

Beitrag zur Messung des Trockengrades eines gedruckten Farbfilms an der laufenden Papierbahn

Glück, Michael; Rodriguez-Giles, Jorge
(1979)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014030>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Report

Division: 16 Department of Mechanical Engineering
16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14030>

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren
der Technischen Hochschule Darmstadt

Institutsdirektor: Prof. Dipl.-Ing. Karl R. Scheuter

Beitrag zur Messung
des Trockengrades eines gedruckten Farbfilms
an der laufenden Papierbahn

von

Dr.-Ing. Michael Glück und Dr. rer. nat. Jorge Rodriguez-Giles

Darmstadt 1979

Institutsbericht 1/1979

Der vorliegende Bericht unterrichtet über das 1976 unter Leitung von Prof. Dipl.-Ing. K.R. Scheuter begonnene und Ende 1977 abgeschlossene Forschungsvorhaben "Untersuchung des Zusammenhangs zwischen einem druck- und verarbeitungstechnisch relevanten Trocknungsgrad und dem Ablauf des Trockenprozesses bei in Walzenfarbwerken (z.B. im Offsetdruck) anwendbaren Druckfarben". Sachbearbeiter waren

Dr.-Ing. M. Glück und Dr.rer.nat. J. Rodriguez-Giles.

Finanzieller Träger des Forschungsvorhabens war die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. mit Zuwendungen des Bundeswirtschaftsministeriums über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen A.I.F.

Dank gebührt der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. und ihren Mitgliedsfirmen auch für ihre Unterstützung durch Sachspenden.

I N H A L T

	Seite
0. Verzeichnis der wichtigsten Symbole	VII
1. Wissenschaftliche Problemstellung	1
2. Stand der bisherigen Forschung	3
3. Zielsetzung und allgemeine Anforderungen	6
4. Das Meßprinzip	8
5. Beschreibung der Versuchsanlage	12
5.1 Die Druckmaschine	12
5.2 Die Ausrüstung der Trockenstrecke	15
5.3 Die Abschmiereinheiten	16
5.4 Allgemeines zur Abtastung	20
6. Der Nachweis der Verschmierung	23
6.1 Die Linienbeleuchtungen	24
6.2 Die Steuerelektronik	28
6.3 Abtastung und Auswertung der Fa. Zimmer	30
6.4 Abtastung und Auswertung von Dr. Celio	35
6.5 Über die Messung von Buntfarben	40
7. Die Registriersysteme	45
7.1 Der Transientenspeicher	46
7.2 Der Signalanalysator	48

	Seite
8. Voruntersuchungen mit der Zimmer-Anordnung	53
8.1 Messungen an der laufenden, unbedruckten Papierbahn	53
8.2 Messungen an der laufenden, bedruckten Papierbahn	58
9. Voruntersuchungen mit der Celio-Anordnung	63
9.1 Allgemeine Fehlerquellen	63
9.2 Der Meßvorgang	71
10. Untersuchungen des Abschmierverhaltens	72
10.1 Die Auswahl der Meßparameter	73
10.2 Untersuchung der Einwirkung von Infrarot- Strahlung auf konventionell trocknende und IR-trocknende schwache Offsetfarben.	78
10.3 Vergleich im Trocknungsverhalten von konventionell und IR-trocknenden Farben	81
11. Ausblick auf weitere Arbeiten	85
12. Zusammenfassung	86
Anhang	88
Literatur	91

0. Verzeichnis der wichtigsten Symbole

B - Breite

f - Fläche

H - Bestrahlungsstärke (J/cm^2)

K - Konstante

L - Leuchtdichte

M - Spannung prop. zur Leuchtdichte in der Meßspur

N - Anzahl

P - Strahlerleistung (W/cm)

Q - Quotient von Leuchtdichten als Maß für den Trockengrad

q - Farbmenge pro Flächeneinheit

R - Spannung prop. zur Leuchtdichte in der Referenzspur

s - Schichtdicke

T - Temperatur

t - Zeitkoordinate

V - Verschmierungsgrad

VI- Integraler Verschmierungsgrad

v - Bahngeschwindigkeit

x - Ortskoordinate in Laufrichtung der Bahn

β - Remissionsgrad

λ - Wellenlänge

σ - Standardabweichung

Ω - Ortsfrequenz

ω - Frequenz

Indices

b - Bedruckstoff

h - Halbwert

M - zur Meßspur gehörig

o - anfangs, erster Wert

R - zur Referenzspur gehörig

w - weiß

Beitrag zur Messung des Trockengrades eines gedruckten Farbfilms an der laufenden Papierbahn

1. Wissenschaftliche Problemstellung

In Druckmaschinen mit Walzenfarbwerken muß die Druckfarbe durch das Farbwerk in gleichmäßiger Schicht auf die Druckform aufgetragen werden und von dieser auf den Bedruckstoff übertragen werden. Während dieser Vorgänge muß die Farbe leicht spaltbar und deshalb flüssig sein. Sie darf auch auf dem Weg bis zum Bedruckstoff nicht trocknen. Nach dem Druck jedoch muß eine Trocknung der Farbschicht auf dem Bedruckstoff mindestens in dem Maß erfolgen, daß das Druckprodukt innerhalb der Druckmaschine und auch bei den nachfolgenden Arbeitsgängen problemlos verarbeitbar ist. Es kommt also entscheidend darauf an, wie schnell der Trockenprozeß abläuft, und daß dieser im Idealfall erst dann einsetzt, wenn die Druckfarbe auf dem Bedruckstoff aufgetragen ist.

Während bei einem Papier ohne Oberflächenbehandlung die flüssigen Bestandteile der Farbe schnell absorbiert werden, besteht diese Möglichkeit bei gestrichenen Papieren nicht. Es werden zusätzliche Trockeneinrichtungen nötig. Verläßt das Produkt die Maschine, ohne daß der Farbfilm genügende Festigkeit hat, so ergeben sich nachfolgend Qualitätsminderungen durch Verschmieren und Ablegen von Farbe bei nachfolgenden Arbeitsgängen.

Der Begriff Trocknung ist in diesem Zusammenhang besser durch den Begriff Verfestigung charakterisiert. Diese Verfestigung erfolgt in zwei Phasen. In der ersten wird durch Bindemittelverlust (Wegschlagen, evtl. Lösemittelverdunstung) die Zähigkeit der Farbe soweit erhöht, daß ein Ablegen oft vermieden wird. In der zweiten Phase erfolgt die Härtung

der Farbe, so daß sie abriebfest wird und den Anforderungen der Weiterverarbeitung standhält. Ein Produkt ist dann trocken genug, wenn es die in der zweiten Phase gewonnenen Eigenschaften besitzt (drucktechnisch relevanter Trockengrad).

Um hierfür ein Maß zu finden, sind spezielle Abschmiertests entwickelt worden, die alle außerhalb der Maschine angewendet werden. Genügt der getrocknete Farbfilm diesen Tests, so ist für den Praktiker ein ausreichender Trockengrad erreicht. Der Drucker selbst prüft die verlangte Festigkeit oft mit dem Nageltest.

Aufgrund der Forderung, die Maschinenleistung zu steigern, wobei gleichzeitig eine Verbesserung der Qualität der Erzeugnisse angestrebt wird, ist ein immer größerer Einsatz von Trockeneinrichtungen notwendig. Dabei genügen die üblichen Trockner keineswegs immer den gestellten Ansprüchen, sie sind sowohl hinsichtlich des Energieverbrauchs als auch ihres Trockenergebnisses nicht optimal. Aus diesem Grunde möchte man immer wieder den Trockenprozeß automatisieren und ihn optimieren. Die größte Schwierigkeit auf diesem Weg besteht in der Suche nach einem Meßverfahren, das es gestattet, den Zustand des Druckfarbenfilms objektiv zu erfassen.

Je nach Art der einzelnen Verarbeitungsstationen sind die Belastungen auf das Druckerzeugnis verschieden. Einerseits sind es Relativbewegungen zwischen bedruckter Fläche und Maschinenteilen unter Druckbelastung. Das dabei auftretende Abschmieren führt zu folgenden Erscheinungen /38/:

- 1) Verschmieren des Druckbildes
- 2) Rückübertragen von Farbteilchen auf andere Stellen des Druckträgers durch verschmierte Maschinenteile.

Andererseits kann bei reiner Druckbelastung noch ein Absetzen von Farbpartikeln von einer Druckoberfläche auf die

andere, insbesondere bei der Weiterverarbeitung zusammengeführter Bahnen und bei der Stapelung, auftreten.

Abschmieren und Absetzen führen zu Makulaturexemplaren. Das Abschmieren auf Maschinenteile führt zum Aufbauen der Farbe an diesen Stellen und dadurch zu Betriebsstörungen. Kritische Stellen bei Rollenmaschinen sind die auf Druck und Trocknung folgenden Leitwalzen, folgende Druckwerke, Papierstrangzusammenführung und vor allem Falzapparate.

Im allgemeinen treten bei Rollenmaschinen vorwiegend Spannungen parallel zur Farbfilmoberfläche auf.

Wegen der unterschiedlichen Vorgänge im Stapel und an der laufenden Papierbahn gilt es, sich vorerst auf den letzteren als den übersichtlicheren der beiden zu beschränken. Der Bericht bezieht sich demzufolge auf die Vorgänge an der laufenden Papierbahn.

2. Stand der bisherigen Forschung

Über die Mechanismen der Druckfarbentrocknung ist für alle vorkommenden Farbzusammensetzungen bereits ausführlich in der Literatur berichtet worden. Die wichtigsten Quellen sind in /1 bis 8/ angeführt.

Dabei wird der für einen bestimmten Farbaufbau maßgebende Ablauf der Trockenreaktion beschrieben. Behandelt werden auch die zur Einleitung und Verbesserung der Trocknung notwendigen Trocknersysteme, Farbzusätze wie Trocknerbeschleuniger und Trocknerverzögerer sind ebenso bekannt wie äußere Einflußfaktoren auf die Trocknung, z.B. pH-Wert des Papiers, Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffgehalt der Luft, Inertgasatmosphäre u.a. /9 bis 14/.

Bei der modernen Druckfarbenentwicklung setzt man zusehends auf Farben, deren Verfestigungsreaktion mit Hilfe elektromagnetischer Strahlung (Mikrowellen, IR, UV) oder sogar mit

Elektronenstrahlen /4, 5, 15 bis 24/ eingeleitet wird. Über die Chemie der Reaktionsabläufe bestehen weitgehend genaue Vorstellungen. Die Druckfarbentechnik entwickelt immer neue Farbsysteme, wobei oft eine optimale Kombination mehrerer Trockenmechanismen angestrebt wird.

Die Prüfung des Erfolges dieser Entwicklungsbemühungen ist mangels eines einheitlichen Bewertungskriteriums für die Trocknung schwierig.

Aufgrund der zahlreichen unterschiedlichen Mechanismen für den Verfestigungsvorgang des Druckfarbenfilms wäre es vorteilhaft, eine einzige Prüfmethode zur Verfügung zu haben. Diese Prüfung muß sich sinnvollerweise nach den Anforderungen bezüglich eines prozeßgerechten Trockengrades richten.

Zur Untersuchung des Trockenverhaltens sind einige Methoden bekannt, die allesamt Laborprüfmethode sind und daher keine Anwendung an der Maschine finden.

Eine Übersicht über mögliche Methoden einschließlich einer Beurteilung liefert Illmayer /25/.

Folgende, bisher ausschließlich im Labor angewendete Methoden zur Prüfung des Trockenverhaltens von Druckfarben sind bekannt:

2.1 Prüfung des Wegschlagverhaltens

Angewandte Meßtechniken zur Untersuchung des Wegschlagverhaltens sind:

- a) Mikrotomschnitt und Auswertung durch Beobachtung des Papierquerschnitts unter dem Mikroskop /26, 27/
- b) Benutzung radioaktiver Spurentechniken /28, 29/
- c) Prüfung auf Durchscheinen mit photo-optischen Methoden /28, 30/.

Die Prüfung des Wegschlagens umfaßt nur eine Komponente

des Trockenvorgangs und gibt keine Aussage über die Festigkeit des Farbfilms.

- 2.2 Bestimmung des Restlösemittelgehalts mit Hilfe der IR-Spektroskopie oder der Gaschromatografie /31, 32/ an lösemittelhaltigen Systemen.
- 2.3 Eine Möglichkeit zur Ermittlung des Trockenzustandes besteht in der Bestimmung des Masseverlustes bei der Trocknung. Es werden Geräte verwendet, die mit radioaktiven Isotopen in einem Differenzmeßverfahren arbeiten.
- 2.4 Messung des Glanzes von Druckfarben.
In /33/ wird die Verfestigungsdauer über die Glanzabnahme einer bedruckten Fläche photoelektrisch gemessen. Die Abnahme des Glanzes von Druckfarben als Folge des Trockenvorganges wird in /34, 35/ bestätigt.
- 2.5 Ermittlung des Polymerisationsgrades mit Hilfe eines Lösemitteltests. Gleichzeitig gedruckte Teststreifen werden in bestimmten Zeitabständen mit Toluol behandelt. Je nach Polymerisationsgrad löst sich Farbe. Die Auswertung des verbliebenen Farbfilms erfolgt mit dem Densitometer /36, 37/.
- 2.6 Prüfung auf Abschmieren, Ablegen, Stapelfestigkeit /30, 38 bis 40/.
Bei dieser Art der Prüfung wird der Farbfilm einer Beanspruchung ausgesetzt.
Bei den derzeit auf dem Markt befindlichen Trockendauerprüfgeräten wird Farbe von bedruckten Streifen in abgestuften Zeitabständen nach dem Druck auf unbedruckte Konterstreifen abgeschmiert. Die Zeitdauer, nach der kein Abdruck mehr erfolgt, wird als Trockendauer definiert. Die Bewertung der abgeschmierten Konterbogen erfolgt entweder rein subjektiv mit dem Auge oder mit einem Densitometer.

Die hier erwähnten bekannten Verfahren zur Messung des

Trockenverhaltens lassen den Nachweis für eine Anwendbarkeit in der Maschine vermissen. Vor allem fehlt die Korrelation zwischen Festigkeit des Farbfilms bei mechanischer Beanspruchung und dem eigentlichen Meßwert für den Trockengrad.

3. Zielsetzung und allgemeine Anforderungen

Aus dem bisherigen ergibt sich als Zielsetzung, einen drucktechnisch relevanten Trockengrad eines verdruckten Farbfilms bei laufender Papierbahn feststellen zu können. Nach eingehender Überprüfung anwendbarer physikalischer Prinzipie zur Trockengradbestimmung sind wir zu dem Ergebnis gekommen, daß eine nach dem Abschmierprinzip arbeitende Methode am geeignetsten ist. Eine solche Methode hat folgende Vorteile:

- a) Sie ist unabhängig vom jeweiligen Trockenmechanismus der verwendeten Druckfarbe und ist damit universell einsetzbar bei allen Druckverfahren, unabhängig davon, welche Farbe verdruckt wird.
- b) Die kombinierten Druck- und Scherbeanspruchungen auf dem Farbfilm in einer Rollenrotationsmaschine und zum Teil auch bei der Weiterverarbeitung werden in ihren Auswirkungen berücksichtigt.

Eine Belastung, wie sie im Auslagestapel von Bogenmaschinen auftritt, ist damit jedoch nicht nachzubilden.

In der Druckmaschine ergeben sich während der Produktion die Abschmierungen von alleine, sofern der Farbfilm nicht genügend verfestigt ist. Im Versuch wird man gezielt an den Meßstellen für ein Abschmieren sorgen müssen. Dieses Abschmieren muß unter definierten Bedingungen erfolgen, d.h. die das Abschmieren beeinflussenden Parameter Anpreßkraft, Reibkraft und Relativgeschwindigkeit müssen meßbar sein.

Für die Funktion des Abschmierens muß daher eine gesonderte Einheit gebaut werden, die standardisierte Abschmierbe-

dingungen erlaubt. Das Erscheinungsbild des Abschmierens hingegen wird weitgehend von dem verwendeten Papier und dem zu prüfenden Zustand der Farbe abhängen.

Die erzeugte Abschmierung soll mit opto-elektronischen Methoden erfaßt werden können. Die Verwendung dieser Methoden ist in zweierlei Hinsicht vorteilhaft. Zum einen gibt es hier eine große Zahl von Bauelementen (Quellen und Empfänger) im Handel und sehr grundlegende Eigenentwicklungen entfallen. Zum zweiten werden optische Abtastungen im Bereich der Drucktechnik auch für andere Zwecke benötigt (z.B. on-line Densitometrie), so daß die hierzu erarbeiteten Erkenntnisse auch dem Fortschritt auf anderem Gebiet dienen bzw. Erfahrungen aus solchen Gebieten verwendet werden können.

Die opto-elektronischen Signale sollen direkt im on-line Betrieb ausgewertet werden. Als Ergebnis der Auswertung soll einmal ein Maß für den Trockengrad angezeigt werden und zudem ein Steuersignal für eine Trocknerregelung zur Verfügung stehen. Der zeitliche Ablauf der Verfestigung des Druckfarbenfilms muß nach dem Druck beeinflussbar sein, um unterschiedliche Verfestigungsgrade bis zur Meßstelle zu erzeugen. Zu diesem Zweck soll eine Trockenstrecke zwischen dem Druckwerk und der Abschmiereinheit angeordnet werden. Je nach Zusammensetzung der verdruckten Farbe sollen unterschiedliche Trockeneinrichtungen eingesetzt werden.

Aus diesen allgemeinen Anforderungen entstand der gesamte Versuchsaufbau, bestehend aus:

Papierabrollung, Druckmaschine mit Druckwerk, Farbwerk und Papierführungselementen, Trockenstrecke, Abschmiereinheit, Abtastvorrichtung und Zugwalzen. Dieser Aufbau ist in Abb. 2 zu sehen.

4. Das Meßprinzip

Untersucht man eine Schmierspür, dann stellt man fest, daß die abgeschmierte Farbe auf den Rauigkeitsspitzen des verschmierten Papiers liegt. Unter dem Mikroskop erscheinen die verschmierten Rauigkeitsspitzen als kleine Farbpunkte unterschiedlicher Form. Dabei nimmt die Zahl der Rauigkeitsspitzen, die Farbe tragen, mit steigendem Abstand von der bedruckten Stelle ab.

Diese Farbpunkte einzeln zu erfassen ist nicht notwendig, denn zum einen ist ein einzeln auftretender Punkt noch kein ausreichendes Indiz für eine zu geringe Trocknung. Zum anderen ist der einzelne Punkt bezüglich Größe und Auftretenshäufigkeit schwer zu erfassen.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Frage nach Größe und Geometrie des Meßfeldes. Mit einem kleinen punktförmigen Meßfleck wäre man zwar in der Lage, einzelne verschmierte Rauigkeitsspitzen aufzudecken. Im Meßsignal würden sich dann Hell-Dunkelstellen abwechseln, die aber erst zu einem Verschmiergrad ausgewertet werden müßten. Es schien daher zweckmäßig, anstelle eines runden Meßflecks eine schmale Meßlinie zu verwenden, die quer zur Laufrichtung des Papiers angeordnet ist.

Mit einer solchen Meßlinie werden alle Abschmierpunkte erfaßt und geben integral über die Linie ein deutlicheres und auch aussagefähigeres Meßsignal, als es der einzelne Punkt tun würde. Über die Breite der Linie bzw. des Meßspalts wird bereits eine Mittelung vorgenommen. Eine solche Meßlinie kann auch durch einen schnellen quer zur Bahn laufenden Punkt simuliert werden.

An der Meßgeometrie der Linie orientieren sich nun zwangsläufig auch das Druckmuster, die Beleuchtung und die Abtastung. Das erste verwendete Prüfmuster war daher ein

Linienraster mit 4 mm breiten bedruckten Linien und 8 mm breiten Zwischenräumen (Abb. 1).

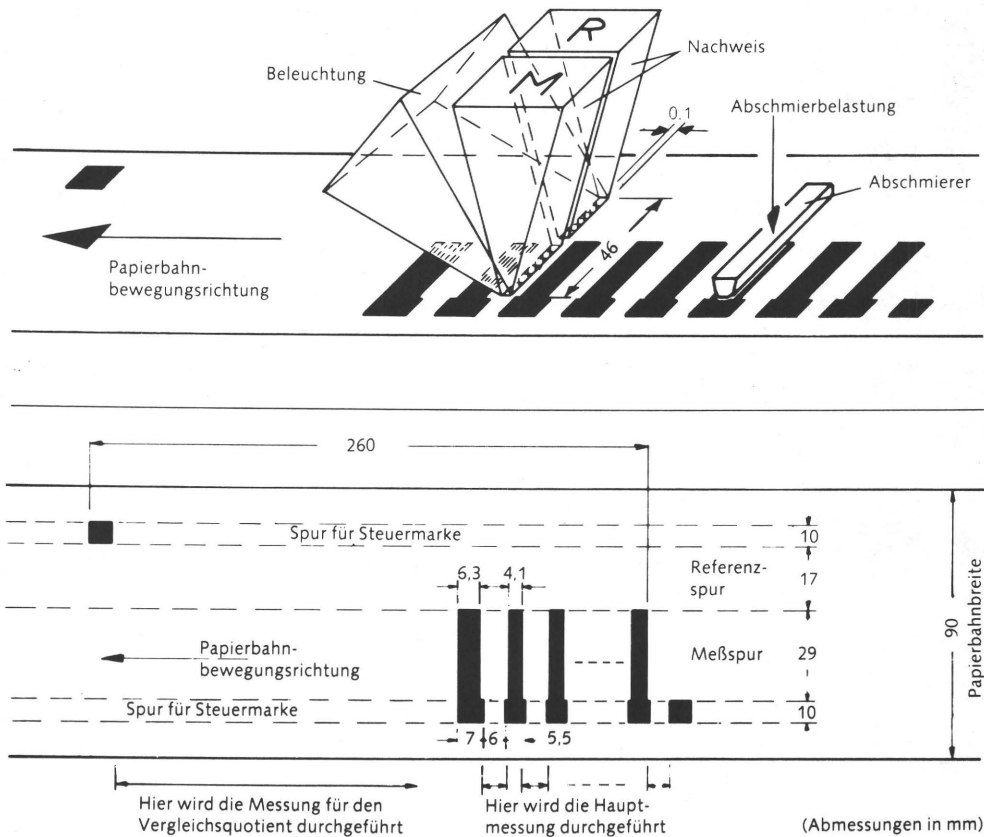


Abb. 1 Ein Linienraster als Meßmuster

Werden solche Druckmuster über eine Abschmieranordnung einer Belastung ausgesetzt, so schmiert die Farbe ab, sofern der Farbfilm nicht fest genug ist. Diese Verschmierung ist am besten in den unbedruckten Zwischenräumen zu erkennen und soll dort auch erfaßt werden. Sie äußert sich - physikalisch gesehen - in einer Verminderung der Leuchtdichte. Um die Abnahme der Leuchtdichte nur infolge Verschmierung zu erfassen, ist es notwendig, einen Vergleich mit der Leuchtdichte einer unverschmierten, aber gleich beleuchteten und gleich belasteten Papieroberfläche durchzuführen.

Die Begründung dafür liegt darin, daß die Papiere - über längere Strecken betrachtet - einfallendes Licht nicht einheitlich remittieren und daß die Feststellung der Farbfilmverfestigung unabhängig vom verdruckten Papier sein muß. Hingegen darf man annehmen, daß längs einer Linie von nicht zu großer Ausdehnung die Remissionseigenschaften gleich sind. Die Messung der Leuchtdichten wird daher an zwei direkt nebeneinander liegenden Feldern oder Spuren durchgeführt, d.h. an einem Meßfeld (mit M gekennzeichnet), in dem die Verschmierung erfolgt, und an einem Referenzfeld (mit R gekennzeichnet), das die Vergleichswerte liefert (Abb. 1).

Das Verhältnis der Leuchtdichten von Meß- und Referenzfeld Q:

$$Q = \frac{L_M}{L_R} \cdot 100\% \quad (1)$$

gibt bereits eine Aussage über den Grad der Verschmierung im Meßfeld.

Dabei ist:

L_M = Leuchtdichte im Meßfeld

L_R = Leuchtdichte im Referenzfeld

Die Abnahme der Leuchtdichte V, die auch als ein Maß für die Verfestigung des Farbfilms betrachtet werden kann, wird gegeben durch:

$$V = \left(1 - \frac{L_M}{L_R}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Sowohl Gl. (1) als auch Gl. (2) können zu einer Bewertung des "Verschmierungsgrades" einer nicht genügend trockenen Druckfarbe auf einem Bedruckstoff herangezogen werden.

Die Größe der Verschmierung bei einer bestimmten Belastung gibt Auskunft über den Zustand der Verfestigung und damit über den Trockenzustand des Farbfilms. Die Beziehungen (1) und (2) sind damit auch als Bestimmungsgleichungen für den Trockengrad brauchbar.

Die aus der Meßanordnung kommenden elektrischen Signale M und R sollen proportional zu den Leuchtdichten sein. Mißt man sowohl im Meß- als auch im Referenzkanal auf weißem Papier, was einer Messung bei einer ganz durchgetrockneten nicht mehr abschmierenden Farbe entspricht, dann muß der Quotient Q aus M und R gleich 100% sein. Der Verschmierungsgrad V ist dann 0.

Die beschriebene Vergleichsmeßmethode zeigt die folgenden Vorteile:

- a) Da nur Verhältnisse von Leuchtdichten interessieren, stören Beleuchtungsschwankungen, wenn auf Meß- und Referenzfeld gleich wirkend, nicht.
- b) Q bzw. V hängen nur von der Farbmenge ab, die abgeschmiert wurde. Daher sind diese Meßwerte unempfindlich gegen Änderungen der optischen Eigenschaften des Bedruckstoffes.

Bei dem Entwurf einer Meßanordnung ist zusammenfassend folgendes zu beachten.

- a) Es muß gewährleistet werden, daß sich Schwankungen der Beleuchtung, wenn sie überhaupt eintreten, im selben Maß auf Meß- und Referenzfeld auswirken.
- b) Auch der Nachweis der remittierten Strahlung darf, wenn überhaupt, nur in dem selben Maß für Meß- und Referenzfeld driften.
- c) Nur das Licht, das von der verschmierten Farbe absorbiert werden kann, ist von Interesse. Aus diesem Grund soll der Nachweis außerhalb des Glanzwinkels der Beleuchtung erfolgen.
- d) Die elektrischen Ausgangssignale M und R müssen proportional zu den Leuchtdichten sein. Bei nicht verschmierter Farbe, also weißem Papier in Meß- und Referenzkanal, muß der Quotient $Q=100\%$ und der Verschmiergrad $V=0\%$ sein. Unterschiede in den Meßkanälen können Abweichungen von diesen Werten zur Folge haben. Solche Unterschiede können

z.B. durch verschiedene spektrale Empfindlichkeiten bei Verwendung zweier Photoempfänger im Nachweissystem entstehen.

Daher ist direkt vor Beginn jeder Messung eine "Normierung", d.h. Eichung, notwendig, bei der auf dem weißen Papier die Werte

$$R_W = \text{Meßsignal im Referenzkanal auf weiß}$$
$$\text{und } M_W = \text{Meßsignal im Meßkanal auf weiß}$$

ermittelt werden. Der Quotient

$$Q = \frac{R_W}{M_W} \cdot \frac{M}{R} \quad (3)$$

ist dann sicher gleich 1, wenn keine Verschmierung vorliegt.

Dabei ist: M = Meßsignal proportional zu L_M

R = Referenzsignal proportional zu L_R

Apparative Empfindlichkeitsunterschiede werden durch den Normierungsfaktor R_W/M_W abgeglichen.

5. Beschreibung der Versuchsanlage

Die Beschreibung der Versuchsanlage orientiert sich an Abb. 2 und den dort eingetragenen Funktionen.

5.1 Die Druckmaschine

Zum Bedrucken wird eine Modell-Druckmaschine verwendet, die früher einmal zur Untersuchung der Farbschichtverteilung im Farbwerk gebaut wurde /52/. Diese Maschine (Abb. 3) besteht aus einer Seitenwand, an der alle Zylinder und Walzen fliegend gelagert sind und leicht ausgetauscht oder umgebaut werden können. So kann die Farbwerksgeometrie den Bedürfnissen des Verfahrens angepaßt werden. Die Farbeinspeisung erfolgt über einen Heber.

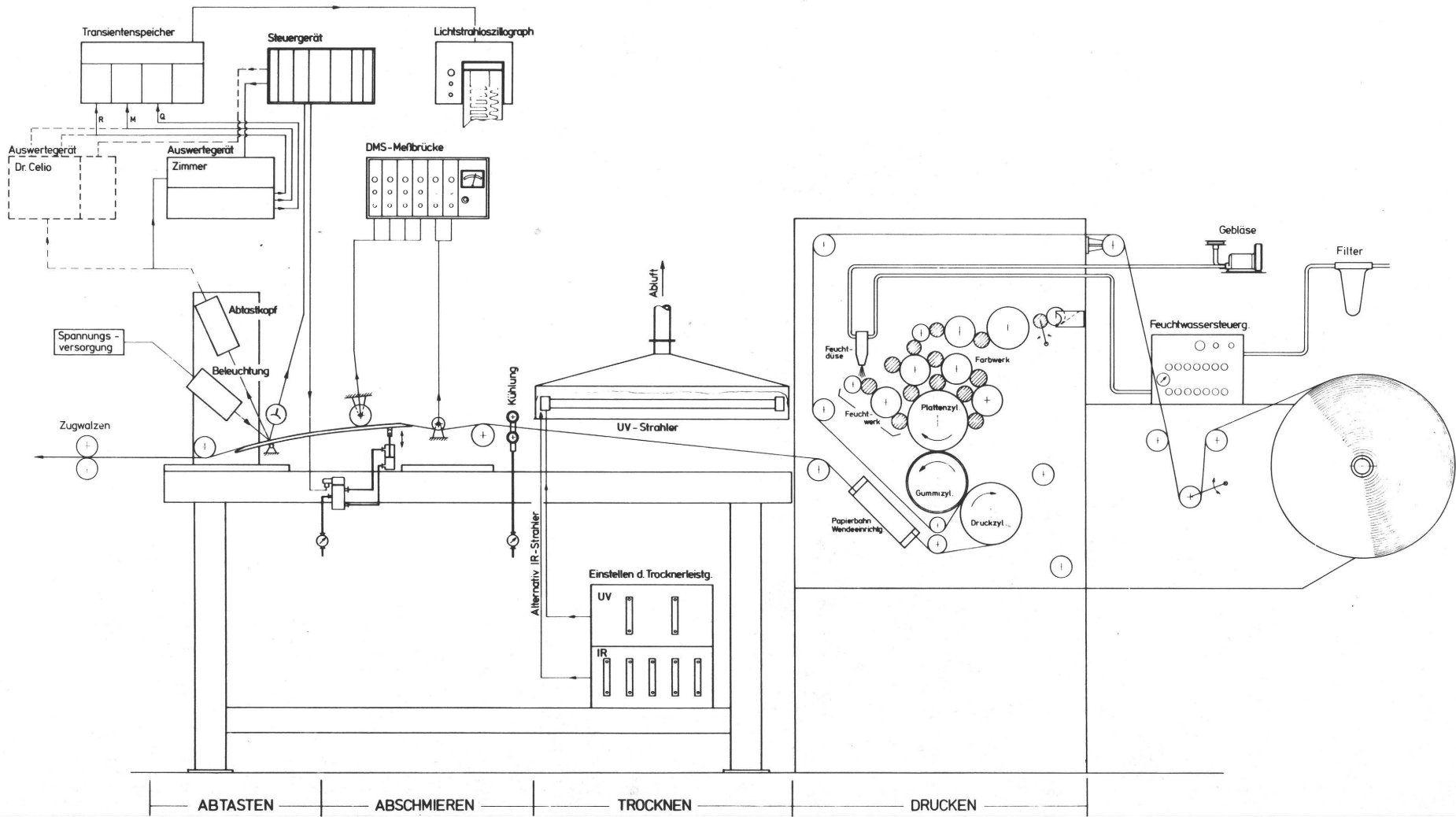


Abb. 2 Übersicht über die Versuchsanordnung

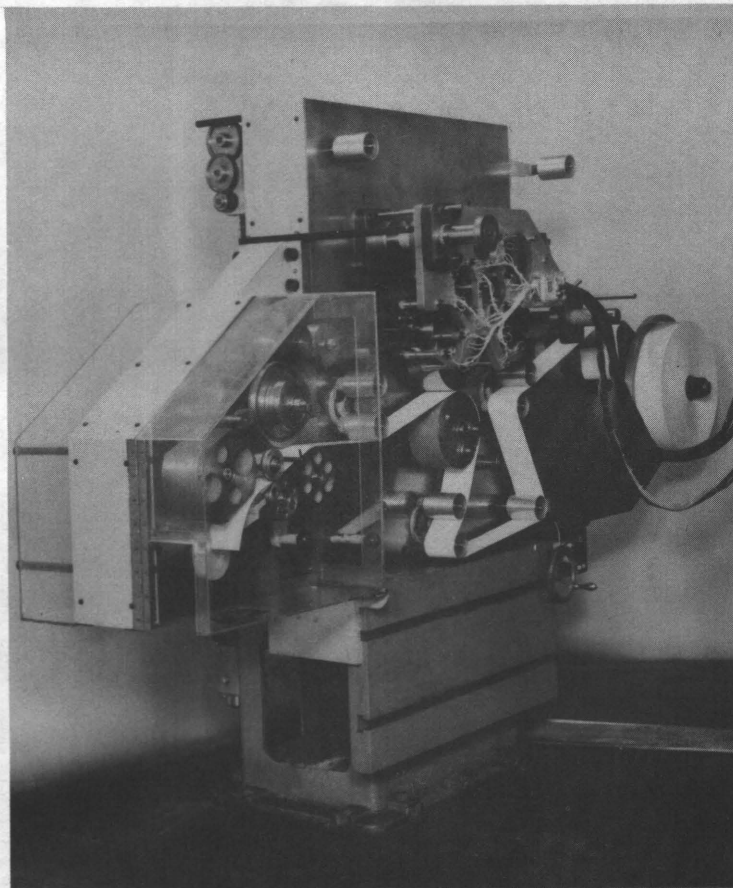


Abb. 3 Die Modelldruckmaschine

Man kann die Maschine im Hochdruck-, im indirekten Hochdruck-, im Offsetdruck- und im Di-litho-Verfahren betreiben. Für die Flachdruckverfahren wurde ein Düsenfeuchtwerk (Smith) angebaut. Der Düsenbalken enthält mehrere Düsen, von denen jede über eine eigene Pumpe betrieben wird, und die daher einzeln einschaltbar und steuerbar sind. Die Feuchtmittelmenge wird zudem noch abhängig von der Maschinengeschwindigkeit nachgeregelt. Die einmal eingestellte Feuchtmittelmenge ist dann volumetrisch für verschiedene Maschinengeschwindigkeiten bestimmbar. Es kann direkt auf die Platte oder auf die erste Auftragswalze gefeuchtet werden.

Die Papierbahnführung ist je nach Druckverfahren unterschiedlich. Es muß jedoch immer darauf geachtet werden, daß die bedruckte Seite nach dem Druck nicht mehr mit Maschinenteilen in Berührung kommt und mit dem Druck nach oben aus

der Maschine läuft. Dafür ist ein Wendestangensystem vorgesehen, über das die Papierbahn über ein durch Blasluft erzeugtes Luftpolster läuft.

Die Zylinder der Maschine sind, ebenso wie die Papierbahn, 90 mm breit und haben einen Durchmesser von 200 mm. Wegen der schmaleren Auftragswalzen können jedoch nur 65 mm Breite gedruckt werden.

Die Maschine wird über einen elektronisch geregelten Gleichstrom-Nebenschlußmotor mit Tachorückführung angetrieben. Damit sind Bahngeschwindigkeiten bis 5 m/s erreichbar. Die Geschwindigkeiten im Versuch sind jedoch auf 3,5 m/s begrenzt.

5.2 Die Ausrüstung der Trockenstrecke

Im Anschluß an die Maschine ist Platz für eine Trockenstrecke vorgesehen. Hier können Strahler für eine Strahlungstrocknung oder auch Düsen für eine Heißlufttrocknung angeordnet werden. Derzeit verfügen wir über einen UV-Trockner (Original Hanau Q 6719) mit einer Gesamtleistung von 6,7 kW. Die maximale Strahlungsleistung im UV liegt bei 366, 313 und 254 nm.

Die Leistung über die UV-Bereiche ist wie folgt verteilt:

UV-A (400-315 nm) 7,2 W/cm

UV-B (315-280 nm) 8,5 W/cm

UV-C (< 280 nm) 9,4 W/cm

Es wird ein parabolischer Alu-Reflektor von Hildenbrand verwendet. Die Ozonabsaugung erfolgt über ein Gebläse, das gleichzeitig der Kühlung dient.

Eine für die Untersuchungen notwendige Änderung der Bestrahlung kann durch teilweises Abdecken des Strahlers, durch Schrägstellen oder Geschwindigkeitsänderungen erreicht werden. Bei Halblast sinkt der UV-Anteil um mehr als die Hälfte und der IR-Anteil wächst.

Alternativ ist es möglich, einen Infra-Rot Strahlungstrockner anzubauen. Der von uns für die ersten Untersuchungen eingesetzte Strahler war ein mittelwelliger Zwillingrohr-IR-Strahler mit einem Emissionsmaximum zwischen 2,3 und 2,5 μm (Heraeus, Hanau). Die Reflexion der Strahlung erfolgt an der rückseitigen Vergoldung der Quarzröhre. Die Gesamtleistung beträgt 6 x 1,1 kW bei 600 mm Strahlerlänge. Die Bestrahlung kann durch die Anzahl der eingesetzten Röhren geändert werden. Hinter dem Trockner ist eine Kühlluftdüse angeordnet, die wahlweise eingesetzt werden kann.

5.3 Abschmiereinheiten

Im Anschluß an die Trockenstrecke ist ein Abschnitt der Versuchsanlage der Funktion "Abschmieren" vorbehalten. Zum Verschmieren der bedruckten Papierbahn wurden mehrere unterschiedliche Einheiten gebaut und erprobt. Die im folgenden beschriebenen Entwicklungsschritte waren notwendig, da keinerlei Erfahrung in der Erzeugung und Registrierung von Abschmiermustern bestand.

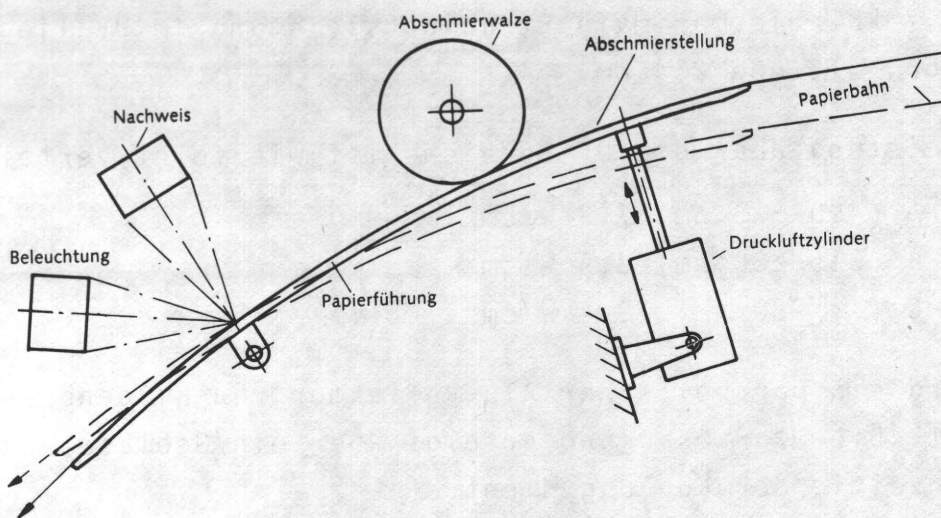


Abb. 4 Leitblech und zuerst entwickelte Abschmieranordnung

Zu Anfang wurde ein Abschmierer, wie in Abb. 4 gezeigt, angewandt. Die Papierbahn lief über einen Stahlschuh als Führung. Dieser Stahlschuh wurde während der Messung samt der Bedruckstoffbahn von einem steuerbaren Preßluftzylinder gegen eine feststehende Stahlrolle gepreßt. Vor Beginn der Messungen, in der unteren Stellung des Stahlschuhs, berührte die Rolle die Papierbahn nicht.

Beim Meßvorgang selbst lag die Meßfläche über der Drehachse des Stahlschuhs, wo nur eine geringe Bewegung in Richtung des optischen Nachweises auftritt.

Diese Abschmieranordnung hatte den Vorteil, vor jeder Messung die Kontaktfläche Abschmierer-Bedruckstoffbahn, falls mit Druckfarbe verschmutzt, reinigen zu können. Die Anpreßkraft wurde mit Dehnungsmeßstreifen gemessen, die an der Lagerung der Stahlrolle befestigt waren. Bald wurde aber festgestellt, daß

- a) schon eine geringfügige Bewegung des Meßortes während der optischen Messung zu stark streuenden Abweichungen führte (Fehler von \sqrt{V} bis 1%),
- b) die plötzliche Aufwärtsbewegung des Stahlschuhs wegen der bremsenden Wirkung der Rolle gleichfalls zu erheblichen Abweichungen führte.
- c) die Einstellung und Konstanthaltung des Anpreßdruckes zwischen Abschmierer und Bahn nicht genügend genau war.

Dadurch waren genaue, reproduzierbare Messungen nicht möglich.

Bald jedoch wurde festgestellt, daß - besonders bei rauhen Naturpapieren - die Rolle sich sehr schnell von Farbresten reinigt, wenn sie über die unbedruckte Papierfläche geführt wird. Da die Meßstrecke nur ca. $\frac{1}{3}$ des Zylinderumfangs betrug, genügten die restlichen $\frac{2}{3}$ zur Reinigung der Rolle in allen Fällen. Die störende Auf- und Abbewegung des Stahlschuhs konnte entfallen, so daß die Abschmieranordnung ver-

einfacht werden konnte (Abb. 5).

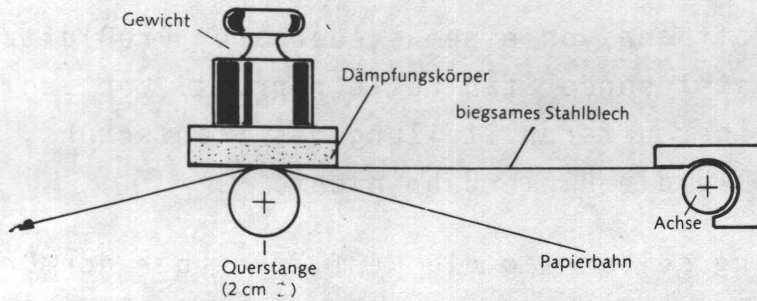


Abb. 5 Die zweite Abschmiervorrichtung

Bei dieser neuen Abschmieranordnung übt der Abschmierer eine Dauerbelastung auf die Bahn aus, die über eine Stahlstange geführt wird. Über ein biegsames Federstahlblech, auf das Gewichte gestellt wurden, wurde die Bedruckstoffbahn einstellbar, gleichbleibend und reproduzierbar beansprucht. Ein Dämpfungskörper schaltete unerwünschte Schwingungen aus. Die Biegsamkeit des Bleches absorbierte die Parallelitätsfehler zwischen Querstange und Achse.

Nach dem Abschmierer wurde die Papierbahn auf den Stahlschuh weitergeleitet, der nun als feste Unterlage für die optische Messung diente. Diese Anordnung wurde erfolgreich für Messungen an Naturpapieren eingesetzt.

Die einzige Schwierigkeit bei den Messungen mit diesem Abschmierer war, daß die Kontaktfläche des Stahlbleches relativ schnell vom Papier bzw. von den Füllstoffen des Papiers erodiert wurde. Dies zwang zum häufigen Wechsel des Bleches. Größere Schwierigkeiten bereitete der Nachweis der Verschmierung wegen der optischen Rauigkeit des Papiers /44, 45/ und das trotz normierter Quotient- und Mittelwertbildung. Die durch die optische Rauigkeit des Papiers verursachten Schwankungen von Q bzw. V hatten je nach Naturpapier eine

Standardabweichung vom Mittelwert zwischen 0,3% und 1,0%.

Nach den Messungen an Naturpapieren wurden Messungen an gestrichenen Papieren durchgeführt.

Gestrichene Papiere zeigen eine wesentlich kleinere optische Rauigkeit als Naturpapiere. Dies hatte als Konsequenz, daß die Schwankungen der Meßergebnisse auf etwa ein Viertel derjenigen von Naturpapieren zurückgingen. Da die benutzten Farben in der kurzen Zeit zwischen Druck und Festigkeitstest nur durch Wegschlagen trocknen können und dieser Mechanismus bei gestrichenem Papier nicht sehr ausgeprägt ist, wurden die Testdrucke bei den Versuchen an gestrichenen Papieren schon bei sehr kleinen Belastungen verschmiert.

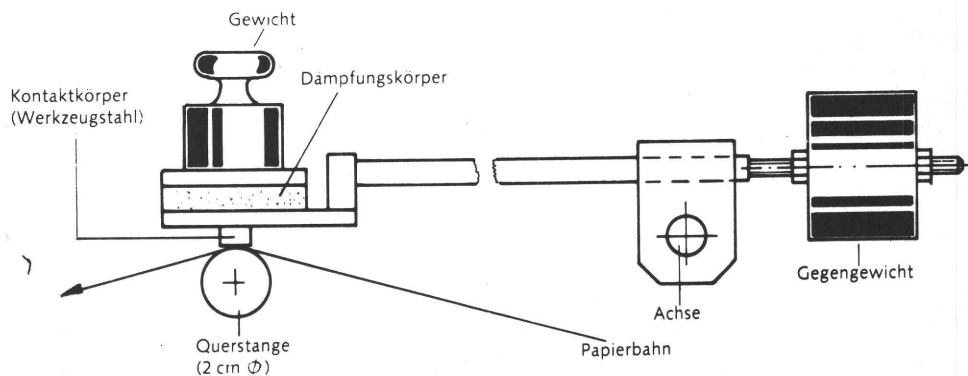


Abb. 6 Die weiterentwickelte, dritte Abschmievorrichtung

Bei diesen kleinen Belastungen erwies sich die Biegsamkeit des Stahlblechs als nicht ausreichend, um Parallelitätsfehler auszugleichen. Aus diesem Grund wurde ein zweifachgelagerter Abschmierer entwickelt (Abb. 6), bei dem das Blech durch eine starke Stahlstange ersetzt ist. Die Verbindung zwischen Stange und Achse hat zusätzlich eine Drehlagerung. Ein Gegengewicht kompensiert das Eigengewicht des Abschmierers, was das Messen mit kleiner Belastung ermöglicht. Der Kontaktkörper besteht aus Werkzeugstahl, der sich als ausreichend widerstandsfähig erwies. Mit dieser Ausführung des Abschmierers wurden weitere Untersuchungen sowohl

auf Natur- wie auch auf gestrichenem Papier durchgeführt. Diese Meßanordnung funktionierte zufriedenstellend und zeigte eine Richtung für den Entwurf einer einsatzfähigen Anordnung auf, um die Farbfilmfestigkeit auf Produktionsmaschinen "on-line" zu testen.

5.4 Allgemeines zur Abtastung

Hat die mechanische Beanspruchung in der Abschmiereinheit zu einer Verschmierung der Farbbalken des Meßmusters geführt, so muß diese berührungslos nachgewiesen werden können. Diese Aufgabe hat die Abtastung, die aus einer Beleuchtung und einem Abtastkopf besteht. Auch bezüglich dieser Einheiten wurden einige Entwicklungen durchgeführt, deren Ergebnisse beschrieben werden sollen.

Es wurden zwei optische Abtastungen auf Eignung untersucht. Diese Abtastungen zeigen sowohl im Nachweis als auch in der Signalverarbeitung zwei mögliche Alternativen für die Untersuchung des Abschmiervorganges.

Beiden gemeinsam ist eine Linienbeleuchtung entsprechend dem Meßmuster, für die Messung der Leuchtdichten aus den Meßfeldern wurden zwei unterschiedliche optische Meßköpfe eingesetzt. Die Ausgangssignale dieser Meßköpfe werden in einer selbst entworfenen Auswerteelektronik verarbeitet. Meßkopf und Auswertung bilden - elektronisch gesehen - eine Einheit.

Die Beleuchtung erfolgt grundsätzlich unter 45° , der Lichtnachweis unter 90° zur Papieroberfläche. Der Beleuchtungsfleck sollte größer als die Meßfläche für den Nachweis sein. Die Linienabtastung des Nachweises muß genau parallel zum Druckmuster justierbar sein. Wichtig ist, darauf zu achten, daß sich die Entfernungen zwischen Beleuchtung und Abtastung einerseits und der Papieroberfläche andererseits auch nicht geringfügig ändert.

Die eine von uns untersuchte Abtasteinheit wurde von der Fa.

Zimmer OHG, Roßdorf, geliefert (im folgenden kurz "Zimmer"-Abtastung genannt). Sie weist die Leuchtdichten von Meß- und Referenzfeld mittels einer einzigen Photodiodenzeile nach. Die Auswerteelektronik führt eine analoge Auswertung durch. Das Ausgangssignal dieses Gerätes ermöglicht es, den zeitlichen Verlauf des Quotienten $Q(t)$ zu verfolgen.

Der zweite benutzte Abtastkopf wurde von Dr.-Ing. T. Celio, CH-Ambri, entworfen und gebaut (im folgenden kurz "Celio"-Abtastung genannt). Hier werden die Leuchtdichten von Meß- und Referenzfeld von zwei Photoempfängern in elektrische Signale umgewandelt. Diese Signale werden digital verarbeitet. Die Signalauswertung berechnet, über den ganzen Linienraster gemittelt, den Wert des Quotienten Q als Maß für den Trockengrad (vergl. Gl. (1)).

Beide Abtastungen benötigen Steuerungs- bzw. Synchronsignale, die von einer Steuerungselektronik geliefert werden.

Im folgenden Kapitel werden ausführlich beschrieben:

- Die Linienbeleuchtungen beider Abtastungen. Da beide nach ähnlichen Grundgedanken gebaut wurden, werden beide Beleuchtungen im selben Abschnitt beschrieben.
- Die Steuerungselektronik
- Meßkopf und Auswerteelektronik der "Zimmer"-Abtastung
- Meßkopf und Auswerteelektronik der "Celio"-Abtastung.

Die Abb. 7 zeigt in Form eines Blockschaltbildes die gesamte Versuchsanlage einschließlich der Wege für die Meßwertverarbeitung getrennt nach den in diesem Kapitel aufgeführten Funktionsgruppen.

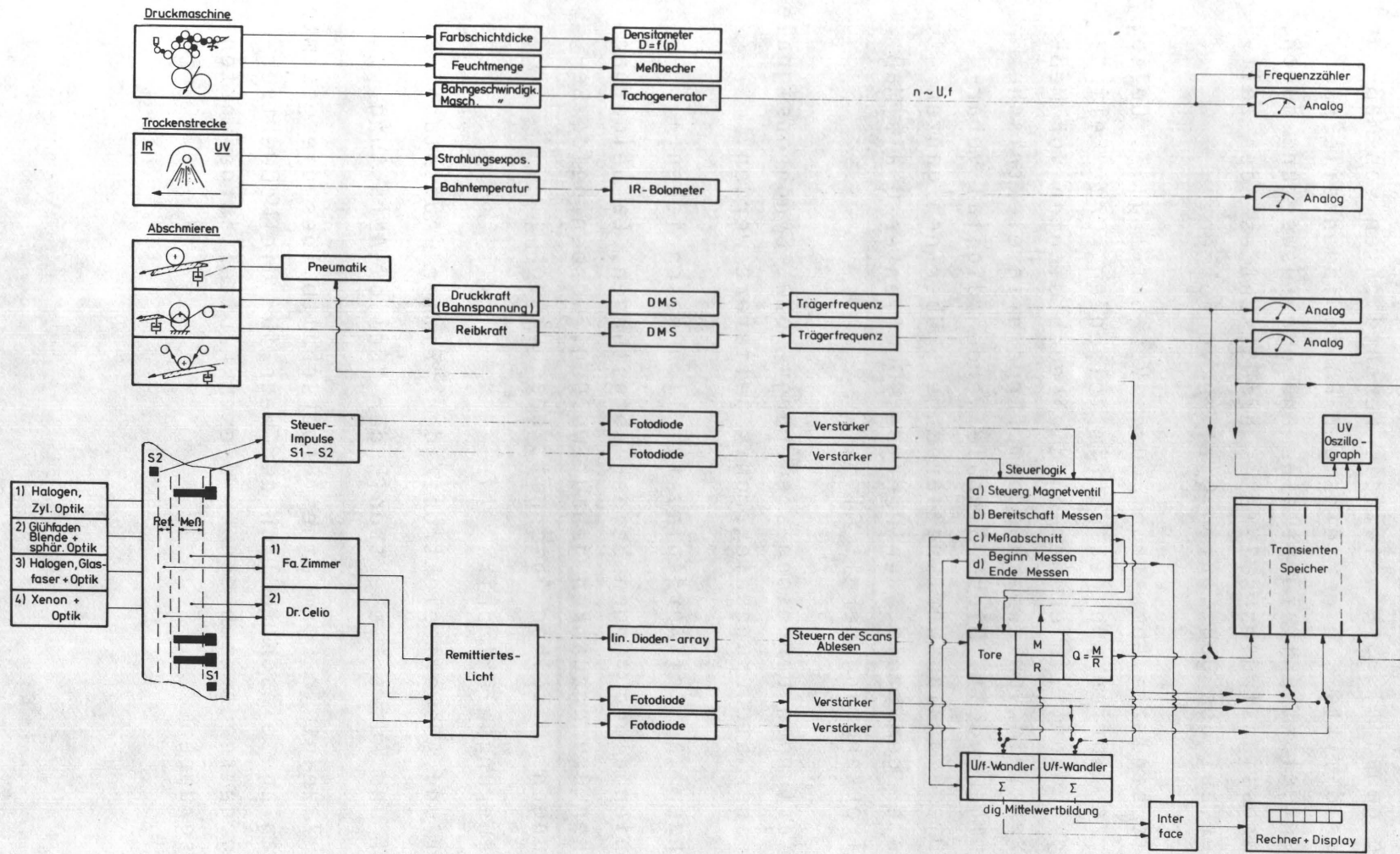


Abb. 7 Blockschaltbild der Meßanlage

6. Der Nachweis der Verschmierung

Abschmiermuster sind statistischer Natur. Eine endgültige Aussage über einen Verfestigungszustand kann man nur durch Zusammenfassung vieler einzelner kleiner Abschmierpunkte geben.

Eine erste Zusammenfassung bildete der Übergang von einem Meßpunkt zu einer Meßlinie. Diese Meßlinie wird nun in Lauf- richtung über das Papier geführt. Jede Meßlinie entspricht einem Meßwert für die Leuchtdichte, die Aneinanderreihung solcher Meßwerte ergibt einen analogen Signalverlauf für jeden Zwischenraum der gedruckten Farbbalken. Ein solcher Signalverlauf für einen Zwischenraum kann nun noch einmal gemittelt werden und man erhält einen Zahlenwert für den Quotienten Q pro Zwischenraum.

Eine solche Mittelung kann verschieden ausgeführt werden: Zum einen kann man den Meßspalt so breit wie den Zwischen- raum machen. Dann wird die Leuchtdichte der gesamten Fläche des Zwischenraumes angezeigt. Eine Angabe über den Verlauf der Verschmierung ist nicht mehr möglich. An einer laufenden Papierbahn mit einem Linienraster ergibt sich ein sägezahn- artiger Signalverlauf. Eine zweite Möglichkeit der Mittel- wertbildung bietet eine elektronische Integration der Einzel- meßwerte. Ein solcher Weg über eine digitale Integration wird hier beschrrieben und beschrieben. Will man für eine Meßstrecke, bestehend aus mehreren Balken und Zwischenräumen, einen einzigen Meßwert für den Trockengrad haben, so müssen die Einzelwerte für die Zwischenräume noch einmal summiert und gemittelt werden. Ein solches Verfahren erscheint sinn- voll, um den Aussagewert zufällig auftretender Abschmierungen auf ein Minimum zu reduzieren, z.B. unter die Ansprech- schwelle für eine Regelung.

Zusammengefaßt sind also drei Mittelwertbildungen hinterein- ander geschaltet:

- a) vom Meßpunkt zur Meßlinie
- b) von dem Wert einer Meßlinie zu einem einzigen Wert für einen Zwischenraum
- c) für eine gesamte Meßstrecke bestehend aus vielen Zwischenräumen eines Linienrasters.

Auf diese Weise gelangt man von den einzelnen an Rauheits-
spitzen des Papiers abgeschmierten Farbelementen zu einem
mittleren Meßwert für eine längere Meßstrecke.

Die Trockengradbestimmung an einer einzigen Meßstrecke muß
jedoch nicht in jedem Fall genügen, so daß oft eine Reihe von
Meßwerten erstellt werden muß. Diese können ihrerseits wieder
in einem repräsentativen Mittelwert für bestimmte eingestellte
Betriebsbedingungen zusammengefaßt werden.

6.1 Die Linienbeleuchtungen

Wie bereits dargelegt wurde, soll die Beleuchtung eine enge,
linienförmige Fläche quer zur Papierbahn bestrahlen. Die
Länge dieser rechteckigen Fläche muß die gesamte Breite von
Meß- und Referenzspur sowie die der Steuerfelder einschließen
(vgl. Abb. 1). Ihre Breite soll größer als die optisch abge-
tastete Fläche sein. Damit wird verhindert, daß bei verti-
kalen Bahnbewegungen die vergrößerte Abtastfläche in eine
Dunkelzone kommt und dadurch eine Abschmierung vorgetäuscht
wird.

Als Lichtquellen wurden Halogenglühlampen mit 15 V Betriebs-
spannung bei 150 W Leistung gewählt. Sie emittieren im Rot-
bereich wesentlich stärker als im Blauen /48/, was für die
Erfassung von Buntfarben von Bedeutung ist. Solche Lampen
geben aufgrund ihrer thermischen Trägheit Leistungsschwan-
kungen nur sehr gedämpft wieder. Um eine möglichst stabile
Beleuchtung zu gewährleisten, wurden die Halogen-Wolfram-
lampen an Gleichspannungsquellen mit einer Restwelligkeit
kleiner als $5 \cdot 10^{-4} \%$ angeschlossen.

Für die gleichmäßige Ausleuchtung von Meß- und Referenzfeld ist es entscheidend wichtig, daß eventuelle Änderungen der Lichtausstrahlung sich gleichzeitig und in demselben Verhältnis auf die ganze Länge der beleuchteten Fläche auswirken. Dies kann durch die Anwendung einer eher kleinen Lichtquelle und einer Zylinderlinsenoptik erreicht werden.

Die Zylinderlinsen bilden den Glühfaden der Halogen-Wolframlampe auf der Papierbahn ab. Die Abbildung jedes Punktes des Glühfadens auf der Papierbahn ist nicht ein Punkt, sondern eine Linie und zwar quer zur Papierbahn. Aus diesem Grund wirkt jede Änderung der Lichtausstrahlung jedes Punktes des Glühfadens über die gesamte Länge der beleuchteten Fläche.

Abb. 8 zeigt den Aufbau und die Daten einer solchen Beleuchtung, wie sie zur "Zimmer"-Abtastung geliefert wurde.

Eine andere Möglichkeit, eine linienförmig beleuchtete Fläche zu erzeugen, ist die Beleuchtung und Abbildung einer Schlitzblende. In der Beleuchtung zur "Celio"-Abtastung (vgl. Abb. 9) wurde eine Halogenlampe (30V, 250W) mit 15 mm langem Glühfaden verwendet. Der ungewöhnlich lange Glühfaden sollte eine linienförmige Lichtquelle darstellen. Er hatte jedoch den Nachteil, leicht durchzuhängen und bei geringen Anregungen zu schwingen. Dieser Nachteil konnte durch den Einbau einer Zylinderlinse weitgehend beseitigt werden, da jeder Punkt der Lichtquelle zu einer Linie ausgebreitet wird. Der gesamte Glühfaden wird daher von der Zylinderlinse über eine Sammellinse auf die Schlitzblende abgebildet. Die Schlitzblende hat vier Öffnungen, je eine für die Beleuchtung der Meß-, Referenz- und Steuerspuren. Auch diese Beleuchtungsanordnung gewährleistet, daß jede Änderung an der Lichtquelle über die ganze Länge des Schlitzes wirkt. Die so beleuchtete Schlitzblende wird von einem Objektiv auf der Papierbahn abgebildet. Die Sammellinse dicht vor der Schlitzblende sorgt dafür, daß die Lichtbündel aus der Schlitzblende von dem Objektiv erfaßt werden.

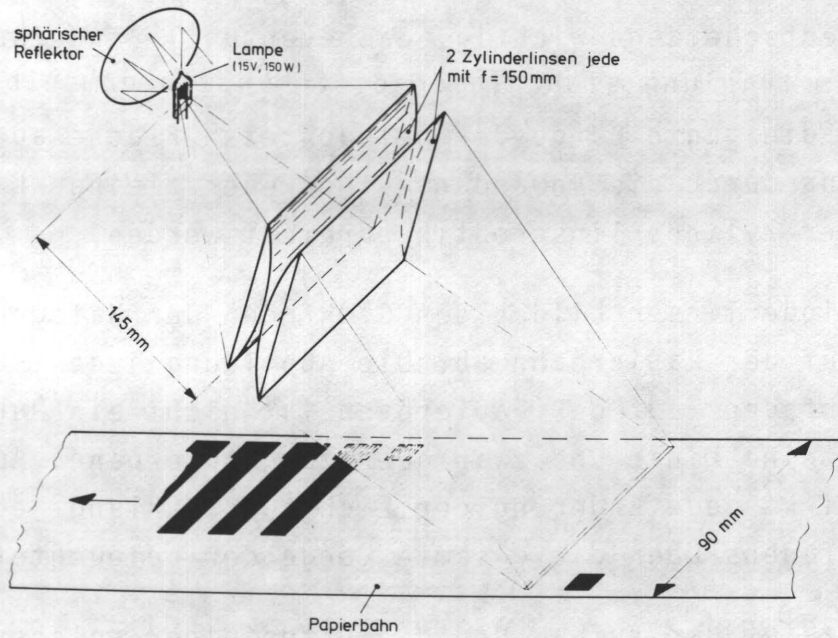


Abb. 8 Schema der Beleuchtung des Meßspalts von der Fa. Zimmer

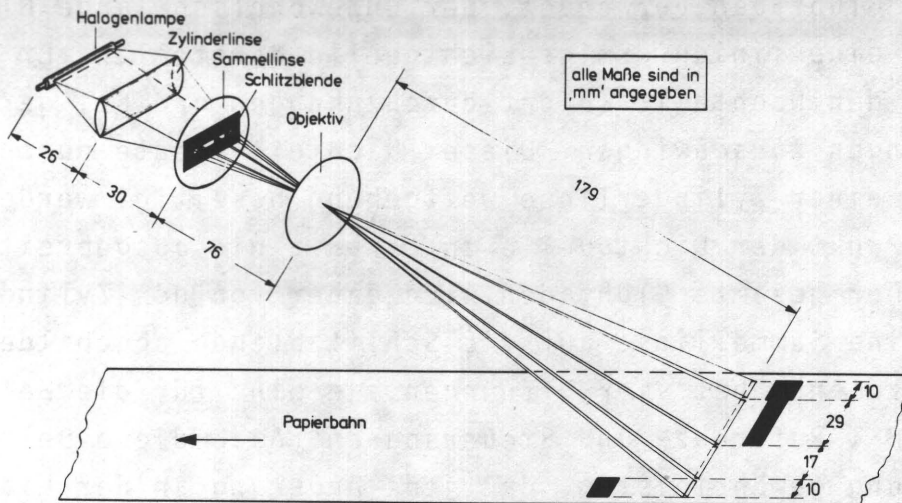


Abb. 9 Schema der Beleuchtung des Meßspalts von Dr. Celio

Die Lichtausbeute auf dem Meßfleck wird jedoch durch die Schlitzblenden begrenzt, weswegen bei dieser Beleuchtung eine starke Lichtquelle notwendig wird. Diese bedingt ihrerseits wieder einen Ventilator zur Kühlung, der Schwingungen anregen kann.

Die einfachere Beleuchtung der Zimmer-Anordnung brachte den hellsten Meßfleck und wurde daher im weiteren bei der Messung von Schwarzfarben verwendet.

Eine dritte Beleuchtungsmöglichkeit, die untersucht wurde, soll nicht unerwähnt bleiben. Es handelte sich dabei um einen Querschnittswandler aus Lichtleitfasern, dessen rundes Ende mit einer Kaltlichtquelle verbunden war und dessen rechteckige Austrittsfläche auf die Papierbahn gerichtet war (vgl. Abb. 10). Die Kaltlichtquelle ist eine Halogenlampe mit Reflektor und einem IR Filter davor.

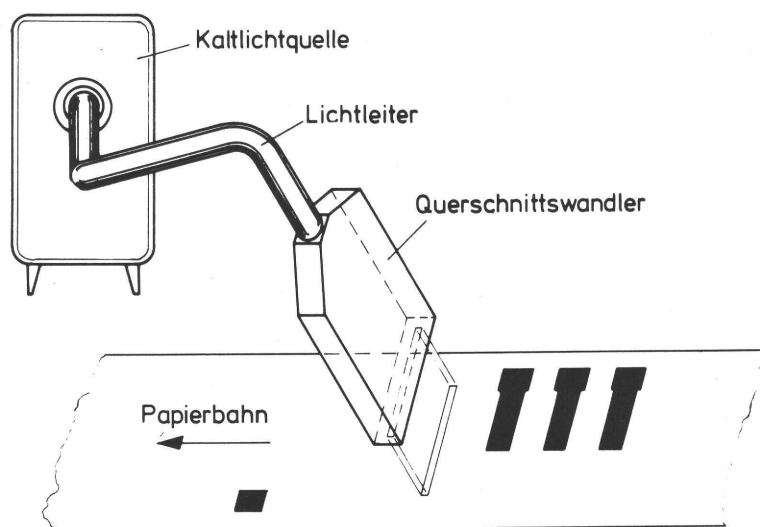


Abb. 10 Beleuchtung über einen Querschnittswandler

Die Lichtleitfasern hatten einen Durchmesser von $70 \mu\text{m}$, so daß mit drei gestaffelten Lagen ein Austrittsspalt von

0,18 mm Breite erreicht werden konnte. Da die verwendeten Lichtleitfasern einen Abstrahlwinkel von 22° (K-Typ) haben, wird der beleuchtete Meßfleck je nach Entfernung von der Papieroberfläche größer und lichtschwächer. Daher kann man nicht zu weit von der Bahn weggehen, was die Gefahr der Verschmutzung infolge Papierstaub erhöht.

Der Hauptnachteil dieser Anordnung war aber, daß einzelne Fasern - offenbar durch Bruch bei Herstellung des Querschnittwandlers - ausfielen, was sich auf die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte im Meßfleck auswirkte.

Von Vorteil ist der Aufstellungsort der Lichtquelle erschütterungsfrei außerhalb der Maschine und die einfache Anordnung. Auf die Verbesserung dieser Beleuchtung wurde aus Zeitgründen vorerst verzichtet.

6.2 Die Steuerelektronik

Die Steuerelektronik hat die Aufgabe, Signale zur Verfügung zu stellen, um einzelne, nacheinander anlaufende Vorgänge einzuleiten oder zu beenden. Diese Vorgänge können sein:

- Einleitung der gesamten Meßphase und Aktivierung der Schaltung
- Eichen (Normierung auf das verwendete Papier)
- Messen nur in den Zwischenräumen des Linienrasters
- Beendigung des Meßvorgangs für eine Meßstrecke.

Für diese Aufgaben sind eine Reihe von Steuerimpulsen und Spannungspegeln notwendig, die auch die Auswertung steuern und nur über zwei Steuerspuren erreicht werden konnten.

Durch die photoelektrische Abtastung aufgedruckter Steuermarken und eine Steuerelektronik mit positiver Transistor-Transistor-Logik (TTL-Signale) werden die notwendigen Signale erzeugt. Bei zusätzlich notwendigen Funktionen können die vorhandenen Steuersignale auch zu deren Einleitung benutzt werden.

Da die Kanten eines bedruckten Balkens nicht geometrisch gerade, sondern leicht ausgefranst sind, mußte sichergestellt werden, daß die eigentliche Messung erst in einem ausreichenden Abstand von der Kante beginnt. Dieser Abstand ist von der Breite des Meßspaltes abhängig. Aus diesem Grund konnte das Linienraster selbst nicht zur Steuerung verwendet werden, sondern es mußte auf der zweiten Steuerspur verbreitert gedruckt werden. Die Abtastung dieser "Hämmerchen" (vgl. Abb. 1) stellt sicher, daß nur Verschmierungen in den Zwischenräumen und keine Randunschärfen gemessen werden.

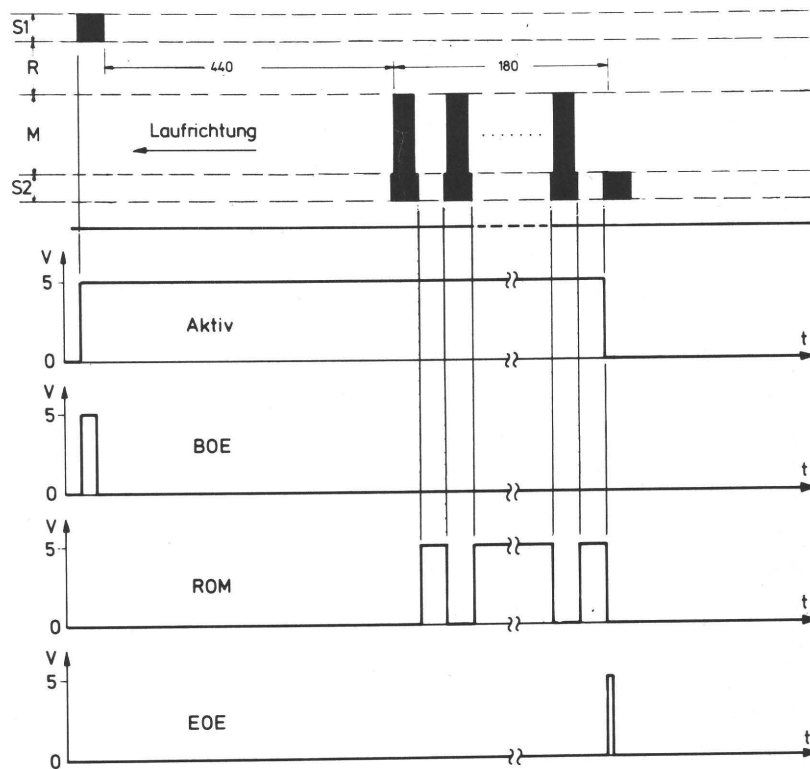


Abb. 11 Synchronisationsschema der Steuerimpulse

In den Zwischenräumen zwischen den Hämmerchen wird also die Abschmiermessung durchgeführt; das zugehörige Steuersignal wird ROM (Run of Measurement) genannt.

In Abb. 11 ist das Synchronisationsschema für die Steuerung der Maßanordnung zu sehen. Der Steuervorgang läuft wie folgt ab:

Sobald die Steuermarke der Spur S1 unter der Meßlinie durchläuft, wird die gesamte Elektronik auf Meßbereitschaft gesetzt (Aktiv). Es liegt ein High-Pegel von +5V über die gesamte Meßzeit an. Mit der Anstiegsflanke der Steuermarke wird ein 100 ns-Puls (+5 V) erzeugt. Dieser Impuls heißt BOE (Begin of Evaluation) und wird benutzt, um alle Vorbereitungen auf die beginnende Messung zu treffen.

Gleichzeitig wird damit die automatische Eichung im unbedruckten Teil des Papiers eingeleitet.

Gemessen wird immer dann, wenn der BOE-Puls erfolgt ist - die Meßbereitschaft steht dann auf "Aktiv" - und die ROM-Impulse gleichzeitig auf +5V stehen. Die ROM-Impulse werden gezählt und mit einer Voreinstellung verglichen. Ist die vorgewählte Zahl erreicht, wird die Messung beendet.

Es kann damit die Verschmierung in einem oder in mehreren (max. 15 bei unserem ersten Linienraster) Zwischenräumen festgestellt werden.

Mit der Hinterkante des letzten vorgewählten ROM-Impulses wird ein Endimpuls von 15 ns Dauer und +5 V Höhe erzeugt. Dieser heißt EOE (End of Evaluation). Er beendet die Messung der Verschmierung für eine Meßstrecke und leitet die Berechnung und Anzeige des Trockengrades ein.

6.3 Abtastung und Auswertung der Fa. Zimmer

Es darf vorausgeschickt werden, daß die von Zimmer gebauten Geräte normalerweise der berührungslosen digitalen Dimensionserfassung dienen und daher auf ganz andere Anforderungen konzipiert sind als sie für unsere Aufgabenstellung erforderlich waren. Daher wurden trotz eines vorhandenen Gerätes Umbauten und Entwicklungsarbeiten notwendig.

Unsere wesentlichsten Anforderungen bestanden darin, einmal sehr geringe Leuchtdichten zu erfassen und auch darin, geringste Unterschiede der Leuchtdichten erkennen zu können.

Beides sollte auch bei den im Mehrfarbendruck üblichen Buntfarben möglich sein.

6.3.1 Aufbau der opto-elektronischen Abtastung

Abb. 12 zeigt ein Schemabild der Abtastung. Ein Objektiv (Typ "Heligon", Optische Werke G. Rodenstock, München, 1:0,75, $f=50$ mm) bildet die Bedruckstoffbahn auf die Stirnebene einer Photodiodenzeile ab. Diese Photodiodenzeile vom Typ Reticon RL 128 besteht aus 128 Photodioden. Die empfindliche Fläche jeder Photodiode ist quadratisch, mit einer Seitenlänge von knapp unter $25 \mu\text{m}$. Der Abstand von Mitte zu Mitte zweier Dioden beträgt etwa $50 \mu\text{m}$.

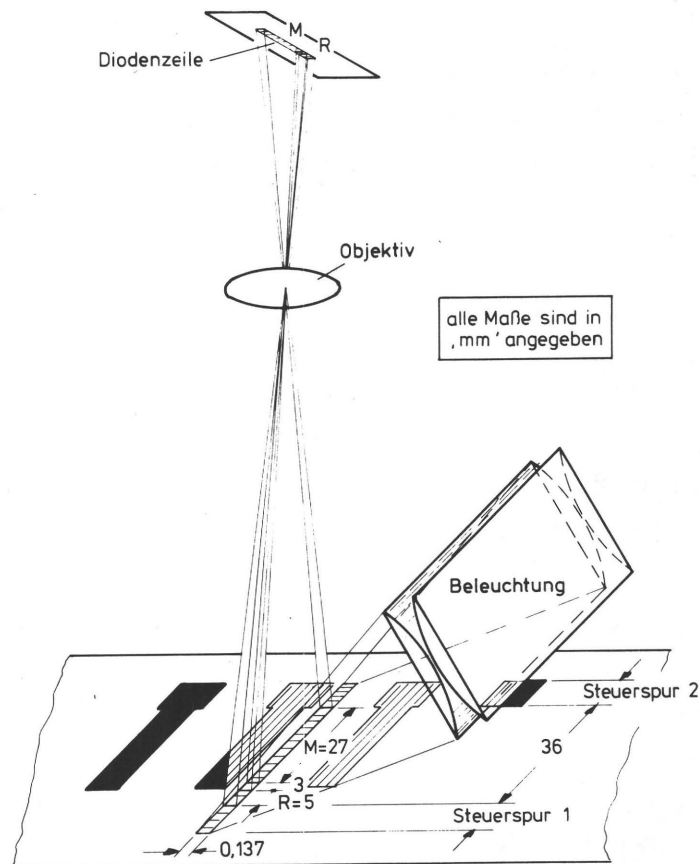


Abb. 12 Schema der "Zimmer"-Abtastung

Aus den Abmessungen der photoempfindlichen Fläche und dem Meßstabverhältnis der Optik ergeben sich die Abmessungen der Fläche, die abgetastet wird. Diese Fläche ist ein Rechteck, das 36 mm lang und 0,137 mm breit sein sollte. Nur Lichtbündel, die aus dieser Fläche stammen, erreichen die empfindliche Fläche der Photodioden.

Die Funktionsweise solcher Photodiodenzeilen kann wie folgt beschrieben werden (vgl. dazu auch das Blockschaltbild des Meßkopfes in Abb. 13 und Lit. /47/). Die Photodioden werden periodisch nacheinander abgefragt, und zwar mit einer Abtastfrequenz von 10 KHz. Die Steuerung dieser Abfragung erfolgt über ein Schieberegister. Der Abfragetakt wird von Synchronsignalen aus einer Quarzuhr bestimmt. Jede Diode hat eine Eigenkapazität. Bei einer Abfragung wird jede Diode auf 5 Volt aufgeladen. In den 0,1 ms zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufladungen (bzw. Abfragungen) verlieren die Photodioden durch Photoleitung einen Teil der Anfangsladung. Bei der Abfragung wird von jeder Diode eine bestimmte Ladung abgegeben, die einen Puls erzeugt, der proportional zur empfangenen Beleuchtungsstärke ist. Ab bestimmten Beleuchtungsstärken tritt eine Sättigung auf.

Das Ausgangssignal einer Photodiodenzeile besteht daher aus einer Reihe von Einzelpulsen, von jeder Diode je einen. Ein solches Signal wird "Videosignal" genannt. In Abb. 14 ist ein Videosignal, wie es beim Abtasten einer Zeile eines abgeschmierten Musters entsteht, dargestellt. Die Pulshöhe ist ein Maß für die auf die betreffende Diode gefallene Beleuchtungsstärke.

Das Videosignal enthält also die gesamte Information über die Verteilung der Leuchtdichte quer zur Papierbahn. Da die Papierbahn sich bewegt, ergibt diese Abtastmethode im Prinzip eine Zick-Zack-Abtastung. Innerhalb der Scanzeit von 0,1 ms bewegt sich die Bahn jedoch bei 5 m/s nur um 0,5 mm vorwärts, so daß die Abtastzeilen sehr geringe Neigung haben und wegen der noch kürzeren Rücklaufzeit auch dicht aufeinander folgen.

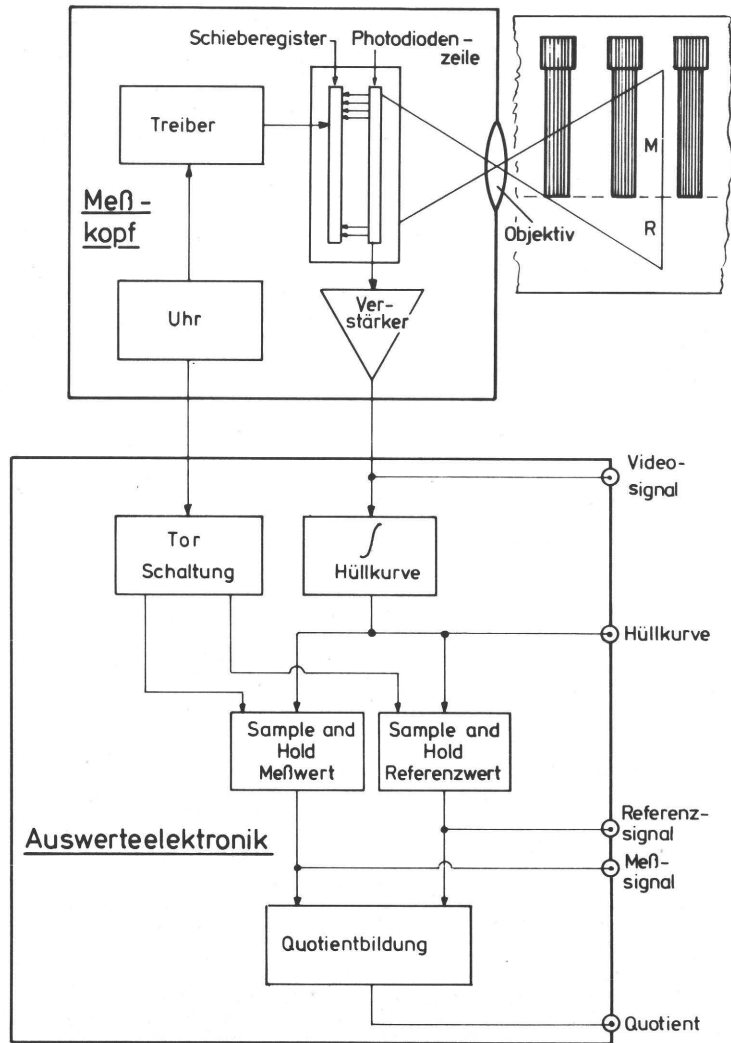


Abb. 13 Blockschahtbild des Meßkopfs und der Auswertung der Fa. Zimmer

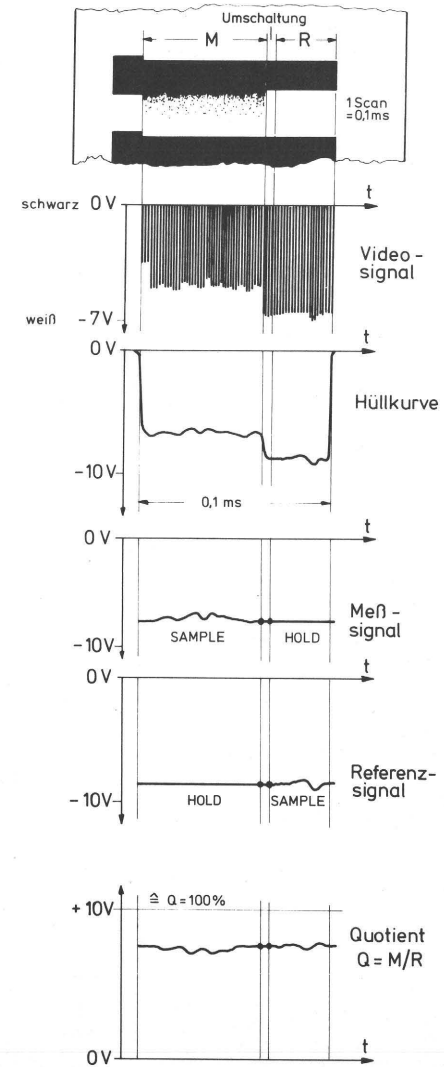


Abb. 14 Signale aus der "Zimmer"-Abtastung

6.3.2 Die Signalauswertung

Die Auswertung wurde eigens für unsere Zwecke entwickelt. Das Videosignal wird verstärkt und von einer Auswerteelektronik weiter verarbeitet. In Abb. 13 ist ein Blockschaltbild zur Auswertung und in Abb. 14 sind die Signalverläufe an den Ausgängen dieser Einheit dargestellt.

Die Hüllkurve des Videosignals wird über eine Integrations-schaltung gebildet. Hüllkurve und Videosignal haben daher den gleiche Informationsgehalt.

Das Hüllkurvensignal wird dann zu zwei "Sample and Hold"-Schaltungen weitergeleitet. "Sample and Hold"-Schaltungen sind Verstärker, die je nach Steuerungsspannung entweder die Eingangssignale durchlassen oder sie absperren. In diesem zweiten Fall bleibt die Ausgangsspannung bei dem letzten Wert, der durchgelassen wurde, stehen.

Eine der beiden "Sample and Hold"-Schaltungen in der Auswerteeinheit läßt das Hüllkurvensignal durch, während die Meßfeld-dioden abgefragt werden. Danach bleibt ihre Ausgangsspannung bei dem Wert, der durch die Abfragung der letzten auf das Meßfeld gerichteten Diode erzeugt wurde, stehen.

Die Ausgangsspannung dieser "Sample and Hold"-Schaltung ist das Meßsignal.

Die andere "Sample and Hold"-Schaltung verarbeitet den zum Referenzfeld gehörigen Teil des Hüllkurvensignals auf die gleiche Weise. Das Ausgangssignal dieser "Sample and Hold"-Schaltung ist das Referenzsignal. Die Steuerung der beiden "Sample and Hold"-Schaltungen erfolgt über Torschaltungen, die sich nach den Synchronsignalen der Quarzuhr richten.

In einem analog arbeitenden Dividierer wird der Quotient aus Meß- und Referenzsignal nach Gl. (1) gebildet. Dabei wird zur Division jeweils der Holdwert des Referenzsignals benutzt. Das setzt aber voraus, daß die Schwankungen im Referenzsignal klein sind und der Holdwert eine Art Mittelwert re-

präsentiert. Der Quotient ist proportional zur relativen Leuchtdichte im Meßfeld und damit zu der dort vorliegenden Abschmierung.

Da jedes der genannten Ausgangssignale für sich registriert werden kann, bietet die "Zimmer"-Anordnung zusätzliche Möglichkeiten Informationen über die Verteilung der verschmierten Farbe oder auch über die optische Rauigkeit (=Leuchtdichteschwankungen) des unbedruckten Papiers zu gewinnen.

Für eine Mittelwertbildung pro Scan kann ein Tiefpaßfilter benutzt werden, dessen Grenzfrequenz unterhalb der Scanfrequenz (10 KHz), aber oberhalb der Frequenz $\frac{v}{d}$ des Linienrasters liegen muß (v =Papierbahngeschwindigkeit, d =Abstand zwischen den Balken des Linienrasters).

Registriert wurden die Signale:

- a) mit einem Transientenspeicher oder
- b) mit einem Fourieranalysator.

Die im Transientenspeicher abgelegten Werte können dann auf einem Schreiber ausgegeben werden. Dabei müssen die ROM-Impulse synchron mit aufgezeichnet werden, um zu kennzeichnen, wo die Stellen für die Auswertung liegen.

Will man nur die optische Rauigkeit des Papiers erfassen, so genügt die Registrierung von Q als Funktion der Bahnlänge im Transientenspeicher. Mit Hilfe des Fourieranalysators ist es möglich, die Verteilung der Schwankungen von Q um den Wert $Q=100\%$ für ideal gleichmäßiges Weiß nach Ortsfrequenzen, festzustellen.

6.4 Abtastung und Auswertung von Dr. Celio

Das vom Ingenieurbüro "Dott.Ing. T.Celio" (CH-6775 Ambri TL) gelieferte Gerät wurde in Zusammenarbeit mit uns und nach unseren Vorstellungen entwickelt und gebaut. Es ist eigens

für den Zweck der Trockengradbestimmung konzipiert, also kein bisher auf dem Markt käufliches Gerät.

6.4.1 Aufbau der optoelektronischen Abtastung von Celio

Im Gegensatz zur Zimmer-Einheit werden hier zwei getrennte Photoelemente verwendet. Aufbau und Strahlengang im optischen Meßkopf von den beleuchteten Flächen zu den abtastenden Photoempfängern sind in Abb. 15 zu erkennen.

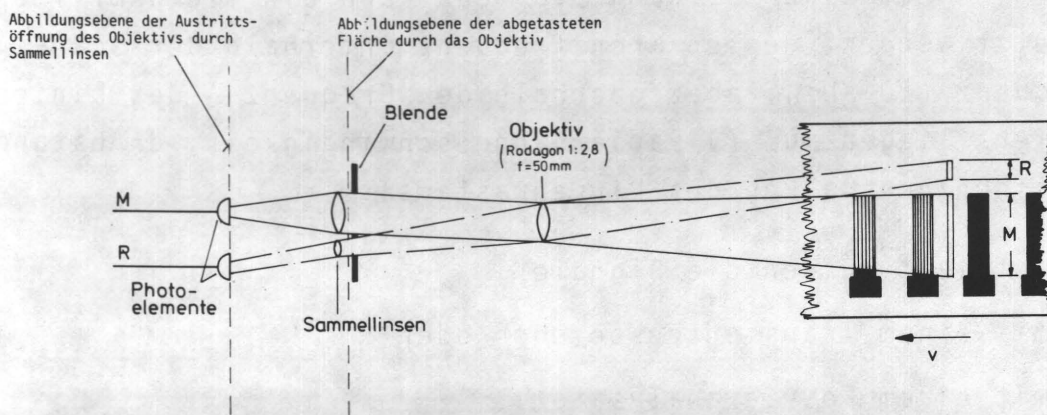


Abb. 15 Schematischer Aufbau der "Celio"-Abtastung

Die abgetastete Fläche wird von einem Objektiv auf einer Blende mit zwei Spalten abgebildet, aus denen Lichtbündel bis zu den Photoelementen gelangen können.

Kurz hinter der Blende befinden sich zwei Sammellinsen - je eine für Meß- und Referenzspur -, die die Austrittsöffnung des Objektivs auf den Photoelementen abbilden. Die beiden Photodetektoren vom Typ BPW 34 sind im Photoelementbetrieb geschaltet. Zwei Verstärker wandeln die Stromsignale aus den Photoelementen in Spannungssignale um. Diese Spannungssignale werden dann zur Verarbeitung an die Auswertelektronik weitergegeben.

6.4.2 Die Signalauswertung

Die Aufgabe der Signalauswertung ist hier, die anfangs besprochene Mittelwertbildung für eine Meßstrecke bestehend aus mehreren Rasterbalken durchzuführen. Diese Mittelwertbildung sollte digital erfolgen wegen der notwendigen hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit bei einer on-line Messung.

Die Spannungssignale aus dem Meß- und dem Referenzkanal werden in der Auswerteeinheit zuerst zwei Spannungsfrequenz-Wandlern zugeführt. Ein Spannungsfrequenz-Wandler (VFC) wandelt Spannungssignale in eine Reihe von Impulsen, deren Anzahl pro Zeiteinheit proportional zur Eingangsspannung ist. Es wurden 1 MHz Spannungsfrequenz-Wandler (Typ Teledyne Philbrick 4705/01) für 0 bis 10 V benutzt. Die Linearität ist besser als 0,01%.

Die Anzahl der Impulse, die in einer bestimmten Zeitspanne vom VFC des Meß- bzw. Referenzkanals abgegeben wird, ist proportional zur integralen Lichteinstrahlung auf den Photoempfänger des Meß- bzw. Referenzkanals während der betrachteten Zeitspanne. Aus diesem Grund bildet der Spannungsfrequenz-Wandler zusammen mit den Zählschaltungen einen zeitintegrierenden Analog-Digital-Converter (ADC).

In der Auswerteelektronik (Blockschaltbild Abb. 16) werden die Impulse aus dem Spannungsfrequenz-Wandler des Meßkanals bzw. des Referenzkanals über eine Torschaltung zu den Zählern gegeben. Die elektronischen Tore werden von den Steuerimpulsen bezüglich ihrer Durchlaß- und Sperrzeiten gesteuert (vgl. Kap. 6.2).

Die beiden Zählerausgänge werden einem Kleinrechner zugeführt, der die notwendigen Operationen durchführt.

In einer ersten Betrachtung könnte man annehmen, daß es genügt, wenn die Torschaltung bei ROM-Signal auf "Messen" die Impulse durchläßt und bei Empfang des EOE-Signals mittels

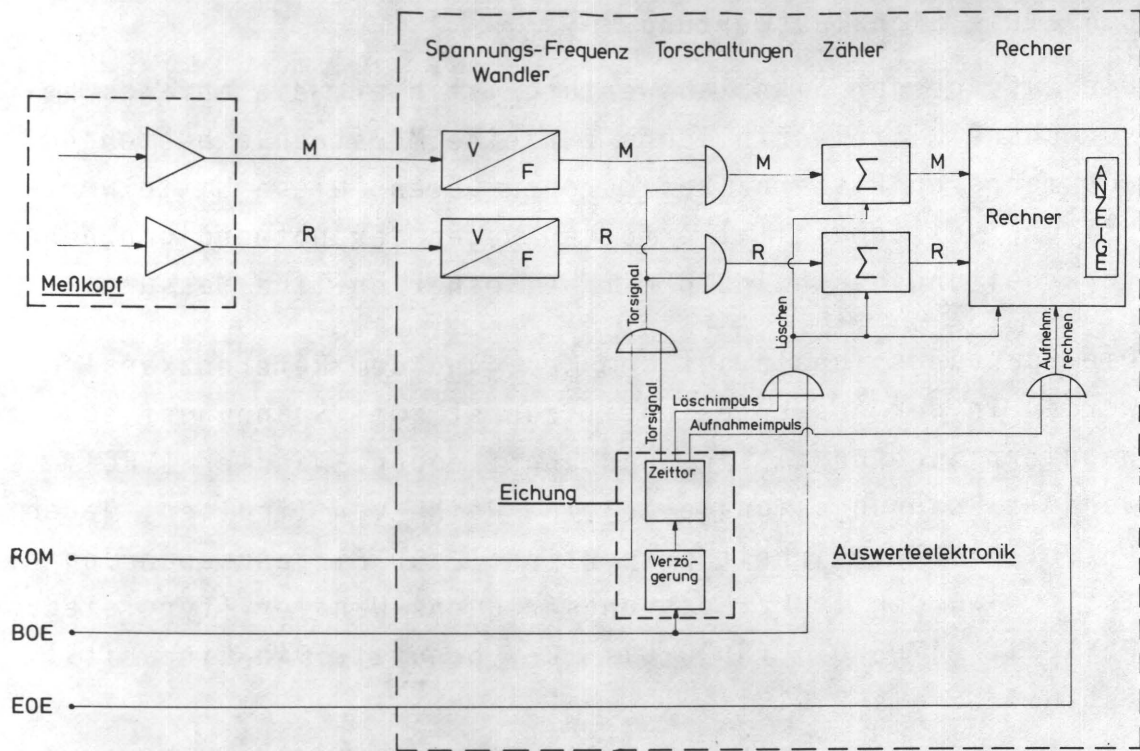


Abb. 16 Blockschaltbild der Auswertung zur "Celio"-Abtastung

des aus dem Zähler im Meßkanal stammenden Digitalsignales M und dem aus dem Zähler im Referenzkanal stammenden Digitalsignal R die Quotientenbildung

$$Q = \frac{M}{R} \cdot 100\% \quad (1a)$$

im Rechner einleitet.

Dieser Wert wäre dann direkt an der Anzeige des Rechners abzulesen.

Diese direkte Auswertemethode stellt einerseits Anforderungen an die Stabilität der Elektronik, die nur mit großem Aufwand erfüllbar sind. Andererseits setzt sie gleichbleibende optische Eigenschaften des Bedruckstoffes voraus, was praktisch nicht erfüllbar ist. Aus beiden Gründen ist vor jeder Messung eine in die Auswertung integrierte Eichung notwendig.

6.4.3 Die Eichung

Auf unbedrucktem Papier müßte sich nach Abgleich beider Kanäle $Q = 100\%$ ergeben. Wegen der örtlichen Änderungen der optischen Eigenschaften des Bedruckstoffes und wegen möglichen Driftens der Nachweiskanäle ist eine Eichung nach Gl. (3) direkt vor jeder Messung notwendig. Diese Eichung findet auf der unbedruckten Fläche vor dem Linienraster statt. Sie läuft folgendermaßen ab:

Durch den BOE-Impuls werden zuerst Inhalt von Zähler und Speicher im Rechner auf Null gesetzt (reset). Gleichzeitig tritt ein Verzögerungsglied mit einer einstellbaren Verzögerungszeit t_0 in Funktion. Nach Ablauf von t_0 werden - immer noch im unbedruckten Bereich - über ein Zeittor mit einstellbarer Eichzeit t die beiden Tore geöffnet. Es geht während der Eichzeit t eine Anzahl Impulse, die der Leuchtdichte des weißen Papiers proportional ist, durch die Tore im Zähler und Rechner. Dort wird der Quotient $Q_w = M_w/R_w$ gebildet und gespeichert. Die Zählerinhalte werden gelöscht.

Kurz nach Ende der Eichung wird über die ROM Impulse der Steuerung die eigentliche Trockengradmessung eingeleitet.

Die Zeiten t_0 und t müssen wegen der Variationen der Bahngeschwindigkeit einstellbar sein.

Wenn die letzte Markierung der Meßstrecke die Lichtschranke erreicht, wird das "EOE"-Signal ausgelöst. Dieses Signal bewirkt beim Rechner die Aufnahme des Inhaltes beider Zähler und die Ausführung der Operation

$$Q = 100 \cdot \frac{1}{Q_w} \cdot \frac{M}{R} \quad (3a)$$

Dieser Wert ist dann an der Anzeige des Rechners abzulesen. Er ist ein Maß für die Abschmierungen an Farbe in den Rasterzwischenräumen.

Die oben beschriebene Auswerteeinheit kann auch an die Refe-

renz- und Meßwertausgänge des "Zimmer"-Abtastsystems angeschlossen werden. Die Arbeitsweise ist genau wie oben beschrieben, der einzige Unterschied liegt in der Herkunft der analogen Spannungssignale für Meß- und Referenzkanal.

6.4.4 Linearität und Stabilität

Zur Überprüfung der Linearität zwischen Leuchtdichte und Quotient wurden mehrere Felder mit definierten Schwarz/Weiß Anteilen hergestellt und auf ihnen gemessen. Die Linearität des Quotientensignals war dabei besser als 10^{-2} . Damit wurden Verschmierungen in der Größenordnung von 1% mit einem Fehler von 0,01% gemessen.

Als zweite wichtige Eigenschaft wurde die Nullpunktstabilität überprüft. Dazu wurde der Quotient über einen längeren Zeitraum an der ruhenden Papieroberfläche gemessen. Der dabei zu ermittelnde Wert von $Q = 100\%$ schwankte um 0,02%.

6.5 Über die Messung von Buntfarben

Mit den beiden beschriebenen Einheiten sollten sowohl die Verschmierungen von Schwarz als auch die der Buntfarben Cyan, Magenta und Gelb erfaßt werden können. Die ersten Versuche zeigten, daß dies nicht mit gleicher Auflösung möglich ist. Eine Betrachtung der spektralen Eigenschaften erklärt diesen Sachverhalt.

Die spektrale Remissionsverteilung der drei Buntfarben ist in den Abb. 17 a-c zu sehen. Schwarz absorbiert nahezu alles vom UV bis ins IR.

Die Lichtquellen sind Wolfram-Halogenlampen ($T=3200^{\circ}\text{K}$) mit einer spektralen Emissionsverteilung nach Abb. 18. Die Empfindlichkeit einer Silizium-Photozelle zeigt Abb. 19. Beide Verteilungen liegen im roten und vor allem nah-infra-roten Bereich. Die dort remittierenden Farben werden also fast wie weiß empfunden und es ergeben sich kaum Unterschiede in den Leuchtdichten gegenüber Papier.

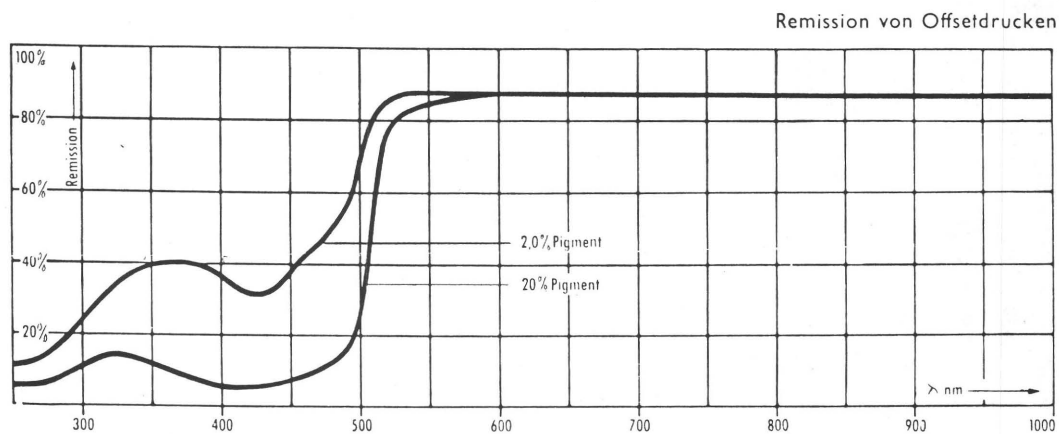


Abb. 17 a Spektrale Remissionsverteilung für Pigmentgelb

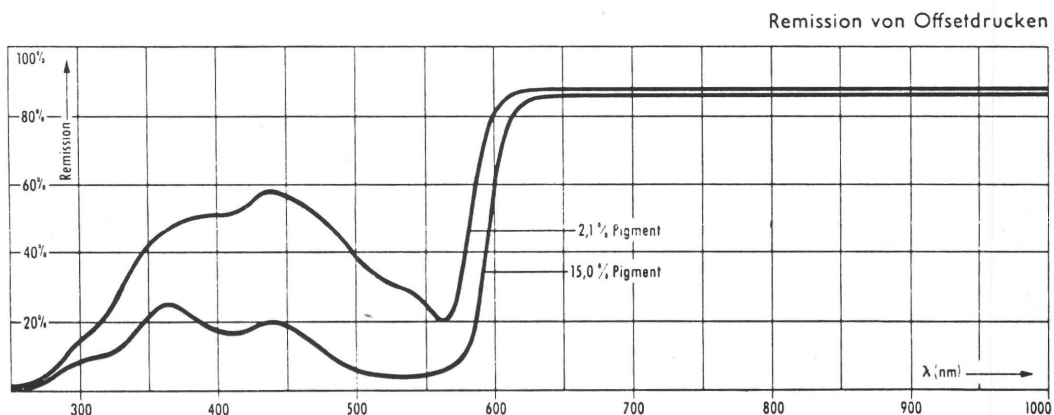


Abb. 17 b Spektrale Remissionsverteilung für Pigmentrot

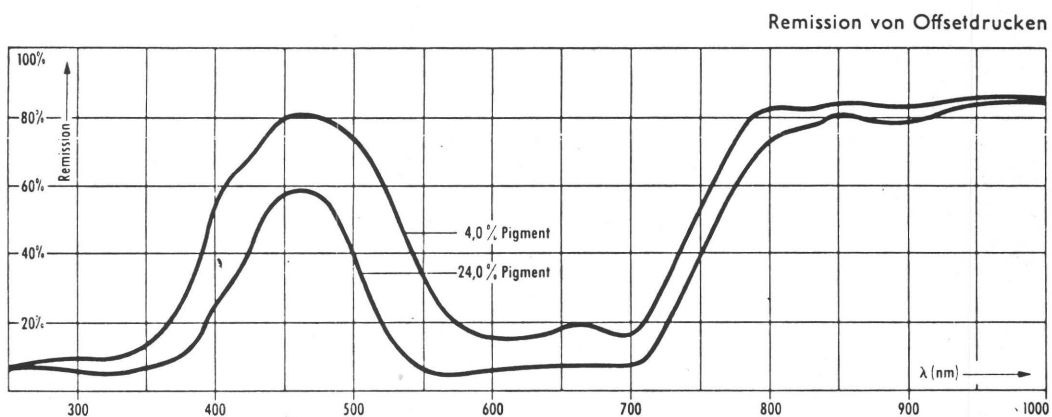


Abb. 17 c Spektrale Remissionsverteilung für Pigmentblau

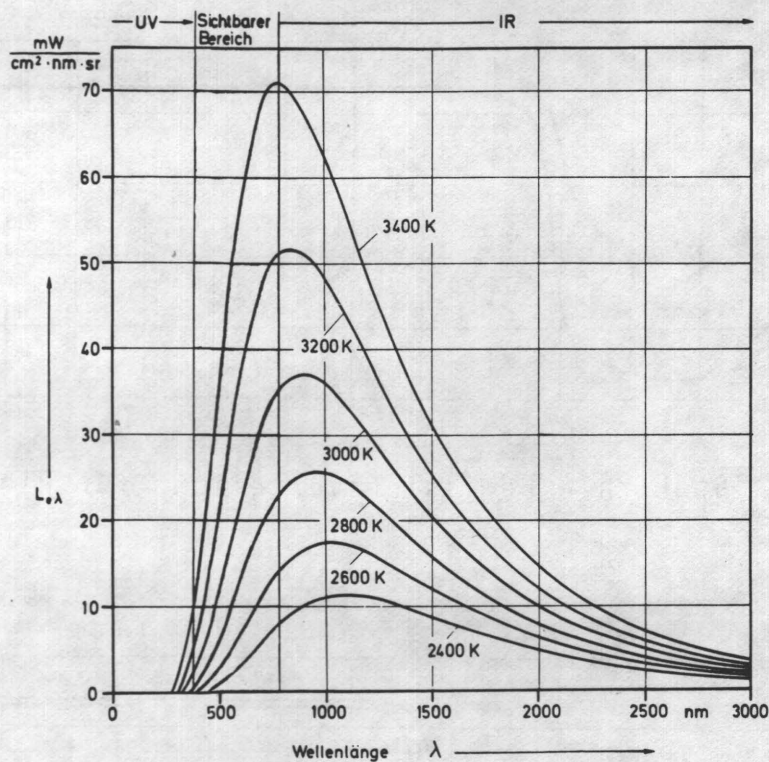


Abb. 18 Spektrale Emission von Temperaturstrahlern, wie z.B. die Wolfram-Halogenlampe ($T=3200^\circ\text{K}$)

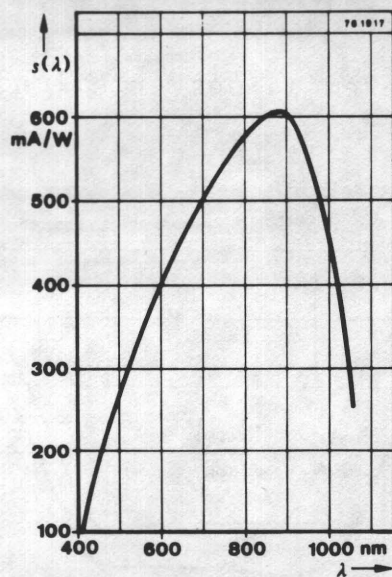


Abb. 19 Empfindlichkeit der Photozelle (BPW 34)

Die Messung von Buntfarben erfordert also Komplementärfilter im Strahlengang (Rotfilter für Cyan, Grünfilter für Magenta und Blaufilter für Gelb).

Die Farbfilter absorbieren den zu ihrer Eigenfarbe komplementären Spektralbereich. Die Multiplikation von Durchlässigkeit der Filter, Emission der Lichtquelle und Empfindlichkeit der Photozellen ist in Abb. 20 dargestellt, zusammen mit der Wirkung eines IR-abschneidenden Filters.

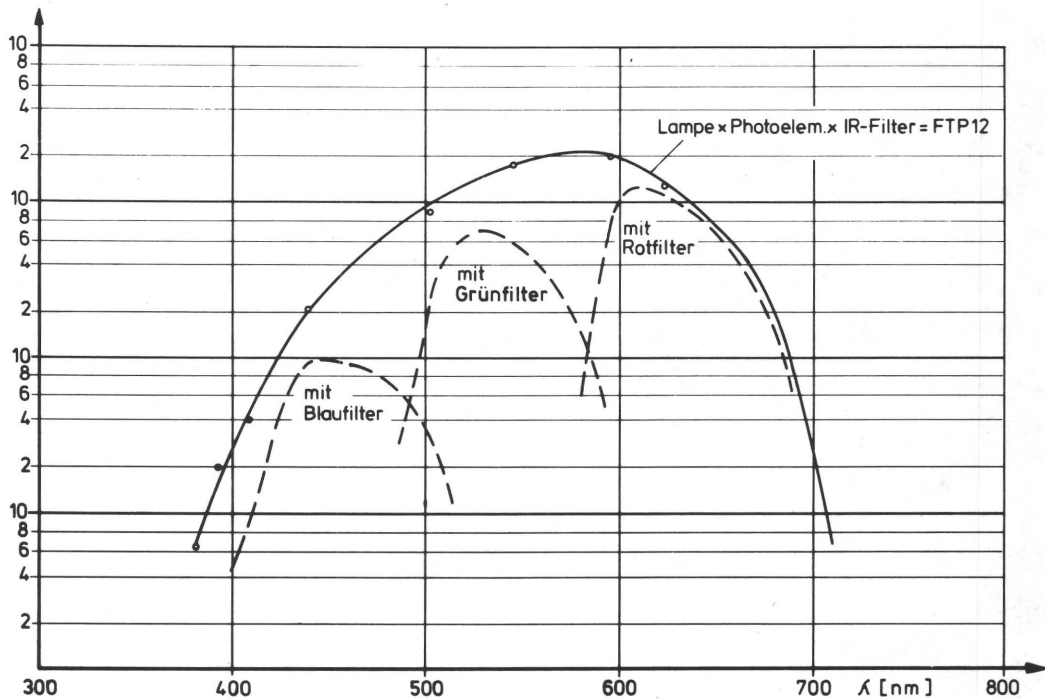


Abb. 20 Multiplikation der spektralen Daten

Die resultierenden Spektralkurven zeigen sehr stark unterschiedliche Ordinaten, was durch Lichtquelle und Photozelle bedingt ist. Abgesehen davon nehmen die Filter viel von der gesamten Strahlungsstärke weg, was die Signalausbeute ver-

ringert. Die folgenden Zahlenwerte, im Meßkanal auf weißem Papier gemessen, belegen dies deutlich:

Ausgangssignal ohne IR-Filter: 12,5 V (Sättigung)

Ausgangssignal mit IR-Filter: 6,0 V

Ausgangssignal mit IR- und Blau-Filter: 0,61 V

Das Meßsignal mit Blau-Filter, wie es für die Messung der Druckfarbe Gelb gebraucht wurde, ist also bereits auf weißem Untergrund zehnmal geringer als ohne Filter und daher nicht genügend hoch für eine Messung.

Für die Messung der Farbe Schwarz konnte hingegen - ohne Filter, auch ohne IR-Filter - ein ausreichendes Ausgangssignal erzielt werden. Es wurde auf den Bereich 0 - 10 V eingestellt.

Die geringe Lichtstärke, die im Blau/Grünbereich zur Verfügung stand, gestattet demnach keine ausreichende Differenzierung in den Abschmiermustern der Farben Gelb und Magenta. Ohne Filter wären diese Bereiche als Weiß empfunden worden und daher hätte der Quotient für eine Volltonverschmierung in der Nähe von eins gelegen.

Daraus war als Folge abzuleiten, daß für die Messung der Verschmierung dieser Farben entweder mehr im Blauen emittierende Lichtquellen oder im Blauen stärker empfindliche Photodetektoren gefunden werden mußten (vgl. auch /42/).

Aus Zeitgründen mußte eine solche Entwicklung vorerst zurückgestellt werden. Das Problem der nicht ausreichenden Signalthöhe ist inzwischen jedoch gelöst worden. Daher beschränkte sich die erste Anwendung der Trockengradmeßeinrichtung vorwiegend auf die Farbe Schwarz. Auch Cyan war mit ausreichender Differenzierung erfaßbar.

Für den Gebrauch einer selbstscannenden Photodiodenzeile ("Zimmer") ist noch darauf hinzuweisen, daß mit höheren Scanfrequenzen die Aufnahmeempfindlichkeit sinkt. Die von

uns gewählte 10 KHz-Abtastung stellt einen Kompromiß zwischen möglichst lückenloser Abtastung und noch genügender Empfindlichkeit dar, denn je länger die Integrationszeit für eine Diode ist, desto höher die Aufnahmeempfindlichkeit.

Dies ist auch der Grund für den Einsatz des sehr lichtstarken Heligon-Objektivs, das aber auch im Blaubereich mehr als im Roten absorbierte und daher zusätzlich die Messung von Gelb im Blaubereich erschwerte.

7. Die Registriersysteme

Die Ausgangssignale des optischen Nachweis-Systems können in der Auswerteeinheit zu einem Trockengrad gemäß Gl. (3) verarbeitet werden. Mit dieser Zahl, die ja einen Mittelwert über eine Meßstrecke darstellt, ist jedoch keine Aussage über den Verlauf einer Abschwärzung möglich. Zur Untersuchung des Trockenverhaltens bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ist die Aufzeichnung und Analyse der einzelnen Signalverläufe erforderlich. Daher wurde für jedes Signal ein Analog-Ausgang vorgesehen.

Da an der laufenden Papierbahn, also on-line, gemessen werden sollte, waren hohe Registriergeschwindigkeiten notwendig. Der direkte Anschluß üblicher y-t-Schreiber war daher nicht möglich, ganz abgesehen von dem hohen Registrierpapierverbrauch und der zeitaufwendigen Auswertung.

Die Aufzeichnung am Speicheroszillographen ergab zu geringe registrierbare Signallängen bei der erforderlichen Zeitauflösung. Zur schnellen Aufzeichnung war daher ein Transientenspeicher und für Analyse Zwecke auch ein Fourieranalysator notwendig. Das Schema des gesamten Meßaufbaues ist in den Abb. 2 und 7 zu sehen. Anstelle des Transientenspeichers kann auch der Fourieranalysator mit einem x-y-Schreiber ange-

geschlossen werden. Zum besseren Verständnis der späteren Messungen ist es sinnvoll, die Arbeitsweise beider Geräte zu beschreiben.

7.1 Der Transientenspeicher

Transientenrekorder sind Geräte, die es erlauben, sehr schnell veränderliche Meßgrößen zu erfassen, zu speichern und für die Weiterverarbeitung zur Verfügung zu halten /49, 50/. Im Vergleich zu Speicheroszillograph oder Schreiber ist der Transientenrekorder hinsichtlich Speicherdauer und Genauigkeit überlegen. Die Aufzeichnungsgeschwindigkeit ist wesentlich höher als bei Schreibern oder Magnetbandgeräten.

Der Transientenrekorder kann seinen Speicherinhalt an jedes beliebige andere System - also auch an Rechner digital oder analog zu Auswertungszwecken weitergeben.

Das von uns verwendete Gerät hatte folgende Daten:

Typ: WM 840 von NF Circuit Design Block Co, Ltd, Japan

Auflösung: 8 bit, binär codiert.

Registrierzeiten: 1 μ s bis 1 s (ADC)

Ausgabezeiten: 1 μ s bis 1 s (DAC)

Frequenzbereich: DC - 200 KHz (-3dB)

Ausstattung: 4 Kanäle mit je 2 K-Wort-Speicher parallel betreibbar.

Es ist möglich, diese Kanäle als zwei parallele Kanäle je 4 K-Wort oder in Reihe als ein Kanal mit 8 K-Wort Speicher zu benutzen.

Das Prinzip von Aufbau und Funktion für einen Kanal eines Transientenrekorders zeigt Abb. 21.

Als Eingangsgrößen werden analoge Meßsignale aufgenommen. Ein Analog-Digital-Wandler (ADC) digitalisiert das Eingangs-

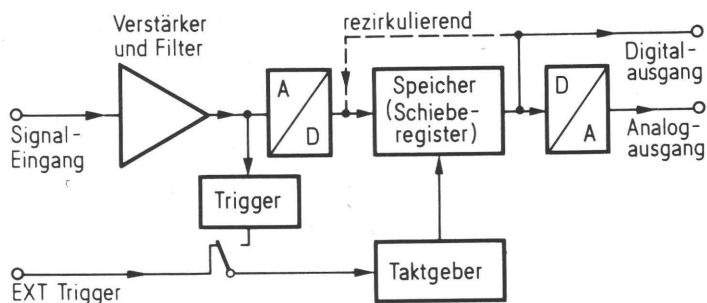


Abb. 21 Blockschaltbild eines Transientenspeichers

signal in unserem Gerät mit einer Auflösung von 8 bit. Das sind 256 Stufen von 0 bis zur Maximalamplitude. Damit ist eine Genauigkeit von 0,4% gegeben.

Die digitalen Werte werden in einem Halbleiter-(MOS)-Schieberegister abgespeichert und stehen für die Auswertung zur Verfügung. Der Speicher wird bei der Ausgabe der Daten jedoch nicht entleert, sondern das ausgelesene Wort wird rezirkulierend gleichzeitig wieder auf den Speichereingang gegeben. Die Daten bleiben also erhalten.

Der wesentlichste Vorteil für unsere Aufgabe war es, sehr schnell aufnehmen und speichern zu können und das Meßsignal dann verlangsamt, der Schreiberfrequenz angepaßt, über den Analogausgang ausgeben zu können. Auf diese Weise sind über einen weiten Bereich Zeitdehnungseffekte zu erzielen, umgekehrt jedoch auch Zeitraffungseffekte bei umgekehrter Aufgabenstellung. Dies sind die typischen Anwendungen für Transientenspeicher.

Als kleinste Meßstrecke sei als Beispiel der Verlauf der Abschmierung zwischen zwei Balken gegeben. Bei max. Geschwindigkeit ist diese Strecke in 1,6 ms durchlaufen. Bei einer sampling time von $1 \mu\text{s}$ sind in dieser Zeit $1,6 \cdot 10^3$

Werte abzuspeichern, die in einem Kanal von 2 K-Worte unterzubringen sind. Als Wort wird in der Computersprache ein digital codierter Wert verstanden, dessen Speicherplatz eine rechnerabhängige bit-Zahl, in unserem Falle 8 bit/Wort, umfaßt. Damit läßt sich der Kurvenverlauf sehr gut wiedergeben.

Die sampling time gibt also die Zeitspanne an, innerhalb deren aus dem Meßsignal Werte entnommen und mit einer Amplitudenauflösung von 8 bit abgespeichert werden. Es gilt sozusagen die Gleichung:

$$\text{Speicherplätze (Worte)} \times \text{Sampling Time (Zeit/Wort)} = \text{Registrierzeit (Zeit)}$$

Bei einem 2K-Speicher (2024 Werten bzw. Werte je 8 bit) kann demnach bei einer eingestellten sampling time von 1 ms ein ca. 2 Sekunden dauernder Vorgang aufgenommen werden.

Ein weiterer Vorteil der Transientenrekorder sind die Triggermöglichkeiten. Der Triggerimpuls kann wahlweise extern oder intern durch das Eingangssignal erzeugt werden. Für uns interessant ist die externe Triggerung über die Steuerimpulse für eine exakt getimte Abspeicherung der Meßwerte, insbesondere von Q.

Die im Transientenspeicher abgelegten Werte wurden i.allg. auf einen UV-Lichtstrahlschreiber verlangsamt wieder ausgegeben. Eine Abspeicherung auf ein digitales Magnetband zum Zweck der rechnerischen Analyse ist zwar möglich, erforderte jedoch eine komplizierte Anpassung an den Rechner, die nicht auf Anhieb gelang.

7.2 Der Signalanalysator

Die Betrachtung der über den Transientenrekorder erstellten Ausschriebe, speziell für unbedrucktes Papier, führte uns darauf, daß die Anwendung eines Signalanalysators bei der Auswertung hilfreich sein könne. Besonders von der Fourier-

analyse versprochen wir uns wichtige Informationen über die Signalzusammensetzung und von der Funktion des "Averaging" über zahlreiche Messungen wesentliche Vorteile bei der Auswertung der Abschmierkurven. Zum besseren Verständnis seien daher einige Begriffe aus der Signalanalyse erläutert.

Jede periodische Funktion $S(t)$ kann mit Hilfe der Fourier-Transformation als eine Summe von Sinus- und Kosinusfunktionen dargestellt werden und zwar in der Form

$$\text{Allgem.: } S(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin [n \omega_1 t + \varphi_n] \quad (4)$$

Die Fourier-Transformation beschreibt dann das Signal als eine Überlagerung von sin-Teilschwingungen mit verschiedenen Amplituden A_n , Frequenzen $n\omega_1$ und Phasenlagen φ_n .

Der zeitlich veränderliche Anteil von Gl. (4) läßt sich durch zwei diskrete Spektren, das Amplitudenspektrum $A_n(\omega)$ und das Phasenspektrum $\varphi_n(\omega)$ kennzeichnen. An einem einfachen Beispiel mit $\varphi_n=0$ (Abb. 22) sei eine solche Zerlegung demonstriert. Das Amplitudenspektrum (Abb. 23) ist das Ergebnis der Fourieranalyse. Es ist dabei die Höhe der Amplitude A_n über der Frequenz $n\omega_1$ der zugehörigen sin-Schwingung aufgetragen. Im Beispiel existiert keine Grundschwingung, aber zwei Oberschwingungen bei 33,3 und 50 Hz. Diskrete Amplitudenspektren dieser Art gestatten es, die periodischen Anteile auch komplizierter Kurvenverläufe übersichtlich darzustellen.

Das echte Gewicht der verschiedenen Frequenzen wird durch das Quadrat der Amplituden richtig wiedergegeben. Dieses Quadrat der Amplituden als Funktion der Frequenz wird Leistungsdichtespektrum $G(\omega)$ genannt. Der Name kommt daher, daß im allgemeinen die Energie einer Schwingung, z.B. auch die von einer Wechselspannung einem ohm'schen Widerstand abgegebene Leistung, direkt proportional zum Quadrat der Amplitude ist. In der allgemeinen Anwendung der Fourier-

analyse hat es sich als vorteilhaft erwiesen, mit der Wurzel aus dem Leistungsdichtespektrum zu arbeiten, welche - um bei der eben benutzten Analogie zu bleiben - einer Effektivspannung entspricht. Es wird üblicherweise sowohl $G(\omega)$ als auch $\sqrt{G(\omega)}$ mit dem Begriff Leistungsdichtespektrum bezeichnet. Leistungsdichtespektren sind bei rein periodischen Funktionen diskrete Linienspektren. Meßsignale sind keine rein periodischen Funktionen. Deshalb sind weder die Amplituden- noch die Leistungsspektren eigentliche Linienspektren, sondern kontinuierliche Spektren, die bei stärker auftretenden Frequenzen durch mehr oder weniger ausgeprägte Peaks gekennzeichnet sind. Ein Meßsignal enthält jedoch stets auch durch das Rauschen gegebene stochastische Anteile. Bei deren Zerlegung in ein Frequenzspektrum entsteht ebenfalls ein kontinuierliches Dichtespektrum, das sich den Peaks überlagert.

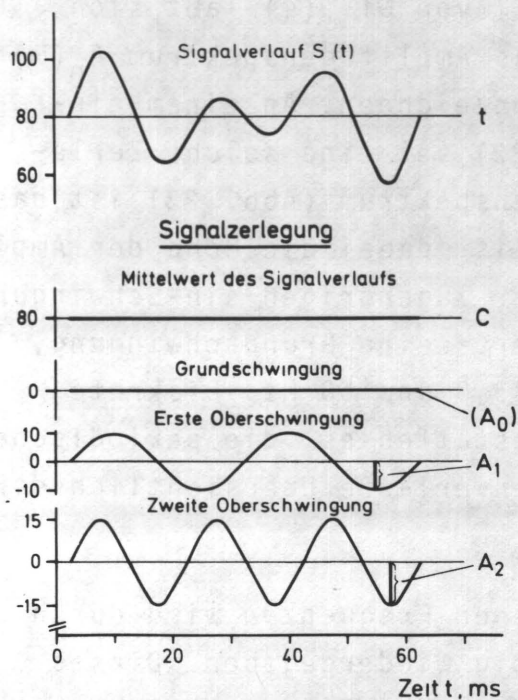


Abb. 22 Signalzerlegung durch Fourieranalyse

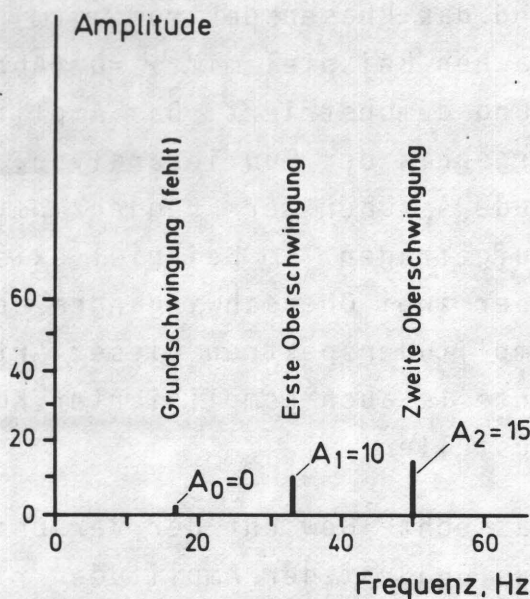


Abb. 23 Amplitudenspektrum zu Abb. 22

In einem Fourieranalysator kann man aus eingegebenen Signalverläufen die beschriebene Analyse mit elektronischen Mitteln (analoge oder digitale Filter) durchführen. Von uns wurde ein einkanaliger Analysator von Nicolet Scientific Corp, Typ UA 444 A verwendet.

In vielen Fällen, wie beispielsweise bei der Bestimmung von Q , ist es möglich, das Rauschen, in diesem Beispiel verursacht durch die optische Rauigkeit des Papiers, allein zu messen. Aus dem Leistungsspektrum $G(\omega)$ des Rauschsignals läßt sich die Standardabweichung zum Beispiel von Q bestimmen. Es gilt in diesem Fall

$$\sigma_Q = \sqrt{\int_0^{\omega_0} G(\omega) d\omega} \quad (5)$$

Die obere Integrationsgrenze ω_0 ist jene maximale Frequenz, ab welcher das Dichtespektrum $G(\omega)$ endgültig zu Null wurde.

Diese Zusammenhänge erlauben die Beurteilung der Wirkung von Filtern bzw. von Meßverfahren mit Filterwirkung auf die vom Rauschen verursachten Meßfehler.

Das Fourierspektrum des Rauschens, d.h. des Signals $Q(t)$ bei unbedrucktem Papier, erlaubt uns also letztlich festzustellen, bei welchen "Ortsfrequenzen" das von der optischen Rauigkeit verursachte Rauschen am stärksten vertreten ist. Solch ein Spektrum hilft damit, dieses Rauschen, das bei der Messung von Verschmierungen an Linienrastern eine immer vorhandene Fehlerquelle darstellt, bei der Signalauswertung zu unterdrücken.

Der Fourieranalysator analysiert, wie vorher gesagt, die Zeitfunktion $Q(t)$. Der zu jeder Zeit t gehörige Ort x ist jedoch abhängig von der Druck- bzw. Bahngeschwindigkeit v . Dies bedeutet, daß die Zeitfunktion $Q(t)$ in eine $Q(x)$ transformiert werden muß, um eine auf das Papier bezogene Analyse durchzuführen.

Ort und Zeit sind verknüpft durch die Gleichung

$$x = v \cdot t$$

Wird in dieser Gleichung die Zeit t der Periodendauer T

gleichgesetzt, dann wird die Länge x zur Wellenlänge λ , also $\lambda = v \cdot T$. Der Kehrwert dieser Wellenlänge ist die Ortsfrequenz Ω , also:

$$\Omega = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{T \cdot v} = \frac{\omega}{v}$$

Zur Verdeutlichung ist in den Abb. 24a und 24b die Koordinatentransformation $Q(t) \rightarrow Q(x)$ und die Koordinatentransformation $G(\omega) \rightarrow G(\Omega)$ des zugehörigen Leistungsdichtespektrums gezeigt. Das Leistungsdichtespektrum $G(\Omega)$ gibt Information über die Verteilung der für die optische Rauigkeit des Papiers verantwortlichen Wolkigkeit.

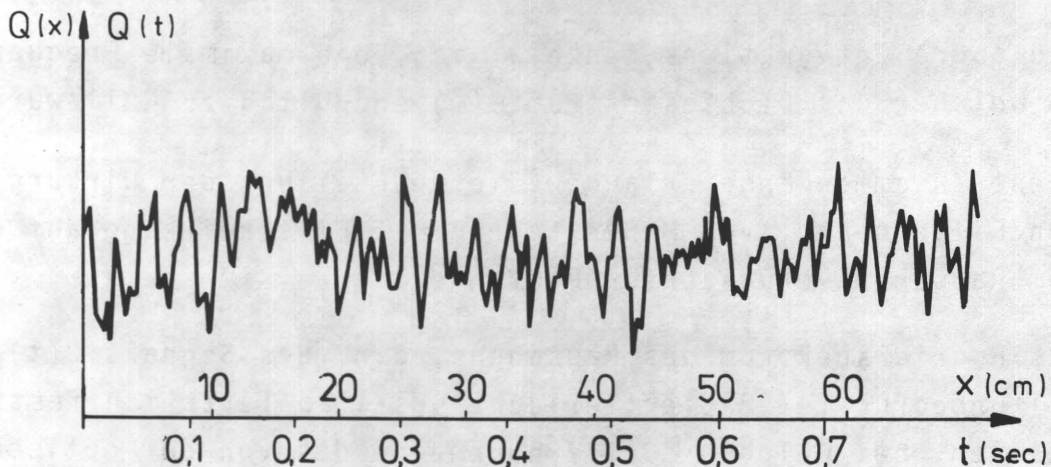


Abb. 24a Beispiel für den Verlauf von $Q(t)$ bzw. $Q(x)$; die Bahngeschwindigkeit beträgt $v = 0,84$ m/s

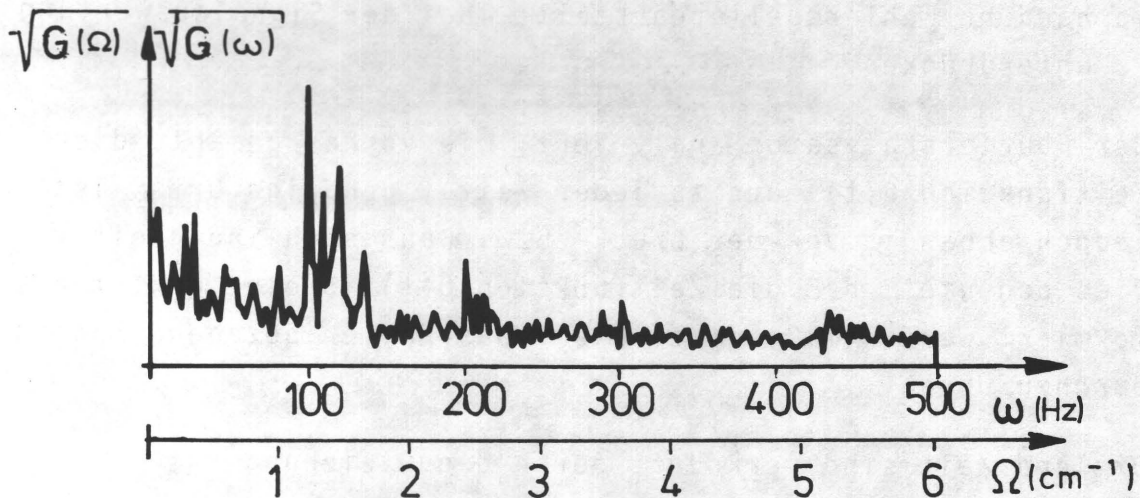


Abb. 24b Das zu Abb. 24 zugehörige Leistungsdichtespektrum $G(\omega)$ bzw. $G(\Omega)$. Das Leistungsdichtespektrum $G(\Omega)$ ist papier-spezifisch und unabhängig von der Bahngeschwindigkeit.

8. Voruntersuchungen mit der "Zimmer"-Anordnung

Um zu überprüfen, welches der beiden beschriebenen Geräte für die Messung des Abschmiergrades an einer laufenden Papierbahn am geeignetsten ist, wurden zahlreiche Vorversuche durchgeführt. Die Ergebnisse enthalten einige wissenswerte allgemeine Informationen über Abtastungen laufender Papierbahnen. Sie sollen daher nicht unerwähnt bleiben.

8.1 Messungen an der laufenden, unbedruckten Papierbahn

Zweck dieser Messungen war festzustellen, in welchem Maße die optische Rauigkeit und andere Unregelmäßigkeiten in den optischen Eigenschaften des Papiers zu Fehlern oder zu Meßergebnisfälschungen bei der Bestimmung des Quotienten $Q=f(t)$ bzw. $Q=f(x)$ führen können.

Die Bedingungen beim Papierlauf sind die gleichen wie im normalen Druckbetrieb. Lediglich die Farbzufuhr ist unterbrochen. Die Bahnspannung wurde mit einer an Kraftmeßgebern befestigten Stange bei einer Bahnauslenkung von ca. 10^0 kontrolliert. Eine Abhängigkeit des Quotienten Q von der Bahnspannung konnte in dem Variationsbereich $250 < \sigma < 1000 \text{ N/m}$ nicht festgestellt werden.

Bei allen Messungen wurde die Papierbahn an der Meßstelle mit weißem Papier unterlegt, um ein Durchscheinen eines Untergrundes zu vermeiden.

Bei den Messungen des Quotienten $Q(x)$ konnten selbst innerhalb der gleichen Papierlieferung an verschiedenen Rollen Unterschiede festgestellt werden. Ein Beispiel für ein gestrichenes Papier zeigt die Abb. 25

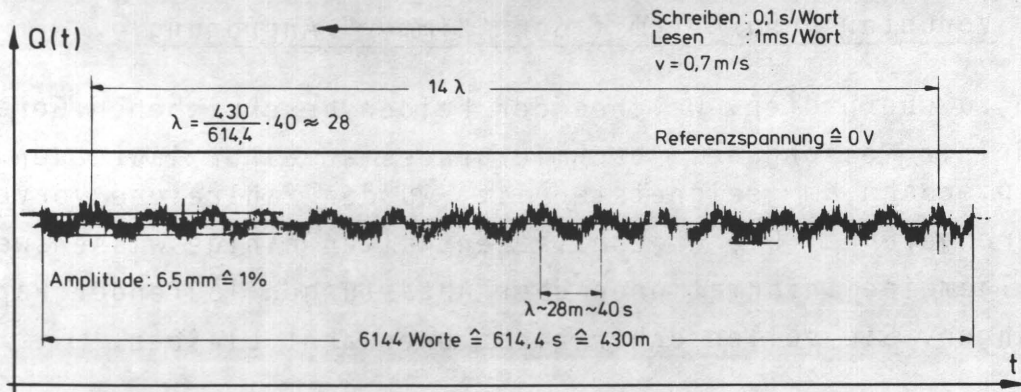


Abb. 25 Optische Rauigkeit eines gestrichenen Papiers über eine große Papierlänge (430 m)

Außer den zufallsbedingten, örtlich sehr dicht aufeinanderfolgenden Schwankungen gibt es noch eine regelmäßige Änderung des Quotienten und zwar mit einer Wellenlänge von etwa 28 m. Möglicherweise entspricht diese Wellenlänge einer charakteristischen Frequenz oder Abmessung bei der Papierherstellung. Bei dem Entwurf einer Betriebsmeßanordnung muß auf den Ausgleich solcher regelmäßiger Schwankungen geachtet werden. Darin liegt auch die kurz vor jeder Messung erfolgende Eichung begründet.

Naturpapiere zeigen eine viel höhere optische Rauigkeit als die gestrichenen Papiere. Die gemessenen Änderungen des Quotienten Q liegen jedoch selbst bei Naturpapier weit unter den Werten der Untersuchungen in /44, 45/. Die Erklärung liegt darin, daß hier an breiteren Flächen gemessen wird, was zu einer Mittelwertbildung und dadurch einer Glättung der Schwankungen höherer Ortsfrequenzen führt.

Die Abb. 26 und 27 zeigen einige Beispiele aus den Messungen und verdeutlichen die Schwierigkeiten, die für genaue Trockengradbestimmungen zu erwarten sind.

In Abb. 26a ist der Quotientenverlauf für ein Naturpapier und

ein gestrichenes Papier zum Vergleich einander gegenübergestellt. Alle Frequenzen über 500 Hz wurden ausgefiltert. Bei einer Bahngeschwindigkeit von 0,84 m/s entspricht dies dem Bereich der Ortsfrequenzen $\Omega = \omega/v$ zwischen 0 und $5,95 \text{ cm}^{-1}$. Das bedeutet, daß alle Schwankungen mit einer Wellenlänge $\lambda = \frac{1}{\Omega} < 0,17 \text{ cm}$ nicht aufgenommen wurden. Dieser Abstand ist in etwa übereinstimmend mit der Meßflächenausdehnung. Die Meßwertschwankungen liegen teilweise über 2%.

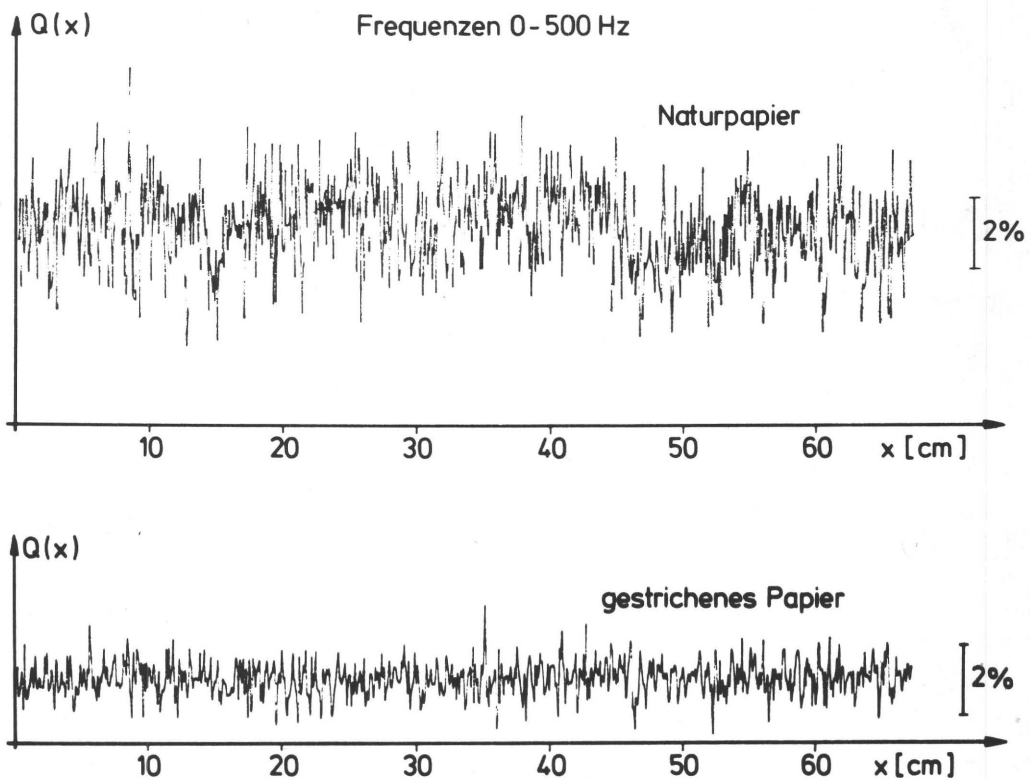


Abb. 26 a Optische Rauigkeit von Papieren, aufgelöst auf kürzere Papierstrecken (Filterung ab 500 Hz)

Mit dem Fourieranalysator wurden für diese Signale die zugehörigen Leistungsdichtespektren erstellt. Sie sind in Abb. 26b wiedergegeben und über der Ortsfrequenz aufgetragen. Gleichzeitig sind auf der Abszisse die Wellenlängen λ angegeben. Der Vergleich der beiden Meßkurven bestätigt selbstverständlich die sehr viel bessere optische Glätte des gestrichenen Papieres. Die Helligkeitsschwankungen des Naturpapiers sind etwa dreimal größer als jene des gestrichenen Papieres.

Der mit 100 Hz gekennzeichnete Peak wird von der Restwelligkeit des Lichtes der Meßbeleuchtung und vom Streulicht der Raumbelichtung verursacht. Da die Peakfläche im Vergleich klein ist, entsteht kein Einfluß auf die Meßergebnisse bei den Schmierversuchen.

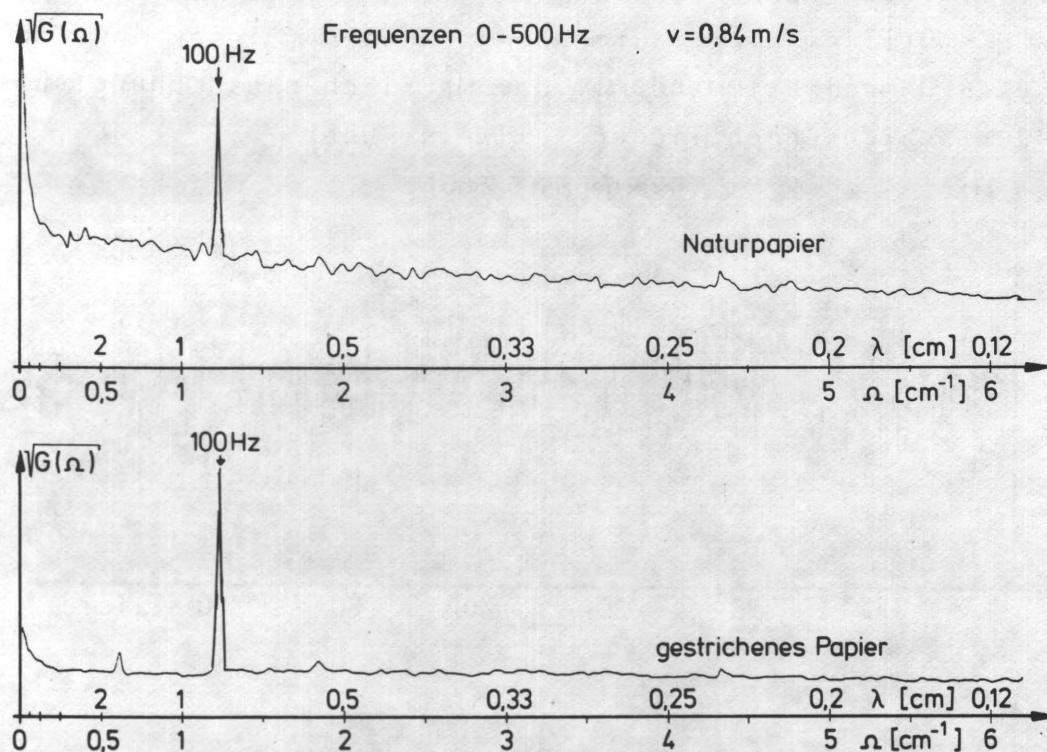


Abb. 26 b Leistungsdichtespektrum zu Abb. 26a

Die gleichen Messungen wurden noch einmal aufgenommen, jedoch mit einer Filterung aller Frequenzen über 10 Hz, entsprechend einem Ortsfrequenzbereich von $0 < \Omega < 0,12 \text{ cm}^{-1}$. Damit sind alle kurz aufeinander folgenden Schwankungen ausgefiltert und praktisch eine Mittelung von Strecken bis $x = 8,3 \text{ cm}$ erreicht. Die jetzt weitaus glatteren Signalverläufe $Q(x)$ und die dazu gehörigen Leistungsdichtespektren $G(\Omega)$ sind in den Abb. 27a, b wiedergegeben. Auch hier ist noch deutlich ein Unterschied zwischen dem Naturpapier und dem gestrichenen Papier zu erkennen.

Für die späteren Trockengradmessungen von besonderer Bedeutung ist der Bereich zwischen $\lambda=18 \text{ cm}$ (Länge des gedruckten Linienrasters) und $\lambda=60 \text{ cm}$ (Plattenzylinderumfang = gesamte Meßstrecke).

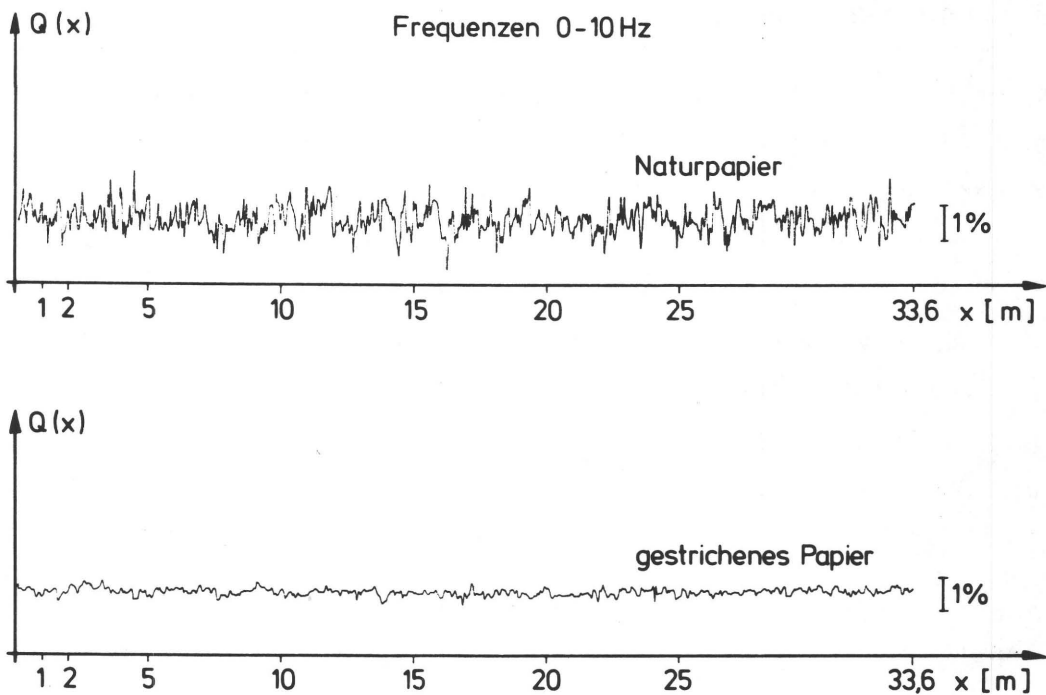


Abb. 27 a Optische Rauigkeit von Papieren, aufgelöst auf kürzere Papierstrecken (Filterung ab 10 Hz)

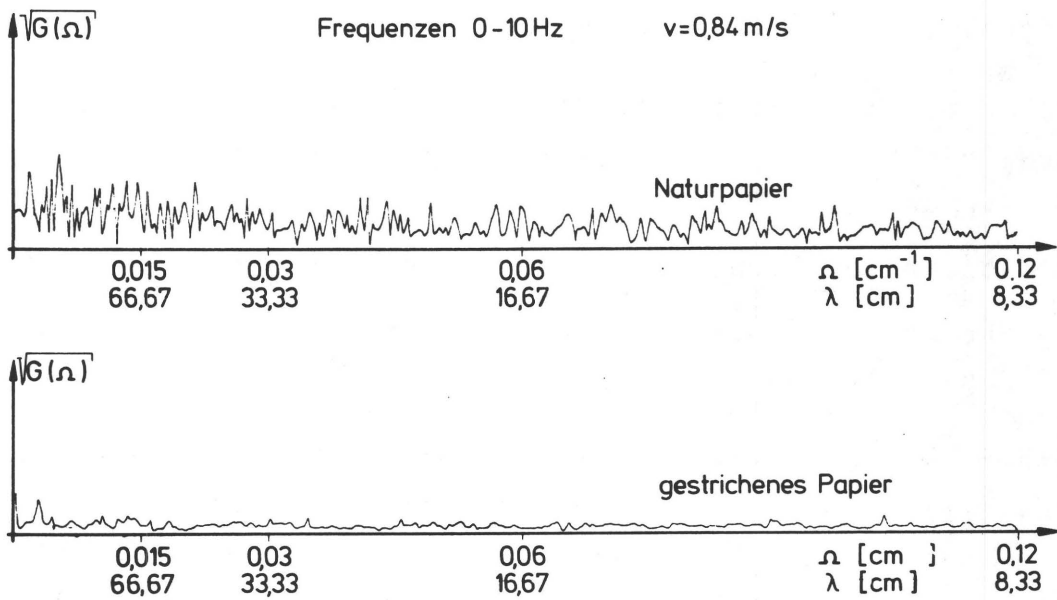


Abb. 27 b Leistungsdichtespektrum zu Abb. 27a

8.2 Messungen an der laufenden, bedruckten Papierbahn

Das im vorigen Kapitel gezeigte Rauschen infolge der optischen Eigenschaft des Papiers setzt einer Anwendung der "Zimmer"-Anordnung schwerwiegende Grenzen für das Messen von abgeschmierter Farbe auf Papier entgegen. Schwankungen bis zu 2% sind kaum von denen, die von abgeschmierter Farbe verursacht wurden, zu unterscheiden. Dies ist gerade in den uns interessierenden Bereichen geringer Verschmierungen nicht mehr tragbar, da diese kleinere Signale als das Rauschen ergeben. Das gilt sogar dann, wenn die Verschmierungen bereits über der Wahrnehmungsgrenze des Auges liegen.

Dennoch wurden mit der "Zimmer"-Anordnung, die als erste verfügbar war, einige Erfahrungen für das Messen geringer Dichteänderungen gesammelt. So war es möglich, damit Untersuchungen des Abschmiervorganges als Funktion der Zeit vorzunehmen, wobei das Papierrauschen unterdrückt werden mußte. Die Glättung des stark verrauschten Einzelsignals $Q(t)$ kann mit Hilfe eines programmierbaren Signalanalysators durch Signalmittelung (averaging) erfolgen /53/.

Bevor man sich damit befaßt, ist es notwendig, etwas genauer den Abschmiervorgang zu betrachten. Dieser besteht aus zwei Teilvorgängen:

- 1) Abgabe von Farbe von der Volltonfläche an den Abschmierer
- 2) Rückübertragung der Farbe vom Abschmierer auf unbedruckte Papierflächen.

Jeder der bedruckten Balken des Linienrasters stellt eine Volltonfläche dar. Wenn nun eine farbfreie Fläche gegen eine bedruckte Fläche reibt, findet bei nicht ausreichender Festigkeit des Farbfilms eine Übertragung von Druckfarbe zu der anfangs farbfreien Fläche statt.

Ist die Volltonfläche groß genug, so wird abhängig von der Scherbelastung, der Farbe, dem Bedruckstoff und dem Trocken-

grad ein Gleichgewichtszustand erreicht zwischen der aufgenommenen und der an die Volltonfläche selbst wieder abgegebenen Farbe. Das bedeutet, es wird auch bei großer Länge L nur bis zu einer gewissen Sättigung Farbe von dem Abschmierer aufgenommen. Die nötige Länge für solch ein Gleichgewicht liegt in der Größenordnung von 30 mm. Die Farbabgabe an den Abschmierer ist dabei ein Maß für die Festigkeit des Farbfilms auf dem Bedruckstoff.

Nachdem die Volltonfläche zu Ende ist, wird die gesammelte Farbmenge wieder an die Papieroberfläche abgegeben, wobei ein Abschmierschweif entsteht.

Betrachten wir jetzt den Rückübertragungsvorgang von dem Moment an, ab dem der Abschmierer, mit der vorher angesammelten Farbmenge q_0 belegt, die hintere Kante einer Volltonfläche verläßt. Läuft nun die unbedruckte Papierbahn unter Kontakt unter diesem Abschmierer durch, so wird Farbe an die Bahn zurückgegeben. Die anfangs vorhandene Menge q_0 nimmt als Funktion der durchgelaufenen Strecke x ab. An der Stelle x verbleibt auf dem Abschmierer die Farbmenge $q(x)$. Bezeichnet man mit $q_b(x)$ die an der Stelle x auf das Papier pro Flächeneinheit zurückübertragene Farbmenge, dann gilt:

$$-B \frac{dq}{dx} = q_b(x) \left(\frac{q}{m^2} \right) \quad (6a)$$

B ist die Breite der Kontaktfläche.

Andererseits gilt auch:

$$q_0 = \frac{1}{B} \int_0^{\infty} q_b(x) dx \quad (7a)$$

Wird darüber hinaus mit Schwarz gedruckt, dessen Pigmente fast zu 100% absorbieren, dann ist die Abnahme der Leuchtdichte auf alle Fälle proportional zur abgeschmierten Farbmenge. Daß dies unter bestimmten Voraussetzungen generell gilt, ist im Anhang bewiesen.

Es gilt also:

$$\text{rel. Abnahme der Leuchtdichte} = K \cdot \text{Farbmenge} \quad (8)$$

und damit für die Verschmierung auf dem Papier

$$V = K \cdot q_b$$

Definiert man entsprechend der Farbmenge q auf dem Abschmierer eine integrale Größe VI durch

$$VI = K \cdot q$$

dann resultiert der Zusammenhang

$$V(x) = -B \frac{dVI(x)}{dx} \quad (6b)$$

mit

$$VI(x=0) = \frac{1}{B} \int_0^{\infty} V(x) dx \quad (7b)$$

(Multiplikation der Gl. (6a) und (7a) mit Faktor K)

Dabei bezeichnet $VI(x)$ den Augenblickswert an einer bestimmten Stelle x .

Die Abb. 28 zeigt Verläufe, wie sie sich beim Abschmieren einer Volltonfläche ergeben. Es darf angenommen werden, daß die Kurvenverläufe e-Funktionen sehr nahe kommen, wie sie für den Fall von Proportionalität zwischen $VI(x)$ und $\frac{dVI}{dx}$ zu erwarten wären.

Messungen des Abschmierschweifs mit Hilfe der "Zimmer"-Anordnung wurden durchgeführt. Das Ergebnis einer solchen Messung an einem Naturpapier zeigt Abb. 29a.

Ein solcher Verlauf ist wegen der durch das Papier verursachten Rauschsignale nahezu nicht auszuwerten. Wir konnten uns lediglich Vorstellungen davon machen, wie groß die Halbwertbreite des Abfalls der Verschmierung ist. Die Stelle $\frac{1}{2} V(x=0)$ ist - je nach Versuchsbedingungen - immer länger als 5 cm. Dies bedeutet, daß die Messungen am Linienraster immer im Gebiet der Anfangsverschmierung $V(x=0)$, also im Bereich der stärksten Farbrückgabe vom Abschmierer, vorge-

nommen werden. Infolgedessen wird an der empfindlichsten Stelle gemessen, denn, wenn überhaupt eine Verschmierung auftritt, dann am Anfang.

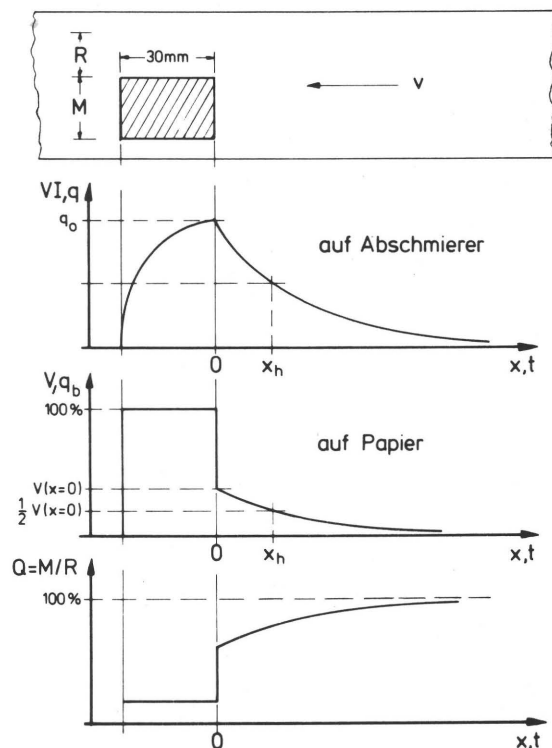


Abb. 28 Theoretische Verläufe von Verschmierung und Quotient

Eine Möglichkeit, das Signal-Rauschverhältnis zu verbessern, besteht darin, eine größere Anzahl von Messungen, als in Abb. 29a ausgewertet, durchzuführen und aus ihnen einen mittleren Verlauf durch punktweise Addition zu berechnen. Es würde dann das Meßsignal für jeden Punkt N -mal höher liegen. Das Rauschsignal dagegen, da statistisch verteilt, würde im Durchschnitt nur mit der Wurzel der Anzahl der addierten Kurven steigen, das heißt der Signalverlauf würde geglättet. Dieses Verfahren wird Avaraging genannt /53/.

Im allgemeinen ist das Signal/Rausch-Verhältnis V_S/V_R bei Addition von N Meßkurven:

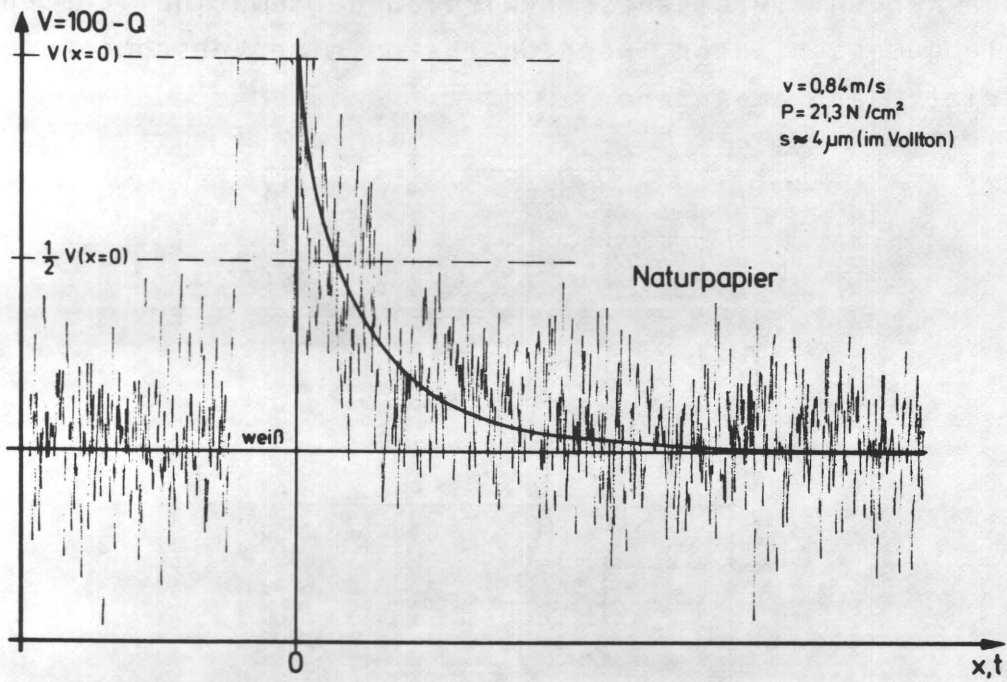


Abb. 29 a Gemessener Verlauf der Verschmierung an Naturpapier

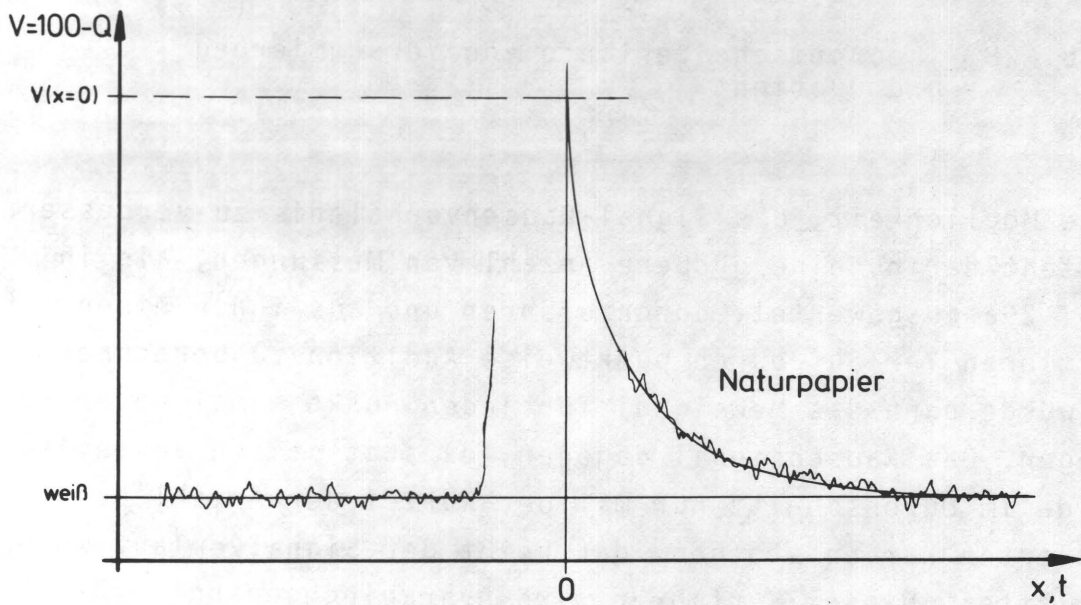


Abb. 29 b Gemittelter, gemessener Verlauf der Verschmierung an Naturpapier

$$V_S / V_N = \sqrt{N} \cdot (V_S / V_N)_0 \quad (9)$$

9. Voruntersuchungen mit der "Celio"-Anordnung

Zur Überprüfung der Eigenschaften und Brauchbarkeit der "Celio"-Anordnung liefen ebenfalls einige Vorversuche. Da mit dieser Anordnung auch später gemessen wurde, sind die Ergebnisse daraus von Bedeutung für den Ablauf des Meßvorgangs. Die Voruntersuchungen dienten daher in erster Linie der Feststellung möglicher Fehlerquellen und - daraus abgeleitet - der Ermittlung von Maßnahmen zu ihrer Beseitigung.

9.1 Allgemeine Fehlerquellen

Es werden hier eine Reihe von Fehlerquellen aufgezählt. Der Großteil ist unabhängig von der Anordnung, mit welcher gemessen wird. Es ist hier also nicht die Rede von den Schwächen oder Mängeln der Celio-Anordnung, sondern von den Dingen, die zu falschen Meßergebnissen führen. Ein falsches Ergebnis liegt dann vor, wenn eine Verschmierung angezeigt wird, ohne daß Farbe abgeschmiert wurde. Solche Fehler überlagern sich natürlich dann auch den echten Messungen.

9.1.1 Die optische Rauigkeit des Papiers

Die optische Rauigkeit wurde im vorigen Kapitel ausführlich behandelt. Sie verhindert, die Meß- und Referenzspur oder die Meßfläche drastisch zu verkleinern, da eine integrale Messung die Auswirkungen solcher Schwankungen mindert. Dies gilt besonders für die höheren Ortsfrequenzen. Da die Celio-Auswertung einen Mittelwert von Q über das gesamte Linienraster bildet, wird damit auch die Wirkung der Schwankungen höherer Ortsfrequenzen unterdrückt.

Die Quotientenbildung trägt ebenfalls zur Verkleinerung der

Schwankungen bei, wenn man den Vergleich mit den Verläufen der Einzelmessungen von M und R zieht. Dies gilt für die Schwankungen niedriger Ortsfrequenzen. Durch die in Kap. 6.4.3 beschriebene Eichung kurz vor dem Linienraster werden auch die niedrigeren Ortsfrequenzen als Fehlerquellen ausgeschaltet.

Damit bleiben als Fehlerquellen weitgehend unterdrückt:

- a) Schwankungen von Q, die wegen der optischen Rauigkeit des Papiers mit λ viel kleiner als eine Linienrasterlänge sind.
- b) Ähnliche Schwankungen von Q mit λ viel größer als ein Zylinderumfang.

Dagegen sind Schwankungen von Q mit λ in der Größenordnung Zylinderumfang - Rasterlänge immerhin als Fehlerquelle bei der optischen Messung von Verschmierungen vorhanden. Da diese Schwankungen zufallsbedingte Fehler verursachen, bleibt als Ausweg die Mittelwertbildung mehrerer Messungen.

9.1.2 Fehlerquellen durch den Druckprozeß

Es gibt zwei Hauptquellen für systematische Fehler, die in der Druckplattenvorbereitung und im Druckvorgang ihre Herkunft haben:

1. Fehler an den Druckplatten. Druckende Punkte an Stellen, die nicht drucken sollten, verursachen systematische und reproduzierbare Fehler bei der Bestimmung von Q. Solche Punkte können zum Beispiel durch Staubteilchen auf der Vorlage, auf der Glasplatte des Vakuumrahmens usw. verursacht werden. Sie sind durch Retuschieren zwischen den Balken des Linienrasters zu beseitigen. Die Schwierigkeit liegt darin, daß diese Punkte oft mit bloßem Auge nicht erkennbar sind.

Bereits eine geringe Anzahl solcher Punkte auf dem Meßfeld in den Rasterzwischenräumen würde zu einem Quotienten kleiner 100% führen und daher eine Abschmierung vortäuschen.

Einen solchen systematischen Fehler kann man ausschalten, wenn man statt $V=100\%-Q$ die Definition

$$V = Q_0 - Q \quad (10)$$

benutzt. Dabei ist

Q_0 der Quotient ohne Abschmierung (der Abschmierer wird gehoben)

und

Q der Quotient mit aufgelegtem Abschmierer.

2. Fehler, die durch Tonen entstehen. Unter dem Begriff "Tonen" im Offsetdruck versteht man das Mitdrucken eines Farbschleiers an nichtdruckenden Stellen infolge nicht optimaler Wasserführung. Ein sehr leichtes Tönen der Druckplatte, das kaum sichtbar ist, kann ähnliche Effekte wie die bereits erwähnten Mängel der Druckplatte hervorrufen. Der Unterschied liegt darin, daß das Tönen nicht gleichbleibend ist. Die Änderung vollzieht sich aber nur langsam. Dies bedeutet, daß Fehler durch Tonen teilweise ausgeschaltet werden, wenn die Gleichung (10) angewendet wird.

Für die Messungen empfiehlt sich, für jeden Meßpunkt je 12 Messungen von Q_0 und Q durchzuführen, aus ihnen Mittelwerte zu bilden und aus diesen Werten die Verschmierung

$$V = \bar{Q}_0 - \bar{Q} \quad (10a)$$

zu berechnen.

9.1.3 Der Einfluß der Schichtdicke

Es ist zu erwarten, daß die Trocknungseigenschaften einer Farbschicht auf einen Bedruckstoff stark von der Schichtdicke abhängen werden. Mit der benutzten Modellmaschine war es nicht möglich, eine ausreichend konstante Farbschicht auf das Papier zu drucken. Die Schichtdicke mußte also

ständig kontrolliert werden, damit nur bei geringstmöglichen Schwankungen die Verschmierung gemessen wird.

Diese Kontrolle erfolgte über die Ausmessung der optischen Dichte in den Volltönen des Linienrasters während der Messungen. Schichtdicke und optische Dichte stehen in exponentieller Abhängigkeit zueinander. Diese Abhängigkeit ist für jede Kombination Farbe-Bedruckstoff eine andere. Sie muß daher zuvor immer eigens bestimmt werden. Abb. 30 zeigt den Zusammenhang zwischen Dichte und Schichtdicke für die verwendeten Farben und Papiere.

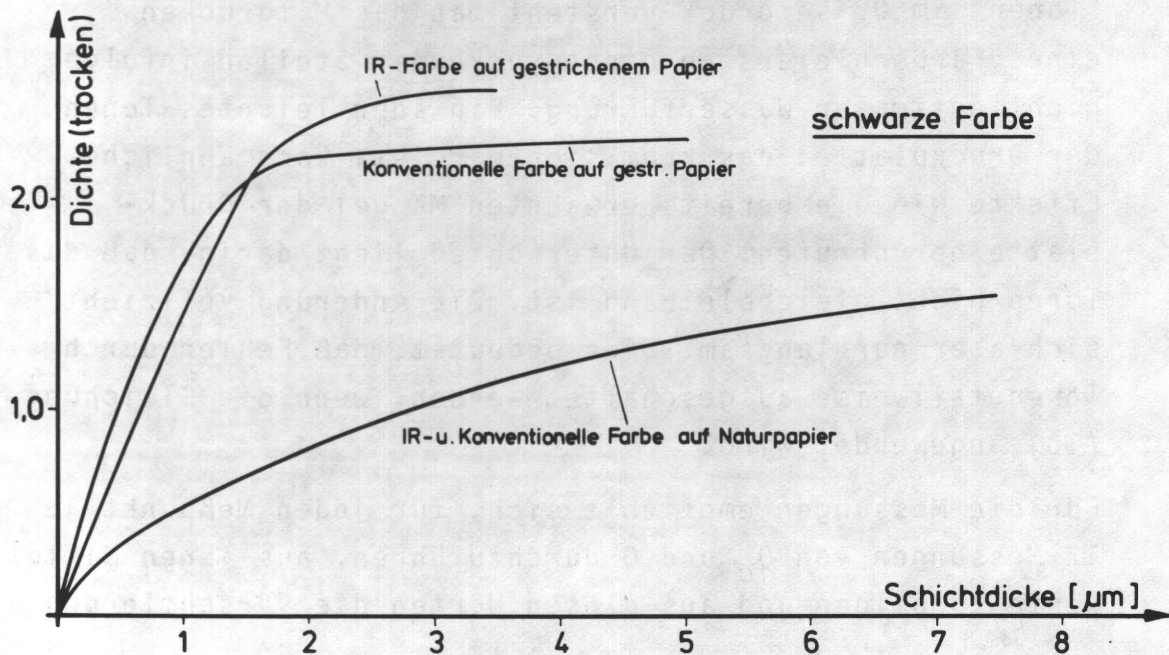


Abb. 30 Dichte als Funktion der Schichtdicke

Aus diesen Diagrammen ist zu erkennen, daß die indirekte Kontrolle der Schichtdicke über die Dichte zu unterschiedlich starken Fehlern führte. Im Gebiet der Sättigung ist eine geringe Dichtedifferenz äquivalent einem hohen Schichtdickenunterschied, während bei geringen Schichtdicken Dichteänderungen eine kleinere Dickenschwankung anzeigen.

An dieser Stelle sei daran erinnert, daß sich unterschiedliche Dichtewerte ergeben, je nachdem, ob die Farbe bereits durchgetrocknet oder noch flüssig ist. Der Grund dafür liegt in dem unterschiedlichen Glanz beider Oberflächen. Der höhere Glanz der feuchten Farbe wird vom Densitometer mit höheren Dichten bewertet. Daher ist von Dichte (trocken) und Dichte (naß) die Rede.

Für Messungen, in denen die Schichtdicke konstant gehalten wird, wurden die Dichten $D=1,2$ ($s=4 \mu\text{m}$) für den Druck auf Naturpapier und $D=1,65$ ($s=1 \mu\text{m}$) für den Druck auf gestrichenem Papier gewählt. In Tab. A werden die Dichteschwankungen und die entsprechenden Schichtdickendifferenzen während solcher Messungen angegeben.

Tabelle A

Komb. Druckfarbe - Bedruckstoff	Dichte (trocken)	Schicht- dicke (μm)	Standardabweichungen	
			Dichte	Schichtdicke (μm)
Konventionelle und IR- Farben auf Naturpapier	1,19	3,81	0,04	0,07
Konventionelle Farben auf gestrichenem Papier	1,63	0,93	0,03	0,03
IR-Farben auf gestrichenem Papier	1,68	1,17	0,05	0,04

Bei den speziellen Untersuchungen der Abhängigkeit der Verschmierung von der Schichtdicke wurde diese auch bis zu höheren Schichten im Gebiet der Abflachung der Kurve variiert. Hier wichen natürlich die nur über die Dichte kontrollierten Schichtdicken stärker vom Sollwert ab, als bei dünneren Schichten, da ein konstantes ΔD zugelassen war.

9.1.4 Bestimmung des Fehlers im Nullpunkt

Die Auswirkungen der bisher genannten Fehlerquellen auf die Meßergebnisse kann man am besten durch Messungen im Nullpunkt der Verschmierung (Sollwert: $V=0\%$) bestimmen. Die Betriebsbedingungen (Papiersorte, Trocknung, Bahnspannung, Druck usw.) bleiben dabei die gleichen wie bei der eigentlichen Messung.

Für die Überprüfung wurde wie folgt vorgegangen: Es wurde mit UV-Farbe gedruckt. Die nach dem Druckvorgang in der Trockenstrecke angeordneten UV-Strahler wurden mit maximaler Leistung betrieben, um ein vollständiges Aushärten der Farbe zu gewährleisten. Die ausgehärtete Farbe verschmiert nicht mehr. Der Quotient Q wurde mit der Celio-Anordnung folgendermaßen bestimmt:

6 Messungen ohne Abschmierbelastung (Q_0)

12 Messungen unter Abschmierbelastung (Q)

6 Messungen ohne Abschmierbelastung (Q_0)

Aus den Mittelwerten wurden die einzelnen Werte von $V = \bar{Q}_0 - \bar{Q}$ errechnet.

Die Ergebnisse solcher Messungen sind in den Abb. 31a, b in Form von Histogrammen für Naturpapier und gestrichenes Papier aufgetragen, wobei die Verteilung der Abweichungen vom Sollwert zu erkennen ist.

Erwartungsgemäß sind die Abweichungen beim Naturpapier größer als beim gestrichenem Papier (vgl. dazu auch Tabelle B).

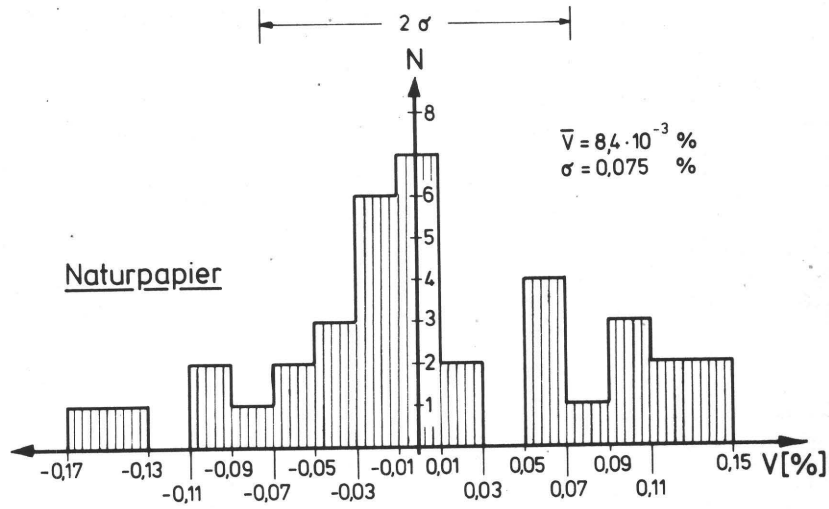


Abb. 31 a Streuungen der Messungen im Nullpunkt bei Naturpapier

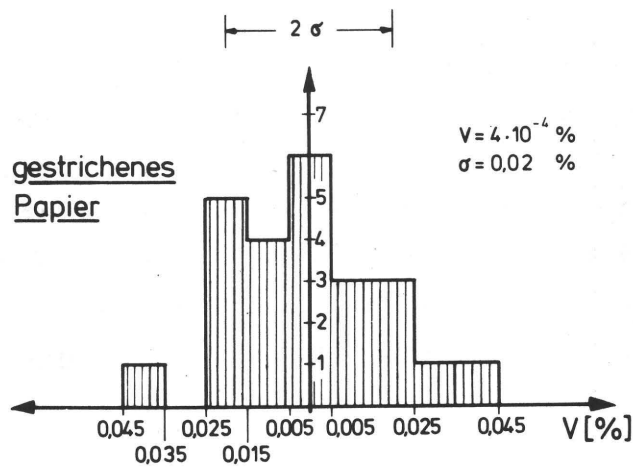


Abb. 31 b Streuungen der Messungen im Nullpunkt bei gestrichenem Papier

Tabelle B

Papierart	Mittelwert von V^x) \bar{V} (%)	Standardabweichung σ_V (%)	Fehler ΔV (%)
Naturpapier	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	0,19
Gestrichenes Papier	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,05

9.1.5 Der Abschmiervorgang selbst

Für die große Streuung der Meßwerte sind jedoch nicht nur die bisher aufgezählten Fehlerquellen verantwortlich. Die unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen gemessenen Verschmierungen wiesen nämlich eine deutlich höhere Streuung auf, als aus den erwähnten Fehlerquellen zu erwarten wäre.

Daraus geht hervor, daß auch bei gleichen Trockenbedingungen unterschiedliche Farbmengen abgeschmiert und wieder auf das Papier rückübertragen werden. Dies gilt insbesondere bei stärkeren Verschmierungen, also noch wenig verfestigten Farbfilmern. Maßgeblich dafür ist die geometrische Rauigkeit einer Papieroberfläche. Die Rauigkeitsspitzen sind über eine Papierrolle statistisch verteilt. Um repräsentative Messungen zu erhalten, wurden für jeden Satz von Meßparametern Meßpunkte an verschiedenen Stellen der Rollen ermittelt.

^{x)} Es sind Mittelwerte von mehreren Einzelwerten von V , wobei jeder Einzelwert von V seinerseits als Differenz von zwei Mittelwerten, $\bar{Q}_0 - \bar{Q}$, gewonnen wurde.

Konventionelltrocknende Farbe auf gestr. Papier

Belastung: $0,36 \text{ N/cm}^2$, $v=0,84 \text{ m/s}$

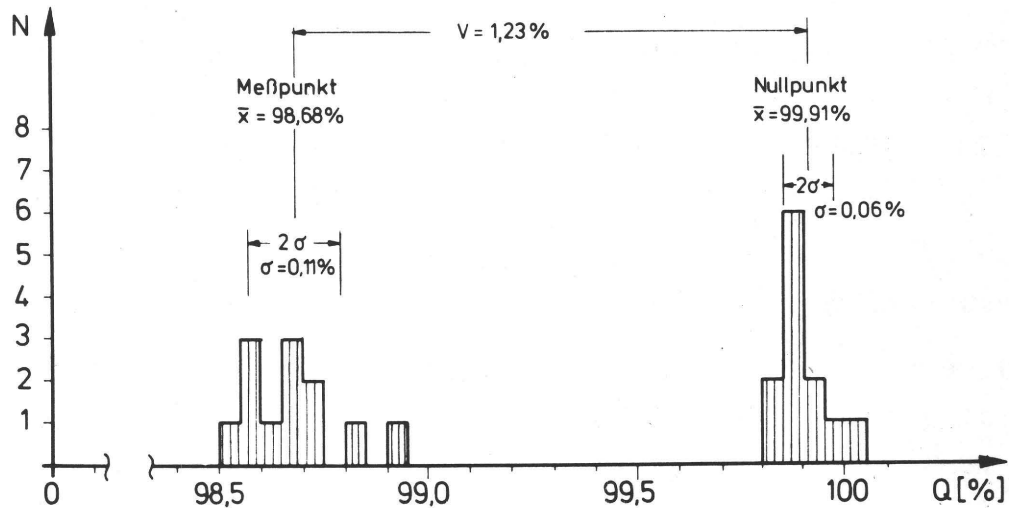


Abb. 32 Vergleich der Streuungen zwischen einem Meßpunkt und dem Nullpunkt

Von der stochastischen Natur des Abschmiervorganges gibt Abb. 32 einen guten Eindruck. In diesem Histogramm sind je 12 Einzelmessungen mit und ohne Abschmierbelastung einander gegenübergestellt.

Bei den Quotientenmessungen für $\bar{Q}=98,68\%$ mit Abschmierbelastung und Verschmierung ergibt sich eine viel größere Streuung als bei den 12 Quotientenmessungen ohne Abschmierung ($\bar{Q}_0=99,91\%$).

9.2 Der Meßvorgang

Aus der Kenntnis der Fehlerquellen kann man die vorteilhafteste Art zu messen ableiten und zwar so, daß diese Fehler am wenigsten im Meßergebnis in Erscheinung treten. Es bietet sich folgender Ablauf an:

- Drucken und Einstellen aller Parameter; der Abschmierer berührt die Papierbahn noch nicht. Es werden 6 Messungen für \bar{Q}_0 durchgeführt.
- Anstellen des Abschmierers mit dem gewünschten Anpreßdruck. Je nach Verfestigung wird die Farbe mehr oder weniger verschmiert. Es werden 12 Messungen durchgeführt und der Mittelwert \bar{Q} gebildet.
- Der Abschmierer wird wieder abgehoben. Es werden weitere 6 Messungen gemacht und zur Bildung von \bar{Q}_0 verwendet.
- Es wird nach Gl. (10a) die Verschmierung berechnet. Es ergibt sich aus den 24 Messungen ein einziger Meßwert für V.

Da bei der Celio-Auswertung die Q-Werte digital auf einer Anzeige ausgegeben werden, muß jeder Wert von der Anzeige abgeschrieben werden. Während des Aufschreibens kann der Druckprozeß wegen der eingestellten Parameter nicht unterbrochen werden, was einen unnötig hohen Papierverbrauch zur Folge hat.

Es wäre daher eine automatisierte Registrierung der Q-Werte einschließlich Mittelwertbildung und V-Berechnung anzustreben. Dann kann direkt hintereinander gemessen werden. Der Papierverbrauch wäre beträchtlich zu senken. Bei einer späteren Verwendung in der Produktion ist daher eine Automatisierung nötig. Vorarbeiten in dieser Richtung wurden geleistet.

10. Untersuchungen des Abschmierverhaltens

Die Voruntersuchungen ergaben, daß die Celio-Anordnung zum Messen der Verschmierung schwarzer Farben am geeignetsten war. Sie wurde daher bei den folgenden Messungen eingesetzt.

Bei der Untersuchung des Abschmierverhaltens von Druckfarben gibt es eine Reihe von Parametern, die beachtet werden

müssen, um möglichst reproduzierbare und auch auswertungsfähige Ergebnisse zu erhalten. Von Einfluß auf die Verfestigung eines Farbfilms können sein:

- die verwendeten Papiere (Naturpapier, gestrichenes Papier)
- die eingesetzten Farben und ihre Zusammensetzung (konventionelle Offsetfarben, IR-Farben, UV-Farben)
- das Druckverfahren (Offsetdruck wegen Feuchtung, Hochdruck, indirekter Hochdruck)
- zusätzliche Trocknung (Strahlungstrocknung, Heißlufttrocknung o.ä.)
- zusätzliche Kühlung hinter einer Trocknung (Kühlwalzen, Kaltluft)
- die Bahngeschwindigkeit
- die verdruckte Schichtdicke
- die Belastung an der Abschmierstelle
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, umgebende Atmosphäre usw.)

10.1 Die Auswahl der Meßparameter

Bei Variation einer dieser Größen müssen die anderen möglichst konstant gehalten werden. Es mußten daher zahlreiche Versuche gefahren werden, um das Ausmaß der Beeinflussung durch die einzelnen Parameter kennenzulernen. Zwei Ergebnisse können vorausgenommen werden:

- 1) Durch einen Vergleich der Messungen beim Offsetdruck und indirekten Hochdruck konnte kein Unterschied festgestellt werden. Die bei richtiger Wasserführung auch recht geringe Feuchtmittelmenge hat offensichtlich keinen merklichen Einfluß auf die Trocknung durch Wegschlagen, da die dünne Feuchtmittelschicht vor Erreichen des Papiers weitgehend verdunstet bzw. das emulgierte Wasser sehr schnell in das Papier eindringt.

- 2) Ein Einfluß der Umgebungsbedingungen wurde nicht ermittelt.
Eine Inertgasatmosphäre wurde nicht erzeugt.

Da der Trocknungsvorgang auch auf Wechselwirkungen zwischen Papier und Farbe beruht, muß ein Einfluß der Papiersorte vorausgesetzt werden. Das Eindringen von Farbbestandteilen in das Papier (Wegschlagen) ist ein Trockenmechanismus, der bei Naturpapier und gestrichenem Papier unterschiedlich ausfällt /26-30/.

Ebenso müssen die Farbzusammensetzungen variiert werden. Konventionelle Offsetfarben verfestigen sich vorwiegend durch Wegschlagen in der Anfangsphase und einen wesentlich langsameren Oxydationsprozeß /1-4/. Für IR-Farben hingegen wird der Anspruch erhoben, bei Bestrahlung schneller wegzuschlagen und schneller zu oxydieren /5, 19-21, 56, 57/.

10.1.1 Der Einfluß der Bahngeschwindigkeit

Die Bahngeschwindigkeit konnte von 0,6-3,6 m/s verändert werden. In diesem Bereich wurde die Verschmierung gemessen bei mehreren jeweils konstant gehaltenen Belastungen an Naturpapier und gestrichenem Papier. Der Druck erfolgte mit konventionell trocknender Farbe. Bei gleichbleibender Belastung und Schichtdicke lagen alle gemessenen Werte der Verschmierung innerhalb der Fehlergrenzen. Das bedeutet, daß im angegebenen Bereich keine Abhängigkeit der Verschmierung von der Bahngeschwindigkeit festzustellen war.

Die Bahnlänge zwischen Druckwerk und Abschmierer beträgt 2,7 m, das entspricht Trocknungszeiten zwischen 0,75 und 4,5 s bei Bahngeschwindigkeiten von 3,6-0,6 m/s. Daraus darf geschlossen werden, daß das Wegschlagen, das sofort nach dem Druck einsetzt, bereits nach 0,75 s weitgehend abgeschlossen ist. Diese Tatsache erlaubt es, die weiteren Untersuchungen zum Zwecke der Papierersparnis bei einer relativ niedrigen Geschwindigkeit von 0,84 m/s vorzunehmen.

10.1.2 Der Einfluß der Farbschichtdicke

Die Schichtdicke wurde indirekt über die optische Dichte gemessen. Aus Abb. 30 kann man entnehmen, daß die Sättigungsdichte auf gestrichenem Papier schnell erreicht wird. Sie liegt bei wesentlich höheren Dichten als jenen, die an Naturpapieren überhaupt möglich sind. Das läßt sich durch die Farblage auf der Oberfläche erklären. Beim gestrichenen Papier liegen die Pigmente praktisch auf der Oberfläche, wo sie eine optisch homogene Schicht bilden. Beim Naturpapier dringen die Pigmente etwas in das Oberflächengefüge ein. Optisch wirksam wird deshalb die substraktive Mischung von Pigmentfärbung und Papierweiß der Fasern.

Abb. 33 zeigt die Verschmierung als Funktion der Schichtdicke für eine konventionelle Farbe auf Natur- und gestrichenem

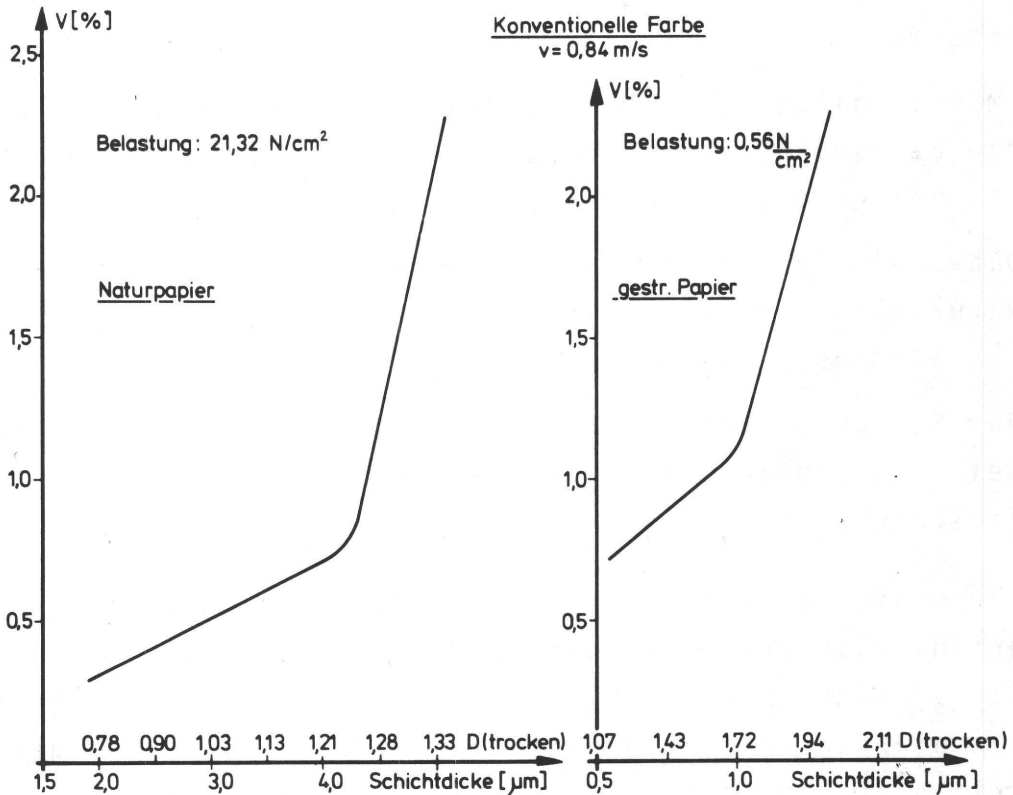


Abb. 33 Verschmierung als Funktion der Schichtdicke

Papier. Beide Kurven zeigen am Anfang einen langsam linear ansteigenden Verlauf, der plötzlich in einen anderen linearen Bereich mit viel größerer Steigung übergeht.

Die Erklärung dafür ist, daß die dünneren Schichten in ihrer Gesamtheit besser mit dem Papier verankert sind. Ab einer gewissen Schichtdicke hat der obere Teil des Farbfilms keine Bindung mehr an das Papier und kann infolge der geringen Scherfestigkeit einer Flüssigkeit, wie sie Farbe darstellt, leicht abgeschmiert werden.^{x)} Logischerweise ist die Verankerung bei gestrichenem Papier schlechter als bei Naturpapier. Der Kurvenknick erfolgt bereits bei 1 μm , bei Naturpapier hingegen erst nach 4 μm .

Die üblichen Schichtdicken eines Druckes liegen bei wenig mehr als 1 μm , so daß beim gestrichenen Papier die Gefahr starker Verschmierungen hoch ist.

Zusammenfassend kann aus Abb. 33 festgestellt werden:

- a) Um vergleichbare Verschmierungen zu verursachen, müssen die Belastungen bei Naturpapier fast vierzig mal höher als bei gestrichenem Papier sein.
- b) Dabei erfolgt der Knick zu stärkerem Verschmieren bei Naturpapier bei einer mehr als dreimal dickeren Schicht als bei gestrichenem Papier.
- c) Der Schichtdickenbereich ohne erhöhte Schmiergefahr geht bei Naturpapier bis ca. 4,3 μm und bei gestrichenem Papier bis ca. 1,2 μm .

Der Vergleich zwischen beiden Papieren festigt wegen der unterschiedlichen Absorptionsfähigkeit die Annahme, daß das Wegschlagen der beherrschende Trockenvorgang zu Anfang ist, wobei Naturpapier eine größere Menge Farbe vollständiger als gestrichenes Papier aufnehmen kann.

^{x)} Die Schichtdicke am Knick würde also mit der Firnismenge zusammenhängen, die vom Papier durch Wegschlagen aufgenommen werden kann.

10.1.3 Die Abhängigkeit der Verschmierung konventioneller Farbe von der Belastung

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den vorigen Kapiteln wurden für diese Messungen folgende konstant zu haltende Parameter festgelegt:

Bahngeschwindigkeit: $v=0,84$ m/s
Dichte auf Naturpapier: $D=1,2$ (trocken)
Dichte auf gestrichenem Papier: $D=1,6$ (trocken)

Beide Dichten liegen knapp unter dem Knick (Abb. 33) und gewährleisten einen höchstmöglichen Kontrast. Außerdem ergibt die tolerierbare Dichtedifferenz nur geringe Änderungen in der Schichtdicke (Abb. 30).

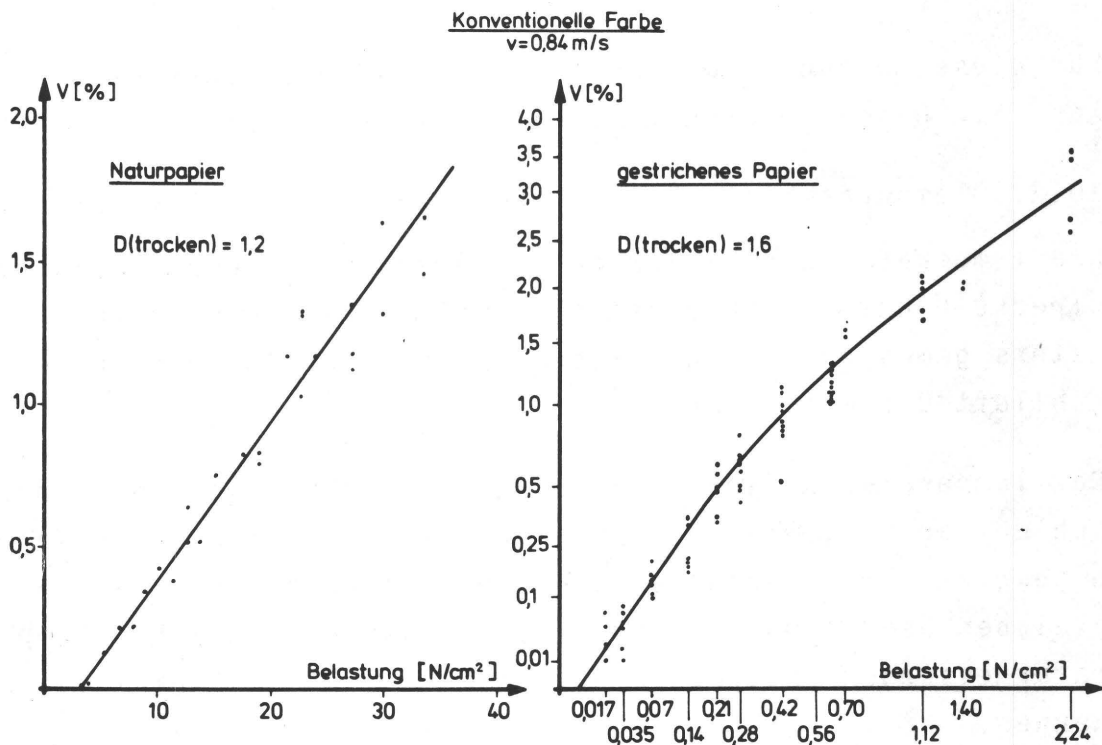


Abb. 34 Verschmierung als Funktion der Abschmierbelastung

In Abb. 34 sind die Ergebnisse bei Variation der Abschmierbelastung aufgetragen. In dem Diagramm für gestrichenes Papier wurde für beide Achsen eine Wurzelskala benutzt.

Man kann feststellen, daß ein Druck auf Naturpapier nur mit relativ großer Belastung verschmiert werden kann. Auf gestrichenem Papier führen selbst sehr kleine Flächenbelastungen zum Abschmieren des Linienrasters. Dies ist eine weitere Bestätigung für die Annahme, daß in der kurzen Zeitspanne zwischen Druck und Festigkeitstest am Abschmierer nur das Wegschlagen als Trockenmechanismus Bedeutung hat.

Wegen der starken Veränderung der Verschmierung mit der Belastung durch den Abschmierer wurde bei allen folgenden Messungen die Belastung als Hauptvariable gewählt.

10.2 Untersuchung der Einwirkung von Infrarot-Strahlung auf konventionell trocknende und IR-trocknende schwarze Offsetfarben

Für diese Messungen wurden auf der Trockenstrecke die in Kap. 5.2 beschriebenen IR-Strahler installiert.

10.2.1 Temperatur der Papierbahn nach Infrarot-Bestrahlung

Die Temperatur der Papierbahn nach Verlassen der Trocknungsstrecke konnte berührungslos mittels eines Infrarotthermometers gemessen werden. Dieses Thermometer wurde nach der Kühlluftdüse angeordnet.

Der Temperaturanstieg eines bestrahlten Materials gibt Aufschluß darüber, wieviel Strahlung durch Absorption in Wärme umgesetzt wird. Werden verschiedene Materialien unter gleichen Bedingungen bestrahlt, so lassen sich durch Temperaturmessungen Unterschiede in der Absorptionsfähigkeit erkennen.

Die Auswirkung der IR-Bestrahlung der laufenden Bahn wurde bei einer Bahngeschwindigkeit von $v=0,84$ m/s an folgenden Kombinationen Papier/Druckfarbe untersucht:

- Unbedrucktes Naturpapier
- Unbedrucktes gestrichenes Papier

- Mit konventionell trocknender Farbe im Vollton bedrucktes Naturpapier
- Mit konventionell trocknender Farbe im Vollton bedrucktes gestrichenes Papier
- Mit IR-trocknenden Farben im Vollton bedrucktes Naturpapier.

Bei Vernachlässigung der Wärmeabfuhr durch Konvektion und Wasserverdampfung kann der Temperaturanstieg der Bahn durch die Gleichung

$$\Delta T = \frac{k \cdot H}{m \cdot c} \quad (11)$$

berechnet werden. Dabei ist:

H = Bestrahlung (gesamte Strahlungsenergie pro Flächeneinheit in Joule/cm²)

k = Absorptionskoeffizient der bestrahlten Oberfläche für die IR-Strahlung

m = Masse pro Flächeneinheit (in Kg/cm²)

c = Spezifische Wärme (in Joule/Kg⁰C)

Die Bestrahlung H hängt von der Strahlerleistung und der Bahngeschwindigkeit ab. Es gilt (vgl. /54/):

$$H = n \cdot P / v \quad (12)$$

mit:

P = Leistung pro Längeneinheit der quer zur Bahn montierten Strahler (in Watt/cm)

v = Bahngeschwindigkeit (in cm/s)

n = Anzahl der eingeschalteten Strahler.

Aus den Gleichungen (11) und (12) erhält man:

$$\Delta T = \frac{k}{m \cdot c} \cdot \frac{n \cdot P}{v} \quad (13)$$

Nach dieser Gleichung wäre ein linearer Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg und Anzahl der eingeschalteten Strahler zu erwarten. Die experimentellen Ergebnisse (Abb. 35) zeigen aber ein Abflachen des Temperaturanstieges bei zunehmender Anzahl eingeschalteter Strahler. Besonders deutlich ist diese Abflachung beim unbedruckten Naturpapier zu erkennen. Hier darf man annehmen, daß Feuchtigkeit aus dem Papier ausgetrieben wird und die dazu nötige Verdampfungswärme für das Temperaturgleichgewicht verantwortlich ist.

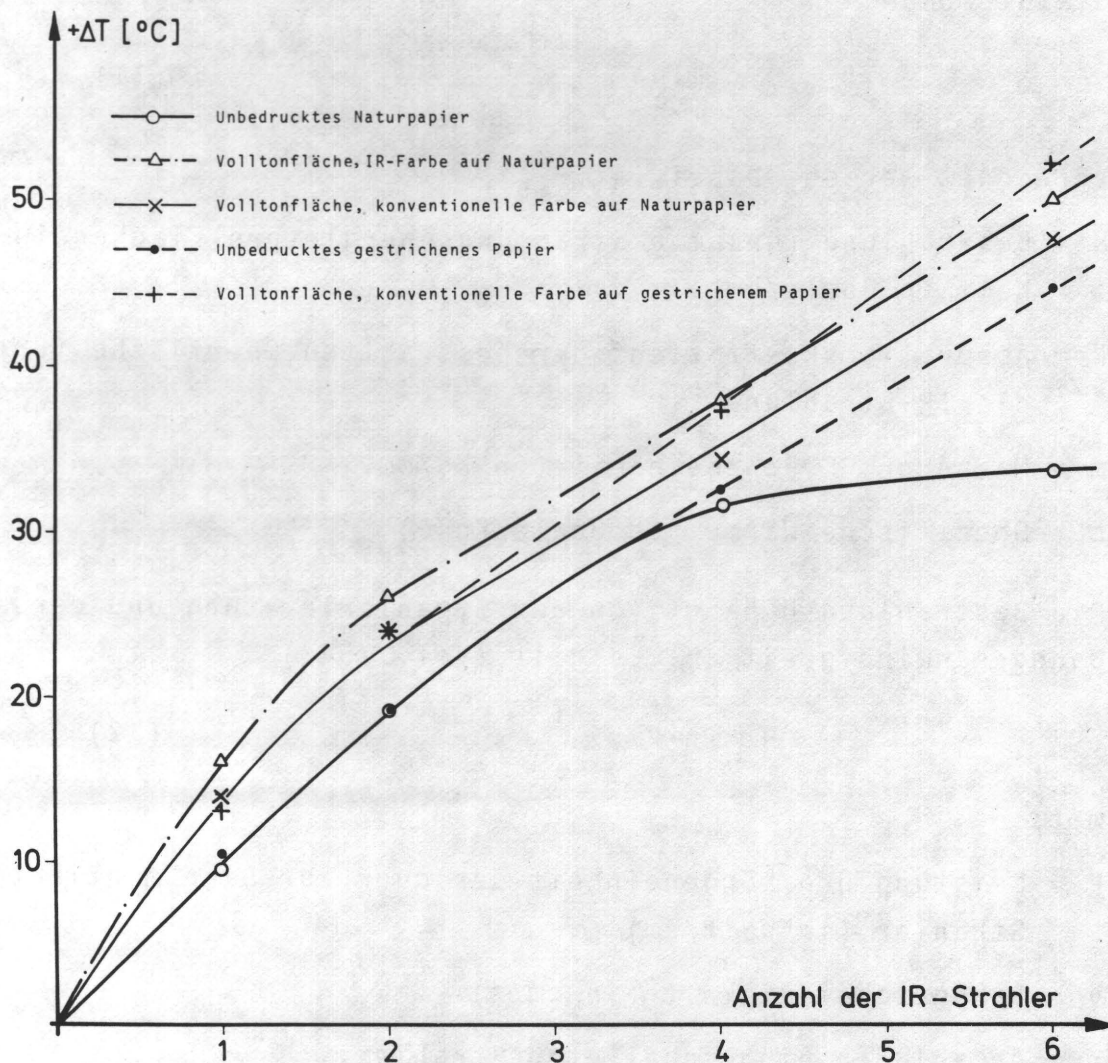


Abb. 35 Temperaturanstiege in Abhängigkeit von der Anzahl der IR-Strahler

Beim gestrichenen Papier und bei im Vollton bedrucktem Naturpapier kann der Wasserdampf nicht so schnell entweichen, weshalb die Temperatur weiterhin steigt. Der Anstieg wird jedoch durch die wirksam werdende Kühlung durch Konvektion verlangsamt.

Die Temperaturanstiegsmessungen bei IR-Bestrahlung wurden sowohl mit als auch ohne Wischwasser durchgeführt. Es konnte aber kein Einfluß des Feuchtwassers auf die Papierbahntemperatur festgestellt werden.

Das mit IR-Farben bedruckte Naturpapier erreicht eine höhere Temperatur als das mit konventioneller Farbe bedruckte (Abb. 35). Dies läßt darauf schließen, daß die Bindemittel der IR-Farben die IR-Strahlung stärker absorbieren als die Bindemittel der Normalfarben, vorausgesetzt, die Rußpigmentierung ist die gleiche. Der Unterschied ist allerdings nicht so groß, wie man nach der Propaganda für IR-Farben erwarten könnte. Wegen der Rußpigmentierung der Farben ist selbst bei IR-durchlässigen Firnissen mit einem Absorptionskoeffizienten k nahe an eins zu rechnen.

Die Papierbahn kann durch die mit Preßluft betriebene Düsenkühlung bei 6 angeschalteten Strahlern bis auf $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ herabgekühlt werden.

10.3 Vergleich im Trocknungsverhalten von konventionell- und IR-trocknenden Farben

Für diesen Vergleich wird die unter verschiedenen Bedingungen erreichbare Festigkeit des Farbfilms als Kriterium herangezogen. Gemessen wird die Verschmierung in Abhängigkeit von der Abschmierbelastung. Die Farben wurden auf Naturpapier und auf gestrichenem Papier verdruckt und bei folgenden Bedingungen untersucht:

- a) ohne Trocknung
- b) mit IR-Trocknung

c) mit IR-Trocknung und Kühlung.

Die Meßergebnisse auf Naturpapier sind in Abb. 36a, b wiedergegeben.

Ohne Trocknung verhalten sich beide Farben praktisch gleich.

Die Erwärmung konventioneller Farben mit IR-Strahlen führt eindeutig zu einer Plastifizierung des Farbfilms und verschlechtert die Abschmiereigenschaften. Bei der IR-Farbe hingegen ist nur eine geringe Verminderung der Festigkeit des Farbfilms zu beobachten.

Eine Verbesserung der Festigkeit ist für beide Farbarten durch eine zusätzliche Kühlung im Anschluß an die IR-Trocknung möglich. Diese Verbesserung ist deutlicher bei der IR-Farbe. Die Kühlung würde diese Wärme wieder entziehen und das Nachtrocknen verlangsamen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an gestrichenem Papier sind in den Abb. 37a-c aufgezeichnet, dabei wurde auf beiden Achsen eine Wurzelskala verwendet. Hier sind die gleichen Tendenzen wie beim Druck auf Naturpapier abzulesen. Das Wegschlagen ist jedoch weitaus geringer. Dadurch liegen die Meßwerte für IR-Farben und konventionelle Farben noch näher beieinander. Die nachträgliche Kühlung bringt dann logischerweise einen geringeren Effekt.

Alle drei Farben schmieren auch schon bei sehr kleinen Belastungen ab. Bei höheren Belastungen sind bei den beiden IR-Farben Unterschiede festzustellen. Jedoch ist darauf hinzuweisen, daß beide mit einem mittelwelligen Strahler bestrahlt wurden. Der Hersteller von Farbe 1 empfiehlt jedoch einen kurzwelligen Strahler, dessen Anwendung unter Umständen zu einem günstigeren Abschmierverhalten führen könnte.

Diese Messungen bestätigen den Eindruck, daß der Unterschied zwischen den konventionellen und den IR-Farben nicht sehr

Naturpapier ; $v=0,84\text{ m/s}$; $D(\text{trocken})=1,2$

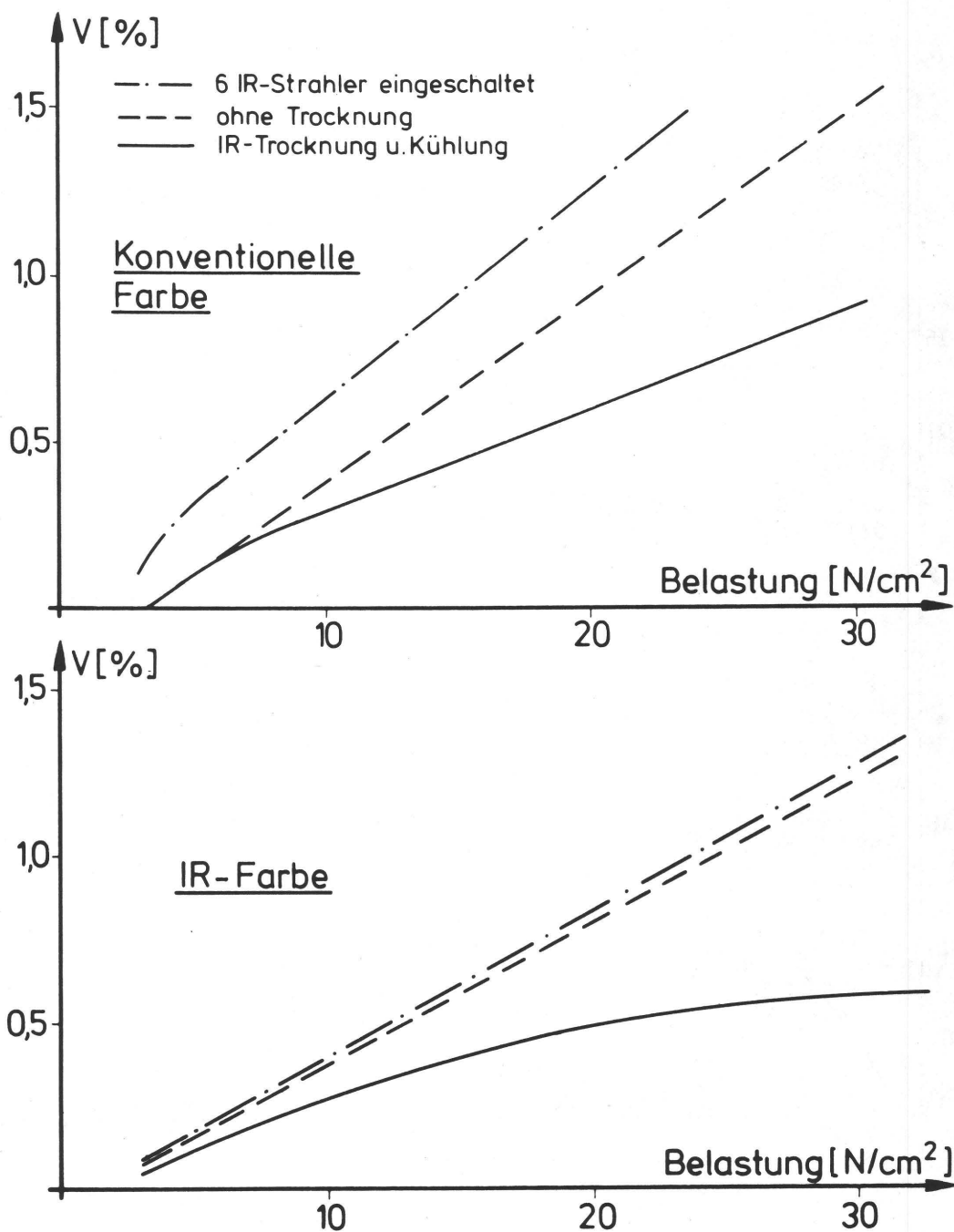


Abb. 36 a, b Verschmierung als Funktion der Abschmier-Belastung auf Naturpapier; versch. Farben

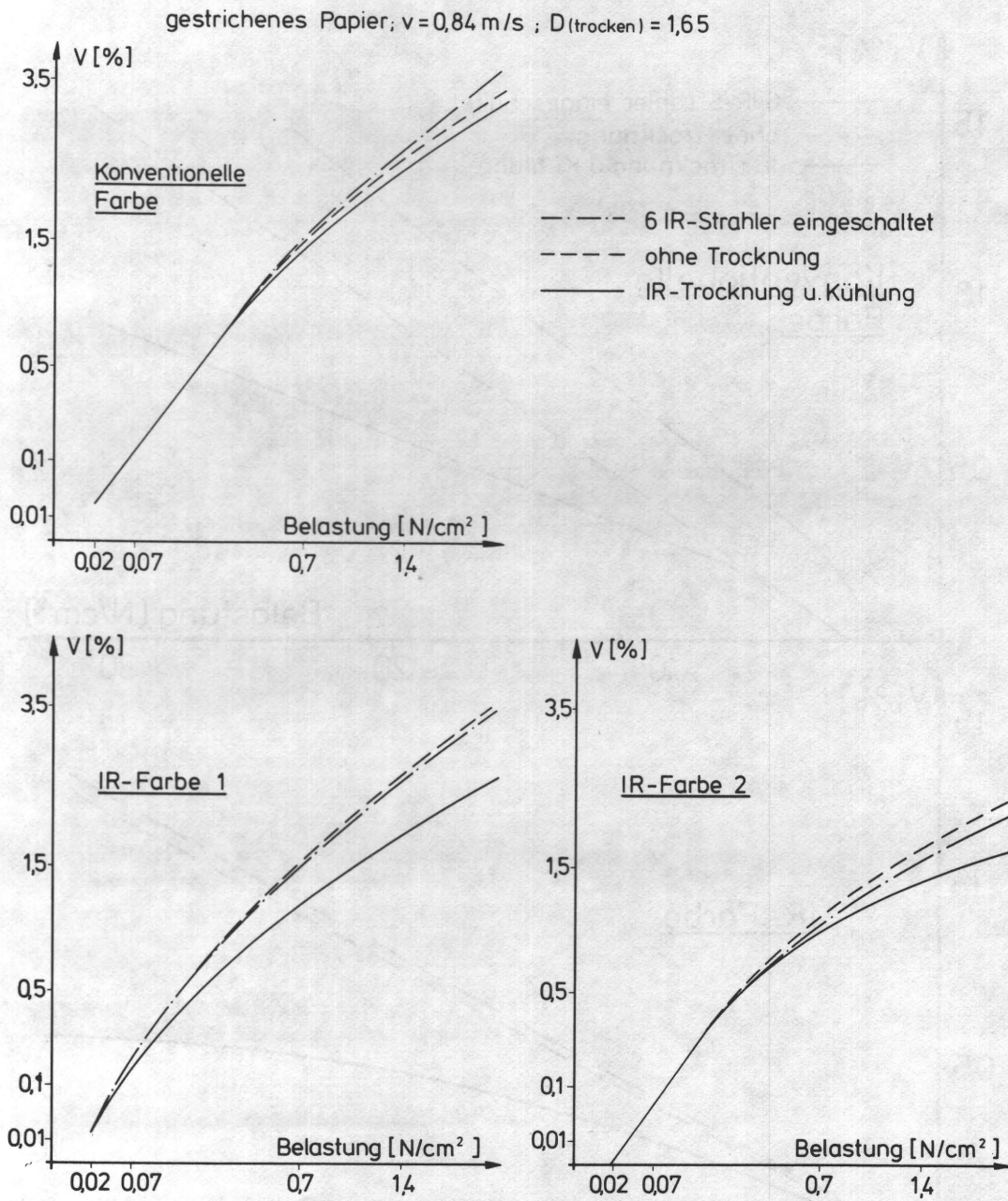


Abb. 37 a-c Verschmierung als Funktion der Abschmierbelastung auf gestrichenem Papier; versch. Farben

groß ist. Die IR-Farben scheinen bei Erwärmung besser wegzuschlagen. Die Restfarbe auf der Papieroberfläche verfestigt sich bei Kühlung daher auch stärker. Der eigentliche und oft geltend gemachte Vorteil der IR-Farbe, die schnellere Nach-trocknung im Stapel, kann mit unserer Methode nicht nachgeprüft werden. Zweifelsohne wird durch die Erwärmung, die auch im Stapel nachwirkt, die oxydative Vernetzungsreaktion beschleunigt. In /6/ S. 191 wird von einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit einer oxydativen Vernetzung bei jeder Temperaturerhöhung um 10° berichtet. Insgesamt gesehen liegen die Verschmierungen bei dem gestrichenen Papier bei gleicher Belastung wesentlich über denjenigen des Natur-papiers. (Wurzelskala beachten!) Das bedeutet, daß direkt hinter dem Druck das Wegschlagen eindeutig der maßgebende Trockenmechanismus ist und dieser auch recht schnell wirksam wird.

11. Ausblick auf weitere Arbeiten

Die Arbeiten über Trockengradmessungen an laufenden, be-druckten Papierbahnen können mit diesen ersten Untersuchungen sicher noch nicht als abgeschlossen gelten. Erst bei der eingehenden Beschäftigung mit diesem Thema und mit der Be-reitstellung erster brauchbarer Methoden wurden weitere wesentliche Probleme erkennbar, die es noch zu bearbeiten gilt. Folgende Vorschläge für weitere Zielsetzungen können gemacht werden:

- a) Ausweitung des elektro-optischen Nachweises auf alle Bunt-farben.
- b) Verbesserung der Auswerteelektronik für die direkte Be-rechnung von Mittelwerten über mehrere Messungen (evtl. programmierbarer Teil über Mikroprozessor).
- c) Prüfung einer Meßmethode, bei der man von unbedrucktem Papier als Referenzwert und als Hintergrund abkommt, um die großen Schwankungen als Folge optischer Rauigkeit des Papiers zu vermeiden.

- d) Zur Anwendung in Praxismaschinen müssen Überlegungen angestellt werden, um von dem gesonderten Prüfmuster (hier: Linienraster) abzukommen, da ein Meßrand bei vielen Druckprodukten nicht akzeptiert wird. Es muß daher eine Messung auf dem gedruckten Bild angestrebt werden.
- e) Es können andere Farben und Trocknerkombinationen untersucht werden. So z.B. die im Rollenoffset heute üblichen heat-set Farben in Verbindung mit den üblichen Trocknern.
- f) Die in /54/ für UV-Farben angestellten Überlegungen bezüglich optimierter Bestrahlungsbedingungen sollten nachgeprüft werden, da sich hier energieeinsparende Maßnahmen ableiten lassen.
- g) Die Theorie des Abschmierens ist aufzustellen, um daraus Anwendungsmöglichkeiten zu erkennen. Zur Analyse des Abschmierverhaltens ist der Anschluß eines Prozeßrechners zur Meßwertverarbeitung vorteilhaft.

Diese Beispiele zeigen, daß die erste Beschäftigung mit einer on-line Trockengradmessung wertvolle Ergebnisse brachte und einen tieferen Einstieg in die Materie erlaubt.

12. Zusammenfassung

Für die Ermittlung des Trockenzustandes eines verdruckten Druckfarbenfilms an einer laufenden Bahn gab es bisher kein Verfahren. Bei der Suche nach einem Verfahren wurde die Forderung aufgestellt, daß ein drucktechnisch relevanter Trockengrad definiert werde und daß dieser Trockengrad unabhängig von den verschiedenen Trockenmechanismen von Druckfarben sei.

Nach eingehenden Untersuchungen /58/ konnte bestätigt werden, daß die Festigkeit des Farbfilms gegenüber den Beanspruchungen in der Maschine und bei der Weiterverarbeitung die für den Druckprozeß relevante Größe in Bezug auf die Trocknung ist. Das zu entwickelnde Prüfverfahren mußte also den Grad der Farbfilmverfestigung bei den verschiedensten auftretenden Bedingungen zu messen erlauben.

Es wurden Abschmiereinheiten entwickelt, die den Farbfilm auf Scherung beanspruchen. Eine auftretende Zerstörung des Farbfilms macht sich durch Rückübertragung der abgescherten Farbe auf das Papier bemerkbar. Diese Verschmierung auf dem Papier wurde mit elektro-optischen Abtastungen für die Farbe Schwarz meßtechnisch erfaßt.

Es wurden zwei Abtasteinrichtungen auf Eignung überprüft:

1. Die Abtastung der Fa. Zimmer, die mit Optik und linearem Diodenarray arbeitet.
2. Die Abtastung des Ing.Büros Celio, die mit optischer Abbildung auf zwei Photozellen arbeitet.

Für die Auswertung der von dem elektro-optischen Nachweis kommenden Signale wurde eine elektronische Auswerteeinrichtung entwickelt, die als Ergebnis den für eine Meßstrecke ermittelten Trockengrad anzeigt.

Mit der Celio-Abtastung wurden mehrere Kombinationen Farbe/Bedruckstoff untersucht. Im einzelnen wurden Diagramme für die Verschmierungen als Funktion der Belastung für konventionelle und IR-Farben auf Naturpapier und auf gestrichenem Papier aufgestellt, und zwar mit IR-Strahlungstrocknung, ohne IR-Strahlungstrocknung bzw. mit IR-Strahlungstrocknung und Luftkühlung.

Die feststellbaren Unterschiede des Abschmierverhaltens der bei diesen Messungen untersuchten Farben waren nur graduell und keineswegs von starken Gegensätzen geprägt.

Die Untersuchungen zeigten, daß die Prüfung der Farbfilmfestigkeit mittels einer mechanischen Belastung mit elektro-optischem Nachweis der Verschmierung aussagefähig ist. Damit ist die Grundlage für ein an der laufenden Bahn messendes, praxistgerechtes Gerät für die Feststellung des drucktechnisch relevanten Trockengrades gegeben.

A n h a n g

Es sollen Zusammenhänge zwischen den abgeschmierten Farbmengen q_b , den Leuchtdichten L und der Verschmierung V allgemein gültig aufgezeigt werden. Die Remission β einer farbigen Probefläche ist definiert als die Leuchtdichte L der Probefläche bezogen auf die Leuchtdichte eines Weißstandards. Demgemäß kann man ansetzen:

$$\beta \sim L \quad \text{oder} \quad \beta = c \cdot L \quad \text{mit} \quad \beta = \int \beta(\lambda) d\lambda$$

Für ein mit Farbe vollflächig bedrucktes Papier ist die Remission auch von der Schichtdicke s und damit von der Farbmenge abhängig. Die Remission von mit lasierenden Farben bedeckten weißen Papieroberflächen kann mit Gleichungen des Typs des Lambert-Beer'schen Gesetzes beschrieben werden^{x)} /59/:

$$\beta_F(\lambda) = \beta_W(\lambda) e^{-2 k(\lambda) s}$$

In dieser Gleichung ist:

$\beta_W(\lambda)$ die Remission der Bedruckstoffoberfläche

$k(\lambda)$ die Absorptionskonstante der Farbe

Die Remission β_F der eingefärbten Oberfläche wird damit:

$$\beta_F = \int_{400 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \beta_W(\lambda) e^{-2k(\lambda) s} d\lambda$$

Es ist in jedem Falle sinnvoll, eine Remissionsmessung nur in jenem Spektralbereich durchzuführen, in dem die Farbe

^{x)} Die Eigenremission ist für lasierende Farben erst ab Schichtdicken in der Größenordnung von 100 μ nicht vernachlässigbar.

ihre maximale Absorption aufweist. Nur mit rußpigmentierten Farben ist es zulässig, weißes Licht anzuwenden, weil Rußteilchen vom UV- bis hin zum IR-Wellenlängenbereich eine sehr hohe Lichtabsorption aufweisen. In den engen Spektralbereichen, die für Buntfarben in Frage kommen bzw. wegen der wellenlängenunabhängigen Absorption bei schwarzen Farben, gilt mit guter Näherung

$$\beta_F = \beta_W(\lambda) e^{-2ks}$$

Die Remission des Bedruckstoffes nach dem Farbübertragungsvorgang kann aus der additiven Mischung errechnet werden, wenn β_F näherungsweise konstant ist. Dann gilt

$$\beta_b = \frac{f_o - f_F}{f_o} \beta_W + \frac{f_F}{f_o} \beta_F$$

Hierin ist:

f_o Gesamtfläche des Bedruckstoffes

f_F Eingefärbte Fläche des Bedruckstoffes

Der Quotient Q (Gleichung (1)) kann andererseits auch als das Verhältnis der Remission des durch Verschmierung zum Teil eingefärbten Bedruckstoffes β_b und der Remission des farbfreien Bedruckstoffes definiert werden; also:

$$Q = \frac{\beta_b}{\beta_W} \cdot 100\%$$

Für die Verschmierung gilt dann:

$$V = \frac{\beta_W - \beta_b}{\beta_W} \cdot 100\% = \frac{f_F}{f_o} \left(\frac{\beta_W - \beta_F}{\beta_W} \right) \cdot 100\%$$

Im Falle der extrem kleinen Farbmengen, die bei Abschmierungsvorgängen auftreten, kann man annehmen, daß die verschmierte Farbe als einzelne auf der Papieroberfläche verteilte Pigmente vorliegt. Unter solchen Umständen ist der Faktor

$\frac{\beta_W - \beta_F}{\beta_W}$ eine Konstante, die nur von den Pigment- und Bedruckstoff-eigenschaften β_W abhängt. Der von den einzelnen Pigmenten insgesamt bedeckte Flächenanteil f_F dagegen ist direkt proportional der beim Verschmieren übertragenen, flächenbezogenen Farbmenge q_b .

Darum gilt:

$$V = K \cdot q_b$$

wobei K eine Proportionalitätskonstante ist.

LITERATUR

- /1/ RÜHLE, S., "Der Trocknungsvorgang bei ölhaltigen Druckfarben" Teil 1 u. 2, Papier und Druck 16 (1967)
- /2/ SCHAEFFER, W., "Introduction to the Setting and Drying of Printing Ink Films", Tappi Vol. 52/1969
- /3/ MORGENSTERN, B., "Probleme der Druckfarbentrocknung" Teil 1 u. 2, Papier und Druck 22 (1973)
- /4/ RÜHLE, S., "Übersicht über die modernen Verfahren der Druckfarbentrocknung" Teil 1 bis 4, Papier und Druck 24 (1975)
- /5/ FIERZ, H., "Trocknung von Druckfarben unter Zufuhr von Energie", UGRA-Mitteilungen Nr. 24 (1972)
- /6/ VOET, A., "Ink and Papier in the Printing Process", Interscience Publishers 1952
- /7/ FÜHLER, W., "Zusammensetzung, Herstellung und Verwendung von Druckfarben", Gebr. Schmidt 1975
- /8/ APPS, E.A., "Printing Ink Technology" L. Hill Ltd. 1958
- /9/ FÜHLER, W., "Die Trocknungseigenschaften von Druckfarben und die Anwendung von Trockenstoffen", Der Polygraph 24 (1959) und 1 (1960)
- /10/ LANGE, H., "Trocknungsvorgänge bei Bindemittel - Pigment - Farben auf saugenden Bedruckstoffen" Papier und Druck 19 (1970)
- /11/ anonym "UV-System", GAM July 1975
- /12/ PACKER, J., "Effect of photosensitizer system, inerting atmosphere, radiation source and cure rate on degree of conversion", 2.Int.Konferenz über Strahlungstrocknung, Ohio
- /13/ WICKS, Z.W., "Defining Radiation Curing", 1. Int. Konferenz über Strahlungstrocknung

- /14/ BASSL, A., "Grundlegende Untersuchungen zur Trocknungsbeschleunigung mit Hilfe von UV-Strahlen", Plaste und Kautschuk 1/1972
- /15/ KENDREW, T., "Microwave Drying", Package, Printing and Diecutting, July 1975
- /16/ anonym "Mikrowellentrocknung für den Siebdruck" Deutscher Drucker 21-5-70
- /17/ TAWN, A., "Fortschritte bei den neueren Trocknungsmethoden", Farbe und Lack 5/1974
- /18/ GAMBLE, A., "Photopolymerisation; the printing ink technology of the future" Prof. Printer, Vol. 20 (1976)
- /19/ SANDER, M., "Druckfarben und Hilfsmittel - wichtige Neuentwicklungen der letzten Jahre (II)", Deutscher Drucker 16-12-1976
- /20/ anonym "Moderne Trocknungsverfahren für den Bogenoffsetdruck", Offsetpraxis 9/1976
- /21/ anonym "Die Infrarottrocknung und ihr Einsatz in der Druckindustrie", Offsetpraxis 10/1976
- /22/ HINZ, H., "Bringt I.S.T. den Durchbruch in der Strahlungstrocknung von Druckfarben?", Der Druckspiegel 5/74
- /23/ MUGGLI, W., "Electro curtain, Graphics of tomorrow?" TAGA 1974
- /24/ DOTZEL, W., "Impulse radiation drying in the graphic arts industry", Polymers, Paint and Colour Journal 165 (1975)
- /25/ ILLMAYER, H., "Methoden der objektiven Kontrolle des Trocknungsgrades polygraphischer Produkte" Teil I u. II Papier und Druck 20 (1971)
- /26/ LOVASZ, K., "Penetration of Ink into Paper"
- /27/ COZZENS, S.L. u.a., "Ink Penetration during High-Speed Printing of uncoated Paper"

- /28/ LEVLIN, S.E., NORDMAN, L., "The Penetration of Ink in Paper",
Lit. 26-28 in: Banks "Papier in the Printing Process"
Pergamon Press 1967
- /29/ CARANGELO, "Application of radiotracer techniques to
the study of penetration of ink components in sub-
stractes", TAGA 1962
- /30/ NIESSNER, G., "Wechselwirkung Druckfarbe-Papier",
Druck Print 1970 bis 1972
- /31/ SCHEUTER, K.R., DOSDOGRU, G., "Infrarotspektroskopi-
sche Untersuchungen zum qualitativen und quantitativen
Nachweis von Restlösemitteln in Tiefdrucken", Archiv
der Drucktechnik 1/69
- /32/ SCHEUTER, K.R., DOSDOGRU, G., "Investigation of im-
pinging air jet dryers with respect to possible
automation", TAGA-Proceeding 1971
- /33/ HURRELL, W.J., GARTAGANIS, P.A., "New Test Instrumen-
tation for Quick-Drying Inks", Tappi Vol. 52 (1969)
- /34/ HUNTER, R., "Methods for evaluating the gloss of ink
films", 13th Tappi Testing Conference 1962
- /35/ SCHAEFFER, W., "Gloss-time measurements on printed
black ink films", NPIRI-Bulletin Nr. 69 (1965),
Lehigh University, Bethelhem USA
- /36/ REHSE, G., "Hilfsmittel zur Qualitätssteuerung von
Offsetdruckfarben", Druck Print 1971
- /37/ SCHREIBER, R., Studienarbeit; Institut für Druckmaschi-
nen, TH Darmstadt
- /38/ HACKENBERGER, G., "Probleme des Abschmierens getrock-
neter Farben", Papier und Druck 21 (1972)
- /39/ TERNBAH, M., SCHREIBER, H.P., "Drying Studies of
Pigmental Alkyd Finishes Using an Integral Drying Time
Recorder", J.o Paint Technology 43 (1971)

- /40/ HENCKEN, G., "Einfluß der Pigmentierung auf das Trockenverhalten von UV-vernetzenden Druckfarben und Lacken", Farbe und Lack 81 (1975)
- /41/ SCHÄLIKE, R., "Über einige Meßverfahren zur Bestimmung optischer Oberflächeneigenschaften unbedruckter und bedruckter Bedruckstoffe", Papier und Druck 25 (1976)
- /42/ PORTNER, W., GRAICHEN, W., "Dynamische Farbdichtemessungen an Druckmaschinen", Papier und Druck 25(1976)
- /43/ anonym "Farbdichtemessungen an der laufenden Rollenoffsetmaschine", Der Polygraph 22-75
- /44/ LEEKLEY, R.M., TYLER, R.F., "The measurement of optical unevenness", Tappi Vol. 58 (1975)
- /45/ BRYNTSE, G., NORMAN, B., "A method to measure variation in surface and diffuse reflectance of printed and unprinted paper", Tappi Vol. 59 (1976)
- /46/ KONSCHAK, K., "Zum Arbeitsschutz bei der Anwendung von UV-Strahlen, Lasern und Mikrowellen in der Polygrafie", Papier und Druck 11/1976
- /47/ BLEICHER, M., "Halbleiter-Optoelektronik", UTB Hüthig 1975
- /48/ ALBRECHT, H., "Optische Strahlungsquellen", Techn.Akad. Esslingen 1977 Lexika Verlag
- /49/ DAHMEN, K., "Transientenrecorder", Die elektrische Ausrüstung 3/76
- /50/ KÖHLER, H., "Transienten-Speicher", Elektronik 7/75
- /51/ BLACKMAN, R.B., Tukey, J.W., "The Measurement of Power Spektra", Dover Publ. NY 1958
- /52/ RECH, H., "Beiträge zur experimentellen und rechnerischen Untersuchung des Farbtransports in Walzenfarbwerken von Druckmaschinen", Diss. TH Darmstadt 1971
- /53/ VAHLDIECK, H., "Elektronische Signalverarbeitung" Oldenbourg 1977

- /54/ GLÜCK, M., RODRIGUEZ-GILES, J., "Strahlungstrocknende und strahlungshärtende Druckfarben", Mitteilungen der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. 3/77
- /55/ GLÜCK, M., RODRIGUEZ-GILES, J., "Measurement of the ink drying-rate on a running web", Vortrag IARIGAI-Symposium Helsinki Juni 1978
- /56/ - "Die Infrarot-Trocknung und ihr Einsatz in der Druckindustrie", Huber, Technische Information
- /57/ - "Infrarot-Trocknung", Druckfarben-Echo Nr. 6/1977
- /58/ HECKERS, W., Diplomarbeit am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren 1976
- /59/ KORNERUP, A., FINK-Jensen, P., ROSTED, C.O., "Tristimulus Values of Prints and Mileage of Printing Inks", Die Farbe, Band 18, Heft 1/6 s. 29-64