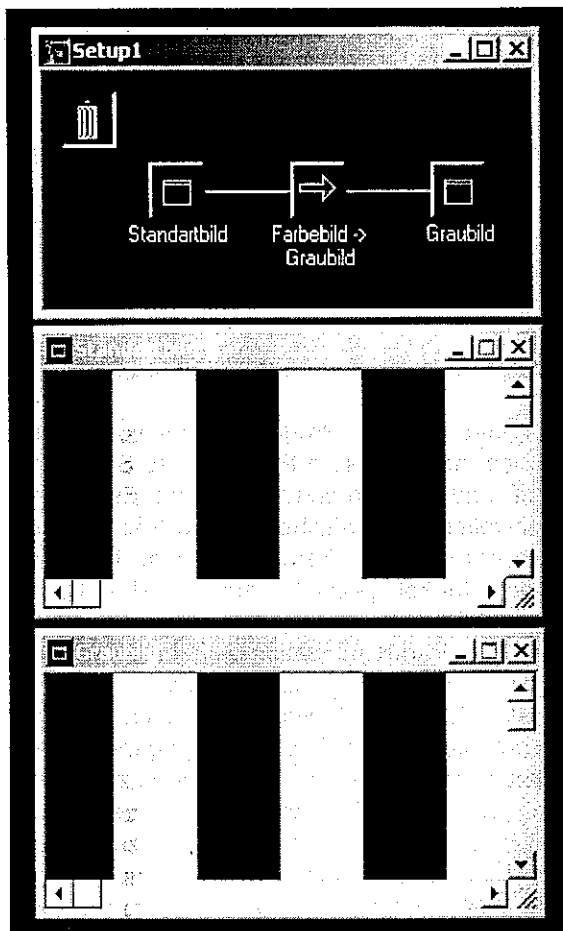


Abbildung A.3-3: Fertige Teilfunktion nach Testlauf

Funktioniert alles wie oben beschrieben, werden alle weiteren Bild- und Funktionsbuttons auf die gleiche Weise erstellt und mit ihrer jeweiligen Funktion versehen.

A.3.8 Vorbereitung der Proben

Die zu untersuchenden Papierproben (A4) werden bis zur Massekonstanz klimatisiert, wobei beim Aufhängen oder Lagern der Proben darauf zu achten ist, dass die zu bedruckende Oberfläche nicht z.B. durch Staub oder Hautkontakt verändert wird. Es müssen zusätzliche Proben klimatisiert werden, da zunächst noch die optimale Druckereinstellung für die jeweilige Papiersorte im Zusammenhang mit dem entsprechenden Testdrucker zu ermitteln ist. Dies ist notwendig, weil sich die Druckergebnisse auf verschiedenen Papiersorten mit der gleichen Druckereinstellung erheblich unterscheiden können. Man sollte für diese Untersuchung die optimale Einstellung zwischen Papier und Drucker finden. Dazu nutzt man im MicrografX Designer den Menüpunkt „Drucker einrichten“ im Hauptmenü „Datei“ und wählt zunächst das „Querformat“ als Papierformat und bei „Name“ den entsprechenden Test-

drucker aus, um dann auf „Eigenschaften“ zu klicken.

Hier kann man je nach Druckertreiber verschiedene Optionen auswählen, wie z.B. Papiertyp und Druckqualität. Es werden dann beide geöffnete Fenster mit „OK“ bestätigt und druckt das Prüfbild über den Button „Drucken“ in der Symbolleiste ausgegeben. Durch die Kombination verschiedener Einstellungen und anschließende visuelle Bewertung der Druckqualität ist die optimale Druckereinstellung festzulegen.

Die klimatisierten Proben werden nun mit dem vorbereiteten Prüfbild bei optimaler Druckereinstellung bedruckt. Sinnvoll ist es hierbei, die genaue Probenbezeichnung (Testdrucker, Testpapier, Probennummer) im MicrografX Designer auf dem unteren Rand des Prüfbildes einzufügen – vgl. Abbildung A.3-4.

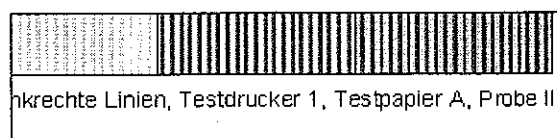


Abbildung A.3-4: Beispiel Probenkennzeichnung

Nach dem Bedrucken werden die Proben erneut bis zur Massekonstanz klimatisiert, wobei auch hier zu beachten ist, dass die Prüffläche der Proben nicht verändert werden darf.

A.3.9 Bestimmung von Weißgrad und Farbart

Wie bereits erwähnt, soll die Bestimmung von Weißgrad, Farbart und Reflektionsgrad zum Vergleich dienen. Mit dieser Methode kann man sehr schnell eine allgemeine Aussage über die Druckqualität erhalten: je höher der Weißgrad im Vergleich der Papiere (z.B. bei Schwarz-Gelb-Streifen), desto geringer das Ausbluten der Tinten. Allerdings hängt diese Bewertung stark von der Qualität des Papiers ab. Es ist daher sinnvoll eine analytische Methode heranzuziehen, die sich auf die Flächenverhältnisse der hellen und dunklen Streifen konzentriert (z.B. gelbe zu schwarze Streifen).

Weißgrad und Farbart werden nach dem Klimatisieren wie gewohnt bestimmt und in einer Tabelle zusammengefasst.

A.3.10 Bildanalyse

Zunächst muss entschieden werden, welche Farbkombinationen analysiert werden. Der Arbeits- und

Zeitaufwand kann erheblich verringert werden, wenn man sich auf eine der Farbkombinationen beschränkt. Erfahrungsgemäß bluten die Tinten bei der Schwarz- und Gelb-Kombination am stärksten aus. Deshalb wird bei der Nutzung der Methode auch vornehmlich die Schwarz- und Gelb-Kombination betrachtet.

A.3.11 Scannen

Für das Scannen der Prüfbilder gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder scannt man das gesamte A4-Blatt oder nur den Ausschnitt mit der gewählten Farbkombination. Letzteres geht wesentlich schneller und die Bilddatei benötigt weniger Speicherplatz – vgl. Abb. A.3-5.

	Zeit / min	Bildgröße / MB
A4-Blatt	7	360
Ausschnitt	1,5	14

Abbildung A.3-5: Vergleich Scann-Zeit und Speicherplatz (Dateien im bmp-Format)

Vor dem Scannen müssen die richtigen Einstellungen in der Treibersoftware des Scanners vorgenommen werden:

- Auflösung möglichst hoch (hier: 1200 ppi)
- Aufsicht
- RGB-Farben

In der Vorschauansicht muss man jetzt noch den zu scannenden Bereich festlegen und das Bild kann gescannt werden.

A.3.12 Bearbeiten

Nach dem Scannen muss das Prüfbild auf die benötigte Größe gebracht werden. Dazu sollten folgende Arbeitsschritte im Micrografx Picture Publisher (PP) ausgeführt werden:

- Prüfbild im PP laden (wenn die Scannersoftware mit dem PP verbunden ist, ist das Bild bereits geladen)
- im Hauptmenü „Maske“ auf „Laden...“ klicken und Maske laden
- Marke auf dem Prüfbild an die gewünschte Position verschieben
- über rechte Maustaste auf „Kopieren in“ und in ein „Neues Bild“ kopieren.

Es kann passieren, dass die gescannten Bilder noch „invertiert“ werden müssen, um die originalen Farben zu erhalten. Außerdem müssen die Streifen senkrecht ausgerichtet sein, da es sonst bei der Berechnung mit dem AdOculus Probleme geben könnte. Die Bilder sind also eventuell um 90° zu drehen.

Das so erhaltene Bild hat die benötigte Größe und kann gespeichert werden. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Bilder unter eindeutigen Namen (z.B. Drucker, Papier, Probennummer, Streifen original senkrecht oder waagerecht) abgelegt werden.

A.3.13 Berechnen

Die Prüfbilder können nun mit AdOculus berechnet werden.

Dazu öffnet man im Programm das vorbereitete Setup und lädt das erste Prüfbild. Das Setup wird gestartet und die Berechnung beginnt. Es ist noch ein Schwellenwert zwischen 0 und 255 festzulegen, ab dem bei der Berechnung eine Farbe als hell oder dunkel gezählt werden soll (z.B. bei Schwarz/Gelb 128). Dieser Wert muss bei allen Proben einer Farbkombination beibehalten werden, damit die Ergebnisse vergleichbar sind.

Wenn alles funktioniert, wird je eine Tabelle für die hellen und die dunklen Streifen ausgegeben. Diese Tabellen enthalten die benötigten Daten zu Fläche, Umfang, Breite und Kompaktheit der Streifen. Um diese Daten später weiter verarbeiten zu können, müssen die Tabellen als Textdateien gespeichert werden. Man klickt dazu mit der rechten Maustaste auf eine Tabelle und wählt im Menü „Bild speichern unter“. Es ist das richtige Dateiformat („.txt“) zu wählen und eine genaue Bezeichnung der Daten einzutragen.

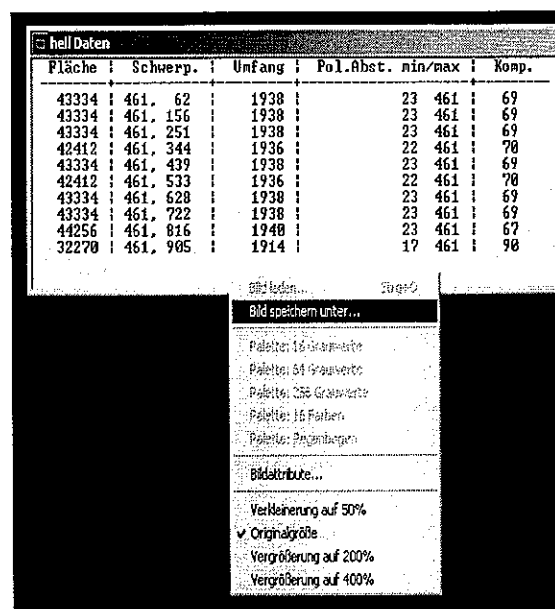


Abbildung A.3-6: Speichern der ausgegebenen Tabelle

Man sollte natürlich die Verwendbarkeit der Ergebnisse prüfen: es sollten mindestens zwei Streifen als Einheit vom AdOculus erkannt werden. Bei Proben, die sehr stark verlaufen sind, kann es

sein, dass keine Streifen als Ganzes erkannt werden. Diese Proben sind dann mit dieser Methode nicht prüfbar.

Hinweis: Es ist generell darauf zu achten, dass alle anfallenden Daten (Bilder, Textdateien usw.) hinreichend genau bezeichnet werden und in einem gut strukturiertem Ordner-System verwaltet werden. Dies erleichtert die Auswertung, da bei der Prüfung mehrerer Drucker und Papiere große Datenmengen entstehen.

A.3.14 Auswertung

Man sollte mit der Auswertung erst beginnen, wenn alle Daten einer Probengruppe (eine Farbkombination und ein Papier von einem Drucker) berechnet sind, damit man die Menge der Daten überblicken und ein angepasstes System zur Auswertung wählen kann.

Hier werden in einer Excel-Datei die Daten eines Druckers mit einer Farbkombination und allen geprüften Papieren zusammengestellt. In einem Arbeitsblatt werden jeweils die Tabellen für die hellen und dunklen Streifen auf einem Papier einer Probe eingetragen. Man kann das auch anders machen, sollte aber auf Übersichtlichkeit achten.

Die einzelnen Daten müssen aus der jeweiligen Textdatei in die Excel-Datei kopiert werden, wozu man die Textdatei im Excel öffnen muss. Dies ist ein sehr zeitaufwendiger Vorgang. Um ihn abzukürzen, kann man im Excel Makros aufzeichnen, mit deren Hilfe der Arbeitsablauf automatisiert werden kann. Darauf soll hier nicht näher eingegangen werden und nur auf einschlägige Fachliteratur bzw. die Excel-Hilfe verwiesen werden.

Das AdOculus gibt die Werte der Fläche, des Umfangs, der Breite und der Länge in Pixel an, welche in mm² bzw. mm umgerechnet werden. Folgende Formeln sind dazu zu verwenden:

Fläche (A) in mm²:

$$A = \text{Pixelzahl} \cdot (25,4)^2 / (1200)^2$$

Umfang (U), Breite (B), Länge (L) in mm:

$$U = B = L = \text{Pixelzahl} \cdot 25,4 / 1200$$

Der Mittelwert ist dann von allen Werten zu bestimmen, die vom AdOculus als ganze Streifen erkannt wurden sind (Anhang 3, 4), da nur diese eine Aussage über die Druckqualität liefern.

Am Ende sollte man alle erhaltenen Werte in einer Tabelle zusammenfassen und Mittelwert sowie Standardabweichung, Variationskoeffizient und Vertrauensbereich der Proben einer Testreihe (ein Drucker, ein Papier, eine Farbkombination), ge-

trennt nach helle und dunklen Streifen, bilden. Jetzt sind die Verhältnisse der Größen der hellen zu den dunklen Streifen ermittelbar. Diese Ergebnisse kann man noch in Diagrammen veranschaulichen.

A.3.15 Bewertung der Ergebnisse

Es werden zur Bewertung der Druckqualität hinsichtlich des Ausblutens der Ink-Jet-Tinten ineinander auf verschiedenen Papieren die Bildanalyse mit der Weißgradmessung hinsichtlich Zeitaufwand und Aussagekraft verglichen – vgl. Abb. A.3-7.

Arbeitsschritt	benötigte Zeit	Bemerkung
Vorbereitung	2 bis 3 h	PC-Kenntnisse ausschlaggebend
klimatisieren	24 h	
bedrucken	5 - 10 min	hängt von Druckertreiber ab
klimatisieren	24 h	
scannen	2 - 3 min	pro Farbkombinationskästchen
Bild bearbeiten	2 min	
Bild berechnen	1 - 5 min	hängt von Druckqualität ab
Auswertung		
Weißgrad messen	1 min	nur Messung (ohne Kalibrieren)
Auswertung		

Abbildung A.3-7: Aufzuwendende Zeit

In der Tabelle werden keine Angaben zur benötigten Zeit zur Auswertung gemacht, da der Zeitaufwand von mehreren Faktoren abhängt: Menge der Proben, geübter Umgang mit datenverarbeitenden Programmen wie Excel, Möglichkeit der Arbeitserleichterung durch Erstellen eigener Makros und natürlich wie aufwendig die Aufbereitung der Daten erfolgen soll (Tabellen, Diagramme). Man kann hier schnell auf mehrere Stunden kommen. Auch die Auswertung von Weißgrad, Farbort und Reflektionsfaktor dauert einige Zeit, da die Daten meist von Hand in die entsprechenden Tabellen eingegeben werden müssen.

Wie man der obigen Tabelle entnehmen kann, ist der Weißgrad trotzdem wesentlich schneller zu ermitteln als eine Bildanalyse durchzuführen. Wenn man die Weißgradmessung als Bewertungsmethode verwenden will, sollten die Papiere allerdings einen ähnlichen Weißgrad im unbedruckten Zustand haben, da es sonst zu einer Verfälschung der Ergebnisse kommen kann. Außerdem liefert diese Methode nur eine allgemeine, vergleichende Aussage.

Die Bildanalyse ist hingegen ein vom Papier unabhängiges Verfahren. Die Kompaktheit der Streifen und das Verhältnis der hellen zu den dunklen Streifenflächen liefert eine konkrete Aussage über die Qualität des Druckes.

Das Verfahren ist also danach zu wählen, wie genau die Beurteilung sein soll. Gegebenenfalls reicht auch eine einfache visuelle Bewertung.

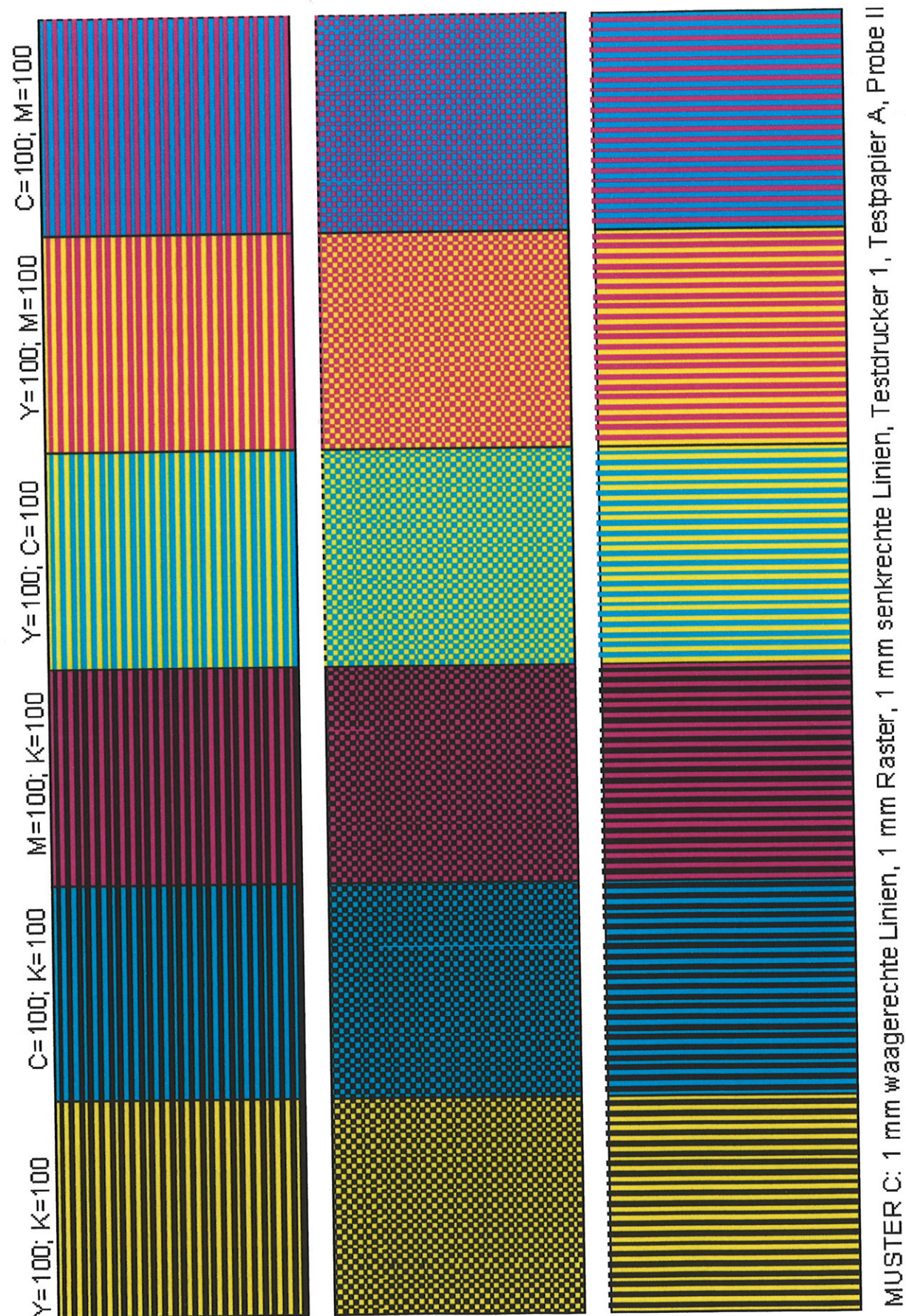


Abbildung A.3-8: Bleeding Testmuster

Anhang 2

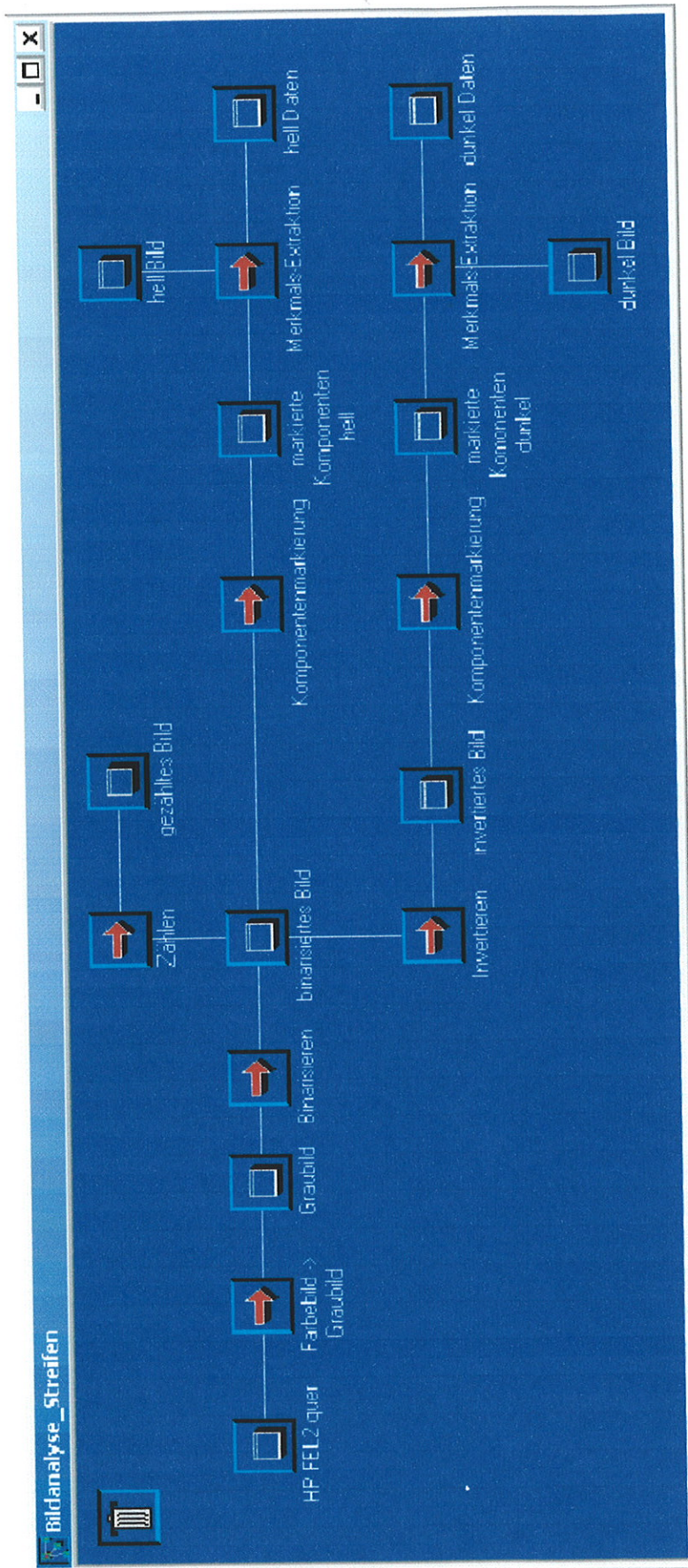


Abbildung A.3-9: AdOculus Setup

Anhang 4

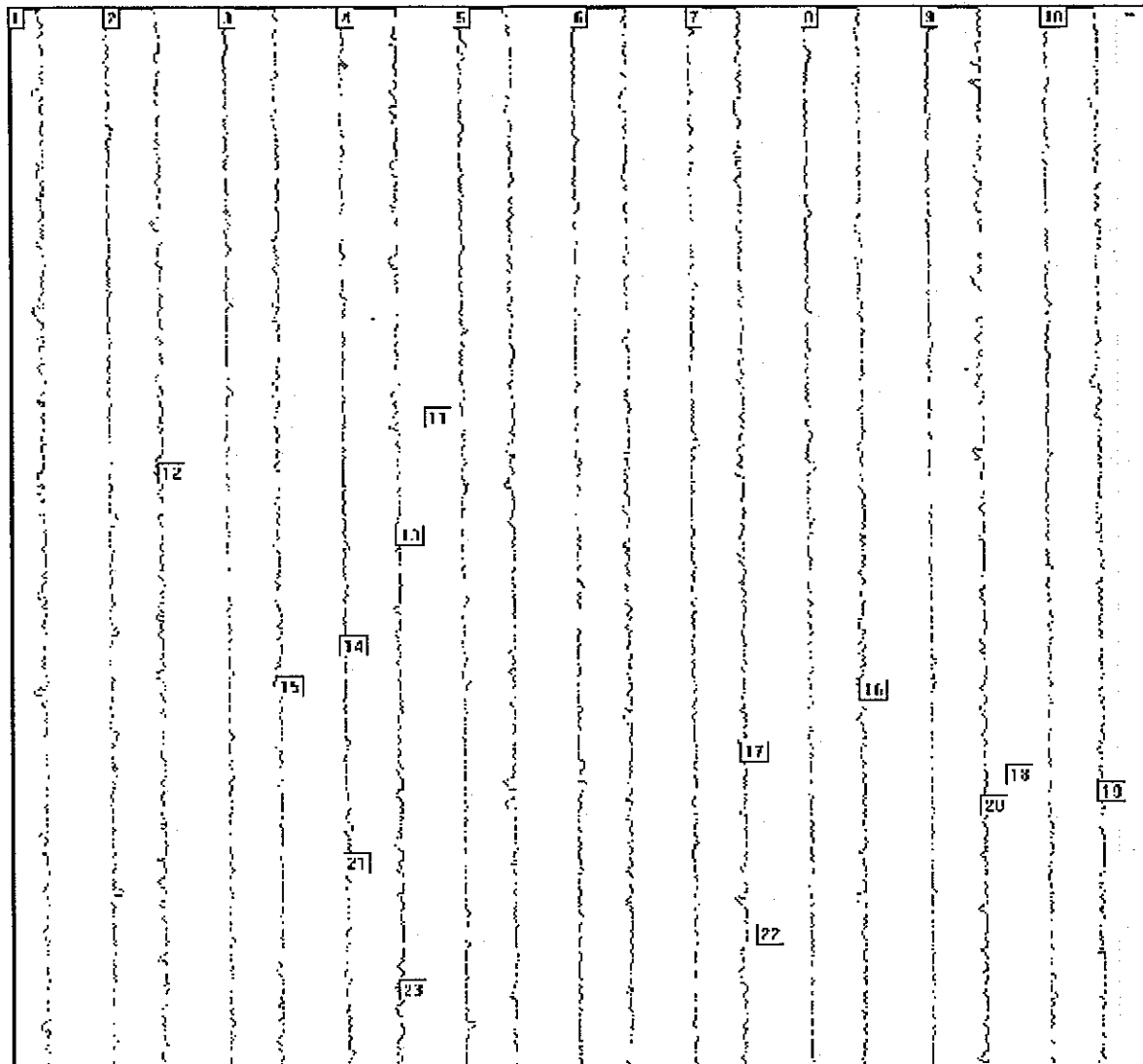


Abbildung A.3-12: Kennzeichnung aller vom AdOculus erkannten Objekte (Streifen) eines Prüfbildes

Fläche	Schwerp.	Umfang	Pol.Abst. min/max	Komp.
22829	462, 13	2426	11 461	205
37124	450, 99	2752	19 449	162
37014	449, 192	2698	16 449	156
39202	448, 287	2796	20 450	158
36425	448, 379	2762	19 450	166
38027	449, 473	2724	18 449	155
36827	449, 566	2814	19 449	171
38911	449, 661	2758	18 449	155
38086	450, 757	2736	18 449	156
37459	450, 850	2800	18 449	166
2	341, 333	6	0 1	14
2	388, 120	6	0 1	14
1	441, 310	4	0 0	12
1	535, 265	4	0 0	12
8	570, 214	14	1 2	19
7	574, 683	12	1 1	16
2	625, 588	6	0 1	14
5	646, 799	10	0 2	15
2	660, 872	6	0 1	14
1	772, 779	4	0 0	12
1	719, 267	4	0 0	12
3	780, 600	8	0 1	16
1	827, 311	4	0 0	12

Abbildung A.3-13: berechnete Größe der oben gezeigten Streifen eines Prüfbildes

Anhang 5

Abbildung A.3-14: Starkes "Color to Color Bleeding" eines **Prüfbildes**