

Beiträge zum Druckprozess bei Offset-Bogenrotationsmaschinen

Wagenbauer, Kurt
(1959)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014166>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14166>

BEITRÄGE ZUM DRUCKPROZESS BEI OFFSET-BOGENROTATIONSMASCHINEN*)

VON KURT WAGENBAUER

I. EINLEITUNG

Den verschiedenen Druckverfahren ist das ausgeprägte Bestreben nach Steigerung von Druckgeschwindigkeit und Druckqualität gemeinsam. Diese Zielsetzung erfordert in zunehmendem Maße das Studium der verschiedenen Einflußgrößen des Druckvorganges. Da beim Offsetverfahren der Druckprozeß eine Reihe von Besonderheiten aufweist, war ein gesteigertes Interesse vorhanden, diesen Vorgang näher zu untersuchen. Zur Bewältigung dieses Vorhabens sind geeignete Meßanordnungen erforderlich, welche es gestatten, an der Versuchsmaschine bei normalen Maschinenbedingungen die Auswirkungen bestimmter Einflußgrößen des Druckprozesses zu studieren. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden verschiedenartige Meßtechniken angewendet, die größtenteils auch auf andere Druckverfahren übertragbar sind. Zur Durchführung der Versuche stand im Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt die Offset-Bogenrotationsmaschine Roland Parva R II der Offsetmaschinenfabrik Faber & Schleicher zur Verfügung.

A. Offsetdruck

Bei der Reproduktion von Vorlagen ist es Aufgabe der Druckfarbe, eine Kontrastschicht auf dem Papier zu schaffen. Druckformen müssen daher so beschaffen sein, daß sie eine Farbannahme nur an bestimmten, dem Druckbild entsprechenden Stellen gestatten. Dieses Erfordernis wird bei den verschiedenen Druckverfahren auf unterschiedliche Weise erreicht. Der Offsetdruck benutzt hierfür die Prinzipien des Flachdruckverfahrens.

Das Flachdruckverfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächen der farbannehmenden und farbfrei bleibenden Bereiche der Druckform annähernd in einer Ebene liegen, aber ein gegensätzliches physikalisches Verhalten aufweisen. Zur Differenzierung dienen die bereichsweise verschiedenartige Oberflächenbeschaffenheit und das farbabstoßende Verhalten von Wasser. Als Feuchtigkeitsträger für die nichtdruckenden Stellen kommen kolloidale Adsorptionsschichten oder gut wasserhaltende Metalle in Frage, während als Farbtäger Lackschichten oder sehr farbannahmefähige Metalloberflächen verwendet werden. Der Druckvorgang beim Flachdruckverfahren wird daher durch die Feuchtung der Druckform eingeleitet, so daß während der anschließenden Einfärbung nur die druckenden Elemente der Formoberfläche eine gleichmäßig dicke Farbschicht erhalten.

Die Wiedergabe von Halbtonbildern durch eine Farbschicht von konstanter Dicke setzt eine Zerlegung des Bildes in sehr kleine, aber verschieden große Rasterpunkte voraus. [1]

1. Druckprozeß

Der Druckablauf in der Offsetmaschine ist den Eigenheiten des Verfahrens und den Erfordernissen der Praxis angepaßt. Das zu bedruckende Papier (Bild 1) wird durch den Anlegeapparat dem Stapel entnommen und dem Anlegetisch zugeführt. Die einzelnen Bogen werden nach erfolgter Ausrichtung vom Schwinggreifer erfaßt, auf Zylindergeschwindigkeit beschleunigt, dem Druckzylinder übergeben, und erhalten vom Gummizylinder das Druckbild der Offsetplatte, die zunächst von den Auftragswalzen nach Passieren des Feuchtwerks eingefärbt wurde. Der Kettenausleger übernimmt daraufhin die bedruckten Bogen zur Stapelung.

Das indirekte Übertragen des Druckbildes verringert die mit dem Papier in Berührung kommende Wassermenge, so daß unerwünschte chemische und physikalische Auswirkungen eingeschränkt werden. Außerdem erlaubt das elastische Gummituch auch das Verdrucken sehr rauher Papiere bei mäßigen Anpreßdrücken.

2. Druckwerk

Die Qualität der Wiedergabe hängt in großem Maße vom Grad der Laufruhe und vom fehlerfreien Gegeneinanderabrollen der Zylinder ab. Die aus schwingungsdämpfendem Gußeisen hergestellten Offsetzylinder sind daher von schwerer Bauart und im Seitengestell äußerst präzise gelagert. Die Zwangsläufigkeit der Drehbewegung wird durch die gleich großen schräg verzahnten Antriebsräder der Zylinder gewährleistet. Platten- und Gummizylinder laufen nicht auf Schmitzringen, die Zylinder sind zur Druckverstellung in exzentrischen Büchsen gelagert sowie mit geeigneten Spannvorrichtungen für das Gummituch und die biegsame Druckplatte ausgestattet. Der fest angeordnete Druckzylinder besitzt ein Greifersystem zur Fixierung des Druckbogens.

Voraussetzung für die richtige Druckabwicklung ist das einwandfreie Zurichten des Gummi- und Plattenzylinders unter Berücksichtigung der Dicke von Aufzug, Platte und Bedruckstoff. Zur Beseitigung unzulässiger Umfangsdifferenzen sind oft Ausgleichsbogen erforderlich.

3. Farb- und Feuchtwerk

Farb- und Feuchtwerk haben die Aufgabe, bestimmten Stellen der Offsetplatte eine regulierbare Farb- bzw. Wassermenge periodisch zuzuführen. Der Einfärbvorgang setzt eine laufende Farbentnahme aus dem Farbkasten voraus. Hierzu dient der Farbduktor. Diese Stahlwalze führt periodisch eine kleine, regulierbare Drehbewegung aus und entnimmt dabei dem Farbkasten eine bestimmte Farbmenge, deren Verteilung parallel zur Walzenachse entsprechend dem Farbbedarf auf der Offsetplatte mit Hilfe eines biegsamen Farbmessers durch eine bereichsweise Veränderung seines Abstandes zur Duktoralze mittels Stellschrauben erfolgt.

Der eine Pendelbewegung ausführende Heber übernimmt vom Duktoral während der Kontaktzeit einen Farbstreifen und gibt davon Farbe an die erste Verteilerwalze des Farbwerks weiter. Diese Stahlwalze führt gleichzeitig eine rotierende sowie eine oszillierende Bewegung aus und steht in Kontakt mit mehreren Gummiwalzen, die sich nur um ihre Achse drehen. Dadurch wird die Farbschicht innerhalb von Teilbereichen ausgeglichen, mehrfach diskontinuierlich geschert und gespalten sowie in gleichartige Systeme weitergeleitet, von welchen die zur Übertragung von Farbe auf die Offsetplatte dienenden Auftragswalzen gut eingefärbt werden.

Das Feuchtwerk besitzt den gleichen Funktionsmechanismus wie das Farbwerk. Der im Wasserkasten sich drehende Feucht-

*) Von der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Hochschule Darmstadt genehmigte Dissertation D 17. Referenten: Prof. Dr. W. Eschenbach und Prof. Dr.-Ing. W. Bracht
Archiv für Druck und Papier 5 (1959), Nr. 3

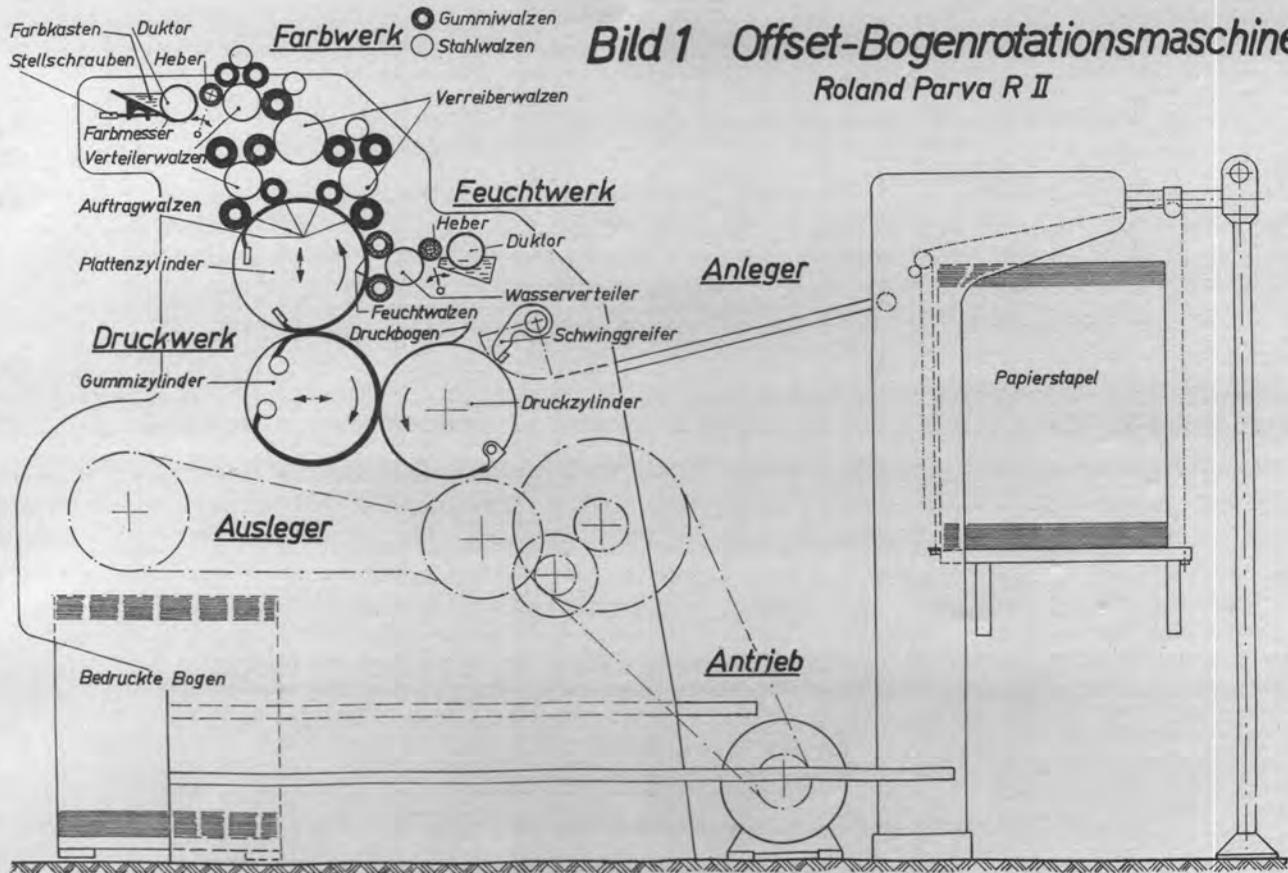


Bild 1 Offset-Bogenrotationsmaschine
Roland Parva R II

duktor gibt über die Heber- und Verteilerwalze das Wasser an die Feuchtwalzen weiter. Feuchtwalzen und Duktoren besitzen einen Überzug aus sehr saugfähigem Gewebe.

4. Druckformen

Als Druckformen für das Offsetverfahren werden fast ausschließlich Metallplatten von 0,6 bis 0,8 mm Dicke verwendet. Um farb- und wasserführende Bereiche zu erhalten, wird die Differenzierung der Druckplatte am häufigsten mit Hilfe von Chemikalien durchgeführt. Hierfür kommen Zink- und Aluminiumplatten in Frage, deren Oberflächen vor der Kopie der Bildvorlage durch Körnung angeraut werden, um eine für hohe Maschinengeschwindigkeiten ausreichende Haftfähigkeit von Farb- und Feuchtigkeitsträger zu gewährleisten. Außerdem wird von einer solchen Plattenstruktur das Feuchtwasser besser festgehalten. Die präparierten Zink- oder Aluminiumplatten halten jedoch infolge fortschreitender Abnutzung hohen Auflagen nicht stand. Sie sind auch nicht das geeignete Plattenmaterial für hohe Qualitätsansprüche, da von der Körnung die Konturschärfe der Bildelemente ungünstig beeinflusst wird.

Diese Mängel weist die Bimetallplatte nicht auf. Bei dieser Plattenart sind zwei Metallschichten kombiniert, die sich unterschiedlich gegenüber Farbe und Wasser verhalten. Kennzeichnend für brauchbare Kombinationen ist der große Spannungsunterschied, der sich aus der elektrochemischen Spannungsreihe ergibt. Gut wasserhaltende Metalle sind beispielsweise Chrom oder Aluminium, während Kupfer eine gute Farbannahmefähigkeit aufweist. Die obere, einige My dicke Schicht einer Bimetallplatte kann entweder aus Kupfer oder aus Chrom sein. Sie wird bei der Kopie der Bildvorlage teilweise weggeätzt, so daß die entstehenden kupfernen Bildelemente entweder eine etwas erhöhte oder vertiefte Lage

aufweisen. Als Beispiel für das auf einer Chromschicht liegende kupferne Druckbild ist die *Aller-Platte* zu nennen, während die *Schoembs-Platte* ein tiefgelegtes Druckbild aufweist.

5. Aufzüge

Die Aufzugeigenschaften beeinflussen weitgehend die Qualität der Bildwiedergabe. Der Aufzug des Gummizylinders kann verschiedenartig zusammengesetzt sein. Üblicherweise besteht der Zylinderaufzug aus Gummituch, Untertuch und den erforderlichen Ausgleichsbogen aus Manila-Karton. An das Gummituch werden die weitestgehenden Anforderungen gestellt. Es ist aus einigen sich abwechselnden Gummi- und Gewebeschichten aufgebaut und besitzt eine Gummideckschicht von 0,7 mm. Die Gesamtdicke beträgt ca. 1,8 mm und die Shorehärte liegt zwischen 75 und 80. Seine gegen chemische und mechanische Beanspruchung widerstandsfähige Gummioberfläche soll gute Farbübertragungseigenschaften sowie eine sehr feine Struktur aufweisen, damit die Bildelemente farbstarke und möglichst randscharf wiedergegeben werden. Während die Gummischichten das elastische Verhalten des aufgespannten Tuches beim Einwirken von Druckkräften gewährleisten, ist es die Aufgabe der Gewebeschichten, während des Druckvorganges in Umfangsrichtung nur unerhebliche Dehnungen zuzulassen. Von den Gewebeschichten wird allerdings die Gleichmäßigkeit des Gummituchs nachteilig beeinflusst.

Das Untertuch ist ca. 1 mm dick; es besitzt meist nur eine elastische Zwischenschicht aus Gummi oder einer Gummi-Kork-Mischung, die auf beiden Seiten von Geweben abgedeckt ist. An Stelle dieses Untertuches wird auch Billardtuch oder Manila-Karton verwendet. Diese Unterlagen verändern aber das Aufzugsverhalten.

II. EINFLUSSFAKTOREN DES DRUCKPROZESSES

A. Ermittlung der Druckkräfte

Zur Übertragung der Farbe auf das zu bedruckende Papier werden bekanntlich bestimmte, von der Art des Druckverfahrens abhängige Druckkräfte benötigt. Die zahlenmäßige Erfassung einer solchen, den Druckprozeß kennzeichnenden Größe ist daher ein altes meßtechnisches Anliegen. Über Anpreßdruckmessungen an Hochdruck-Flachformmaschinen sind neben Untersuchungsergebnissen des Instituts u. a. Arbeiten von *Hebsaker* [2] und *Ebert* [3] vorhanden. Orientierende Angaben über die Druckverteilung im Hochdruck sind bei *Pibl* und *Olsson* [4] und *Kosarowitzki* [5] zu finden.

Die in Offset-Bogenrotationsmaschinen auftretenden Anpreßdrücke sind meßtechnisch schwerer zu erfassen, und es liegen nur überschlagsmäßige, auf indirektem Wege erhaltene Zahlenangaben vor [6] [7].

Es war daher notwendig, die in der Offsetmaschine auftretenden Druckkräfte in Abhängigkeit von verschiedenen Einflußfaktoren zu bestimmen. Diese Zahlenwerte sind von grundlegender Bedeutung und dienen zur Kennzeichnung des Maschinenverhaltens.

1. Anpreßdruck

Da über die Druckzonenbreite eine ungleichförmige Kräfteverteilung vorliegt, wird der in Offsetmaschinen vorhandene Anpreßdruck zweckmäßigerweise als Bruchteil des vorhandenen Gesamtdruckes in *Kilogramm pro Zentimeter wirksamer Zylinderbreite* angegeben und gemessen.

a) Meßverfahren

Die Ermittlung von Kräften wird in der Regel auf Verlagerungsmessungen zurückgeführt. Rasch ablaufende Vorgänge erfordern die Registrierung und daher fast immer die Umwandlung der mechanischen Meßgröße in eine elektrische. Hierfür stehen Ohmsche, induktive oder kapazitive Methoden zur Verfügung.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wurde als Wandler der auf Ohmscher Grundlage beruhende Dehnungsmeßstreifen verwendet. Seine Wirkungsweise beruht auf der reproduzierbaren Widerstandsänderung des Streifendrahtes bei mechanischer Beanspruchung, die der Dehnungsmeßstreifen in der Regel im aufgeklebten Zustand vom elastisch verformten Druckaufnehmer erfährt.

α. Dehnungsmeßstreifen

Ein Dehnungsmeßstreifen (DMS), dessen Aufbau schematisch aus *Bild 2* hervorgeht, ist gekennzeichnet durch einen zwischen zwei isolierenden Trägern aus Papier in Leim oder Kunstharz eingebetteten Widerstandsdraht von $\sim 0,02$ mm Durchmesser.

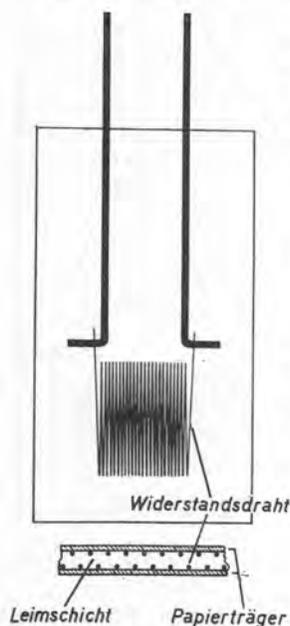


Bild 2
Schematische Darstellung eines Philips-
Dehnungsmeßstreifens

Diese Drahtstärke kann aus Herstellungsgründen kaum unterschritten werden, so daß der, eine ausreichende Meßgenauigkeit gewährleistende genügend hohe Wert des Streifenwiderstandes bei den üblichen Ausführungsformen nur durch das mehrfache Hin- und Herführen des Drahtes innerhalb der Meßlänge erreicht werden kann. Als Drahtmaterial wird Konstantan bevorzugt wegen der weitgehenden Linearität zwischen Dehnung und Widerstandsänderung sowie des niedrigen Temperaturkoeffizienten seines spezifischen Widerstandes.

Das einwandfreie Übertragen der zu messenden Verformungen auf den Meßdraht erfordert das sorgfältige, vorschriftsmäßige Aufkleben des Streifens und einen zuverlässigen Feuchtigkeitsschutz, der z. B. durch einen flüssig aufgetragenen Überzug aus mikrokristallinischem Wachs erhalten werden kann. Infolge des hygroskopischen Verhaltens von Leimschicht und Trägermaterial würden durch Feuchtigkeitseinwirkung Quellungserscheinungen auftreten, die unerwünschte Dehnungen verursachen. Außerdem können auch scheinbare Dehnungen, die von einer feuchtigkeitsbedingten Abnahme des Isolationswiderstandes herrühren, das Meßergebnis beeinflussen.

Temperaturschwankungen wirken sich unmittelbar und mittelbar auf den Widerstandswert des aufgeklebten Dehnungsmeßstreifens aus. Sie verursachen nämlich Änderungen des spezifischen Widerstandes und eine unerwünschte Längenänderung der Metallunterlage. Zur Eliminierung des Temperatureinflusses dient ein gleichartiger Kompensationsstreifen, der in der Nähe des Meßstreifens auf den gleichen Werkstoff an eine Stelle zu kleben ist, die praktisch keine mechanische Beanspruchung aufweist. Durch entsprechende elektrische Schaltung der beiden Dehnungsmeßstreifen wird erreicht, daß sich die temperaturbedingten gleichartigen Widerstandsänderungen am Aktiv- und Kompensationsstreifen gegenseitig aufheben.

Dehnungsmeßstreifen weisen bei Belastungswechsel Hystereserscheinungen als Folge des nicht ganz idealen mechanischen Verhaltens von Trägermaterial, Leimschicht und Drahtwerkstoff auf. Die Linearitätsabweichungen zwischen Dehnung und relativer Widerstandsänderung sind jedoch in der Regel vertretbar.

Das Erfassen rasch ablaufender Vorgänge mit Dehnungsmeßstreifen ist wegen der hohen oberen Grenzfrequenz (≥ 50000 Hz), der kleinen Masse des Meßstreifens und der Möglichkeit, auch bei dynamischen Vorgängen statische Eichungen verwenden zu können, besonders vorteilhaft.

Bei mechanischer Beanspruchung des Meßstreifendrahtes erhält man den funktionellen Verlauf der relativen Widerstandsänderung $\frac{dR}{R}$ durch elastische Spannungen mit Hilfe des totalen Differentials von R .

Es ist

$$R = \rho \frac{l}{q} \quad \begin{array}{l} R \text{ el. Widerstand des Meßstreifendrahtes} \\ \rho \text{ spez. Widerstand des Drahtwerkstoffes} \\ l \text{ Drahtlänge} \end{array}$$

und somit

$$\frac{dR}{R} = \left(1 + 2\mu + \frac{d\rho}{\rho} \right) \varepsilon = k \varepsilon. \quad \begin{array}{l} \varepsilon = \frac{dl}{l} \text{ Dehnung} \\ q = \frac{D^2 \pi}{4} \text{ Drahtquerschnitt} \\ \mu = -\frac{dD}{D} \text{ Querkontraktion} \end{array}$$

Der k -Faktor enthält die Materialkonstanten und kennzeichnet die Empfindlichkeit des Dehnungsmeßstreifens. [8] [9]

β. Prinzip der Trägerfrequenz-Meßbrücke

Zur Bestimmung kleiner Widerstandsänderungen ist die Wheatstonesche Brückenschaltung die gebräuchlichste Meß-

anordnung. Das Schaltbild einer Dehnungsmessbrücke weist daher eine große Ähnlichkeit mit der Wheatstoneschen Brücke auf. Das Schaltbild der verwendeten direktanzeigenden Meßbrücke für statische und dynamische Dehnungen der Firma *Philips* ist stark vereinfacht durch *Bild 3* wiedergegeben. Sie gestattet die Erfassung von Vorgängen, welche sich genügend genau durch Schwingungen mit Frequenzen von 0 bis 1000 Hz wiedergeben lassen.

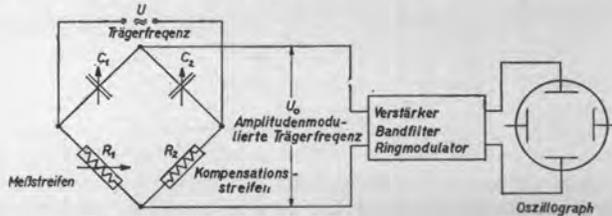


Bild 3 Vereinfachtes Schaltbild für die Dehnungsmessung mit der Philips-Meßbrücke GM 5536

Im Meßgerät befinden sich die beiden inneren, durch die Drehkondensatoren C_1-C_2 gekennzeichneten Brückenarme. Mit diesen sind die Dehnungsmessstreifen R_1-R_2 über Meßleitungen verbunden und bilden die äußeren Zweige der Brücke. Die Speisung der Brücke erfolgt durch eine im Oszillatorschaltkreis erzeugte Wechselspannung U von 4000 Hz.

Vor der Messung wird die Brücke nach Betrag und Phase abgeglichen. Dann ist ihre Diagonalspannung U_0 gleich Null, und es besteht die Beziehung

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

Eine danach erfolgende Beanspruchung des Aktivstreifens verursacht eine kleine Brückenverstimmung. Die dadurch am Diagonalzweig vorhandene Spannung U_0 wird verstärkt, von unerwünschten Komponenten befreit und dann entweder dem Mikroamperemeter des Dehnungsmessgerätes oder den vertikalen Ablenkplatten eines Elektronenstrahl-Oszillographen zugeführt.

Für die Wheatstonesche Brückenschaltung erhält man den Zusammenhang zwischen Verstärkereingangsspannung U_0 und Streifendehnung ε mit Hilfe grundlegender elektrotechnischer Beziehungen. Bei einer unendlich kleinen Verstimmung der Brücke durch den aktiven Meßstreifen R_1 wird bei sehr großem Verstärkereingangswiderstand

$$\frac{dU_0}{dR_1} = U \frac{R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

Ersetzt man nun den Differentialquotienten durch den Differenzenquotienten und berücksichtigt man außerdem, daß $R_1 \sim R_2$ ist, so ergibt sich aus obiger Formel für die schwach verstimnte Brücke die Beziehung

$$\Delta U_0 \sim U \frac{\Delta R}{4R} \quad \text{bzw. mit } \frac{\Delta R}{R} = k \varepsilon$$

$$\Delta U_0 \sim U \frac{k \varepsilon}{4}$$

Die Diagonalspannung ΔU_0 ist also eine der relativen Widerstandsänderungen $\Delta R/R$ des Meßstreifens proportionale Wechselspannung. Die Meßempfindlichkeit wird durch die von der Belastbarkeit des Meßstreifens abhängigen Speisungsspannung U und vom k -Wert bestimmt. [10] [11]

γ. Dehnungsmessungen an rotierenden Zylindern

Untersuchungen mit Dehnungsmessstreifen erfordern konstante Zuladungswiderstände. Bei Messungen an umlaufenden Teilen ergeben sich hieraus Schwierigkeiten, weil die Anwendung durchgehender Leitungsverbindungen nicht mehr möglich ist. Als Ausführungsform für den somit not-

wendig gewordenen Drehübertrager kommt unter den gegebenen Verhältnissen ein Schleifringgerät in Frage. Dieses Übertragungssystem ist jedoch mit veränderlichen Übergangswiderständen behaftet, die, wenn nicht besondere apparative und schaltungstechnische Maßnahmen ergriffen werden, in der Größenordnung der Widerstandsänderung des Meßstreifens liegen können.

Wachter [12] hat Schleifringgeräte unterschiedlicher Bauart in bezug auf ihre Eignung untersucht und den Einfluß der verschiedenartigen Widerstandsänderungen sowie der Rausch- und Thermospannungen auf das Meßergebnis bestimmt. Aus dieser Arbeit ist zu entnehmen, daß durch zweckmäßige konstruktive Ausführung und entsprechende Werkstoffauswahl für Ringe und Schleifer der vom Übertrager herrührende Fehler wesentlich reduziert werden kann. Der apparativen Beeinflussbarkeit des Meßfehlers wurde durch Anwendung des hochqualifizierten Schleifringgerätes der Firma *Brosa* Rechnung getragen. Dieses Gerät ist gekennzeichnet durch die Anwendung einer für das Übertragen elektrischer Signale bestens geeigneten Edelmetall-Legierung. Die doppelten Schleifer für jeden Ring sind schwingungsgedämpft und von außen anstellbar. Der Leitungsanschluß erfolgt sicherheitshalber durch Lötverbindung.

Bei Messungen mit Dehnungsmessstreifen sind aber einwandfreie und reproduzierbare Ergebnisse selbst mit besten Schleifringübertragern unter Anwendung der üblichen Brückenschaltung (*Bild 4, a*) noch nicht zu erhalten. Die Auswirkungen der vom Schleifringgerät verursachten schwankenden Übergangswiderstände auf den Meßwert werden jedoch belanglos bei einer dem Prinzip der Thomsonbrücke ähnlichen Schaltanordnung, die in *Bild 4, b* wiedergegeben ist und deren Anwendung die *Philips*-Meßbrücke GM 5536 erlaubt [13]. Bei dieser Schaltung erfolgt die Speisung der Brücke über zwei besondere Schleifringe. Dadurch wird erreicht, daß die wesentlichen Einflüsse nehmenden veränderlichen Übergangswiderstände R_{U1} und R_{U2} nicht mehr mit den Dehnungsmessstreifen, sondern mit den Abgleichkondensatoren C_1, C_2 der inneren Brückenarme hintereinandergeschaltet sind, deren Impedanz $R_{C1} = R_{C2} = 4 \cdot 10^4$ Ohm wesentlich höher als die der Meßstreifen ist.

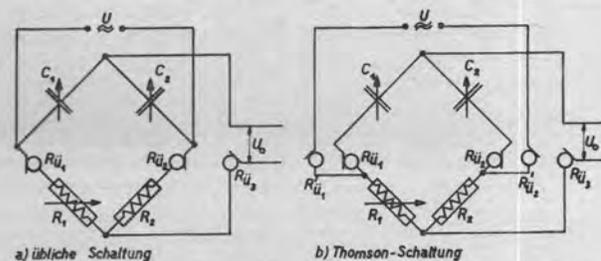


Bild 4 Schaltanordnungen für Dehnungsmessungen an rotierenden Teilen

Bei Verwendung von 600-Ohm-Streifen verhalten sich daher die von den veränderlichen Übergangswiderständen verursachten Meßfehler f der Schaltanordnungen »a« und »b« wie

$$\frac{f_b}{f_a} \sim \frac{R_S}{R_C} = \frac{6 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^4} = 1,5 \cdot 10^{-2}$$

Die Thomson-Schaltung erlaubt es daher, den Fehler f_b zu vernachlässigen.

b) Druckaufnehmer

Zur Bestimmung der zwischen den Zylindern der Offsetmaschine auftretenden Druckkräfte mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen ist es zweckmäßig, einen brückenförmigen Druckaufnehmer in den Zylinderkörper des Gummizylinders einzubauen. Diese Anordnung ermöglicht die Ermittlung der in beiden Druckzonen auftretenden Kräfte mit 1 Meßelement und berücksichtigt weitgehend spezielle meßtechnische Erfordernisse wie z. B. die Temperaturgleichheit und den Feuchtigkeitsschutz der Streifen.

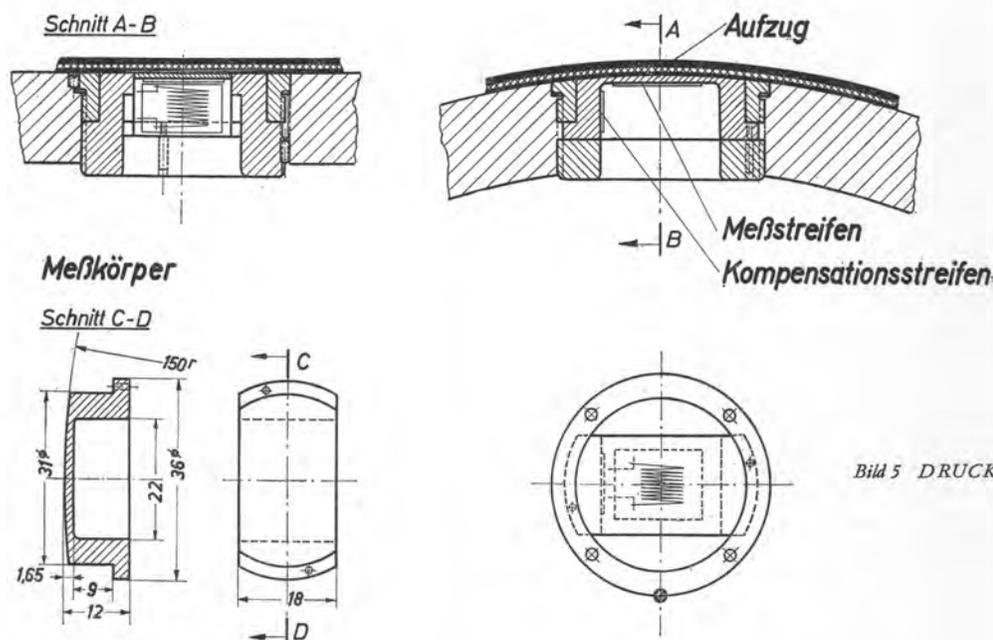


Bild 5 DRUCKAUFNEHMER

Für die einwandfreie und optimale Arbeitsweise des mit der Zylinderoberfläche genau abschließenden Druckaufnehmers (s. Bild 5) war eine entsprechende konstruktive Gestaltung Voraussetzung.

Besonderer Wert wurde dabei auf den sicheren Einbau des Meßkörpers gelegt, dessen Dimensionierung gewährleistete, daß der auf seiner Unterseite aufgeklebte Meßstreifen durch die Druckkräfte nur eine zwischen 0—3⁰/₁₀₀ liegende Dehnung erfuhr, so daß der feinste Meßbereich der Brücke verwendet werden konnte. Das den Verhältnissen seiner starren Umgebung weitgehend angepaßte Meßsystem kann im Zylinder entsprechend Bild 6 verschieden angeordnet werden.

Die Anordnung »a« wurde vorgezogen, weil sie im Gegensatz zu »b« infolge der senkrecht zur Zylinderachse liegenden Drähte des Meßstreifens besser gewährleistet, daß die Durchbiegung des dynamisch beanspruchten Zylinders nicht merklich in den Druckkraft-Meßwert mit geht.

Zur Beurteilung des Aufnahmeverhaltens in bezug auf die verzerrungsfreie Wiedergabe der aufzunehmenden Druckimpulse diente das Schwingungsverhalten des Druckaufnehmers bei Stoßerregung. Die Ermittlung der Eigenschwingungszahl und des Dämpfungsverhaltens erfolgte im eingebauten Zustand bei aufzugsfreiem Zylinder. Das Oszillogramm dieser schwach gedämpften Schwingung gibt Bild 7 wieder. Den Verlauf eines unter Verwendung des demodulierten Ausgangssignals der Dehnungsmeßbrücke erhaltenen Druckimpulses zeigt Bild 8. Aus dem Vergleich beider Oszillogramme ergibt sich eine in bezug auf die erzwungene Erregung genügend hohe Eigenfrequenz des Aufnehmers von 1075 Hz.

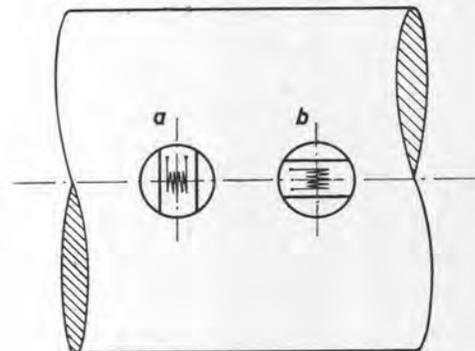
c) Eichung

Die den Dehnungswerten entsprechenden Druckkräfte werden am sichersten durch Eichung bestimmt. Bei einfachen Belastungsfällen besteht auch die Möglichkeit, aus der Dehnung die Kraft auf rechnerischem Wege zu ermitteln. Wegen der komplizierten Form des Aufnehmers und der Druckverteilung ist es unter den gegebenen Verhältnissen jedoch unzweckmäßig, das Eichen zu umgehen, da außerdem die rechnerisch bestimmten Druckkräfte mit von der Meßanordnung herrührenden Fehlern behaftet sind (z. B. Teilaktivität des Kompensationsstreifens usw.), die beim Eichen eliminiert werden.

Es wurde angestrebt, daß der Eichvorgang weitgehend den während der Druckmessung vorliegenden Verhältnissen entsprach. Daher blieb die gesamte Meßanlage unverändert; die Eichung des Druckaufnehmers fand also im eingebauten Zustand mit Hilfe einer geeigneten Belastungsvorrichtung statt. Außerdem erhielt der Druckkörper des Kraftmeßbügels eine zylindrische Form, um beim Eichen die Kräfteverteilung der beim Maschinenlauf vorliegenden anzugleichen. Die auftretenden kleinen Abweichungen in der Druckverteilung bei statischer und dynamischer Belastung sind unerheblich in bezug auf die Lastverteilungsempfindlichkeit des Aufnehmers.

Der schematische Aufbau der Eichanordnung geht aus den Bildern 9 und 10 hervor. Die Belastungsvorrichtung ist auf einem zur Achse des Gummizylinders parallelen Träger von quadratischem Querschnitt befestigt. Zur genauen Parallelstellung des zylindrischen Druckkörpers zur geschliffenen Zylinderoberfläche dienen die Stellschrauben am Gleitschuh. Der Druckkörper ist über einen der beiden zylindrischen Ansätze des Meßbügels, deren gemeinsame Achse die Belastungsrichtung anzeigt, mit dem Kraftmeßbügel verbunden. Die Druckkraft wird durch das über ein einfaches Schraubenge triebe erfolgende Verschieben des Druckkörpers in Belastungsrichtung erzeugt. Dadurch erfährt der geschlossene elliptische Bügel elastische Verformungen. Infolgedessen bewegt sich die Strichfläche eines am Druckkraft-Meßbügel starr befestigten Präzisionsmaßstabes um eine gewisse Strecke,

Bild 6
Anordnungsmöglichkeiten
für den Druckaufnehmer



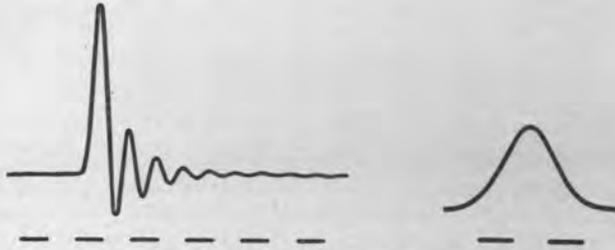


Bild 7 Schwingungsverhalten des Druckaufnehmers nach erfolgter Stoßbeanspruchung. Eingezeichneter Zeitmaßstab: Strichlänge $\hat{=} 10^{-3}$ s

Bild 8 Verlauf eines Druckimpulses b. 4000 Upb. Eingezeichneter Zeitmaßstab: Strichlänge $\hat{=} 5 \cdot 10^{-3}$ s

welche mit Hilfe des Ablesemikroskops genau zu bestimmen ist. Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Bügelverformung und Druckkraft wurde der Kraftmeßbügel Belastungen mit geeichten Gewichten unterworfen.

Als Kraftmeßbügel diente das Fabrikat der Firma Zwick & Co. Dieses System weist bei der Höchstlast von 100 kg ungefähr 2100 Meßeinheiten auf und ist mit einer durchschnittlichen Meßunsicherheit von ± 2 Einheiten behaftet.

Obwohl wegen der ausgleichenden Wirkung des Gummiteuchs die kleinen Deformationen des unter Belastung elastisch nachgebenden Druckaufnehmers den Zahlenwert der zwischen Offsetzylindern auftretenden Druckkräfte nicht wesentlich beeinflussen, sind bei der Eichung Maßnahmen zur Korrektur dieses Fehlers ergriffen worden. Beim Aufstellen der Eichkurve wurde daher jeweils die den Belastungszustand des Druckaufnehmers kennzeichnende Dehnungsanzeige in Zusammenhang mit dem Meßbügelwert gebracht, der sich nach Aufheben der Aufnehmerdurchbiegung einstellt. Hierzu diente als Vorrichtung — wie aus Bild 10 ersehen werden kann — ein zwischen zwei Zylinderrippen angeordneter, senkrecht zur Achse des Gummizylinders verschiebbarer Balken. Ein mit diesem Balken verbundenes gabelförmiges Querstück hatte die Aufgabe, eine Kraftwirkung auf die Unterseite des belasteten Druckaufnehmers auszuüben, um

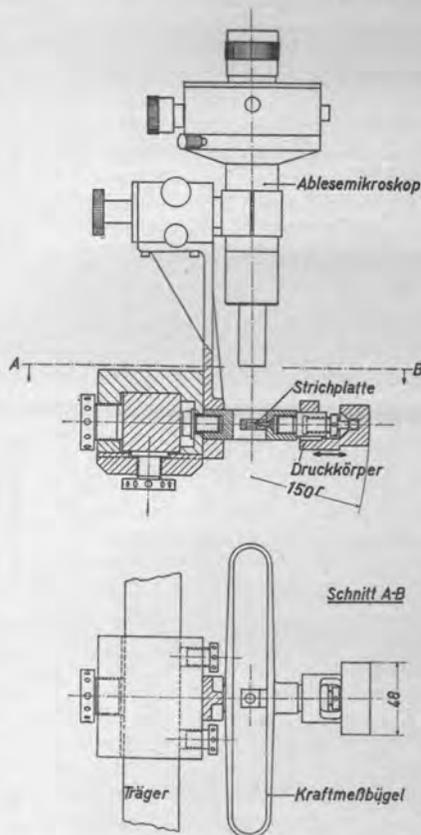


Bild 9
BELASTUNGS-
VORRICHTUNG

seine Durchbiegung wieder zu beseitigen. Durch einen induktiven Aufnehmer wurde über eine direktanzeigende Meßbrücke (Philips GM 5536) die hierbei auftretende kleine Verlagerung der Eichvorrichtung kontrolliert und über eine auf die Belastungsvorrichtung wirkende Druckschraube wieder rückgängig gemacht.

Der Eichvorgang verlief daher folgendermaßen: Zunächst wurde der Druckaufnehmer bis zum vorgesehenen Brückenwert belastet. Daraufhin erfolgten die Egalisierung der Durchbiegung des Druckaufnehmers und die Korrektur der eingetretenen kleinen Lageänderung des Druckkörpers. Anschließend wurde die vom Kraftmeßbügel angezeigte Druckkraft bestimmt und in Abhängigkeit vom ursprünglichen Sollwert der Dehnungsanzeige in ein Diagramm übertragen.

Die so ermittelte Eichkurve zeigt Bild 11. Um eine unmittelbare graphische Auswertung der Meßgröße zu ermöglichen, wurden der jeweiligen Meßbügelverlagerung die entsprechende Bügelbelastung sowie die sich daraus ergebende, auf die Längeneinheit bezogene Druckkraft zugeordnet.

d) Druckmessung und Auswertung

Vor der Druckmessung wurde die gut geerdete Meßanlage in betriebsbereiten Zustand gebracht und der Nullabgleich der bereits längere Zeit unter Strom stehenden Dehnungsmeßbrücke mit Sorgfalt vorgenommen. Voraussetzungen für den Meßbeginn waren außerdem einwandfreie Maschinenbedingungen, die Überprüfung der Gummiteuchspannung, welche mit Hilfe eines Momentenschlüssels konstant gehalten wurde, sowie eine genügend lange Einlaufzeit der Offsetmaschine.

Während des Druckvorganges erfährt der Aufnehmer pro Zylinderumdrehung die in kurzen Zeitabständen aufeinanderfolgenden Kraftwirkungen beider Druckzonen. Die dabei auftretenden Dehnungen werden, wie schon ausgeführt, auf elektronischem Wege mittels der Philips-Meßbrücke GM 5536 in eine elektrische Meßgröße umgewandelt und als Spannungsschwankungen dem Philips-Elektronenstrahloszillographen GM 3156 (Frequenzbereich 0,1 bis 40000 Hz) zugeführt, welcher mit der aufgesetzten Voigtländer-Philips-Registrierkamera FE 106 gekoppelt ist (s. Bild 12). Zur Registrierung wird das Zeitablenkgerät im Oszillographen abgeschaltet. Während des Meßvorgangs bildet sich die amplitudenmodulierte Trägerfrequenz auf der Elektronenstrahlröhre als senkrechte Linie (mit 4000 Hz schwingender Leuchtfleck) von wechselnder Ausdehnung ab. Die scharfe Abbildung dieses Leuchtflecks in der Bildfensterebene des Magazins erfolgt über einen unter 45° geneigten Spiegel mittels der Kameraoptik. In dieser Ebene wird der Registrierstreifen (35 mm breiter perforierter Kinofilm) quer zur Längsachse des Oszillographen mit einer dem Vorgang angepaßten konstanten Geschwindigkeit bewegt. Der durch Bild 13 wiedergegebene Filmabschnitt zeigt den vom Druckaufnehmer registrierten Verlauf der Kraftwirkung des Druck- und Plattenzylinders.

Da beim Eichen der Aufnehmer in der Mitte beansprucht wurde, ist zur Bestimmung der Druckkraft jeweils der maximale Dehnungswert (größter Abstand senkrecht zur Laufrichtung des Films) maßgebend. Zur einwandfreien Herstellung der Beziehung zwischen dem registrierten Dehnungswert und dem Skalenwert der Brückenanzeige wurden verschieden eingestellte Brückenwerte mitgefilmt. Zur Filmauswertung diente ein Vergrößerungsgerät.

e) Ergebnisse

Den Zahlenangaben über die gemessenen Anpreßdrücke seien noch einige Ausführungen über die Druckanstellung vorausgeschickt.

Die in der Offsetmaschine vorhandene Gleichmäßigkeit des Anpreßdruckes ist von bestimmendem Einfluß auf den Grad der Druckanstellung. Die Höhe des zum Erzielen eines guten Druckergebnisses erforderlichen Anpreßdruckes hängt im

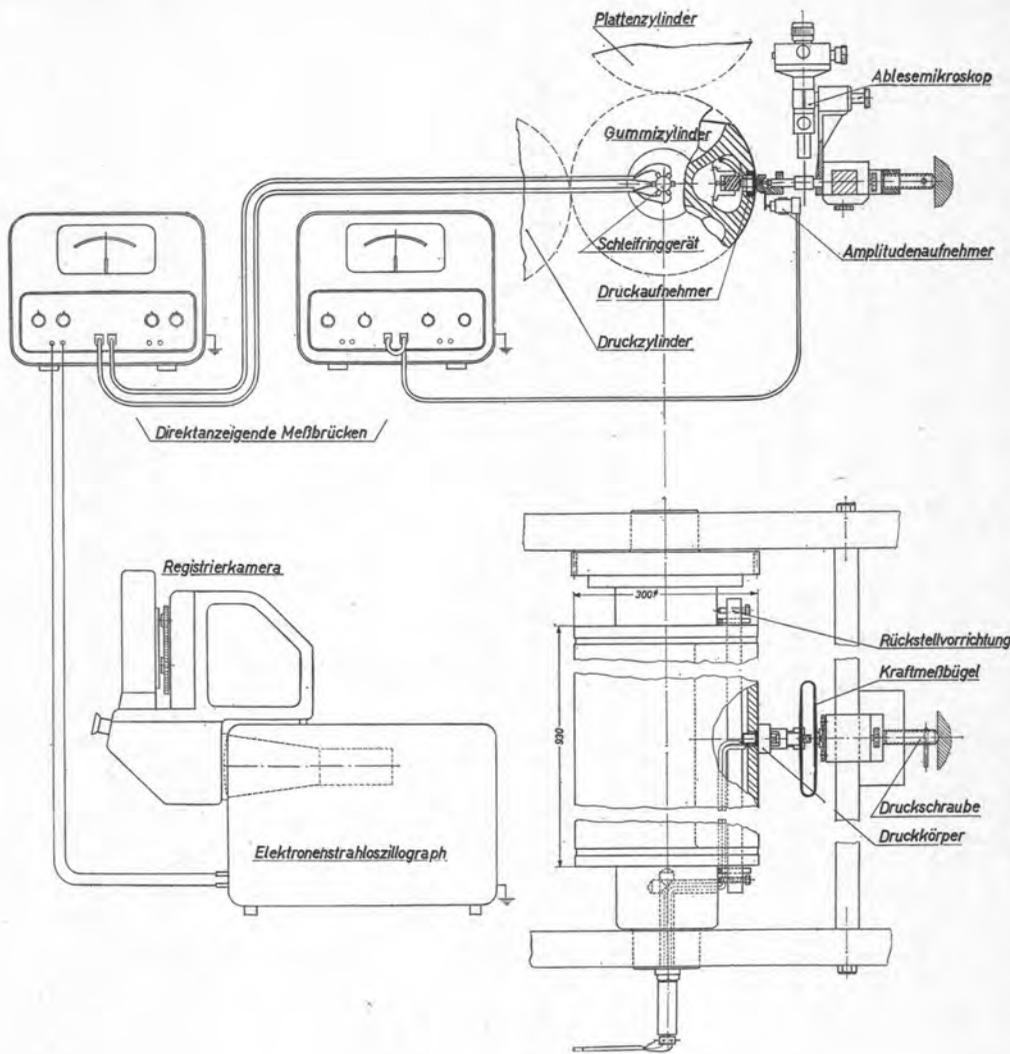


Bild 10
DARSTELLUNG
DES
VORGANGES

wesentlichen von speziellen Eigenschaften der Offsetmaschine, des Aufzugs, der Offsetplatte, des Papiers und der Druckfarben ab. Die Druckanstellung kann infolge dieser variablen Einflußgrößen nur auf Grund der subjektiven Beurteilung des Druckausfalles auf Probefolien erfolgen. Dabei werden für den Auflagedruck von vornherein auch solche Umstände berücksichtigt, die eine erhöhte Druckeinstellung erfordern, wie z. B. Papierstärkeschwankungen und Papierstaubansammlungen auf dem Gummituch. Außerdem erfolgt manchmal auf diese Weise die Egalisierung grober Unebenheiten, welche eigentlich durch Verwendung gleichmäßigerer Offsettücher und -platten bzw. durch Zurichten ausgeschaltet werden sollten. Die in der Praxis angewendeten Druckkräfte sind daher oft beträchtlich höher als notwendig. Dadurch wird aber die Qualität des Druckergebnisses unnötig beeinträchtigt. Die vom hohen Anpreßdruck auf die fließfähige Druckfarbe ausgeübten Kräfte verursachen nämlich eine Vergrößerung der Halbtöne. Die so hervorgerufenen Tonwertverschiebungen setzen die Qualität der Bildwiedergabe herab. Es ist daher notwendig, die aufzuwendenden Druckkräfte soweit wie möglich herabzusetzen, damit im Verein mit anderen optimal abgestimmten Faktoren Farbverlagerungen weitgehend entgegengewirkt wird. Außerdem verursacht eine zu starke Druckanstellung anomale Deformationen des Gummituchs im Berührungsbereich der Zylinder, die nicht nur die Qualität der Bildwiedergabe infolge auftretender Gleitbewegungen zusätzlich ungünstig beeinflussen, sondern auch für den vorzeitigen Verschleiß des Gummituchs verantwortlich sind.

α. Anpreßdruck zwischen Gummi- und Druckzylinder

Die vorliegenden Ergebnisse über die in der Praxis auftretenden Druckkräfte wurden während des Auflagedrucks bei einwandfreien Maschinen- und Druckbedingungen ermittelt. Gedruckt wurde ein Halbtonmotiv von einer Schoembs-Bimetalplatte mit hochkonzentrierten Farben und geringer Farbgebung. Die Aufzugszusammensetzung entsprach der üblichen Normalausführung (Gummituch + Untertuch + Ausgleichsbogen). Die Offsetmaschine wurde von versierten Versuchsdruckern bedient, welchen auch die entsprechende Druckeinstellung oblag. Die in Tabelle 1* zusammengestellten Zahlenwerte geben die zwischen Druck- und Gummi-zylinder bei verschiedenen Papiersorten vorhandenen Druckkräfte für jeweils zehn aufeinanderfolgende Vorgänge wieder. Diese Wertegruppen charakterisieren den von praxisüblichen Druckanstellungen hervorgerufenen Anpreßdruck für Papiere verschiedener Rauigkeit. Die Schwankungen der Zahlenwerte innerhalb der Meßreihen sind im wesentlichen auf Unterschiede in der Papierstärke zurückzuführen. Sie kennzeichnen daher die Gleichmäßigkeit des Papiers unter Druckbedingungen und sind ein Kriterium für die gute Reproduzierbarkeit der Meßwerte. Der von den gebräuchlichen Druckanstellungen verursachte Anpreßdruck ist, wie schon ausgeführt, meistens höher als der zum einwandfreien Ausdrucken nötige. Es war daher von Interesse, für die angeführten Papiersorten mit Hilfe von

* Die Bestimmung der Glättezahlen erfolgte dankenswerterweise durch das Institut für Papierfabrikation der Technischen Hochschule Darmstadt.

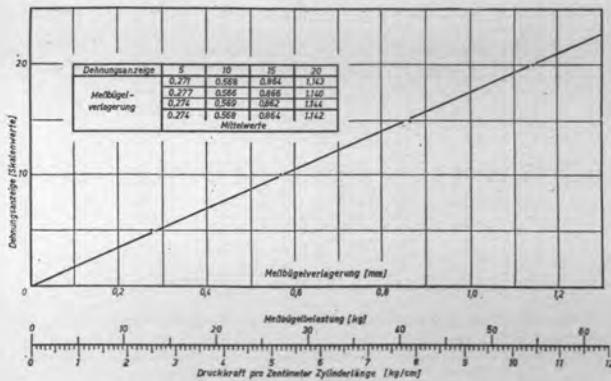


Bild 11 Eichkurve des Druckaufnehmers

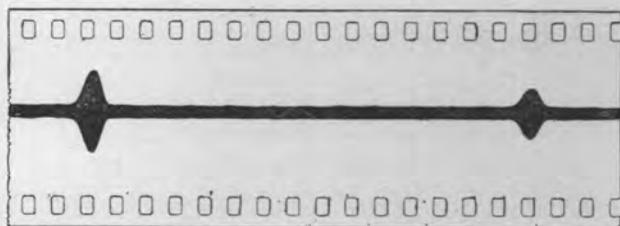


Bild 13 Filmstreifen mit registrierten Druckimpulsen

TABELLE 1. Gemessener Anpreßdruck für verschiedene Papiersorten.

Anpreßdruck zwischen Platten- und Gummizylinder ~ 5 kg/cm
Druckgeschwindigkeit: 4000 Uph

Papiersorte	Glättezahl* nach Bekk [s]	Anpreßdruck [kg/cm] Mittelwerte										
		4,3	4,5	4,6	4,3	4,7	4,1	4,5	4,4	4,6	4,4	
Hochglanz- Kunstdruckpapier	247,2											
Kunstdruckpapier	51,8	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	
Chromopapier	51	11,1	11,0	11,4	11,5	11,1	10,7	10,5	11,1	11,3	11,2	
Naturpapier	17	12,4	12,2	12,2	12,4	12,0	12,3	12,3	12,4	12,0	12,2	
Aquarellpapier	3	12,2	11,9	12,1	11,7	12,0	11,8	12,3	11,9	12,1	12,2	

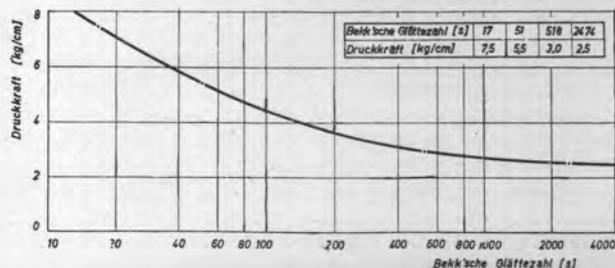


Bild 14 Beziehung zwischen Druckkraft und Glättezahl aus Messungen an der Versuchsmaschine

feinstufiger Druckeinstellung den Anpreßdruck zu ermitteln, der ein einwandfreies Druckergebnis gerade noch sicher gewährleistet. Diese Ergebnisse lassen sich anschaulich in Abhängigkeit von der Bekk'schen Glättezahl wiedergeben (s. Bild 14). Die Glätteprüfung nach Bekk ist zwar mit gewissen Mängeln behaftet, aber zur Zeit immer noch ein zweckmäßiges Verfahren [14]. Der so erhaltene Kurvenzug orientiert über die mögliche Verringerung des Anpreßdruckes bei abnehmender Papierrauhigkeit. Die bei höheren Glätzewerten einsetzende zunehmende Verflachung dieser Kurve ist ein Zeichen dafür, daß die Unebenheiten der Zylinder sich auszuwirken beginnen.

Um die bei sehr glatten Papieren durch Verminderung des Anpreßdruckes mögliche Steigerung der Qualität der Bildübertragung zu realisieren, ist es notwendig, die Gleichmäßigkeit des Aufzuges noch zu verbessern. Bei der Fertigung von Offset-Drucktüchern besteht jedoch die Tendenz, stärkere Gewebe zu bevorzugen, die sich während der Gummituchherstellung unter hoher Belastung vorstrecken lassen. Dadurch wird erreicht, daß das Tuch in der Maschine ein dehnungsarmes Verhalten aufweist und daher beim Drucken ruhiger liegt. Bei diesen Ausführungsformen bestimmt die Qualität des Gewebes weitgehend die Gleichmäßigkeit des Gummituches, und es ist dabei nicht einfach, hohen Anforderungen gerecht zu werden. Beim Untertuch ist es dagegen zweckmäßig, auf die bisher üblichen groben Gewebe zu verzichten, und es sind inzwischen auch sehr gleichmäßige Untertücher von feiner Gewebestruktur verfügbar.

β. Anpreßdruck zwischen Platten- und Gummizylinder

Der während des Auflagedrucks gemessene Anpreßdruck zwischen Platten- und Gummizylinder lag bei 5 kg/cm. Dieser vom Drucker aus Sicherheitsgründen sehr ausreichend bemessene Wert konnte ohne weiteres unterschritten werden. Für die gegebenen Verhältnisse wurden als untere Grenze 2,5 kg/cm ermittelt. Auch hier wird die Verringerung des Anpreßdruckes hauptsächlich durch Unebenheiten im Berührungsgebiet der Zylinder begrenzt, die von Dicken-schwankungen des Aufzuges und der Offsetplatte verursacht werden. Der Einfluß von Gummituchrauigkeit und Plattenart ist von untergeordneter Bedeutung. Merklich höhere Anpreßdrücke sind bei Zinkplatten nur dann nötig, wenn größere Dickenunterschiede vorhanden sind, die meist von einer unsachgemäßen Behandlung wiederholt verwendeter Platten beim Schleifen und Körnen herrühren.

2. Verteilung der Druckkräfte im Berührungsgebiet

a) Grundlagen

Bei Offset-Bogenrotationsmaschinen ist der Druckvorgang durch eine Rollbewegung unter Wirkung einer Normalkraft gekennzeichnet. Hierbei erfährt der Aufzug im Kontaktbereich der Zylinder Formänderungen, die u. a. von der Aufzugsbeschaffenheit, Druckkraft, Zylinderkrümmung und Rollgeschwindigkeit beeinflußt werden.

Der Formänderungsmechanismus des Aufzuges ist näherungsweise durch ein geeignetes mechanisches Modellsystem [15] anschaulich zu beschreiben. Der elastische und der plastische Zustand als die Grundtypen der Deformation werden hierbei dargestellt durch eine dem Hooke'schen Gesetz folgende Feder und durch einen dem Newton'schen Zähigkeitsgesetz entsprechenden Dämpfer. Es ergibt sich daher für die beiden Elemente folgende Weg-Kraft-Beziehung:

$$y_{\text{(Feder)}} = c P$$

$$y_{\text{(Dämpfer)}} = 1/\eta \int_0^t P dt.$$

y Verschiebung
 P Kraft
 c Federkonstante
 η Viskosität
 t Zeit

Im Gegensatz zum Federelement folgt der in einer viskosen Flüssigkeit befindliche durchlöcherter Kolben des Dämpfers jeder Kraftwirkung mit zeitlicher Verzögerung.

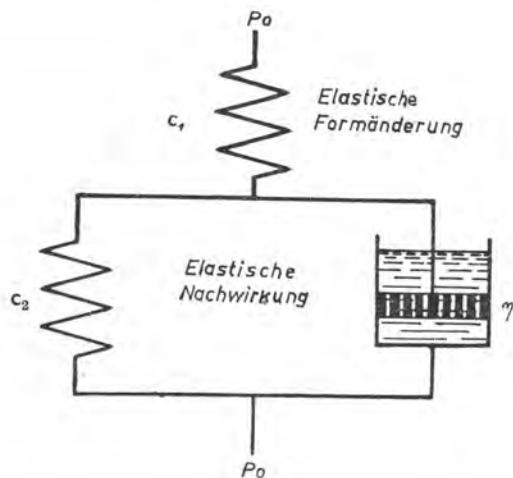


Bild 15 Mechanisches Modell für das viskoelastische Verhalten eines Offsetaufzuges

Das Beanspruchungsverhalten eines Offsetaufzuges kann durch die Koppelung einer Feder mit einer Kelvin-Einheit (Parallelschaltung von Feder und Dämpfer) angenähert werden (s. Bild 15).

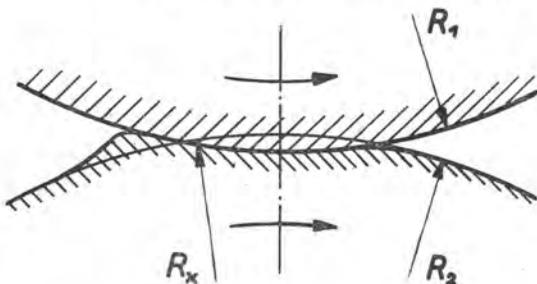
Bei Kräfteinwirkung ist die Größe der Gesamtverschiebung y_0 des gekoppelten Systems also abhängig von c_1 , c_2 , η und t . Das mechanische Modellsystem wird jedoch frei von elastischen Nachwirkungen, wenn η gegen Null oder Unendlich bzw. t gegen Null streben.

Auf die zeitlichen Änderungen unterliegenden Druckkräfte reagiert der Aufzug daher viskoelastisch, d. h. es sind von der stofflichen Beschaffenheit abhängige elastische Formänderungen und Nachwirkungen sowie andere Anomalien vorhanden. Außerdem treten während des Druckvorganges wegen der bereichsweise geltenden Ungleichung $R_x \neq R_1$ außerhalb des Haftgebietes der Offsetzylinder ($R_1 \sim R_2$) Gleitbewegungen und daher auch Tangentialkräfte auf, die zur Wulstbildung am Rande der Druckzone beitragen (vgl. Bild 16).

Eine rein elliptische Druckverteilung, wie sie zwei gegeneinandergepreßte, sich ideal elastisch verhaltende Zylinder bei der Abwesenheit von Tangentialkräften, d. h. bei gewährleisteter Reibungsfreiheit, nach der Theorie von Hertz aufweisen, ist daher bei Offsetmaschinen nicht mehr gegeben. Funk [16] hat zur Ermittlung der in Hochdruck-Rotationsmaschinen auftretenden Rollwiderstände die beim Abrollen eines starren Zylinders auf einer elastischen, ebenen Unterlage im Kontaktbereich vorhandene Druckverteilung mit Hilfe der Hertz'schen Formeln unter Berücksichtigung der elastischen Nachwirkungen berechnet. Demnach verursachen die von der Rollgeschwindigkeit abhängigen elastischen Nachwirkungen einen zunächst positiven, im Ablaufgebiet aber negativ werdenden Zusatzdruck, der die Druckverteilung im Berührungsbereich beeinflusst (s. Bild 17).

Diese Ergebnisse haben aber nur orientierenden Charakter, da bei der theoretischen Behandlung des Problems vereinfachende Annahmen notwendig waren und eine Reihe von Einflußgrößen unberücksichtigt bleiben mußte. Daher ist die

Bild 16 Aufzugsdeformation bei der Rollbewegung



Ermittlung der während des Druckprozesses in Offset-Bogenrotationsmaschinen tatsächlich auftretenden Druckverteilung nur auf experimentellem Wege möglich.

b) Meßanordnung

Zur meßtechnischen Erfassung der Druckverteilungskurve bei verschiedenen Betriebszuständen der Offsetmaschine konnte ebenfalls das DMS-Verfahren herangezogen werden. Die Registrierung der Meßgröße wurde mit Hilfe eines geeigneten in den Plattenzylinder eingebauten elektromechanischen Aufnehmers (s. Bild 18) und der entsprechenden elektronischen Apparatur vorgenommen. Dieser Aufnehmer ist ein empfindliches Dynamometer mit vernachlässigbarer Meßbewegung. Bei laufender Maschine kommt während jeder Umdrehung die im Verhältnis zur Druckzonenbreite schmale Meßfläche des Aufnehmertastkopfes kurzzeitig in Kontakt mit dem Gummizylinder und nimmt dabei die auf das Flächenelement wirkende Normalkraft in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Zylinders auf. Tangentialkräfte beeinflussen den Meßvorgang nicht, da ihre Wirkungslinie die Drehachse des Hebelsystems schneidet. Das wesentliche Konstruktionsmerkmal dieses Systems ist der biegunstiefe, aus einem Stück gefertigte Torsionshebel (Werkstoff: Titanlegierung). Der Torsionsstab des Hebels wird durch die beiden zapfenförmigen Übergangsstücke zwischen dem eigentlichen Hebelkörper und den Lagerklötzchen gebildet. Aus Stabilitätsgründen erhielten diese Eindrehungen nur eine Breite von 0,3 mm. Sein Durchmesser wurde so dimensioniert, daß während der Kräfteinwirkung der am anderen Hebelende frei aufgehängte $\sim 0,04$ mm dicke 120 Ohm Phenolharz-Dehnungsmeßstreifen* nur eine sehr kleine, für hohe Meßempfindlichkeit ausreichende Dehnung erfährt.

Ablaufgebiet

Auflaufgebiet

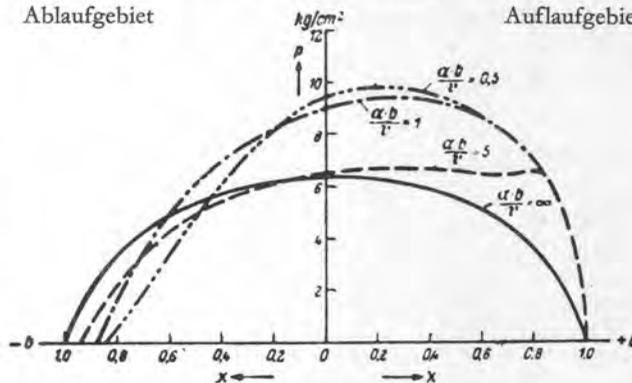


Bild 17 Berechnete Druckverteilungskurven [17]

α Relaxationsgeschwindigkeit
 b halbe Berührungsbreite
 v Rollgeschwindigkeit

Die mit dem Zylindermantel oberflächengleiche Meßfläche des Tastkopfes wird umschlossen von dem der Zylinderkrümmung angepaßten Deckelkörper. Der die beiden Oberflächen trennende Spalt ist $\leq 0,01$ mm. Der Aufnehmer besitzt Zusatzeinrichtungen zum Vorspannen des Meßstreifens und zum Eichen im eingebauten Zustand. Vor unerwünschten Temperaturschwankungen und anderen Störeinflüssen werden die Dehnungsmeßstreifen durch eine Plexiglashaube geschützt.

Die elektronische Meßapparatur zur Bestimmung der Druckverteilung bestand aus dem Meßverstärker KWS II/50 der Firma Hottinger und dem Gleichspannungsszillographen GM 5166 von Philips. Zur Registrierung diente die sehr variable Zeiß-Philips-Kamera »Frequentophot«. Diese Meßanordnung (s. Bild 19) entspricht in der Wirkungswiese der bereits beschriebenen Einrichtung zur Dehnungsmessung, weist aber für den vorgesehenen Meßzweck gegenüber der alten Apparatur eine Reihe von Vorteilen auf.

* Sonderausführung für das Institut von der Firma Hottinger, Darmstadt.

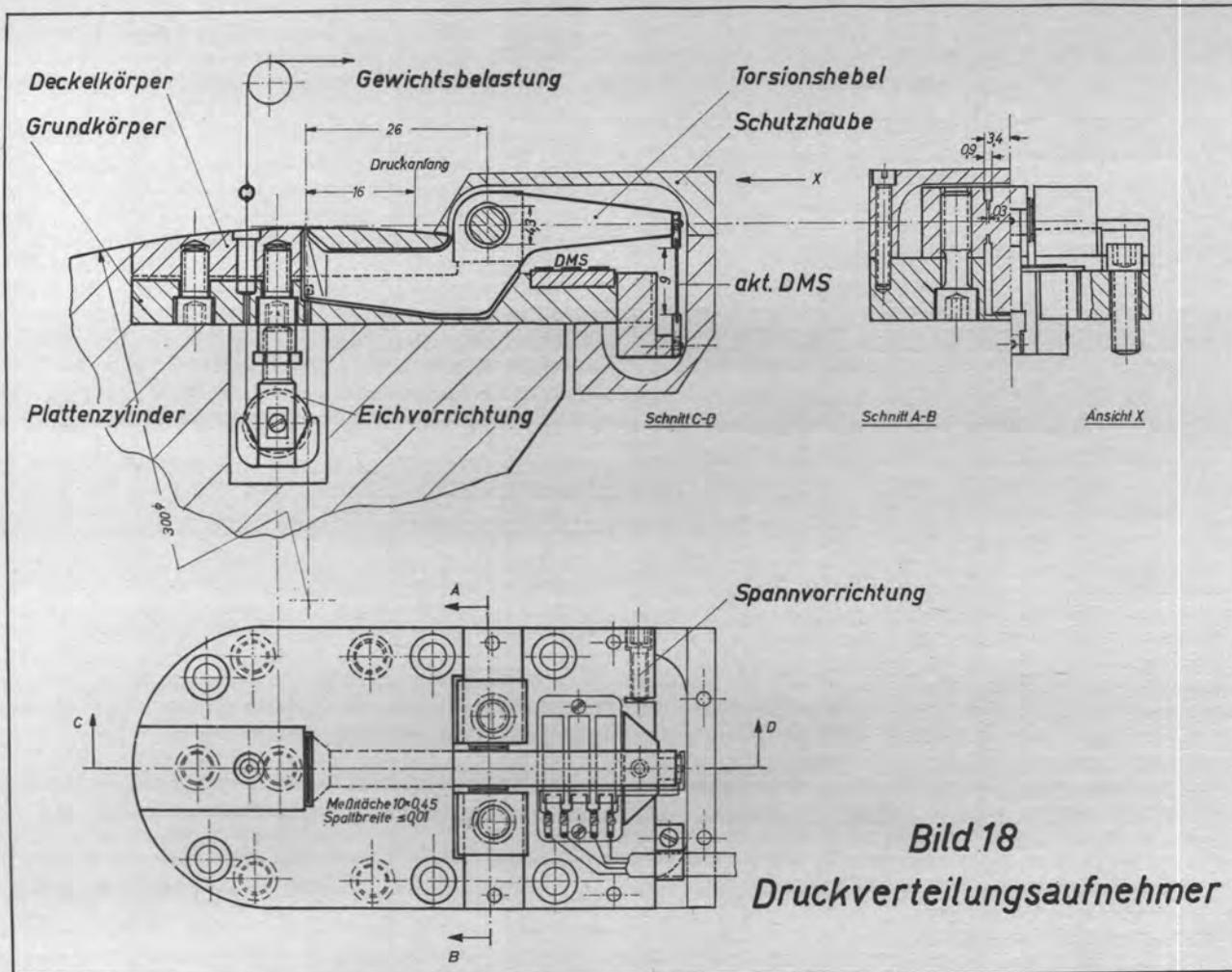


Bild 18
Druckverteilungsaufnehmer

Der KWS II/50 (Bild 20) ist als eine für 120 Ohm DMS vorgesehene 50 KHz Trägerfrequenz-Meßbrücke von großer Meßempfindlichkeit geeigneter zur verzerrungsfreien Wiedergabe schnell ablaufender Vorgänge und zur Erfassung sehr kleiner Dehnungen. Außerdem gestattet dieser Meßverstärker den Anschluß von ganzen DMS-Brücken (Viermeßstreifenschaltung). Es ist daher möglich, die Schleifringe aus der Brückenordnung durch das Unterbringen aller vier Brückenarme auf dem rotierenden Zylinder zu eliminieren und eine von veränderlichen Übergangswiderständen herührende Beeinflussung des Meßergebnisses auszuschalten.

Um im Oszillogramm die Druckverteilungskurve direkt zu erhalten, wurde das qualitativ sehr gute demodulierte Ausgangssignal des KWS II/50 dem Gleichspannungsozillographen zugeführt. Bei der Registrierung des Vorganges durch den Frequentophoton konnte wegen der sehr konstanten Ablaufgeschwindigkeit auf das Mitschreiben einer Zeitmarke verzichtet werden.

Zur Charakterisierung der Funktionstüchtigkeit des elektromechanischen Aufnehmers können die Eichkurve (Bild 21), das Schwingungsverhalten nach der durch schnelles Durchschneiden des belasteten Eichfadens erfolgten Stoßbeanspruchung (Bild 22) und das einer Meßreihe entnommene gut reproduzierbare Oszillogramm einer Druckverteilungskurve (Bild 23) dienen.

Der Aufnehmer wurde im eingebauten Zustand geeicht. Der Eichkurve ist zu entnehmen, daß der Aufnehmer linear arbeitet und eine gute Nullpunktlage besitzt. Der hysteresefreie Meßstreifen, die genügend hohe Eigenschwingungszahl des Meßsystems von 4160 Hz (vgl. Bild 22) und der Wegfall von

störenden Massenkräften gewährleisten die verzerrungsfreie Wiedergabe der Druckverteilungskurve.

Mit dem bereits früher erwähnten induktiven Aufnehmer wurde die Gesamtverlagerung des stufenweise bis 1200 g belasteten Hebelastkopfes kontrolliert. Die maximale Gewichtsbelastung entspricht ungefähr der Höchstbeanspruchung während des Meßvorganges im Extremfall. Die so ermittelte Gesetzmäßigkeit genügt der Gleichung

$$S = 0,0063 p. \quad \begin{array}{l} S [\mu] \text{ Einsenkung} \\ p [\text{g}] \text{ Belastung des} \\ \text{Aufnehmers} \end{array}$$

Aus obiger Gleichung ergibt sich, daß die nur einige Tausendstel Millimeter betragende Hebelverlagerung während des Meßvorganges sehr klein gegenüber der hierbei auftretenden Aufzugskompression von 1 bis 2 Zehntel Millimeter ist und innerhalb des Bereichs der Dickentoleranzen des Aufzuges liegt, so daß eine meßtechnisch mögliche weitere Verringerung der Meßbewegung nicht in Betracht gezogen werden braucht. Die Feinjustierung des Hebels für die verschiedenen Belastungsstufen erfolgte durch Einschleifen. Hierfür war maßgebend, daß unter der Wirkung der jeweiligen halben Maximalbelastung die Meßfläche des Tastkopfes und die Mantelfläche des Zylinders niveaumäßig übereinstimmen.

c) Ergebnisse

Die Ermittlung der Druckverteilungskurve für verschiedene Betriebszustände der Offsetmaschine erfolgte mit Hilfe der beschriebenen Versuchseinrichtung unter Berücksichtigung

aller notwendigen meß- und maschinentechnischen Erfordernisse. Von besonderem Interesse bei diesen Untersuchungen waren Aussagen über die Einflußnahme von Aufzugsart, Anpreßdruck und Maschinengeschwindigkeit auf die Druckverteilung. Es wurden daher drei verschiedene Aufzüge folgender Zusammensetzung getestet:

- Gummituch + Untertuch (gebräuchlichster mittel-harter Aufzug)
- Gummituch + Billardtuch (weicher Aufzug)
- Gummituch + Manilakarton (harter Aufzug).

Bei jeder Aufzugskombination wurden verschiedene, drucktechnisch vertretbare Druckanstellungen vorgenommen. Die Festlegung des jeweils niedrigsten Anpreßdruckes erfolgte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen ausgleichenden Wirkung der verwendeten Aufzüge.

Da vom Druckverteilungsaufnehmer außerhalb des druckenden Bereichs der Zylindermantel teilweise durchbrochen wurde, ist das Farb- und Feuchtwerk der Offsetmaschine vor der Inbetriebnahme ausgebaut worden. Für die niedrigste Geschwindigkeitsstufe (1 Uph) war ein Zusatzgetriebe notwendig. Das verwendete Gummituch besaß eine glatte Oberfläche. Die Gummituchspannung wurde mit Hilfe eines Momentenschlüssels bei allen drei Aufzügen konstant gehalten (Spannmoment 6 kgm).

Die Untersuchungsergebnisse kennzeichnen das Aufzugsverhalten der Versuchsmaschine im Betriebszustand und sind in Bild 24 sowie durch die in Tabelle 2 enthaltene zahlenmäßige Auswertung der Druckverteilungskurven des Bildes 24 zusammengefaßt. Die im rechtwinkligen Koordinatensystem unter Berücksichtigung der Maßstabsfaktoren wiedergegebenen Druckverteilungskurven sind proportional den von der elektronischen Meßeinrichtung auf Film registrierten Kurven. Durch diese experimentellen Ergebnisse wird die Druckverteilung in funktioneller Abhängigkeit von verschiedenen variablen Einflußfaktoren erfaßt. Bei der Kurvendiskussion kann zunächst festgestellt werden, daß sich die drei verschiedenen Aufzüge hinsichtlich des Einflusses der Maschinengeschwindigkeit ähnlich verhalten. Gegenüber dem quasi-statischen Belastungszustand ($v = 1$ Uph) ist ein zunächst sehr ausgeprägter geschwindigkeitsabhängiger Druckanstieg vorhanden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich bei höheren Laufgeschwindigkeiten maschinenbedingte Sekundäreinflüsse (z. B. Achsabstandsveränderungen infolge Zylinderdurchbiegungen und andere Ursachen) ebenfalls auf das Meßergebnis auswirken.

Ein weiteres Kennzeichen für das viskoelastische Verhalten der Offsetaufzüge ist die Verringerung der Druckzonenbreite bei dynamischer Beanspruchung des Aufzugs. Die hierbei auftretende Asymmetrie der Druckverteilungskurve ist wesentlich geringer als bisher vielfach angenommen wurde. Die feststellbaren Unterschiede im viskoelastischen Verhalten der drei Aufzugskombinationen sind auf die ungleichartige stoffliche Beschaffenheit der Unterlagen zurückzuführen.

Die im Kontaktbereich der Zylinder auftretenden Druckkräfte können zahlenmäßig auf verschiedene Weise charakterisiert werden. In Tabelle 2 sind daher die pro Zentimeter Zylinderbreite auftretende Belastung sowie der Maximal- und Mittelwert der Druckamplitude einander gegenübergestellt. Die Maschinenbeanspruchung während des Druckvorganges ist durch die Gesamtbelastung gekennzeichnet, ihr Zahlenwert vermittelt jedoch keine Aussagen über die Druckverteilung. Aus dem Mittelwert der Druckamplitude und der Druckzonenbreite ist die Gesamtbelastung erchenbar. Je mehr sich der Maximalwert der Druckamplitude von der Belastung pro Zentimeter Zylinderbreite unterscheidet, desto vorteilhafter sind die drucktechnischen Verhältnisse.

Aus den Druckverteilungskurven für die drei verschiedenen Aufzugsmaterialien geht nach Bild 25 anschaulich der Einfluß der Aufzugshärte auf die Druckzonenbreite hervor. Bei

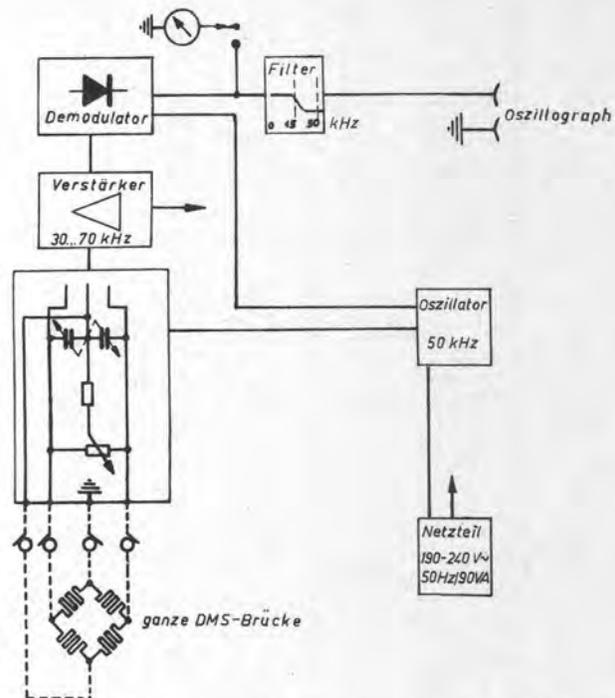


Bild 20 Prinzipialschaltbild des Trägerfrequenzmeßverstärkers KWS II/50

Bild 21 Eichkurve des Druckverteilungsaufnehmers

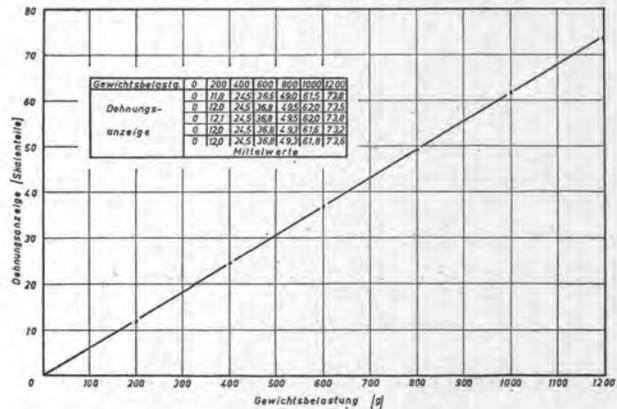


Bild 22 Schwingungsverhalten des Druckverteilungsaufnehmers nach Stoßbeanspruchung. Eingezeichnete Zeitmaßstab: Strichlänge $\approx 10^{-8}$ s

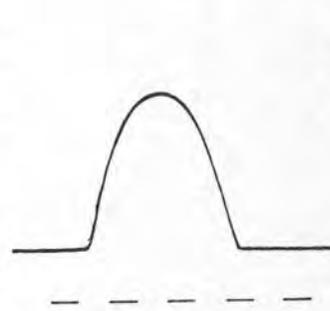


Bild 23 Oszillogramm einer Druckverteilungskurve. 4000 Uph. Eingezeichnete Zeitmaßstab: Strichlänge $\approx 10^{-8}$ s

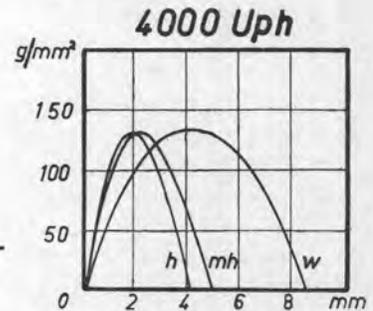
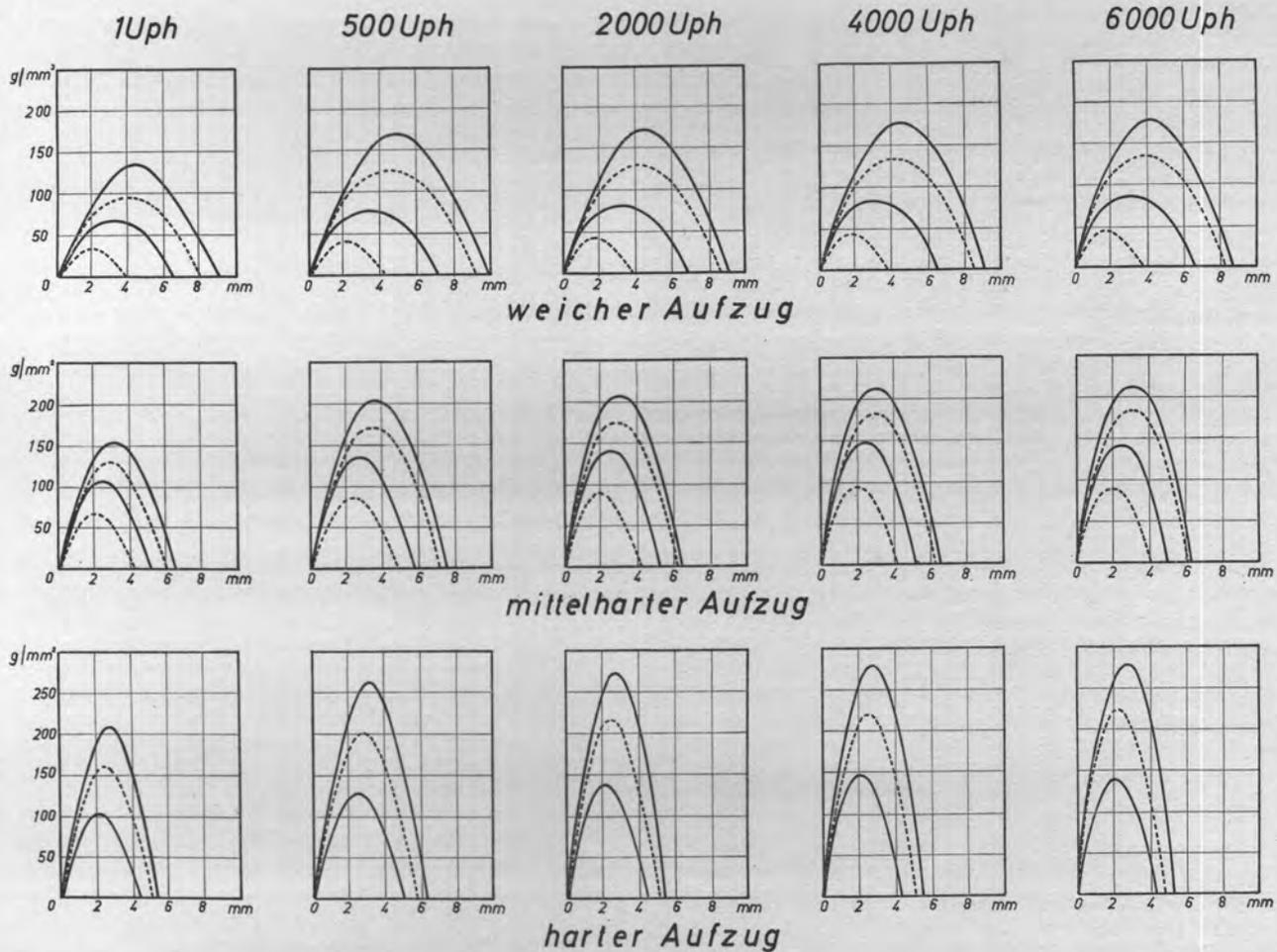


Bild 25 Kennzeichnung des Aufzugsverhaltens bei gleicher maximaler Druckamplitude
h harter Aufzug
mh mittelharter Aufzug
w weicher Aufzug

BILD 24 DRUCKVERTEILUNGSKURVEN DER OFFSET - BOGENROTATIONSMASCHINE



gleicher maximaler Druckamplitude hat der weiche Aufzug die größte Druckzonenbreite und verursacht daher auch die größte Gesamtbelastung.

Für die Übertragung der Druckfarbe ist in erster Linie die Höhe der maximalen Druckamplitude maßgebend. Eine große Druckzonenbreite begünstigt die Farbübertragung infolge der längeren Kontaktzeit (Verweilzeit einer Mantellinie im Bereich der Druckzone) nur unwesentlich, verursacht aber ausgeprägtere, die Qualität der Wiedergabe vermindernde Gleitbewegungen im Berührungsbereich. Es ist daher ein Aufzug vorzuziehen, der die maximal notwendige Druckamplitude bei geringster Druckzonenbreite, also bei

niedrigster Gesamtbelastung der Maschine, hervorbringt. Die zum Übertragen der Farbe notwendige maximale Druckamplitude hängt wesentlich von der Stabilität der Druckmaschine und der Gleichmäßigkeit des Aufzugs ab. Obwohl theoretisch der harte Aufzug drucktechnisch am günstigsten ist, wird bei den derzeitigen Maschinenverhältnissen der mittelharte Aufzug wegen seiner besser ausgleichenden Wirkung die vorteilhaftere Druckanstellung ermöglichen. Das auch vom Zylinderdurchmesser abhängige Verhältnis zwischen dem Maximalwert der Druckamplitude und der vorhandenen Belastung pro Zentimeter Zylinderbreite wird natürlich mit steigendem Durchmesser drucktechnisch ungünstiger.

B. Verhalten von Offsetfarben unter Druckbedingungen

1. Grundlegende Betrachtungen

Die Problemstellung erfordert zunächst, auf die stoffliche Beschaffenheit, den Deformationsmechanismus und die bisher angewendeten Prüfmethode näher einzugehen. [18] [19]

a) Aufbau und Eigenschaften

Offsetfarben bestehen im wesentlichen aus dem dispergierenden Bindemittel und dem färbenden Pigment. Für eine gute Verdruckbarkeit sind vor allem eine zweckmäßige Bindemittelzusammensetzung, die Größe der dispergierten Partikel, der Grad ihrer Verteilung und die Stabilität des Systems ausschlaggebend.

Pigmente besitzen entweder einen einheitlichen Farbkörper (z. B. Ruße, Erd- und Mineralfarben) oder sind das Ergebnis

eines Verlackungsprozesses, bei dem auf in wässriger Lösung feinverteiltes Substrat (z. B. Aluminiumhydroxyd) ein organischer Farbstoff niedergeschlagen, der Pigmentbrei abgefiltert, getrocknet und zu Pulver vermahlen wird. Um hohen Anforderungen hinsichtlich der Feinheit und Qualität des Pigments auf wirtschaftliche Weise nachzukommen, werden neuerdings durch Anwendung des Flushprozesses [20] die in wässriger Lösung anfallenden Pigmente unter Erhaltung der bei der Fällung vorhandenen sehr kleinen Teilchengröße direkt in die ölige Phase des Bindemittels übergeführt. Auf diese Weise ist es möglich, eine sehr gleichmäßige Struktur mit ungefähr 1μ großen, vollständig benetzten Teilchen zu erhalten, während die aus gepulverten Pigmenten hergestellten Farben kleinste, aber auch sehr große Partikel aufweisen können. Vor dem Dispergieren werden die Pigmente mit

TABELLE 2 ZAHLENMÄSSIGE AUSWERTUNG DER DRUCKVERTEILUNGSKURVEN

		weicher Aufzug				mittelharter Aufzug				harter Aufzug			
1 Uph	Maximale Druckamplitude [kg/cm ²]	3,4	6,8	9,7	13,4	6,7	10,7	12,9	15,5	10,3	16,1	20,8	
	Mittlere Druckamplitude [kg/cm ²]	2,1	4,6	6,6	8,4	4,2	6,6	8,2	10,0	6,5	10,1	13,7	
	Belastung pro cm Zylinderbreite [kg/cm]	0,8	3,0	5,3	7,5	1,8	3,4	5,0	6,5	2,8	5,1	7,3	
	Kontaktzeit [s]	14,9	24,8	30,5	34,4	16,0	19,5	23,3	24,8	16,8	19,1	20,4	
500 Uph	Maximale Druckamplitude [kg/cm ²]	4,2	7,8	12,7	16,9	8,5	13,4	16,9	20,4	12,8	20,2	26,2	
	Mittlere Druckamplitude [kg/cm ²]	2,7	5,7	8,9	10,7	5,1	8,8	11,4	13,3	8,0	13,0	16,5	
	Belastung pro cm Zylinderbreite [kg/cm]	1,2	4,0	8,1	10,6	2,5	5,1	8,0	10,0	4,0	7,5	10,4	
	Kontaktzeit [s]	0,0329	0,0543	0,0695	0,0757	0,0370	0,0439	0,0538	0,0574	0,0382	0,0439	0,0482	
2000 Uph	Maximale Druckamplitude [kg/cm ²]	4,2	8,1	13,0	17,1	8,9	14,0	17,5	20,7	13,7	21,5	27,2	
	Mittlere Druckamplitude [kg/cm ²]	2,8	5,6	8,8	10,9	5,5	9,4	11,8	13,6	8,5	13,4	18,1	
	Belastung pro cm Zylinderbreite [kg/cm]	1,1	3,8	7,5	9,8	2,3	4,9	7,3	8,7	3,8	6,9	9,8	
	Kontaktzeit [s]	0,0073	0,0130	0,0164	0,0172	0,0080	0,0099	0,0117	0,0122	0,0086	0,0098	0,0103	
4000 Uph	Maximale Druckamplitude [kg/cm ²]	4,3	8,3	13,4	17,6	9,4	14,8	18,2	21,3	14,7	21,9	27,8	
	Mittlere Druckamplitude [kg/cm ²]	3,1	5,9	8,9	11,7	6,2	9,8	12,3	14,2	9,7	14,3	18,4	
	Belastung pro cm Zylinderbreite [kg/cm]	1,2	3,8	7,6	10,5	2,6	5,1	7,8	9,3	4,2	7,3	10,3	
	Kontaktzeit [s]	0,0035	0,0062	0,0081	0,0086	0,0040	0,0049	0,0060	0,0063	0,0041	0,0049	0,0052	
6000 Uph	Maximale Druckamplitude [kg/cm ²]	4,4	8,7	13,4	17,8	9,0	14,1	18,3	21,1	13,9	22,2	28,0	
	Mittlere Druckamplitude [kg/cm ²]	2,9	6,3	9,1	11,8	6,4	9,8	12,5	14,7	9,5	15,0	19,0	
	Belastung pro cm Zylinderbreite [kg/cm]	1,1	4,1	7,5	10,1	2,6	4,9	7,7	9,3	4,1	7,2	10,1	
	Kontaktzeit [s]	0,0024	0,0042	0,0052	0,0055	0,0025	0,0032	0,0039	0,0040	0,0027	0,0031	0,0034	

einem Substrat, z. B. Tonerdehydrat, aus preislichen Gründen und um die Fließeigenschaften der Farbe zu verbessern, verschnitten. Offsetfarben enthalten ungefähr 35 bis 50% feste (nicht lösliche) Bestandteile (Pigment + Substrat). Das Bindemittel setzt sich aus polymerisiertem Leinöl (Firnis), Mineralöl und Harzen zusammen. Aus diesen Bestandteilen entsteht nach dem gemeinsamen Erhitzen ein Gemisch von zähflüssiger Beschaffenheit. Hinzu kommen noch Trockstoffe und evtl. andere Zusätze, z. B. Wachse. Von Offsetfarben ist zu fordern, daß sie in allen Phasen des Farbübertragungsvorganges den auftretenden Beanspruchungen gewachsen sind. Es wird also von der zunächst im Farbkasten in Ruhe befindlichen Druckfarbe verlangt, daß sie

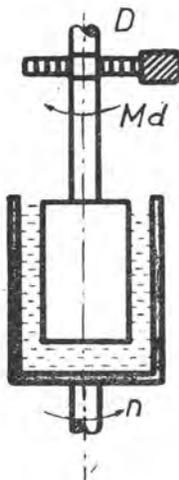
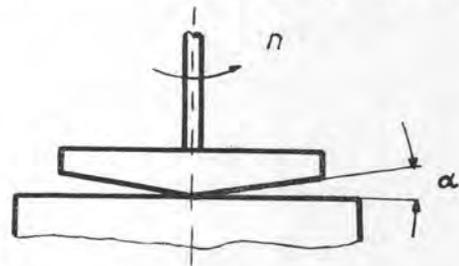


Bild 26
Rotationsviskosimeter nach dem Couette-Prinzip

sich nach Überführung ins Farbwerk gut auf den Walzen verteilen und gleichmäßig zu den Auftragswalzen weitertransportieren läßt. Beim Einfärben der Offsetplatte darf das dabei von der Farbe aufgenommene Feuchtwasser ihr rheologisches Verhalten nicht wesentlich beeinflussen. Außerdem muß gewährleistet sein, daß auch bei hohen Druckgeschwindigkeiten eine genügend große Farbmenge von der Offsetplatte über das Gummituch vorlagegetreu auf das Papier übertragen wird und die bei der Farbspaltung auftretenden Kräfte das Papier nicht extrem beanspruchen. Die Reaktionen der Offsetfarben während der mechanischen Beanspruchung beim Druckprozeß sind abhängig von den Eigenschaften des Bindemittels und Pigments sowie von den Wechselwirkungen dieser Komponenten. Die „Bindemittelviskosität“, der „Zug“ oder „Tack“ (Widerstand gegen die Filmspaltung bei hoher Trenngeschwindigkeit) und die „Länge“ eines aus der Substanz gezogenen Fadens im Augenblick des Reißens werden von der Form (kugelig, plättchen- oder stäbchenförmig), Größe, Benetzbarkeit und Konzentration des dispergierten Pigments, sowie vom Vorhandensein, der Art und Beständigkeit von Agglomeraten und Raumstrukturen beeinflusst. Es ist daher notwendig, die Auswirkungen dieser Faktoren zu kontrollieren.

Bild 27
Kegel-Platte-System



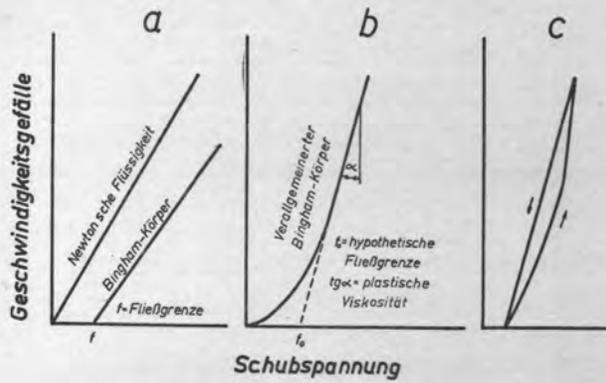


Bild 28 Darstellung des Fließverhaltens

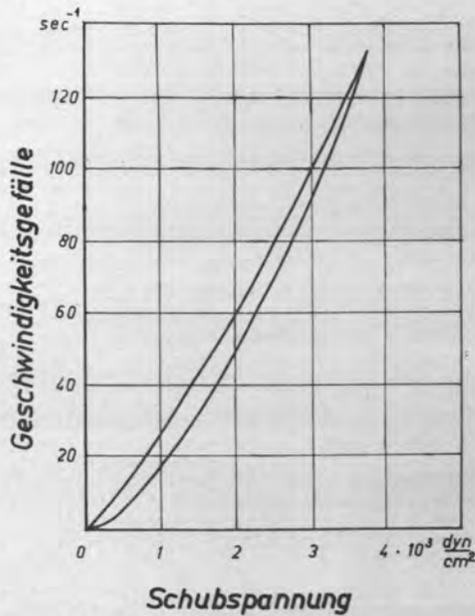
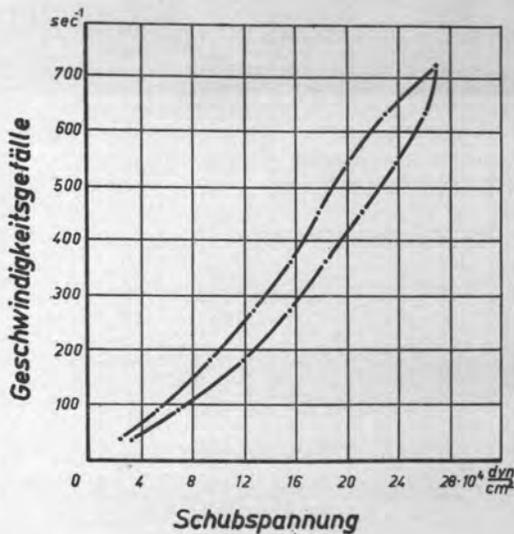


Bild 29 Vom Helmes-Viskosimeter registrierte Fließkurve der Offsetfarbe S₃

Bild 30 Vom Shirley-Viskosimeter registrierte Fließkurve der Offsetfarbe S₃



b) Fließverhalten

Offsetfarben sind fließfähige Substanzen, können also nicht-umkehrbare Formänderungen erfahren, die vom Platzwechsel der Bindemittelmoleküle herrühren. Ihrem Fließverhalten entsprechend liegen sie zwischen Newtonschen Flüssigkeiten und Hookeschen Körpern. Über das komplexe Verhalten solcher Substanzen haben *Maxwell* und *Bingham* grundlegende Arbeiten veröffentlicht [21].

Das Newtonsche Reibungsgesetz

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \text{const.}$$

η	$\left[\frac{\text{dyn s}}{\text{cm}^2} \right]$	Viskosität
τ	$\left[\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} \right]$	Schubspannung
$\frac{dv}{dy}$	$\left[\frac{1}{\text{s}} \right]$	Geschwindigkeitsgefälle

verliert daher für diese Stoffe seine Gültigkeit. Zum Studium der Fließerscheinungen von Offsetfarben können Fließkurven dienen. Hierfür ist die Ermittlung der Abhängigkeit zwischen Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle notwendig. Für dieses Meßproblem wird am zweckmäßigsten ein Rotationsviskosimeter verwendet. Bei der Standardausführung des Rotationsviskosimeters findet das Prinzip von *Comette* (Bild 26) Anwendung. Die zu untersuchende Substanz befindet sich hierbei zwischen koaxialen zylindrischen Meßflächen. Bei höheren Drehzahlen werden die zur Viskositätsbestimmung erforderlichen stabilen Strömungsverhältnisse [22] im Meßspalt durch das Rotieren des äußeren Zylinders weitgehend sichergestellt. Daher wird zweckmäßigerweise am inneren Zylinder das von der Substanz verursachte Drehmoment als Maß für die vorhandene Schubspannung mit Hilfe einer Spiralfeder oder neuerdings auch „weglos“ mit Hilfe eines elektro-mechanischen Wändlers [23] ermittelt. An Stelle des zylindrischen Meßspaltes kann auch, wie z. B. beim Shirley-Viskosimeter der Firma *Ferranti*, Manchester [24], ein Kegel-Platte-System (Bild 27) verwendet werden. Aus Drehmoment, Drehzahl und den geometrischen Verhältnissen des Meßsystems lassen sich rechnerisch Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle ermitteln. Außerdem besteht die Möglichkeit, rechnerisch nicht zu erfassende Einflüsse durch das Eichen des Viskosimeters mit Newtonschen Flüssigkeiten von bekannter Viskosität zu berücksichtigen.

Im dem mit der zu untersuchenden Druckfarbe beschickten Rotations-Viskosimeter wird die zu jedem einstellbaren Geschwindigkeitsgefälle gehörende Schubspannung ermittelt. Dadurch ist es möglich, die Fließkurve punktwise aufzunehmen, sie kann aber auch sofort in Kurvenform erhalten werden bei Verwendung eines registrierenden Viskosimeters. Ein solches Gerät ist z. B. das nach dem Couette-Prinzip arbeitende Struktur-Viskosimeter von *Helmes* [25].

Offsetfarben weisen als hochpigmentierte Substanzen im Gegensatz zu Newtonschen Flüssigkeiten (Bild 28, a), deren Viskosität unabhängig von der Schubspannung und auch von einem Zeitfaktor ist, ein kompliziertes Fließverhalten auf. Sie können als verallgemeinerte Bingham-Körper (Bild 28, b) betrachtet werden. Das in Bild 28 a dargestellte Fließverhalten des Bingham-Körpers kennzeichnet die Reaktion eines ideal plastischen Stoffes auf Schubspannungen. Für die Existenz einer Fließgrenze sind das Vorhandensein von Partikelstrukturen und starken Wechselwirkungskräften Voraussetzung. Das beim Bingham-Körper theoretisch sprunghaft einsetzende linearviskose Fließen nach vorausgegangener elastischer Verformung ist als Folge des momentanen Zusammenbruchs von bestehenden strukturellen Wechselwirkungen anzusehen. Praktisch vollzieht sich aber das Auseinanderbrechen von Partikelstrukturen und die Strömungsorientierung nicht-kugelliger Bestandteile (z. B. Bruchstücke bzw. nadel- oder scheibenförmige Pigmentformen) erst innerhalb eines gewissen Zeitintervalls. Der Fließwiderstand solcher Substanzen

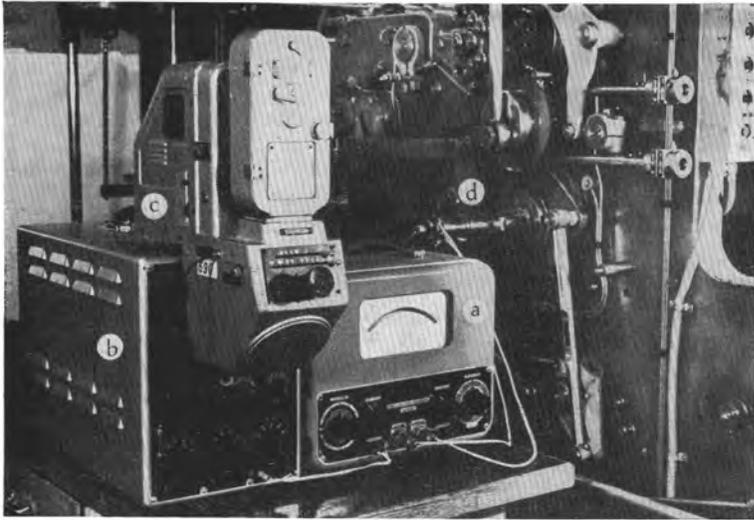


Bild 12 Meßplatz an der Versuchsmaschine
(Anpreßdruckmessung)
a Dehnungsmessbrücke
b Elektronenstrahloszillograph
c Registrierkamera
d Schleifringgerät

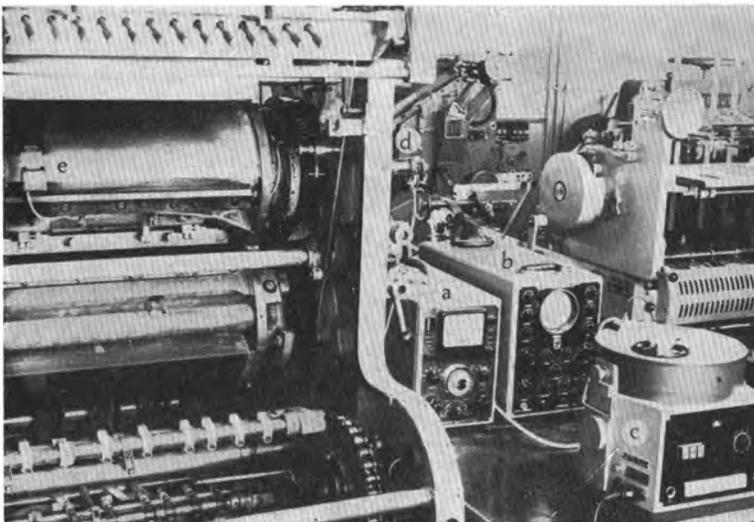


Bild 19 Meßanordnung zur Bestimmung der Druckverteilung
a Trägerfrequenz-Meßverstärker
b Gleichspannungszillograph
c Frequenzphot
d Schleifringgerät
e Druckverteilungsaufnehmer

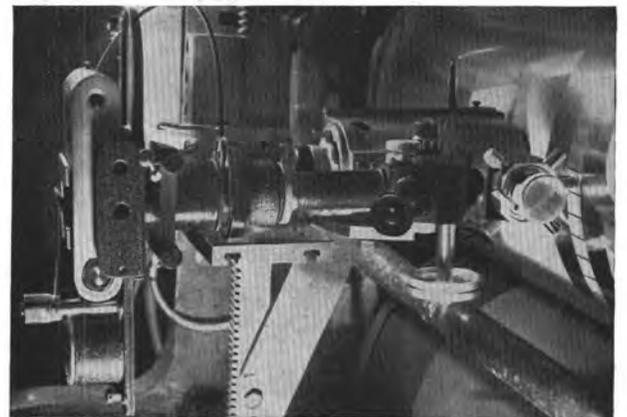


Bild 42 Anordnung des Interferenzmikroskopes

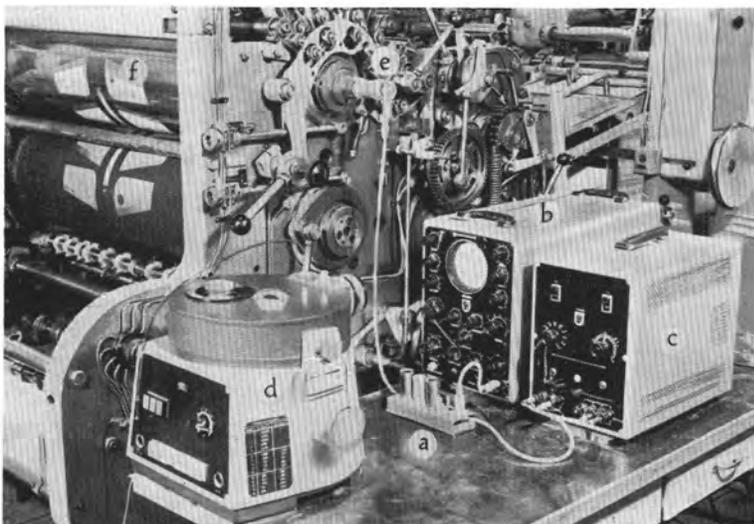


Bild 62 Meßanlage für die Farbspaltungsuntersuchungen
a Vorverstärker
b Gleichspannungszillograph
c Gleichstromspeisegerät
d Frequenzphot
e Schleifringgerät
f Aufnehmer

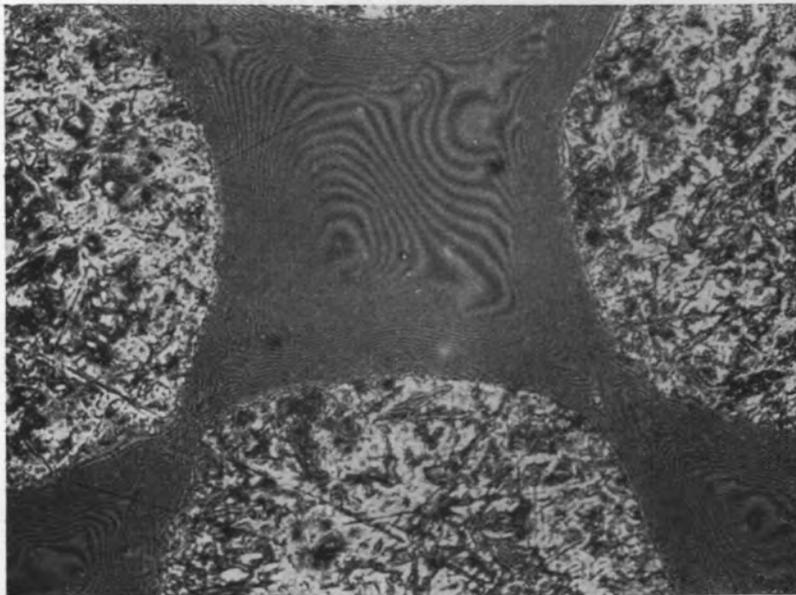
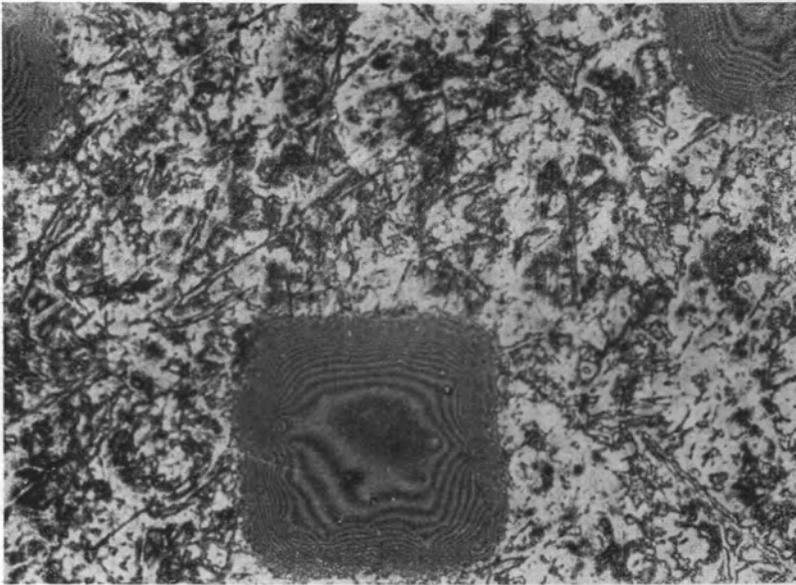
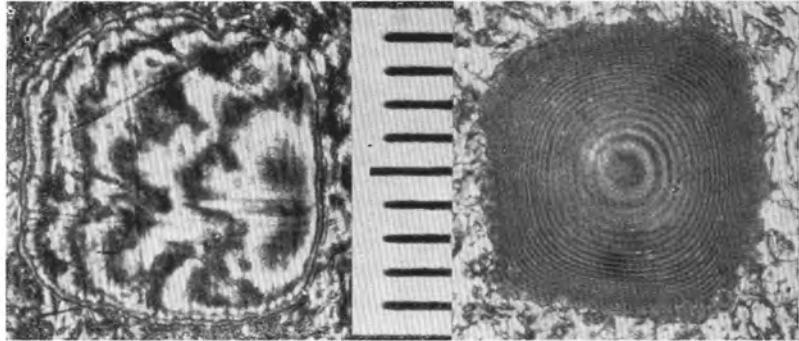


Bild 44



Bild 43



2000 Uph

4000 Uph

6000 Uph

Bild 45



$1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$

$1,1 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$

$1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$

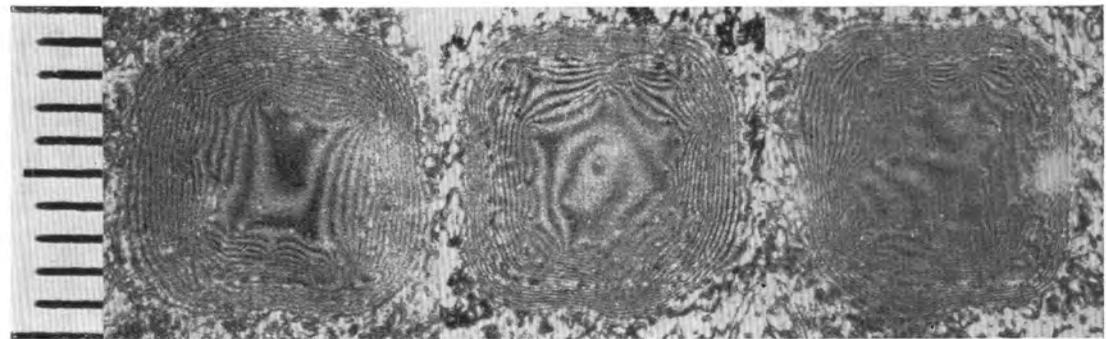
FARBVOLUMEN

2000 Uph

4000 Uph

6000 Uph

Bild 47

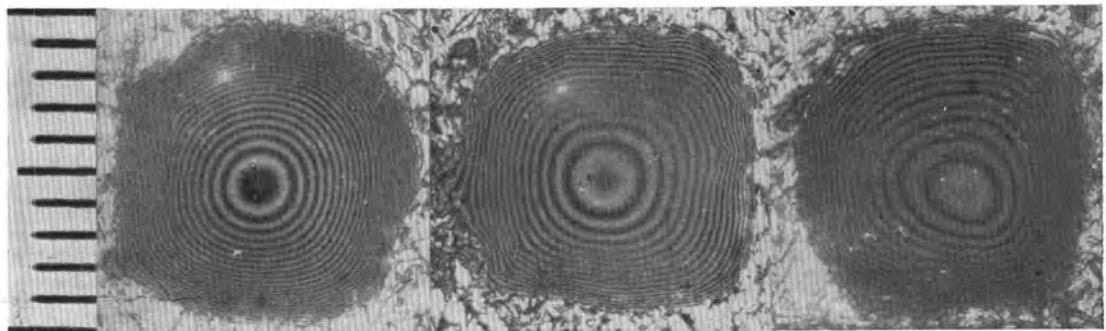


2000 Uph

4000 Uph

6000 Uph

Bild 48

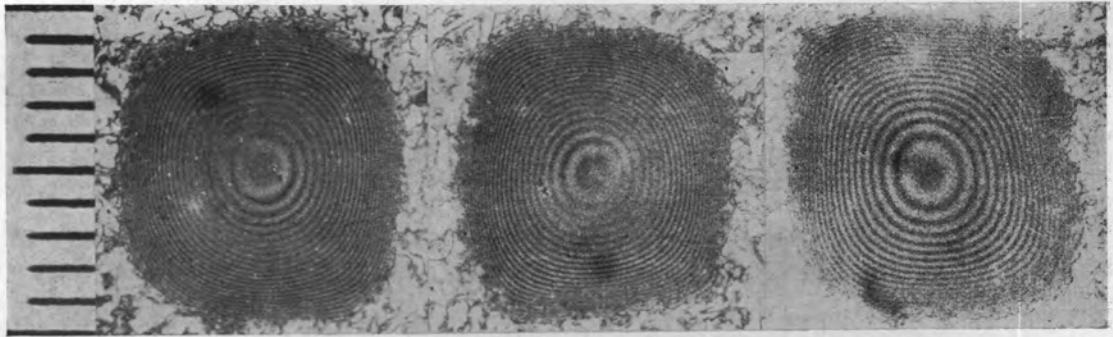


2000 Uph

4000 Uph

6000 Uph

Bild 49



4000 Uph

6000 Uph

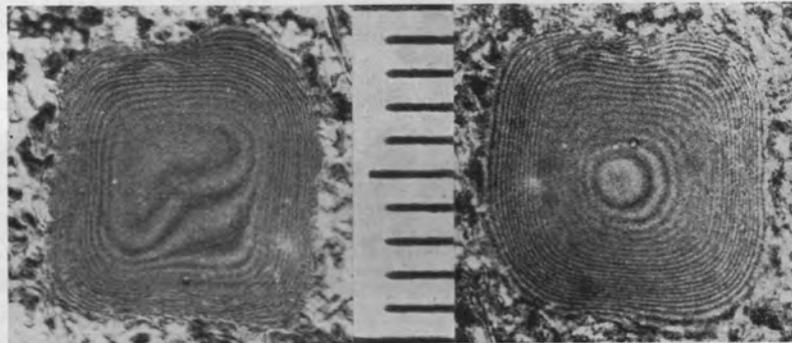


Bild 50

Bild 46

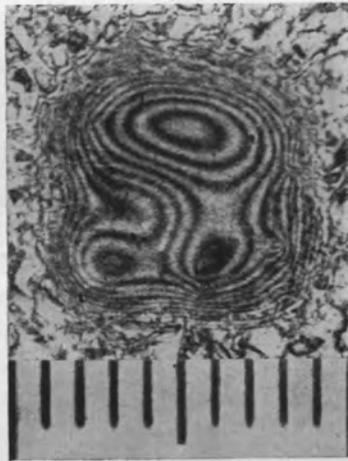
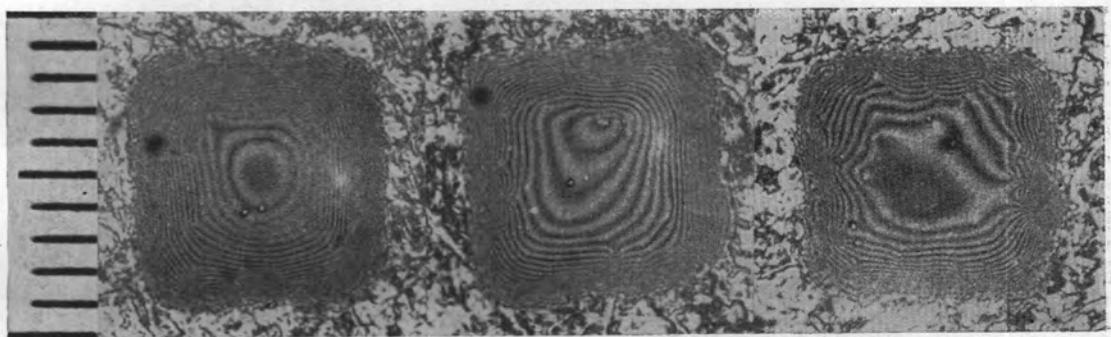


Bild 52



Bild 51



nimmt daher zunächst kontinuierlich ab. Die Fließkurve besitzt dann einen gekrümmten Anstieg und geht erst bei höheren Schubspannungen in den Linearast über. Wird anschließend die Schubspannung durch Drehzahlverminderung wieder reduziert, so ist das Fließverhalten der vorbeanspruchten Farbe im gesamten Meßbereich linear, sofern dabei kein Wiederaufbau der Partikelstruktur erfolgt und keine der anderen oben angeführten zusätzlichen Einflußfaktoren wirksam werden (Bild 28, c). Die vom Kurvenzug umschlossene Schleifenfläche kann als Maß für die Thixotropie der Farbe herangezogen werden. Dieser Begriff wurde von *Freundlich* [26] eingeführt zur Kennzeichnung der reversiblen isothermen Gel-Sol-Gel Transformation, die insbesondere von der Beanspruchungsdauer und Regenerationszeit abhängig ist. Diese Erscheinung ist bedingt durch die strukturzerstörende Wirkung äußerer Kräfte und abhängig von der Fähigkeit zur Neubildung im Ruhezustand. Der Fließwiderstand wird während der Strukturauflösung erniedrigt und durch die Neubildung erhöht.

Fließkurven vermitteln keine absoluten, sondern nur relative Aussagen. Das Fließverhalten heterogener Substanzen ist nämlich abhängig von den geometrischen Verhältnissen des verwendeten Viskosimetertyps und von speziellen Versuchsbedingungen. Bei der Deutung von Fließkurven ist in Betracht zu ziehen, daß als Ursache für auftretende Kurvenkrümmungen nicht nur die schon angeführten Substanzeigenschaften, sondern auch rein geometrische Effekte [27] sowie im unteren Bereich das strömungsbedingte „Pfpfropfenfließen“ [28] in Frage kommen können.

Ein weiterer unerwünschter Einflußfaktor ist die Erwärmung der Substanz während des Meßvorgangs als Folge der Trägheit des Viskosimeter-Thermostaten. Da der Kurvenverlauf bereits von Temperaturerhöhungen der Farbe, die nur um Bruchteile eines Celsius-Grades vom Soll-Wert abweichen, beeinflußt wird, und die Änderung der Substanztemperatur im Beanspruchungszustand meßtechnisch nicht exakt erfaßt werden kann, ist die Ermittlung des Fließverhaltens, besonders in dem für Druckfarbenuntersuchungen interessanten Bereich hoher Schubspannungen, nicht ohne Problematik. Durch ungenügende Temperaturkonstanz kann beispielsweise bei Newtonschen Flüssigkeiten ein nichtlineares Fließverhalten vorgetäuscht werden. Für die Beurteilung der Fließkurven von Offsetfarben sind daher obige Gesichtspunkte in Betracht zu ziehen. Es hat sich auch eingeführt, bei pseudoplastischen Systemen auf die Interpretation des gekrümmten Bereichs der Fließkurve zu verzichten und durch Verlängerung des linearen Kurvenastes bis zur Abszisse das Fließverhalten von Offsetfarben näherungsweise durch die hypothetische Fließgrenze und die plastische Viskosität zu beschreiben (s. Bild 28, b).

In Bild 29 ist eine mit dem registrierenden Struktur-Viskosimeter untersuchte Offsetfarbe wiedergegeben. Die bei der Messung erreichten maximalen Schubspannungen sind von mäßiger Höhe. Um die Abführung der beim Meßvorgang entstehenden Reibungswärme besser zu gewährleisten, wurde die Farbe von beiden Zylindermantelflächen her temperiert. Die registrierte Kurve wies die typischen Fließmerkmale hochpigmentierter, zäher Druckfarben auf; es sind also Fließgrenze und Thixotropie vorhanden. Da das Meßprinzip auf einer langsamen kontinuierlichen Drehzahlveränderung beruht, können auf diese Weise Gleichgewichtsfließkurven von Farben, die ausgeprägte Zeiteffekte aufweisen, nicht erhalten werden.

Von der gleichen Offsetfarbe ist auch eine Fließkurve bei sehr hohen Schubspannungen im Shirley-Viskosimeter punktwise ermittelt worden (Bild 30)*. Auffallend ist, daß diese Farbe auch im zerrührten Zustand, also nach dem Einwirken hoher Schubspannungen, kein lineares Fließverhalten aufweist. Die hierfür in Frage kommenden möglichen Ursachen dieses Verhaltens wurden bereits diskutiert. Beim Kegel-Platte-System

* Von der Herstellerfirma *Ferranti*, Manchester, freundlicherweise für das Institut durchgeführte Messung.

ist neben anderen Besonderheiten noch zu berücksichtigen, daß bei Druckfarben wegen der sehr kleinen mittleren Spaltbreite (ca. 0,05 mm) das Verhältnis zwischen Spaltbreite und Partikelgröße wesentlich ungünstiger ist als bei Zylindersystemen, deren Spaltbreiten ≥ 1 mm sind.

Auf Grund von durchgeführten Reihenuntersuchungen ist zusammenfassend herauszustellen, daß Offsetfarben Fließanomalien aufweisen und daher im Geschwindigkeitsgefälle-Schubspannungsdiagramm gekennzeichnet sind durch Bereichsweise nichtlineare, mit einer Fließgrenze behaftete Kurven. Der Kurvenverlauf wird aber nicht ausschließlich von den Fließeigenschaften der Farbe bestimmt, sondern auch durch verschiedene andere schwer erfassbare Faktoren beeinflusst.

Offsetfarben-Fließkurven werden vornehmlich verwendet zum Studium der Auswirkungen verschiedenartiger Rezepturen auf das Fließverhalten. *Buchdahl* und *Thimm* [29] versuchen aus dem Kurvenverlauf gewisse drucktechnische Folgerungen zu ziehen und weisen übereinstimmend mit *Voet*

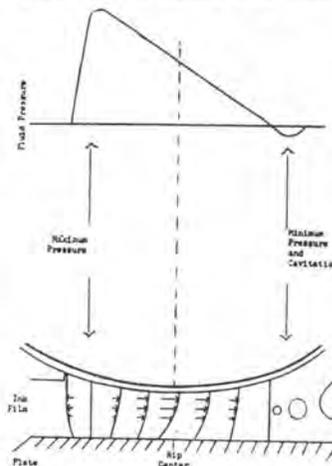


Bild 31
Druckverteilung und Geschwindigkeitsprofile im Walzenspalt einer Druckmaschine [32]

[30] und anderen besonders auf die gefundene qualitative Abhängigkeit zwischen „Tack“ und plastischer (schubspannungsabhängiger) Viskosität hin. *Zettlemayer*, *Scarr* und *Schaeffer* [31] zeigen im Rahmen ihrer Untersuchungen über das Spaltungsverhalten von Druckfarben (verschiedene einfache Modellsysteme), wie begrenzt die Anwendbarkeit eines einzelnen rheologischen Begriffes zur Kennzeichnung dieses Vorganges ist. Sie verwenden daher als qualitatives Maß für die Länge der Farbe das Verhältnis

hypothetischer Fließwert/plastische Viskosität

und haben für die untersuchten Farben eine für jedes Bindemittelsystem verschiedenartige Abhängigkeit zwischen diesem Quotienten und dem Farbübertragungsverhalten beobachten können.

Fließkurven von Offsetfarben sind jedoch unzureichend für weitgehendere Rückschlüsse auf das Verhalten der Farben in der Druckmaschine. Als Gründe hierfür sind zu nennen die prinzipiellen Mängel der Rotations-Viskosimeter, der unterschiedliche Mechanismus der Farbbeanspruchung und die während des Druckvorganges sich verändernden Eigenschaften der sehr dünnen, den verfahrensbedingten Wechselwirkungen ausgesetzten Farbschichten.

c) Spaltungsverhalten

Die Farbübertragung erfolgt bekanntlich durch Filmspaltung. Grundlegende Erkenntnisse über den Mechanismus der Filmspaltung vermitteln die in letzter Zeit durchgeführten Untersuchungen von *Zettlemayer* und seinen Mitarbeitern [32]. Ausgehend von der durch *Gaskell* behandelten Fließ- und Druckverteilung inkompressibler Flüssigkeiten im Walzenspalt, wurde unter Einbeziehung der Farbspaltungshypothese von *Blokkhuis*, auf Grund von Bewegungsstudien über Fließvorgänge in einem nicht deformierbaren Spalt die durch Bild 31

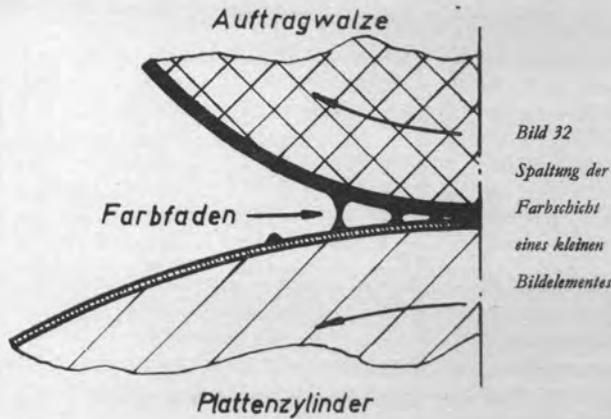


Bild 32
Spaltung der
Farbschicht
eines kleinen
Bildelementes

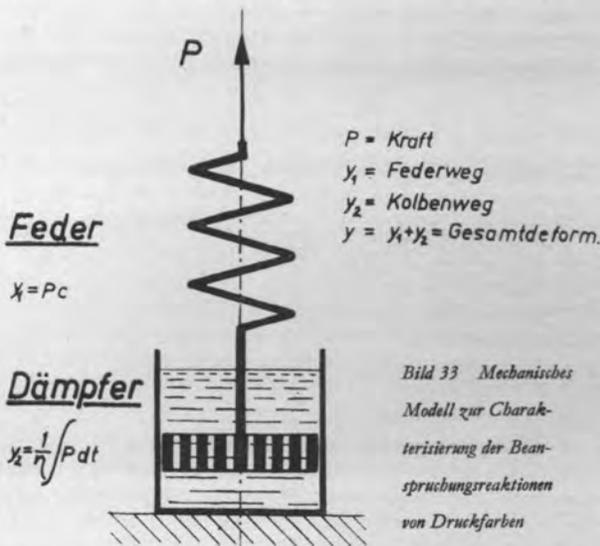


Bild 33 Mechanisches
Modell zur Charakterisierung der Beanspruchungsreaktionen von Druckfarben

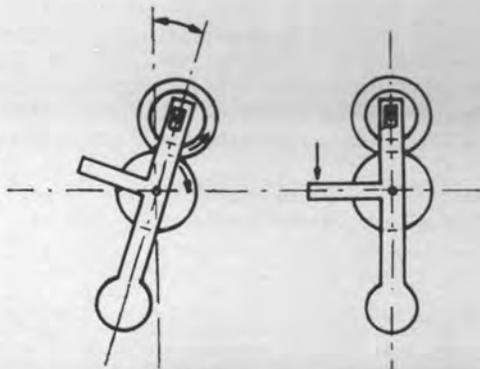


Bild 34 Inkometer von Reed

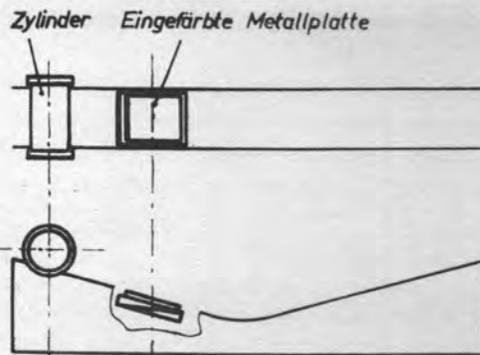


Bild 35 Tack-Messer von Voet

wiedergegebene Vorstellung gewonnen. Der Farbfilm erfährt demnach beim Eintritt in den Spalt einen plötzlichen Druckanstieg, nach Erreichen des Maximums den allmählichen Abfall auf Atmosphärendruck und schließlich Zugbeanspruchungen auf der Austrittsseite, welche Kavitationserscheinungen auslösen. Im Gegensatz zu bisherigen Ansichten wird herausgestellt, daß im Bereich des Spaltes nur sehr niedrige Schergeschwindigkeiten auftreten. Die Filmspaltung ist also begleitet von Kavitation, Blasenexpansion, Verlängerung und Trennung der sich bildenden Farbfäden. Das Spalten des Farbfilms findet in der Ebene mit dem geringsten Flüssigkeitsquerschnitt statt. Das Pigment wirkt als Kavitationskatalysator, die Zahl der sich bildenden Blasen wird von der Filmdicke beeinflusst und ist geschwindigkeits- und druckabhängig. Der wichtigste, auf die Blasenexpansion Einfluß nehmende Faktor ist die Oberflächenspannung.

Die Farbschicht eines kleinen Bildelementes wird auf der Austrittsseite des Spaltes während des Trennvorgangs zu einem Faden ausgezogen. Drei Phasen dieses Vorganges sind in Bild 32 skizziert. Das Fadenziehen ist eine Beanspruchungsreaktion des Systems der Bindemittel-Kettenmoleküle. Für die beschleunigte Ausziehbewegung steht bei praxisüblichen Druckgeschwindigkeiten nur ein sehr kurzes Zeitintervall zur Verfügung.

Die bei Offsetfarben zu erwartenden Beanspruchungsreaktionen lassen sich ebenfalls anschaulich durch ein mechanisches Modell [15] demonstrieren und mathematisch behandeln. Ein Bingham-Körper mit Elastizität wird auf diese Weise durch das Maxwell-Element mit definierter trockener Reibung zwischen Kolben und Zylinder dargestellt (Bild 33). Zur Charakterisierung viskoser Beanspruchungsreaktionen (zeit- und temperaturabhängiges irreversibles Fließen) dient ein Dämpfungssystem.

Die zeit- und temperaturunabhängigen reversiblen elastischen Deformationen werden von einem Federelement dargestellt. Bei einer statisch oder quasistatisch erfolgenden Belastung mit einer Kraft, die größer als der die Fließgrenze kennzeichnende Reibungswiderstand ist, wird sich der durchlöcherter Kolben in der Flüssigkeit bewegen. Im Gegensatz zu dieser vorwiegend viskosen Deformation wird bei sehr rasch ablaufenden Bewegungsvorgängen die Beanspruchungsreaktion hauptsächlich durch eine elastische Federdeformation gekennzeichnet sein, da die viskose Kolbenbewegung eine ausgeprägte Zeitabhängigkeit aufweist.

Elastische und viskose Beanspruchungsreaktionen sind Erscheinungsformen stofflichen Verhaltens. Der Zusammenhang zwischen Viskosität und Elastizität kann durch das Maxwell'sche Relaxationstheorem [33] beschrieben werden. Die Formänderungsgeschwindigkeit eines solchen Systems ist durch folgende Differentialgleichung gegeben:

$$d\gamma/dt = \frac{1}{\eta} \tau + (1/G) (d\tau/dt)$$

visk. Anteil elastischer Anteil

γ Gesamtverlagerung
 t Beanspruchungsdauer
 τ Schubspannung
 η Viskosität
 G Schubmodul
 T Relaxationszeit = $\frac{\eta}{G}$

Die einer konstanten Deformation ($d\gamma/dt = 0$) unterworfenen Substanz erfährt zunächst eine momentane elastische Verformung. Die so erzeugten inneren Spannungen klingen aber mit der Zeit wegen der ansteigenden Häufigkeit des Platzwechsels der Moleküle (inneres Fließen) nach dem sich aus obiger Gleichung mit $d\gamma/dt = 0$ ergebendem Exponentialgesetz

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T}$$

ab, so daß die konstant gehaltene Verformung mit abnehmenden Kräften aufrechterhalten werden kann. Das Zeitintervall, welches die inneren Spannungen bei konstanter Verformung benötigen, um auf $1/e$ ihres Wertes abzusinken, definierte Maxwell als Relaxationszeit. Das stoffliche Verhalten bei Schubbeanspruchung hängt also von G , η und t ab. Zwischen

Schub- und einfacher Zugbeanspruchung besteht bei inkompressiblen Substanzen in bezug auf die Maxwell'sche Relaxation Analogie.

Die Relaxationszeit ist auch für hochviskose Substanzen sehr klein, Viskoelastische Effekte beeinflussen daher nur sehr rasch ablaufende Vorgänge. Der Farbspaltungsprozeß kann bei hohen Maschinengeschwindigkeiten als viskoelastischer Vorgang angesehen werden, da nach Voet [34] die größenordnungsmäßige Übereinstimmung von Beanspruchungsdauer und Relaxationszeit vorausgesetzt werden kann. Der Mechanismus der raschen Farbspaltung ist daher gekennzeichnet durch hohen Zug (Tack), mäßige maximale Fadenlänge, geringe Einschnürung vor dem Zerreißen und das sehr rasche Zurückschnellen der getrennten Teile des ausgezogenen Farbfadens (vgl. auch Mikroaufnahmen von Sjodahl [35]).

Es gibt eine Reihe von Laboratoriumsgeräten zur Farbprüfung, die den Beanspruchungsvorgang in der Druckmaschine mehr oder weniger nachahmen. Ihr Meßprinzip ist entweder durch eine kontinuierliche senkrecht zu den begrenzenden Oberflächen erfolgende Veränderung des mit Farbe ausgefüllten Spaltes oder durch eine farbspaltende Rollbewegung gekennzeichnet.

Bekannte, für Farbspaltungsuntersuchungen aber ungeeignete Ausführungsformen sind z. B. der Tack-Messer von Green [36], die Versuchseinrichtung von Heidebroek und Pietsch [37] sowie das Druckfarben-Viskosimeter von Beké [38]. Wegen des sehr langsam verlaufenden Meßvorganges und der z. T. erheblich größeren Farbschichtdicke unterscheiden sich die Beanspruchungsverhältnisse in diesen Meßgeräten wesentlich von den in Druckmaschinen vorkommenden.

Dagegen gestattet das Inkometer von Reed, dessen Prinzip Bild 34 wiedergibt, die Farbe unter Bedingungen zu prüfen, die den dynamischen Verhältnissen in der Druckmaschine nahekommen. Dieses Gerät ist ein farbspaltender Apparat, in dem die Druckfarbe gleichzeitig der Scherung und der Spaltung unterworfen ist. Das Meßsystem ist gekennzeichnet durch eine temperierte Stahlwalze, welche die im Schwingrahmen gelagerte Gummiwalze treibt und dadurch eine Auslenkung des Schwingrahmens verursacht. Gemessen wird das zum Zurückführen des Schwingrahmens in die senkrechte Ausgangslage notwendige Moment für die Betriebszustände »ohne« und »mit« Farbe. Die Differenz der erforderlichen Ausgleichsmomente definiert Reed als »Tack« und kennzeichnet damit summarisch die Beanspruchungsreaktion der Farbe im Inkometer. Ohne den praktischen Wert dieses Gerätes für die Farbprüfung zu unterschätzen, gelangt Voet [39] bei der eingehenden Kritik des Inkometers zu der Schlußfolgerung, daß in den Inkometer-Meßwerten zwar verschiedene Faktoren enthalten sind, die mit dem Zug der Farbe in Verbindung stehen, aber auch andere nicht eliminierbare, unerwünschte Einflüsse sich auswirken.

Aus diesem Grunde hat Voet [40] einen Tack-Messer geschaffen, der die bei der Farbspaltung verbrauchte Energie mißt. Voet sieht in dieser Meßgröße den geeignetsten Zahlenwert zur Kennzeichnung des rasch ablaufenden, einer Stoßdeformation unterliegenden Spaltungsvorganges. Zur Ermittlung der »Tack-Energie« durchrollt ein kleiner Vollzylinder die in Bild 35 wiedergegebene Bahn. Die nach beendeter Aufwärtsbewegung erreichte Höhe hängt davon ab, ob die Bahn eine eingefärbte Metallplatte von der Länge des Zylinderumfangs enthält oder nicht enthält. Aus der aufgetretenen Höhendifferenz ergibt sich die bei der Farbspaltung verbrauchte Energie.

Dieses Gerät bietet viele experimentelle Möglichkeiten und kann vorteilhaft für das Studium der grundlegenden Probleme des Spaltungsvorganges herangezogen werden. Als wesentlicher Nachteil ist jedoch anzuführen, daß der Tack-Messer von Voet den praktischen Druckbedingungen nur ungenügend Rechnung trägt.

Borchers und Bruno [41] haben kürzlich Ergebnisse von Farbspaltungsuntersuchungen mit Hilfe des LTF-Testers bekanntgegeben. Für diese Aufgabe wurde das in seiner Standard-

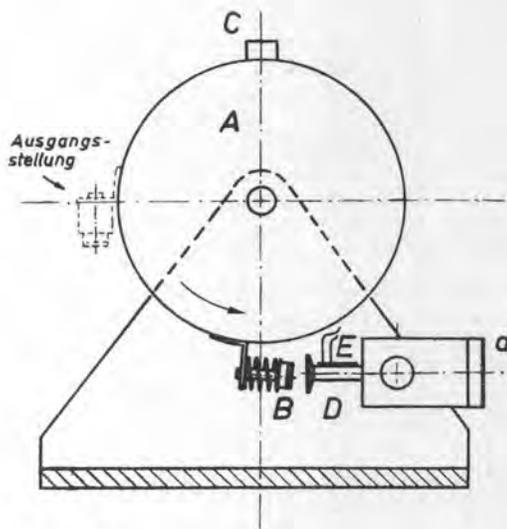
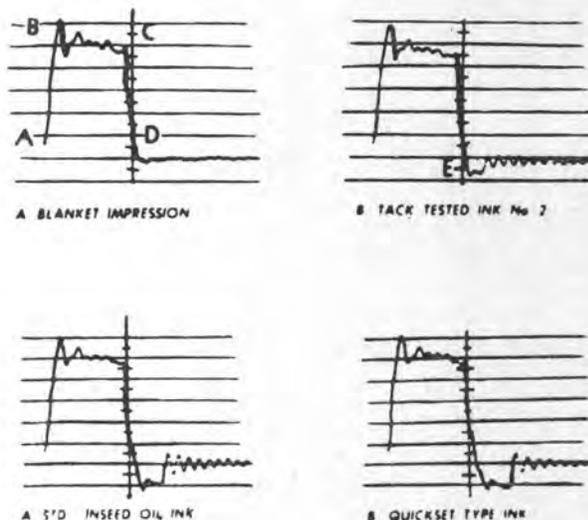


Bild 36 LTF-Tester für Farbspaltungsuntersuchungen

ausführung als Rupfmesser dienende Gerät etwas abgewandelt. Bild 36 zeigt eine Prinzipskizze von dieser Ausführungsform. Die wesentlichen Teile dieses Gerätes sind das Schwingrad A, auf dem ein Gegengewicht C und der mit einer vorgespannten Feder in Verbindung stehende Hammer B befestigt sind, sowie der um 180° schwenkbare Meßtisch D, welcher auf der einen Seite eine Einfärbeplatte trägt, während die andere Seite als Kraftaufnehmer ausgebildet ist, dessen Wirkungsweise auf dem Dehnungsmeßstreifenprinzip beruht (Meßstreifen E). Vor dem Meßvorgang erfolgt das Einfärben des auf dem Hammer befestigten Gummituchs durch die Einfärbeplatte d. Daraufhin wird der Meßtisch geschwenkt, so daß der Aufnehmer, welcher auch mit einer Papierprobe versehen werden kann, dem arretierten Hammer des Schwingrades zugewendet ist. Nach dem Auslösen der Fallbewegung trifft der Hammer nach einer Vierteldrehung auf den Aufnehmer, welcher zunächst eine schlagartige Druckbeanspruchung erfährt und während des Rückpralls den Zugkräften der sich spaltenden Druckfarbe ausgesetzt ist. Die veränderliche mechanische Meßgröße wird auf den dünnen hohlen Schaft des Aufnehmers angebracht ist, übertragen und auf geeignete Weise registriert. Das folgende Bild 37 zeigt verschiedene auf diese Weise erhaltene Meßergebnisse. Das erste Oszillogramm gibt

Bild 37 Meßergebnisse des LTF-Testers [42]



die Spannungs-Zeitkurve bei nicht eingefärbtem Gummituch wieder. Durch die Strecke $A-B$ ist der Kraftanstieg gekennzeichnet. $B-C$ stellt ein Maß für die Zeit des Kontaktes zwischen Gummituch und Meßtisch dar. Der Kurvenast $C-D$ veranschaulicht die Belastungsabnahme nach der Bewegungsumkehr des Pendelhammers. Über das Verhalten verschiedener Druckfarben im LTF-Tester geben die nächsten drei Oszillogramme Auskunft. Die Beanspruchungsreaktion der Farbe ist charakterisiert durch den Kurvenverlauf bei E.

Borchers und Bruno haben bereits bei der Kritik ihres Meßverfahrens darauf hingewiesen, daß die nach dem Tiegelprinzip verlaufende Farbspaltung von den in Rotationsmaschinen vorliegenden Verhältnissen abweicht und daß Anpreßdruck, Kontaktzeit sowie Trenngeschwindigkeit im Gegensatz zum Wirkungsprinzip der Druckmaschine bei der derzeitigen Ausführungsform des LTF-Testers abhängige Veränderliche sind.

Den Oszillogrammen des Bildes 37 ist auch zu entnehmen, daß während des Meßvorganges der Aufnehmer in Eigen-

schwingung versetzt wird. Diese Eigenschwingungen von ungünstiger Charakteristik nehmen Einfluß auf den Verlauf der Spannungs-Zeitkurve. In der Abhandlung von Borchers und Bruno fehlt eine Begründung für das Vorhandensein zweier Kurvenmaxima. Da der Spaltungsvorgang nur ein Spannungsmaximum erklärt, ist auf eine apparative Beeinflussung zu schließen.

Den grundlegenden Betrachtungen über das Verhalten von Offsetfarben ist zu entnehmen, daß die vorhandenen Prüfmethoden apparativen Einflüssen unterliegen und keine unmittelbaren Aussagen über die Beanspruchungsreaktionen der Farbe beim Druckprozeß liefern. Aus diesem Grunde erscheint es notwendig, das Verhalten von Druckfarben in der Offsetmaschine zu studieren. Um unter diesen Bedingungen Offsetfarben zu untersuchen, mußten neue Wege beschritten werden. Es wurde gefunden, daß durch die interferenzmikroskopische Erfassung eingefärbter Bildelemente (Rasterpunkte) und durch die Messung des beim Farbspaltungsvorgang auftretenden Kraftverlaufs neue Erkenntnisse zu erhalten sind.

2. Interferenzmikroskopische Beurteilung von Farbschichten

a) Grundlagen

Zur Kennzeichnung dieser Meßtechnik ist es zweckmäßig, auf die physikalischen Grundlagen des Verfahrens einzugehen. [43]

α . Ursachen und Erscheinungsformen der Lichtinterferenz

Interferenzerscheinungen sind eine Folge der Wellennatur des Lichtes. Sie entstehen durch Überlagerung kohärenter Wellen und sind charakterisiert durch das Auftreten von Zonen veringert und gesteigerter Lichtintensität. Solche interferenzfähige Wellenzüge von gleicher Frequenz, die ohne oder mit konstanter Phasendifferenz schwingen, können nur durch Aufspaltung der aus einer Lichtquelle stammenden Strahlung erhalten werden. Interferenzgeräte beruhen daher auf dem Prinzip der Strahlenteilung. Das Aufspalten des von einer monochromatischen Lichtquelle herrührenden Lichtbündels kann, wie in Bild 38 wiedergegeben, z. B. an einer planparallelen Luftplatte, die von zwei dünnen Glasplatten begrenzt ist, erfolgen. Der Ort der Interferenzerscheinung ist der Schnittpunkt der beiden parallelen Teilstrahlen l_1 und l_2 . Er liegt im Unendlichen, kann aber durch eine Sammellinse in die Brennebene der Linse verlegt werden.

Für die Wegdifferenz Δ der beiden interferierenden Teilstrahlen ergibt sich aus den geometrischen Verhältnissen von Bild 38 folgende Beziehung: $\Delta = 2d \cos \alpha$.

Bei konstantem d ist der Gangunterschied nur vom Wert des Einfallswinkels abhängig. Ein ausgedehntes Bündel monochromatischen Lichtes, das senkrecht zur Luftplatte auftritt,

besteht aus einer Summe von Strahlen, die unterschiedliche, aber kleine Einfallswinkel aufweisen. Die in der Brennebene der Sammellinse zu beobachtenden Parallelplatteninterferenzen sind daher ein System konzentrischer dunkler Kreise von ungleichmäßigem Abstand im hellen Feld. Sie werden auch Interferenzen gleicher Neigung genannt, weil jedem dieser Kreise ein bestimmter Einfallswinkel zugeordnet ist. Lichtauslöschung oder Helligkeitsverdopplung am Strahlenschnittpunkt ist davon abhängig, ob Δ ein ungerad- oder geradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge ist.

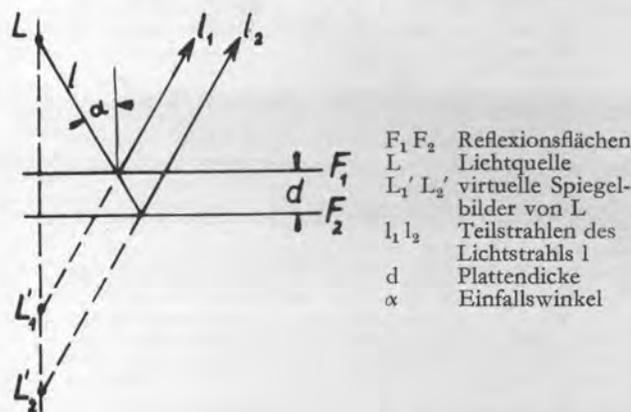
β . Interferenzmikroskop

Um interferenzmikroskopische Untersuchungen ausführen zu können, ist es erforderlich, ein Interferometer mit einem Auflichtmikroskop zu koppeln. In Interferenzmikroskopen nach dem Linnik-Prinzip wird das Interferometer nach Michelson verwendet [44]. Es dient zur Erzeugung von Interferenzlinien mit Hilfe einer virtuellen Parallelplatte, die dadurch gebildet wird, daß man in die Nähe einer Fläche das Spiegelbild der zweiten bringt. Die schematische Darstellung in Bild 39 veranschaulicht die Wirkungsweise. Der Lichtstrahl l wird an der halbdurchlässig verspiegelten Teilerfläche T in die Teilbündel l_1 und l_2 aufgespalten, die nach Reflexion an den Spiegeln S_1 und S_2 zur Teilerfläche zurückkehren, wo l_1 dieselbe durchsetzt und l_2 in Richtung von l_1 abgelenkt wird, so daß die beiden Teilbündel zur Interferenz kommen.

In der Grundjustierung sind S_1 und S_2 gleich weit von T entfernt und Spiegelbilder voneinander in bezug auf die Teilerfläche. Der Gangunterschied zwischen den beiden interferierenden Teilbündeln ist Null, so daß sie sich gegenseitig verstärken. Verschiebt man nun z. B. S_2 parallel zu sich selbst, so können infolge auftretender Wegdifferenzen Interferenzen gleicher Neigung beobachtet werden. S_1 bildet nämlich jetzt mit S_2' , dem Spiegelbild von S_2 , eine virtuelle Parallelplatte der Dicke d , und es kann daher angenommen werden, daß das von S_2 herrührende Licht von S_2' kommt. Darauf beruht auch die zweckmäßige Vorstellung, daß die Luftplatte S_1-S_2' Ursache der Interferenzerscheinung ist.

Die bauliche Ausführung eines Interferenzmikroskops nach dem Linnik-Prinzip — ein solches ist auch das für vorliegende Untersuchungen verwendete Interferenzmikroskop nach Kohaut — geht schematisch aus Bild 40 hervor. Die Teilerfläche des Interferometers ist hier die Hypotenusenfläche eines Doppelp Prismas. Zwischen ihr und den beiden Spiegelflächen befindet sich je ein vollständig gleichartiges Mikroskopobjektiv, und auf der Beobachtungsseite ist ein Fernrohr angeordnet.

Bild 38 Interferenzen gleicher Neigung an Parallelplatten



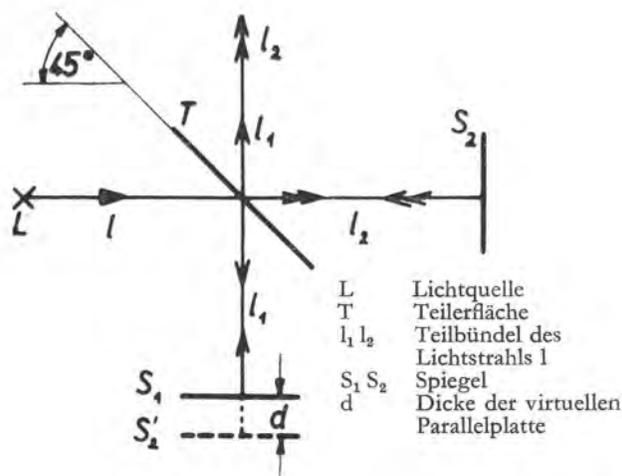
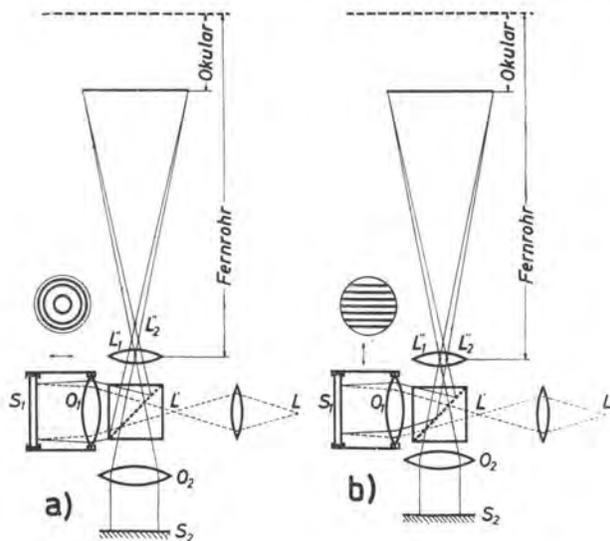


Bild 39 Michelson Interferometer

Bei der Oberflächenprüfung erweist es sich jedoch nicht als zweckmäßig, mit Interferenzringen zu arbeiten. Man bedient sich daher des Kunstgriffes der Parallelversetzung von Objektiv + Vergleichsspiegel in der Grundjustierung und erhält dadurch gerade, gleichmäßig scharfe Interferenzlinien von beliebiger Anzahl. Diese von Röntsch publizierte Möglichkeit zur Streifenvariation ist in Bild 40 strahlengangmäßig veranschaulicht. Durch die achsensenkrechte Verschiebung des einen Objektivs entstehen nun zwei bezüglich der Strahlrichtung nebeneinanderliegende Objektivbilder von Objekt und Vergleichsfläche, die als kohärente Strahler wirken (Pupillen L_1'' und L_2''). Ihre Strahlungsüberlagerung ergibt die in der Bildebene zu beobachtende Interferenzerscheinung, deren Streifenart auf geometrischen Gesetzmäßigkeiten beruht.

Interferenzerscheinungen treten bekanntlich an Orten gleicher Wegdifferenz auf. Diese Orte sind geometrisch im Raum gekennzeichnet durch die nach halben und ganzen Wellenlängen gestaffelten Scharen eines zweiseitigen Hyperboloids mit den Strahlern $L_1'' - L_2''$ als Brennpunkte. Interferenzstreifen sind nun die Verschneidungskurven, welche entstehen, wenn die Hyperboloidscharen von Ebenen geschnitten werden. Eine Schnittebene senkrecht zur Verbindungslinie von $L_1'' - L_2''$ liefert konzentrische Kreise als Interferenzstreifen. Ist dagegen die Schnitttrichtung parallel zu $L_1'' - L_2''$, so treten unter der Bedingung, daß das Verhältnis Schnittabstand zum gegenseitigen Abstand der Strahler groß ist, gerade Interferenzstreifen auf.

Bild 40 Strahlengang bei Interferenzmikroskopen nach dem Linnik-Prinzip [45]



Für die Pupillen $L_1'' - L_2''$ von Bild 40, b) ergeben sich daher unter der Voraussetzung vollkommener Ebenheit von Objekt und Vergleichsspiegel in der Bildebene stets gerade Interferenzstreifen, deren Breite umgekehrt proportional zum variablen axialen Abstand der Pupillen ist.

γ. Auswertung von Interferenzbildern

Wird eine spiegelnde Oberfläche durch das Interferenzmikroskop betrachtet, so kann man die auftretenden Interferenzlinien als Verschneidungskurven deuten, die in zueinander parallelen, im Abstand von halben Lichtwellenlängen aufeinanderfolgenden Ebenen von wählbarer Neigung liegen. Bild 41 veranschaulicht die bei der interferenzmikroskopischen Beurteilung eingefärbter Rasterpunkte anzuwendende Verfahrensweise. Die meßtechnische Auswertung erfolgt hier auf der Grundlage des absoluten Maßstabes der Wellenlänge des verwendeten monochromatischen Lichtes.

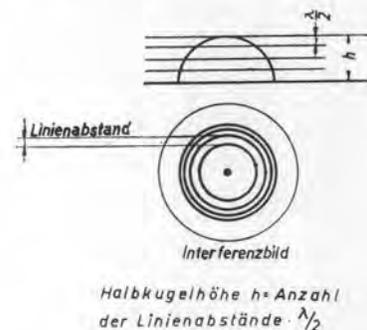
b) Interferenzaufnahmen von eingefärbten Rasterpunkten

Die Versuchsanordnung zur Durchführung von Interferenzaufnahmen an der Offsetmaschine zeigt Bild 42. Die Prüfapparatur besteht aus dem auf einem besonderen Stativ montierten Interferenzmikroskop und der mikrographischen Einrichtung.

Prüfobjekte waren eingefärbte Rasterpunkte einer Aller-Platte. Die Untersuchungen wurden bei normalen Druck-

Bild 41

Schematische Darstellung des Interferenzlinienverlaufes auf kugelförmigen Oberflächen



bedingungen durchgeführt. Die mikrographische Aufnahme des Interferenzbildes erfolgte jeweils sofort nach dem Stillsetzen der Druckmaschine. Für vergleichende Bewertungen wurde stets derselbe Rasterpunkt verwendet. Für alle folgenden Interferenzaufnahmen ist die Höhendifferenz zweier benachbarter Interferenzlinien $0,27 \mu$, und die 10 Einheiten des den Aufnahmen beigefügten Maßstabes entsprechen $0,1 \text{ mm}$.

In Bild 43 ist die Interferenzaufnahme eines farbfreien kupfernen Rasterpunktes dem eingefärbten gegenübergestellt. Die Punktform hebt sich deutlich ab von den Bereichen unregelmäßigen Interferenzlinienverlaufes der nicht ideal glatten Plattenoberfläche. Oberflächengestalt und Schichtdicke des galvanisch aufgetragenen Kupfers bzw. der Druckfarbe sind durch Form und Anzahl der Interferenzlinien bestimmt.

Die folgenden Interferenzaufnahmen des Bildes 44, welche mit verschiedenen Druckfarben eingefärbte Rasterfelder eines Stufenkeils ausschnittsweise wiedergeben, dienen zur übersichtsmäßigen Darstellung der Einfärbungsverhältnisse auf einer Aller-Platte und kennzeichnen die Möglichkeiten dieses Verfahrens. Diese plastisch wirkenden Mikrographien verdeutlichen, daß die Betrachtung isolierter Rasterpunkte am übersichtlichsten ist, und weisen nach, daß Druckfarben im allgemeinen ein zur interferenzmikroskopischen Erfassung ausreichendes Reflexionsvermögen besitzen. Gewisse sehr transparente Farbschichten können die Beobachtbarkeit der Interferenzerscheinung beeinträchtigen. Ein optimaler Streifenkontrast wird durch die Anpassung des Reflexionsvermögens des Vergleichsspiegels an das der zu prüfenden Oberfläche erreicht [46]. Für Druckfarbenuntersuchungen ist

es daher in speziellen Fällen vorteilhaft, an Stelle des üblichen versilberten Vergleichsspiegels andere Spiegel mit abweichendem Reflexionsvermögen zu verwenden.

Als Negativmaterial wurde *Agfa-Fluorapid-Film* benutzt, welcher bei kurzen Belichtungszeiten auch bei diesen oft nicht einfachen Aufnahmen guten Kontrast liefert. Hinzuweisen ist noch auf den Umstand, daß an der Offsetmaschine das Objektiv des Interferenzmikroskops nicht immer vollständig frei von Staubteilchen gehalten werden konnte, so daß eine zusätzliche Beeinträchtigung der Aufnahmequalität manchmal unvermeidbar war.

Die meßtechnische Erfassung der Farbverteilung auf einzelnen Rasterpunkten dient als Kriterium für das drucktechnische Verhalten der verschiedenen verfahrensbedingten Einflüssen ausgesetzten Offsetfarben. Mit dem Interferenzmikroskop wurden daher über 20 verschiedene Farben untersucht. Die Versuchsergebnisse werden durch die folgenden charakteristischen Beispiele wiedergegeben. Beim Fehlen besonderer Angaben zeigen die Interferenzbilder einen bei normalen Druckbedingungen von den vier Auftragswalzen eingefärbten Rasterpunkt.

Bild 45 gibt das Verhalten einer unter Verwendung von Pulverfarbstoff hergestellten Offsetfarbe bei drei verschiedenen Druckgeschwindigkeiten wieder. Die abgespaltene Farbe versucht im Gleichgewichtszustand eine Gestalt mit möglichst geringer Oberfläche anzunehmen. Der Farbpunkt ist unter der Wirkung von Grenzflächenkräften bestrebt, eine tropfenförmige Gestalt (Minimaloberfläche) anzunehmen, wenn er daran nicht vom Fließwiderstand der Farbe gehindert wird. Die Form der Oberfläche wird also im wesentlichen von Kräften molekularen Ursprungs beeinflusst. Eine tropfenförmige Farbverteilung auf dem Rasterpunkt ist drucktechnisch erwünscht. Die übertragene Farbmenge ist durch die Schichtdicke bzw. durch das planimetrisch zu ermittelnde Farbvolumen des Rasterpunktes charakterisiert. Die Beanspruchungsreaktion der Farbe bei 2000 Uph ist günstig, und die Farbübertragungseigenschaften sind als sehr gut zu bezeichnen. Bei den höheren Druckgeschwindigkeiten (4000 und 6000 Uph) weisen die Interferenzlinien eine leichte Asymmetrie auf, und das übertragene Farbvolumen wird kleiner. Es ist daher bei höheren Trenngeschwindigkeiten eine asymmetrischere Spaltung des Farbfilms sowie eine zunehmende Beeinflussung der Fadenbildung und Trennung (max. Fadenlänge, Fadenkontraktion) durch geschwindigkeitsabhängige Faktoren anzunehmen. Die Druckfähigkeit der durch *Bild 45* gekennzeichneten Farbe kann aber noch als gut bezeichnet werden. Im Gegensatz hierzu zeigen die nächsten Interferenzaufnahmen (*Bilder 46 und 47*) Farben von schlechter Verdruckbarkeit.

Bei der durch *Bild 47* wiedergegebenen Farbe ist auffallend, daß die übertragene Farbmenge stark geschwindigkeitsabhängig ist und der Interferenzlinienverlauf zahlreiche Unregelmäßigkeiten aufweist. Eine solche Oberflächenstruktur deutet auf Korngrößeneffekte (Vorhandensein von fließhemmenden großen Teilchen bzw. Teilchenagglomeraten) hin. Diese ungünstige Farbzusammensetzung wirkt sich natürlich auf das Druckergebnis aus.

Bekanntlich beeinflusst außer der Bindemittelzusammensetzung auch die Größe der Pigmentteilchen das Fließverhalten. Die geringe Teilchengröße und die gleichmäßigere Beschaffenheit des Pigments in gefluschten Farben wirken sich daher auf das Verhalten in der Offsetmaschine günstig aus. Die *Bilder 48 und 49* kennzeichnen zwei im Flushing-Verfahren hergestellte Offsetfarben.

Obwohl bereits die durch *Bild 48* charakterisierte Farbe im Vergleich zu der durch *Bild 45* wiedergegebenen Pulverfarbe bei 4000 Uph ein besseres drucktechnisches Verhalten zeigt, ist das Pigment-Bindemittelsystem der Druckgeschwindigkeit 6000 nicht mehr ganz gewachsen. Dagegen erweist sich die

gefluschte Farbe des *Bildes 49* als nahezu geschwindigkeitsunabhängig.

Bei der interferenzmikroskopischen Beurteilung der durch *Bild 50* gekennzeichneten Offsetfarbe kann überraschenderweise festgestellt werden, daß dieses Pigment-Bindemittelsystem erst bei höherer Geschwindigkeit ein drucktechnisch günstiges Verhalten aufweist. Es ist daher naheliegend, die Beanspruchungsreaktion bei der niedrigeren Druckgeschwindigkeit durch einen kurzen, wenig eingeschnürten Faden zu beschreiben und bei der höheren Druckgeschwindigkeit ausgeprägtere Kontraktion und größere Fadenlänge anzunehmen.

Von Offsetfarben wird verlangt, daß sie während des Auflagedruckes keine wesentlichen Qualitätsveränderungen erleiden. Unmittelbare und empfindliche Kontrollen ermöglicht die Interferenzmikroskopie. Hauptsächliche Beeinflussungsfaktoren sind die Feuchtwasserlösung und der auftretende Papierstaub.

Die Wasseraufnahme handelsüblicher Druckfarben in der Offsetmaschine ist sehr unterschiedlich und kann bis zu 40% betragen. Über das Eindringen von Feuchtwasser in die Farbe liegt eine zusammenfassende Arbeit von *Banks* [47] vor. In diesem Zusammenhang interessieren nur die Auswirkungen des emulgierten Wassers auf die Fließeigenschaften. Die emulgierten Wassertröpfchen erhöhen die Plastizität der Farbe, da sie als grobdisperse Bestandteile fließhemmend wirken oder durch Orientierung an der Oberfläche wasseranziehender Pigmente die Bildung von Agglomeraten begünstigen. Eine gleichartige Veränderung der Fließeigenschaften von Offsetfarben ist auch durch Aufnahme von Papierstaub möglich.

Die bei einer anfälligen Offsetfarbe auftretende Qualitätsminderung während des Fortdruckes (Druckgeschwindigkeit 4000 Uph) auf Grund angeführter Einflüsse veranschaulicht *Bild 51* in drei Phasen. Die Interferenzaufnahme nach Druckbeginn zeigt die noch zufriedenstellenden Einfärbungsverhältnisse. Mit zunehmender Laufzeit nimmt, wie die nächsten Interferenzaufnahmen von der Oberfläche des Farbpunktes verdeutlichen, als wahrscheinliche Folge der Plastizitätszunahme das übertragene Farbvolumen ab. Kennzeichnend hierfür ist die im Verlauf des Vorgangs auftretende Abplattung des Farbpunktes infolge des Kürzerwerdens der Farbe.

Bei sich gut spaltenden Farben ist es auch möglich, die pro Zylinderumdrehung vom eingefärbten Rasterpunkt an das Gummituch abgegebene Farbmenge interferenzmikroskopisch zu erfassen. Unter Fortdruckbedingungen ist dieses Farbvolumen äquivalent dem an das Papier abgegebenen Bruchteil, da im Gleichgewichtszustand die dem Gummituch zugeführte Druckfarbe gleich der abgeführten sein muß. Es genügt also, die Verhältnisse auf der Offsetplatte zu studieren und meßtechnisch auszuwerten. Im Gegensatz zur summarischen gravimetrischen Ermittlung der übertragenen Farbmenge kann das Interferenzverfahren spezifische Aussagen über diesbezügliche Verhältnisse im Bereich der Bildelemente liefern.

Abgesehen von den weiteren Anwendungsmöglichkeiten, die für das Interferenz-Verfahren bei der Beurteilung der verschiedenen Stadien des Einfärbevorganges bestehen, soll anschließend noch eine Auswirkung hart gewordener Feuchtwalzen interferenzmikroskopisch dargestellt werden. *Bild 52* zeigt einen Rasterpunkt nach der Abgabe von Farbe an das Gummituch und dem Passieren derartiger Feuchtwalzen, die zum Aufrechterhalten einer ausreichenden Feuchtung stärker angestellt werden müssen. Die Folge davon ist ein Auswalzen der auf dem Punkt verbliebenen Farbmenge zu einem dünnen Film. Die über die Punktbegrenzung hinausgetretene Farbe wird zwar von der ersten Auftragswalze wieder abgehoben; da diese Farbschicht aber von beiden Seiten her dem Wasser ausgesetzt war, erfolgt auf diese Weise eine zusätzliche Anreicherung der Farbe mit Feuchtwasser. Diese Art des Emulgierens ist jedoch weitgehend vermeidbar.

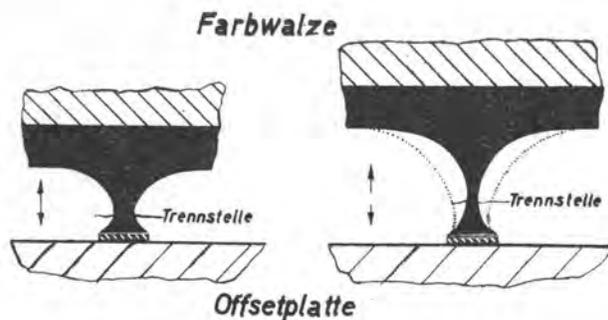


Bild 53 Trennung des Farbfadens

c) *Schlußfolgerungen*

Die interferenzmikroskopische Erfassung von Druckfarbschichten auf der eingefärbten Offsetplatte erschließt neue, unmittelbare und meßtechnisch einwandfreie Beurteilungsmöglichkeiten über das Farbübertragungsverhalten. Das angewendete Verfahren ist frei von apparativen Unzulänglichkeiten und daher vorteilhaft bei der drucktechnischen Erprobung von Druckfarben einzusetzen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die auf den Deformationsmechanismus des Spaltungsvorganges wesentlichen Einfluß nehmenden Faktoren das Farbübertragungsverhalten bestimmen, und erlauben es, folgende Hypothese aufzustellen: Damit die Bildelemente der Offsetplatte gut eingefärbt werden, ist es erforderlich, daß die Druckfarbe beim Trennvorgang mit genügend langem, ausreichend kontraktiertem Faden reißt.

Aus den geometrischen Verhältnissen der durch Bild 53 wiedergegebenen Vorstellung ergibt sich nämlich bei kurzem oder kaum eingeschnürten Faden wegen des näher zum Bildelement liegenden kleinsten Farbfadenquerschnittes eine geringere Einfärbung als durch eine unter günstigeren Fadenverhältnissen sich spaltende Farbe. Da die Druckfarbe beim Spalten viskoelastisch reagiert, kommen als Einflußfaktoren die stoffliche Beschaffenheit des Pigment-Bindemittelsystems (Viskosität usw.) und die Druckgeschwindigkeit in Frage.

Tabelle 3
Physikalische Eigenschaften der Rosenthal*)
piezoelektrischen Keramik ROSALT S 1

Eigenschaften	Zeichen	Zahlenwert (Mittelwert)	Einheit
Dichte	γ	$5,4 \cdot 10^3$	kg/m ³
Youngscher Elastizitätsmodul	γ^E	$1,2 \cdot 10^{11}$	Dyn/m ²
Poissonzahl	μ	$\sim 0,3$	—
Rel. Dielektrizitätskonstante	ϵ	1000 ± 150	—
Spez. Durchgangswiderstand bei Zimmertemperatur	ρ_D	$\sim 2 \cdot 10^{10}$	$\Omega \cdot m$
Piezomoduln (1 = Polarisationsrichtung) (2 = Richtung senkrecht zur Polarisierung)	d_{11} d_{12}	$145 \cdot 10^{-12}$ $-45 \cdot 10^{-12}$	$\frac{\text{coul}}{\text{Dyn}} = \frac{\text{m}}{\text{Volt}}$
Zulässige höchste Temperatur	T_{\max}	+ 70	° C

*) Aus dem Merkblatt für ROSALT S 1 (Nov. 1957) der Rosenthal-Isolatoren-GmbH, Werk III, Selb/Obfr.

Über die Einsatzmöglichkeiten der Interferenzmikroskopie in der graphischen Technik, die sich nicht nur auf dieses Anwendungsgebiet beschränken, wurde bereits früher kurz berichtet [48] [49].

3. *Spannungsverlauf beim Farbspaltungsvorgang*

Bei der schnellen Filmtrennung in Offsetmaschinen sind der Verlauf und die Wirkungsdauer der auftretenden Reaktionskräfte von großem Interesse. Es wurde daher der Versuch unternommen, diesen Vorgang meßtechnisch zu erfassen. Die Messung der von einem schmalen Flächenelement aufzunehmenden kleinen und sehr kurzzeitigen Zugkräfte während des Druckvorganges ist schwierig. Ein solcher Aufnehmer muß nämlich gegensätzliche Eigenschaften besitzen, da von diesem System gefordert wird, daß es als empfindliches Dynamometer die impulsartige Beanspruchung verzerrungsfrei wiedergibt, also eine sehr hohe Eigenschwingungszahl besitzt und die Erschütterungen der Druckmaschine nicht aufnimmt. Die prinzipielle Lösung dieses Meßproblems konnte auf piezoelektrischem Wege mit Hilfe eines Bariumtitanat-Aufnehmers erfolgen.

a) *Piezoelektrisches Meßverfahren*

α . *Piezoelektrischer Effekt*

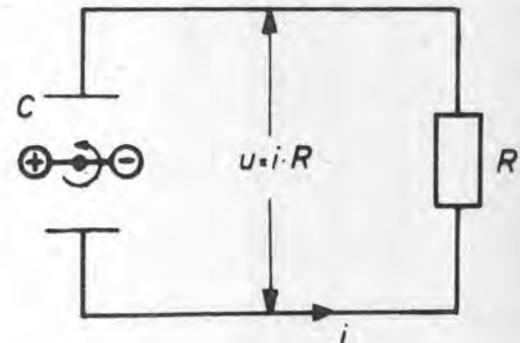
Bei gewissen kristallinen Körpern entstehen durch mechanische Beanspruchung an bestimmten Außenflächen elektrische Ladungen durch Verschiebung des Ionengitters. Die von diesen Kraftwirkungen hervorgerufenen Ladungen sind von den Abmessungen des beanspruchten piezoelektrischen Körpers unabhängig. Zwischen der Ladung Q und der Kraft P ist Proportionalität vorhanden. Proportionalitätsfaktor ist der Piezomodul d .

Es besteht also die Gesetzmäßigkeit $Q = d P$.

Diese Erscheinung nennt man den direkten piezoelektrischen Effekt. Die Richtungsabhängigkeit des Piezomoduls wird im allgemeinen durch zwei Indizes gekennzeichnet. Beim reziproken piezoelektrischen Effekt treten mechanische Spannungen im piezoelektrischen Material als Folge eines angelegten Feldes auf. Beide Effekte sind polarer Natur. Für piezoelektrische Meßzwecke wurde bisher hauptsächlich der Quarzkristall herangezogen, neuerdings wird in zunehmendem Maße Bariumtitanat verwendet.

Während man aus Einkristallen Körper mit piezoelektrischen Eigenschaften durch orientierende Schnitte erhält, weist das synthetische polykristalline Material »Bariumtitanat« dieses Verhalten erst nach geeigneter Vorbehandlung auf. Die physikalischen Eigenschaften von Bariumtitanat sind von der beim Herstellungsprozeß angewendeten Verfahrenstechnik abhängig [50]. Die Herstellungsphasen sind im wesentlichen das Vorbrennen aus TiO_2 und $BaCO_3$, das Aufmahlen der Masse und das Dichtsintern der mit geringen verbessernden Zusätzen versehenen Rohware. Die so erhaltene $BaTiO_3$ -Keramik ist praktisch porenfrei und besitzt außergewöhnliche dielektrische Eigenschaften. Piezoelektrisch wird dieses

Bild 54 Ersatzbild für ein an den Verstärker angeschlossenes piezoelektrisches Element bei sinusförmigem Kraftverlauf



Material durch das Ausrichten seiner elektrischen Dipole im starken Gleichspannungsfeld [51]. Dabei wird das zunächst über den Curie-Punkt (120° C) erwärmte Material im Verlauf der Polarisation bis auf 70° C abgekühlt. Zwischen dieser »induzierten« Piezoelektrizität und dem Ferromagnetismus besteht eine formale Ähnlichkeit.

Gegenüber Quarz weist Bariumtitanat einen wesentlich größeren piezoelektrischen Effekt auf. Aus diesem Grund eignet es sich speziell zum Messen sehr kleiner Kräfte. Von Nachteil ist lediglich sein relativ geringer Isolationswiderstand. In Tabelle 3 sind die interessierenden physikalischen Eigenschaften von Bariumtitanat zusammengestellt. [52] [53]

β. Messung piezoelektrischer Spannungen

Um die Meßgröße registrieren zu können, werden die piezoelektrischen Ladungen in Spannungen umgewandelt und ausreichend verstärkt. Bei unendlich großem Verstärkereingangswiderstand ist die Eingangsspannung $U = Q/C$.

Die Gesamtkapazität C setzt sich aus der Kapazität des Aufnehmers, der Verbindungskabel und den anderen Teilkapazitäten der Meßeinrichtung zusammen. Von Einfluß auf die Meßgröße ist auch der parallel zum piezoelektrischen Meßelement liegende gesamte Ableitwiderstand R (vgl. Bild 54).

Bei einer angenommenen sinusförmigen Ladungsänderung setzt sich der Augenblickswert der Ladung aus dem auf den Kondensatorbelegungen befindlichen und dem über den Widerstand R abgeflossenen Teilbetrag zusammen.

$$\text{Es ist also } q = CiR + \int i dt = Q_0 \sin \omega t$$

$$\text{bzw. } \frac{di}{dt} + \frac{1}{RC} i = \frac{\omega Q_0}{RC} \cos \omega t.$$

Als Lösung dieser Differentialgleichung ergibt sich:

$$i = \frac{\omega Q_0}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \sin \left(\omega t + \arctg \frac{1}{\omega RC} \right) - \frac{\omega Q_0}{1 + (\omega RC)^2} e^{-t/RC}$$

Mit $u = iR$ und $U_0 = Q_0/C$ wird die durch den Verstärker am Widerstand gemessene Spannung:

$$u = \frac{U_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC} \right)^2}} \sin \left(\omega t + \arctg \frac{1}{\omega RC} \right) - \frac{U_0}{\frac{1}{\omega RC} + \omega RC} e^{-t/RC}$$

Wie aus dieser Gleichung hervorgeht, hat auf die Größe der Spannung u der Betrag ωRC wesentlichen Einfluß. Die verzerrungsfreie Wiedergabe der Meßgröße durch das elektrische System wird ausreichend gewährleistet, wenn der

Bild 55 Bariumtitanat-Aufnehmer

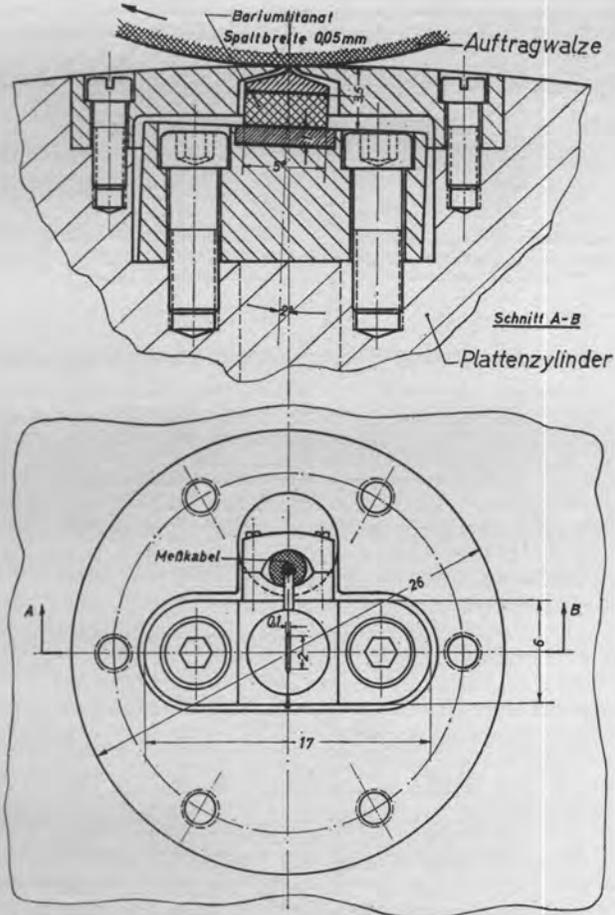
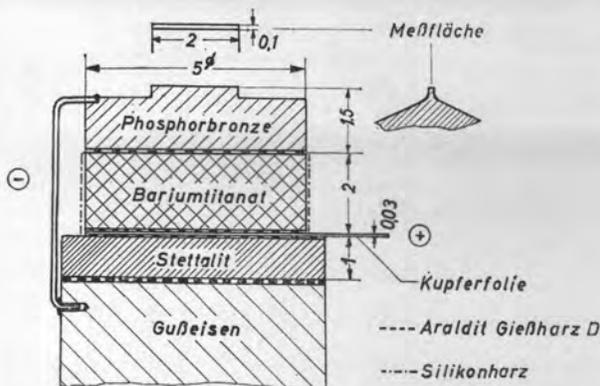


Bild 56 Eingebauter Bariumtitanat-Aufnehmer

Zahlenwert von $\omega RC > 1$ ist. Auf meßtechnischem Wege ist daher eine möglichst hohe Zeitkonstante $\tau = RC$ anzustreben. [54]

b) Mechanisch-elektrisches Meßsystem

α. Bariumtitanat-Aufnehmer

Da piezoelektrische Aufnehmer üblicher Bauart [55] für die Messung der Kräfteverteilung beim Farbspaltungsprozeß konstruktionsbedingte wesentliche Nachteile aufweisen, war es notwendig, durch ein Meßelement von einfachstem Aufbau diese Mängel auszuschalten. Eine entsprechende Möglichkeit ergab sich durch die Verwendung eines geklebten Systems [56]. Die Benutzung dieses Prinzips ermöglicht wegen des Wegfalles komplizierter Bauteile (Federhülse, Verschraubung usw.) die Herstellung sehr hoch abgestimmter Systeme kleiner Masse von besonders hoher Meß- und geringer Erschütterungsempfindlichkeit.

Das geschaffene Meßelement zeigt Bild 55. Der Bariumtitanatkörper wurde durch Schleifen aus polarisierter Keramik erhalten. Die als sehr steife Feder wirkende Bariumtitanatscheibe ist mit einer vom gußeisernen Grundkörper isolierten Potential-Endklemme und dem Aufnehmerkopf, der eine Masseverbindung besitzt, welche als zweiter Pol und Abschirmung dient, verklebt. Die zu verklebenden Teile wurden, um eine dünne Schicht zu erhalten, nach dem Auftragen von Araldit-Gießharz D + Härter 951 unter Druck zusammengefügt. Das Trocknen erfolgte bei +50° C. Zur Ausschaltung von Feuchtigkeitseinflüssen wurde die Mantelfläche des Meßelementes mit einer Silikonharzlösung präpariert, die ausgezeichnete dielektrische Eigenschaften besitzt. Um zu erreichen, daß nur die kleine Meßfläche des aus einer Kupferlegierung bestehenden Aufnehmerkopfes eingefärbt wird, erhält sie eine farbabstoßende Umgebung.

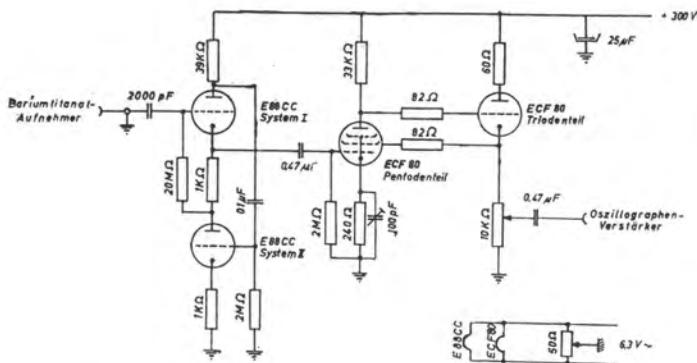


Bild 57 Vorverstärker mit hochohmigem Eingangswiderstand

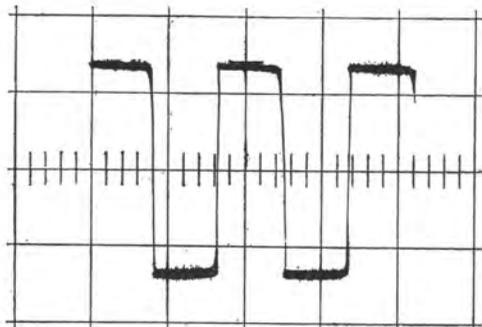


Bild 58 Von der Meßanlage registrierte Rechteckspannung. Frequenz: 5 kHz

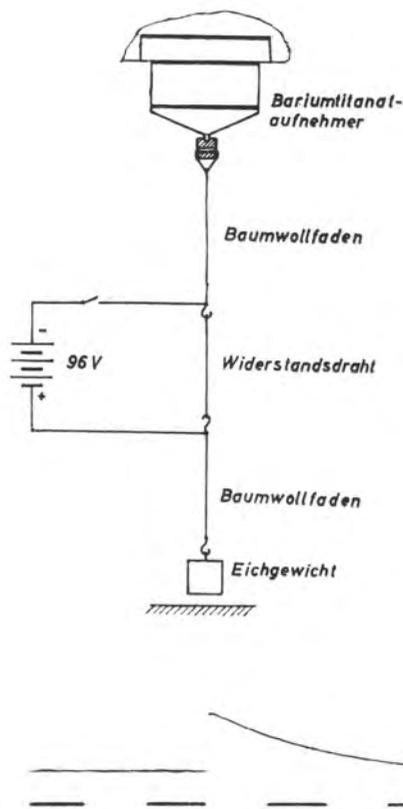


Bild 59
Vorrichtung des Bariumtitanat-Aufnehmers zur plötzlichen Gewichtsentlastung

Bild 60 Entladungsverlauf nach plötzlicher Gewichtsentlastung. Eingezeichneter Zeitmaßstab: Strichlänge $\approx 5 \cdot 10^{-2}$ s

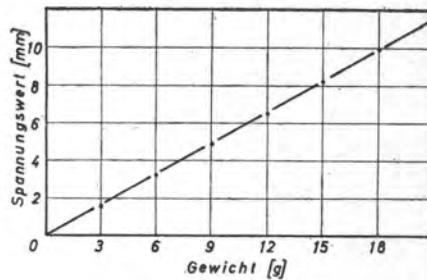


Bild 61 Eichkurve des Bariumtitanat-Aufnehmers

Bild 56 gibt den eingebauten, von einem V4A-Deckel umschlossenen Bariumtitanat-Aufnehmer wieder. Seine Mittelachse und der sie in der Meßfläche schneidende Zylinder-radius schließen einen Winkel von $\sim 2^\circ$ ein, um nach dem Verlassen der Druckzone einen zur Meßfläche senkrechten Abriß des Farbfadens weitgehend zu gewährleisten. Die piezoelektrischen Ladungen werden durch ein abgeschirmtes Kabel über ein gut isoliertes Schleifringgerät dem Verstärker zugeführt. Schleifringübergangswiderstände sind bei diesem hochohmigen Meßsystem ohne Bedeutung.

β . Elektronische Meßapparatur

Wird ein Bariumtitanat-Aufnehmer direkt an den Oszillographenverstärker angeschlossen, so besitzt dieses Meßsystem wegen des im allgemeinen nur einige Megohm betragenden Eingangswiderstandes eine kleine Zeitkonstante $\tau = CR$. Es können daher nur genügend hohe Frequenzen einwandfrei übertragen werden. Da wegen $U = Q/C$ die Spannungsempfindlichkeit mit zunehmender Kapazität des Eingangskreises abnimmt, ist es im vorliegenden Fall auch nicht

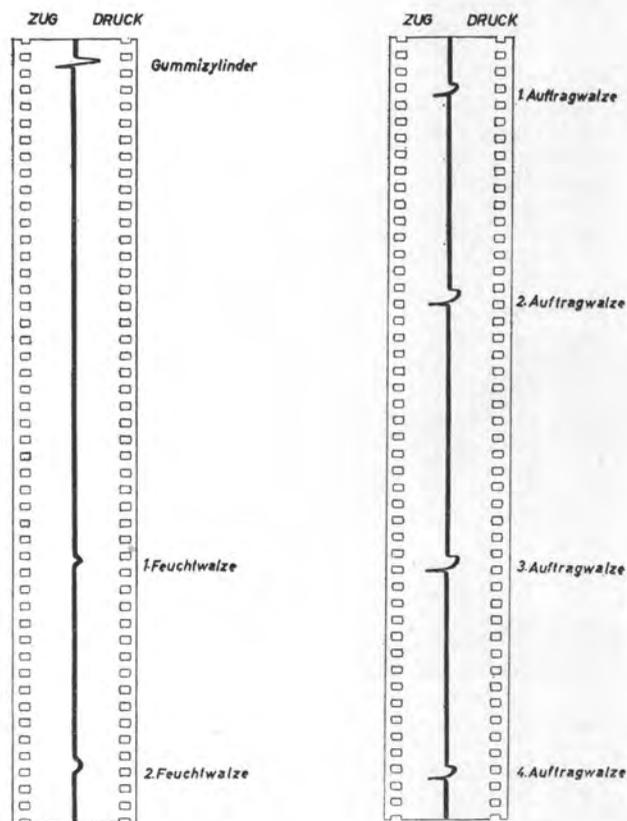


Bild 63 Bei der Farbspaltungsuntersuchung pro Umdrehung registrierte Meßvorgänge. Maschinengeschwindigkeit: 4000 Uph

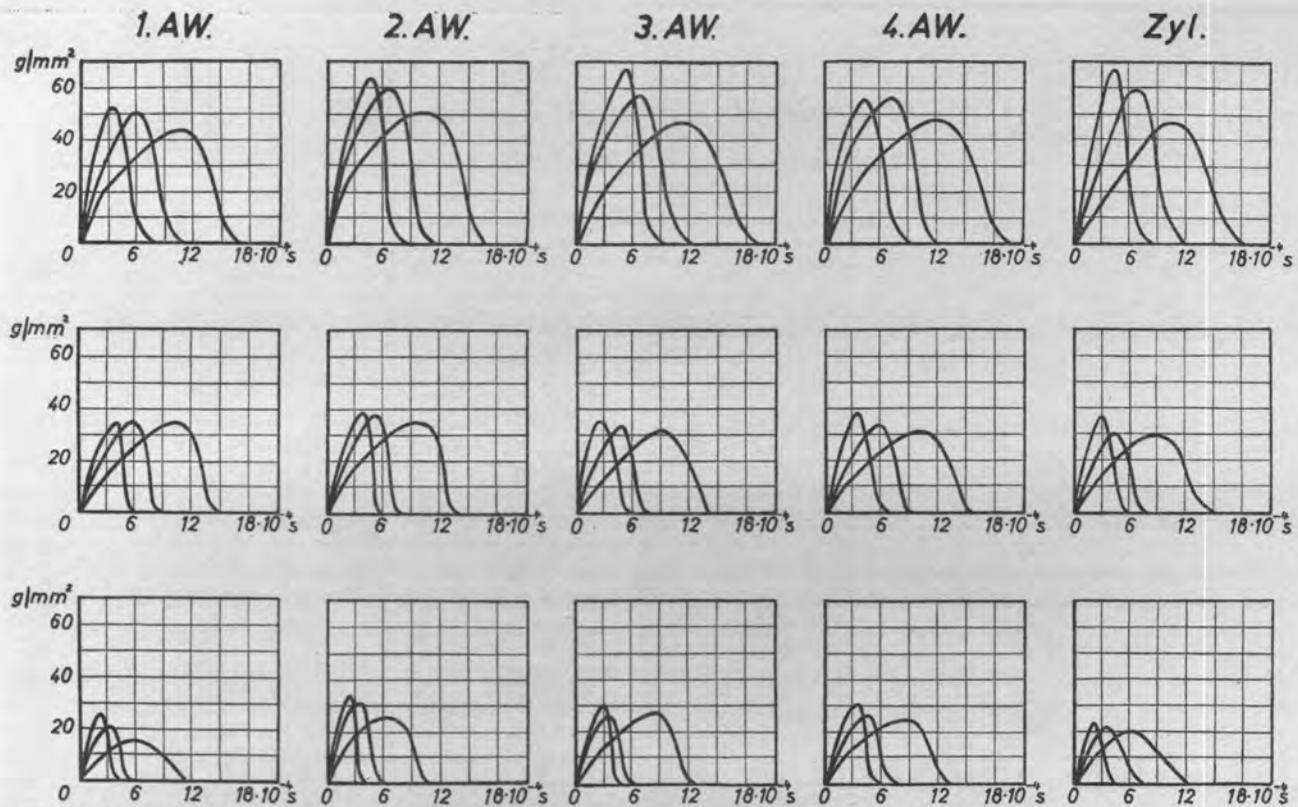


Bild 64 Für drei verschiedene Offsetfarben pro Zylinderumdrehung beim Farbspaltungsvorgang registrierte Spannungsverteilung
 Maschinengeschwindigkeit: 2000, 4000 und 6000 Uph

sinnvoll, C zu erhöhen. Auf Grund dessen sind Kathodenverstärker [57], die hohen Eingangswiderstand und niedrigen Ausgangswiderstand aufweisen, als Bindeglied zwischen Bariumtitanat-Aufnehmer und Oszillographenverstärker vorteilhaft einzusetzen. Fleming [58] hat einen abgewandelten Zweistufen-Kathodenverstärker von 750 Megohm Eingangswiderstand beschrieben, dessen Schaltbild unter Verwendung einer moderneren Röhre für die Eingangsstufe des zu schaffenden Vorverstärkers herangezogen wurde. Dieser durch Bild 57 wiedergegebene Vorverstärker entstand in Zusammenarbeit mit der Philips-Service-Abteilung Frankfurt. Das System I der Eingangsrohre E 88 CC ist als Kathodenverstärker geschaltet und arbeitet als Impedanzwandler. System II dient als Gegenkopplungsverstärker. Hierbei erfolgt ein fast vollständiges Kompensieren des Eingangsstroms. Die niederohmige Ausgangsspannung an der Kathode des Systems I wird dem Pentodenteil einer ECF 80 zugeführt. Das verstärkte Signal gelangt von der Anode zum Gitter des als Kathodenendverstärker geschalteten Triodenteils der ECF 80. Das so erhaltene niederohmige Ausgangssignal des aus Stabilitätsgründen mit einer wirksamen Gegenkopplung versehenen Verstärkers kann nun dem Oszillographenverstärker zugeleitet werden.

Der Vorverstärker hat eine Bandbreite von ca. 10 Hz bis 300 kHz. Die obere Frequenzgrenze der elektronischen Meßapparatur wird jedoch vom 50 kHz-Oszillographenverstärker bestimmt, der eine gute Sprungcharakteristik besitzt. Zur Kennzeichnung der Übertragungseigenschaften der Gesamtanlage kann das durch Bild 58 wiedergegebene Oszillogramm einer angelegten 5 kHz-Rechteckspannung dienen.

Die Zeitkonstante des Systems wurde experimentell durch Entladung des Bariumtitanat-Aufnehmers nach plötzlicher Gewichtsentlastung bestimmt. Hierfür ist eine Vorrichtung

(Bild 59) geschaffen worden, die auch zum Eichen diente. An die Meßfläche des Aufnehmers wurde mittels eines sehr hart werdenden, aber leicht löslichen Klebstoffes eine Zusatzeinrichtung befestigt. Hierbei wurde zwischen zwei isolierende Baumwollfäden ein Mittelstück aus 0,02 mm dickem Konstantandraht angeordnet, der beim plötzlichen Anlegen einer Gleichspannung von 96 Volt durchbrannte und eine momentane Trennung des Belastungsgewichtes vom Aufnehmer bewirkte. Den Verlauf der Entladung nach momentaner Entlastung zeigt Bild 60. Die Zeitkonstante $\tau = CR$ des Systems, als die zum Absinken auf den e -ten Teil der Ausgangsspannung notwendige Zeitdauer, kann diesem Diagramm unmittelbar entnommen werden und beträgt $9,5 \cdot 10^{-2}$ Sekunden. Da auf Grund dieses Zahlenwertes keine statische Eichung möglich ist, wurde auf die oben beschriebene Weise dynamisch geeicht. Bei diesem Eichverfahren entspricht dem Belastungsgewicht die Sprunghöhe (s. Bild 60). Die so erhaltene linear verlaufende Eichkurve wird durch Bild 61 wiedergegeben.

Während die Zeitkonstante auf die untere Frequenzgrenze der durch die Meßeinrichtung verzerrungsfrei zu erfassenden Vorgänge Einfluß nimmt, ist die obere Frequenzgrenze von der Eigenschwingungszahl des Aufnehmers abhängig.

Obwohl die Resonanzfrequenz des Bariumtitanat-Aufnehmers relativ einfach aus Impedanzkreismessungen [59] ermittelt werden kann, genügt für die vorliegenden Verhältnisse eine Abschätzung [60]. Es kann daher die Keramikscheibe mit der Federkonstante $c \rightarrow \infty$ und die davor liegende Aufnehmerkopfmasse $m \rightarrow 0$ als Schwingungssystem aufgefaßt werden. Für die Eigenschwingungszahl $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c/m}$ ergibt sich somit ein sehr hoher Wert, so daß von ihr das Meßergebnis nicht beeinflußt wird.

c) Ergebnisse

Zur Bestimmung des Verlaufs der beim Farbspaltungsvorgang auftretenden Zugspannungen nimmt die 0,2 mm² große Meßfläche des in dem Plattenzylinder eingebauten Aufnehmers als druckendes Element am Farbübertragungsvorgang teil; sie wird also von den vier Auftragswalzen (70, 60, 60, 70 mm Ø) eingefärbt und überträgt anschließend einen Teil der so erhaltenen Farbe auf den Gummizylinder. Während einer Zylinderumdrehung erfährt daher der Aufnehmer fünfmal die Kraftwirkungen der sich spaltenden Druckfarbe, welche von der elektrischen Meßanlage (Bild 62) registriert werden. Gemessen wurde während des Fortdrucks bei normalen Maschinenverhältnissen. Mit Rücksicht auf die hohe Aufnehmerempfindlichkeit war die Druckanstellung zwischen Platten- und Gummizylinder niedrig, aber ausreichend.

Die pro Zylinderumdrehung registrierten Vorgänge enthält der Filmstreifen des Bildes 63. Zur bequemeren Wiedergabe dieser orientierenden Übersicht wurde nur eine zur Auflösung der Spannungsverteilungskurve gerade ausreichende Filmgeschwindigkeit gewählt. Die interessierenden Meßimpulse setzen sich aus der in diesem Zusammenhang unwesentlichen Druckverteilungskurve, deren Verlauf vom Aufnehmer wegen der Einflußnahme von Tangentialkräften usw. nur ungefähr wiedergegeben wird, und dem sich unmittelbar anschließenden Spannungsverlauf des Farbspaltungsvorganges zusammen. Die in den nächsten Bildern dargestellten, zu verschiedenen Maschinengeschwindigkeiten gehörenden Kurvenzüge wurden mit 380 cm/s registriert, vergrößert und nachgezeichnet.

Bild 64 enthält für die pro Zylinderumdrehung fünfmal am Aufnehmer erfolgende Spaltung die Spannungs-Zeitkurve von drei verschiedenen, bei 2000, 4000 und 6000 Uph beanspruchten Offsetfarben. Für insgesamt acht Offsetfarben von unterschiedlicher plastischer Viskosität ist in Bild 65 das Spaltungsverhalten bei dem mit 2000, 4000 und 6000 Uph erfolgten Einfärben des Gummizylinders zusammengestellt. Die angegebenen Spannungen sind definiert durch den Quotienten:

Gemessene Zugkraft / Meßfläche des Aufnehmers (0,2 mm²).
Der Vorgangsablauf ist kurzzeitig genug, um die verzerrungsfreie Wiedergabe ($\omega\tau > 1$) zu gewährleisten.

Diesen Kurven ist unmittelbar zu entnehmen:
Der maximal auftretende »Zug« (Tack),
die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Zuges,
die Zeitdauer der Ausziehbewegung.

Die Kurvenform kennzeichnet summarisch die Einflußfaktoren des Vorganges. Auf den Verlauf des Spannungsanstiegs wirken sich vor allem elastische und plastische Beanspruchungsreaktionen der Farbe aus. Die Charakteristik des nach Überschreiten des Maximums eintretenden Spannungsabfalls läßt auf eine rasch zunehmende Verringerung des wirksamen Farbquerschnitts schließen. Bei der Kurvendiskussion ist weiterhin hervorzuheben, daß sich die verdrukten Offsetfarben in bezug auf die Größe und Geschwindigkeitsabhängigkeit des maximal auftretenden Zuges sehr spezifisch verhalten. Die Zeitdauer der Ausziehbewegung ist, wie versuchsmäßig belegt werden konnte, ein sehr kurzzeitiger Vorgang, sie liegt bei 6000 Uph zwischen 10⁻⁸ und 10⁻⁴ Sekunden und ist von der Höhe des Zuges abhängig. Durch die Dauer der Zugbeanspruchung kann auch die Länge einer Farbe charakterisiert und zahlenmäßig mit anderen, bei derselben Druckgeschwindigkeit untersuchten Farben verglichen werden. Die Zeitdauer der Ausziehbewegung ist nicht nur von der Druckgeschwindigkeit und Farbbeschaffenheit, sondern auch von der Farbschichtdicke abhängig. Wird die einer satten Einfärbung entsprechende Farbschichtdicke reduziert, so verringern sich der Zug und die Beanspruchungsdauer. Auf die Höhe des Zuges wirken sich ebenfalls der auch auf die Ausbildung der Spaltform einfließende Anpreßdruck und die Beanspruchungsverhältnisse des Druckfarbenfilms in der unmittelbaren Umgebung der Meß-

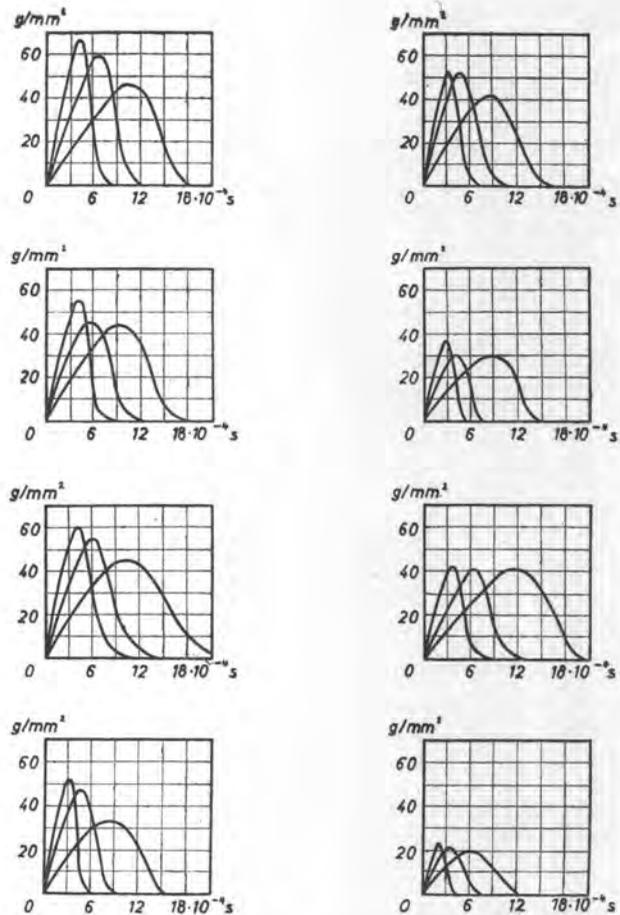


Bild 65 Spannungsverlauf beim Spaltungsvorgang für verschiedene Offsetfarben
Farbübertragungssystem: Platten-Gummizylinder
Maschinengeschwindigkeit: 2000, 4000 und 6000 Uph

fläche während des Spaltungsvorganges aus. Da Art und Größe der Deformation an der Ausgangsseite des Spaltes nicht näher bekannt sind, wurden keine Spannungs-Dehnungsdiagramme aufgestellt. Das abweichende Spaltungsverhalten, welches die Systeme Auftragswalze/Plattenzylinder und Plattenzylinder/Gummizylinder aufweisen, ist u. a. auf die Verschiedenheit von Spaltform und Farbschichtdicke, sowie auf die unterschiedliche Härte von Zylinderaufzug und Walzenmasse zurückzuführen.

C. Fehlerbetrachtung

1. Theoretische Überlegungen

a) Verzerrungsfreie Wiedergabe des Meßvorganges durch elektromechanische Systeme

Ein Aufnehmer unterliegt als schwingungsfähiges Gebilde den von der Meßgröße herrührenden Zwangsbewegungen. Wird als Extremfall der Beanspruchung die durch folgende Differentialgleichung

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + cx = P = \text{const.}$$

P Kraft
m Masse
x Auslenkung
t Zeit
k Dämpfung
c Federkonstante
 ω_k Kreisfrequenz der gedämpften freien Schwingung

formulierte sprungweise Erregung des Schwingers angenommen, so kann man der für kleine Dämpfungen geltenden Lösung dieser Gleichung

$$x = \frac{P}{c} \left[1 - e^{-kt/2m} \left(\cos \omega_k t + \frac{k}{2m \omega_k} \sin \omega_k t \right) \right]$$

entnehmen, daß eine unverfälschte Wiedergabe des Sprunges nicht realisierbar ist. Mit einsetzender Störkraft wird nämlich

das System in Eigenschwingung versetzt, deren Amplitude gemäß dem Faktor $e^{-kt/2m}$ abklingt. Dieser Einschwingvorgang kann erhebliche Verzerrungen verursachen. Die nicht sprunghafte Änderungsfunktion der Meßgröße bei angewandten Meßaufgaben kann jedoch durch Aufnehmer mit genügend hoher Eigenschwingungszahl und entsprechender Dämpfung ausreichend genau wiedergegeben werden. Die konstruktive Ausführung ist im allgemeinen in bezug auf das Schwingungsverhalten und die Meßempfindlichkeit ein Kompromiß. [61]

Der elektrische Teil der Meßanordnung hat die Aufgabe, das Eingangssignal so weit zu verstärken, daß es registriert werden kann. Jeder beliebig verlaufende zu verstärkende Meßimpuls $v(t)$ kann als halbe Periode eines periodischen Vorgangs angesehen werden und ist durch eine Fouriersche Reihe von der Form

$$v(t) = \sum_n a_n \cos(\omega_n t + \Psi_n)$$

angenähert wiederzugeben. Da im Verstärker lineare Verzerrungen auftreten, unterliegt das Ausgangssignal $V(t)$ folgender Gesetzmäßigkeit:

$$V(t) = \sum_n f_n a_n \cos(\omega_n t + \Psi_n - \varphi_n)$$

Hierbei sind der Verstärkungsfaktor f_n und die Phasenverschiebung φ_n Funktionen der Frequenz ω_n , aber nicht der Amplitude a_n . Die verzerrungsfreie Wiedergabe des Meßvorganges vom elektrischen Teil der Meßeinrichtung setzt daher voraus, daß im interessierenden Bereich der Verstärkungsfaktor f von der Frequenz ω unabhängig und φ proportional ω ist. Elektrische Meßanordnungen müssen daher diese Bedingungen im ausreichenden Maße erfüllen. [62]

b) Korrektur des Linienabstandes bei Interferenzmikroskopen

Tolmon und Wood [63] haben experimentell nachgewiesen, daß der Linienabstand bei Interferenzmikroskopen, die mit Hochleistungsobjektiven ausgestattet sind, etwas größer als $\lambda/2$ ist, weil hier im Gegensatz zu den Interferometern nicht mehr mit parallelstrahlendem, sondern mit stark konvergentem Licht gearbeitet wird. Der Korrekturfaktor ist aus dem Vergleich interferometrischer und interferenzmikroskopischer Messungen zu ermitteln. Eine derartige Korrektur für das Interferenzmikroskop nach Kobau ist jedoch bei der für photographische Aufnahmen üblichen Abblendung vernachlässigbar, da die korrigierten Werte je nach Abblendung nur 0 bis 2% größer als der Sollwert von $\lambda/2$ sind*.

2. Abschätzung der Meßfehler

a) Elektronische Verfahren

Um bei den durchgeführten Untersuchungen Meßfehler stark einzuschränken, wurden Aufnehmer von linearem Beanspruchungsverhalten und genügend hoher Eigenschwingungszahl, sowie einwandfreie Übertragungssysteme eingesetzt und zuverlässige Eichungen durchgeführt. Diese elektromechanischen Systeme gewährleisteten eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Meßgröße. Die aufgetretenen Abweichungen lagen zwischen Null und einigen wenigen Prozenten. Diese Unterschiede werden aber noch von Auswirkungen, die nicht von der Meßanlage herrühren (z. B. maschinenbedingte Einflüsse), mitverursacht. Das Abschätzen des absoluten Meßfehlers ist sehr schwer, weil sich bei diesen komplizierten Apparaturen, an die zum Teil sehr weitgehende Forderungen gestellt werden müssen, sekundäre Einflüsse auswirken können, die mit vertretbarem Aufwand nicht zu behandeln sind. Die Meßgenauigkeit kann aber in jedem Fall zumindest als ausreichend angesehen werden.

b) Interferenzmikroskopie

Das Interferenzmikroskopische Meßprinzip ist praktisch frei von Fehlerquellen. Bei der Untersuchung von eingefärbten Rasterpunkten ist die Meßunsicherheit kleiner als ein Linienabstand.

III. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Als Beitrag zum Druckprozeß bei Offset-Bogenrotationsmaschinen behandelt die vorliegende Arbeit primär interessierende maschinen- und verfahrenstechnische Zusammenhänge dieses komplexen Vorganges. Mit elektro-mechanischen Systemen, die auf dem Dehnungsmeßstreifenprinzip oder dem piezoelektrischen Verfahren basieren, wurden unter praxisüblichen Verhältnissen beim Druckvorgang auftretende Kräfte erfaßt. Hierbei sind die zum Ausdrucken notwendigen Anpreßdrücke für Papiere verschiedener Rauigkeit, sowie die Druckverteilung in Abhängigkeit von der Aufzugsart, vom Anpreßdruck und der Maschinengeschwindigkeit ermittelt worden. Das Verhalten von Offsetfarben unter Druckbedingungen konnte durch die Registrierung des beim Spaltungsvorgang in der Druckmaschine auftretenden Spannungsverlaufs sowie durch die interferenzmikroskopische Beurteilung der bei verschiedenen Druckgeschwindigkeiten eingefärbten Bildelemente gekennzeichnet werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung dieser Untersuchungen war die Entwicklung spezieller Aufnehmer, die hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung und werkstatmäßigen Ausführung den hohen Anforderungen der Meßverfahren entsprachen.

Durch die experimentelle Erfassung wesentlicher Vorgänge und Erscheinungen des Druckprozesses in Abhängigkeit von verfahrensbedingten Wechselwirkungen ist versucht worden, Grundlagen zu schaffen, bisherige Erkenntnisse zu erweitern sowie neue, unmittelbare Test- und Kontrollmethoden zu erschließen.

Von den zahlreichen noch zu bearbeitenden Problemen erscheint in diesem Zusammenhang die Erfassung der im Berührungsgebiet der Zylinder auftretenden Tangentialkräfte und eine genügend Phasenbilder liefernde Bewegungsanalyse der schnellen Trennung des Farbfadens als vordringlich und meßtechnisch durchführbar.

* Auf Grund der vom Hersteller auf Anregung des Instituts für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführten Eichmessungen.

LITERATURVERZEICHNIS • LITERATURE

- | | | |
|--|---|--|
| [1] Rupp, E.: Chemie und Physik des Flachdrucks. Fachbuchverlag GmbH Leipzig, 3. Auflage 1953 | vorgangs und der Wechselwirkung zwischen Papier und Farbe im Hochdruck. Papier und Druck 6 (1957), Nr. 7, S. 98 | Dehnungsmeßstreifens. Verlag Stahleisen mbH Düsseldorf (1952), S. 9—16, 22 |
| [2] Hebsaker, M.: Über Druckauswirkungen beim Hochdruckverfahren. Dissertation TH Stuttgart (1927) | [6] Schniedewind, H.: Maschinen für Druck und Papierverarbeitung. Die Technik 9 (1954), Nr. 11, S. 624 | [10] Koch, J. J. u. a.: Dehnungsmeßstreifen-Meßtechnik. N. V. Philips' Eindhoven, Abt. für technische und wissenschaftliche Literatur (1951), S. 12—24 |
| [3] Ebert, W.: Messungen in Druckmaschinen mit Dehnungsmeßstreifen. Industrie-Elektronik 3 (1955), Nr. 3/4, S. 8—11 | [7] Reed, R. F. u. Wheeler, G.: Operating Factors in Offset Printing on Coated Papers. TAPPI 36 (1953), Nr. 10, p. 138A | [11] Fink, K.: Grundlagen und Anwendungen des Dehnungsmeßstreifens. Verlag Stahleisen mbH. Düsseldorf (1952), S. 19 |
| [4] Pihl, L. u. Olsson, J.: Pressure Distribution in Letterpress Printing. Printing Equipment Engineer 83 (1953), Nr. 5, p. 47/48, 50/51 | [8] Koch, J. J. u. a.: Dehnungsmeßstreifen-Meßtechnik. N. V. Philips' Eindhoven, Abt. für technische und wissenschaftliche Literatur (1951), S. 2—9 | [12] Wachter, J.: Dehnungsmessungen an umlaufenden Bauteilen. Der Einfluß von Schleifringübertragern. VDI-Z. 98 (1956), Nr. 3, S. 93—97 |
| [5] Kosarowitzki, L. A.: Grundsätzliches zu den Methoden der Untersuchung des Druck- | [9] Fink, K.: Grundlagen und Anwendungen des | [13] Brandt, W.: Fortschritte in der Vielstellen- |

CONTRIBUTIONS TO THE PRINTING PROCESS ON SHEET-FED OFFSET PRINTING PRESSES

BEITRÄGE ZUM DRUCKPROZESS BEI OFFSET - BOGENROTATIONSMASCHINEN

The experimental research concerning the printing process is an absolute necessity particularly as regards the offset printing process on account of its complex nature.

The printing process on sheet-fed offset printing presses starts with the offset printing plate being moistened and inked-up. In the next step the blanket-cylinder which has an elastic packing takes up the inked-up image of the plate-cylinder and transfers the same to the paper which runs over the printing cylinder.

The single components of this process which interest us in the first place are as follows: the numerical value of the impression force necessary for the printing process, the distribution of the pressure forces in the contact area of the cylinders, the behaviour of the ink during the ink-splitting process and the effects of particular paper characteristics.

The cylinder-packing being a combination of rubber, textiles and paper of variable hardness, — the printing ink which is a highly concentrated dispersion of the ink pigment in oleo-colloids with a more or less distinct space structure, — and the paper which is a poly-dispersive fibrous material, — — these three material elements possess specific mechanical structure properties that exercise an essential influence upon the printing process.

For the research work done on the printing process, electronic and optical measuring methods have been made use of. The rapidly changing forces appearing on the printing press have been ascertained by means of the elongation strip chart or with the piezoelectric method.

The measuring arrangement used for this purpose was composed of an electro-mechanical receiver, a measuring amplifier, an electron ray oscilloscope and a register-camera.

The elongation strip-chart method which serves for the purpose of measuring the impression forces determines the relative resistance variations of the mechanically stressed strip-chart by means of a carrier frequency measuring bridge based upon the Wheatstone principle. This method makes a static calibration possible. For obtaining a high measuring sensitivity, a natural frequency and linearity, it was necessary to give the electro-mechanical transducers which work in accordance with the above mentioned principle for these particular measuring tests a constructional design which is in optimal accordance with the problems to be solved.

However, experiments made with elongation strip-charts on rotating cylinders do not yield faultless and reproducible results, even if the very best slip-ring transmitter together with the usual bridge-connection is made use of. Yet the effects which the varying transfer resistances caused by the slip-ring apparatus have upon the measuring value become irrelevant, in case it is possible to arrange all the four bridge branches upon the rotating cylinder. If however two bridge branches are located in the elongation measuring instrument, the application of a circuit arrangement similar to the principle of the Thomson bridge will obtain the result that the varying transfer resistances do not have any influence any more.

The piezoelectric method which is made use of in order to determine the development of forces during the ink-splitting process is particularly suitable for the distortion-free determination of very small forces of a very short duration. It is characterized by the fact that electric charges appear on certain outside surfaces of crystalline bodies, charges that originate from a negative grid being shifted on account of mechanical stress. The relation existing between the electric charge and the impression force is proportionate. In order to be able to record the measuring size, the piezoelectric charges have to be transformed into voltages, being sufficiently amplified at the same time. For the distortion-free reproduction of the measuring values by means of the electric system, the condition expressed by the formula $\omega RC > 1$ must be fulfilled. Therefore it is necessary to connect the measuring element with an amplifier with a very high input resistance, when using barium-titanate ceramics. By using a modified two-stage cathode follower circuit it was possible to realise an input resistance of ~ 750 megohms. This piezoelectric measuring system requires a dynamic calibration. However variable slip-ring transition resistances are of no importance for this high-ohm system.

The measuring technique for determining and interpreting the printing ink films made use of the interference microscope research method. In the interference microscope there is an interferometer coupled with a top-illumination microscope. The light-beam bundle originating from a monochromatic light-source is split up by means of a half-transparent mirror-coated splitter-surface. For obtaining the desired beam-interference there is used the expedient of the parallel shifting of the objective + comparison mirror in the

LITERATURVERZEICHNIS · LITERATURE

- Meßtechnik mit Dehnungsmeßstreifen. *Industrie-Elektronik* 3 (1955), Nr. 6, S. 17
- [14] Brecht, W. u. Geenen, H.: Die Glättmeßgeräte von Bekk, Gurley-Hill und Bendtsen. Ein gerätetechnischer Vergleich. *Wochenblatt für Papierfabrikation* Jg.85 (1957), H. 12, S. 447—451
- [15] Freudenthal, A. M.: Inelastisches Verhalten von Werkstoffen. VEB Verlag Technik Berlin (1955), S. 179
- [16] Funk, G.: Triebkraft und Drehmoment bei Hochdruck-Rotationsmaschinen. Dissertation an der TH Berlin (1938)
- [17] Funk, G.: Triebkraft und Drehmoment bei Hochdruck-Rotationsmaschinen. Dissertation an der TH Berlin (1938), S. 21
- [18] Wolfe, H. J.: *Printing and Litho Inks*. MacNair-Dorland Company New York (1949)
- [19] Voet, A.: *Ink and Paper in the Printing Process*. Interscience Publishers Inc. New York, London (1952), S. 77
- [20] Dotzel, W.: Das Flushen von Pigmenten. *Z. Fette-Seifen-Anstrichmittel* 57 (1955), Nr. 12, S. 1034/35
- [21] Houwink, R.: *Elastizität/Plastizität und Struktur der Materie*. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 2. Auflage (1957), S. 4
- [22] Sliwka, W.: Die Messung der Viskosität der Flüssigkeiten mit Hilfe eines Rotationsviskosimeters. Dissertation an der TH Hannover (1955)
- [23] Pawlowski, J.: Rotationsviskosimeter mit „wegloser“ Drehmomentmessung. *Chemie-Ingenieur-Technik* 28 (1956), Nr. 12, S. 786
- [24] McKennel, R.: Einige charakteristische Merkmale der Kegel-Platte-Viscosimeter. *Kolloid-Zeitschrift* 145 (1956), Nr. 2, S. 114
- [25] Helmes, E.: Ein registrierendes Viscosimeter zur Aufnahme von Fließkurven. *Chemie-Ingenieur-Technik* 25 (1953), Nr. 7, S. 390 bis 394

basic setting. The interference lines that appear on the mirror surfaces connect points of equal path-length differences and they follow one upon the other at a distance of half a light-wave length.

As is generally known, certain pressure forces that depend upon the kind of printing process are necessary to transfer the ink upon the paper to be printed upon. As regards the impression forces existing on a sheet-fed offset press we have only approximate numerical values at our disposal, and these values have only been obtained so far on the indirect way. As there is an unequal distribution of forces over the entire printing zone width, the present investigation determined the impression force appearing on an offset-press as the fractional part of the existing total impression in *kilograms per centimeter of the effective cylinder width*.

In order to determine the impression forces existing between the cylinders of the offset-press by means of the elongation strip-charts, it is convenient to install a bridge-shaped impression-receiver into the cylinder-body of the blanket-cylinder (see illustration 5). This arrangement will make it possible to determine the forces appearing in these two impression zones with one test-element only. It furthermore takes into account to a very great extent the specific requirements of the testing technique. The calibration as well as the determination of the natural period and of the damping behavior was made in the built-in state. The amount of the impression force which is necessary for obtaining good printing results depends essentially upon the specific qualities of the offset press, upon the cylinder packing, upon the offset-plate, the paper and the printing ink. On account of these variable influence factors the tripping-on can only be determined by the individual evaluation of the printing result obtained on the proof-sheet. When doing so, right at the start, all those factors are taken into account for long-run printing that call for an increased impression, such like for instance: variations of the paper thickness and paper dust collection on the rubber blanket. However in practice the impression forces are very often considerably higher than should be necessary. A high impression force leads to an enlargement of the half-tone elements on account of the influence thus exercised upon the liquid printing ink. The resulting change of the tonal values lowers the quality of the printing reproduction. Therefore it is necessary to reduce the applied impression forces to a possible minimum in order to work against the dislocation of ink together with other factors that have been adjusted to optimal conditions. The impression forces existing under normal working con-

ditions have been determined during the run-on printing under faultless machine and printing conditions. A half-tone image was printed from a bimetallic plate at a printing speed of 4000 revolutions per hour. The composition of the cylinder packing was in accordance with normal standards, i. e. rubber blanket, underlay blanket and make-ready sheet. The numerical values obtained for the various types of paper concerning the impression forces existing between impression cylinder and blanket cylinder are situated between 4,5 kg per cm for super-glazed art paper with a smoothness number in accordance with Bekk of 2500 and 12 kg per cm for aquarel drawing paper with the Bekk smoothness number of 3. (see chart No. 1)

The impression force caused by the usual tripping-on under normal working conditions is, as already has been mentioned, mostly higher than is necessary for obtaining good printing results. Therefore it was of considerable interest to find for the mentioned various paper qualities by means of a delicately stepped pressure adjustment that impression force that would still with certainty provide faultless printing results. These results can be distinctly reproduced in interrelationship with the Bekk smoothness number (see illustration No. 14). The curve train thus obtained gives informations concerning the possible decrease of the impression force with decreasing roughness of the paper. This curve becomes increasingly flatter with the increase of the smoothness values; this is due to the fact that the irregularities of the cylinder-surface begin to have an influence upon the printing result.

The impression force existing between the plate-cylinder and the blanket-cylinder was tested during the run-on and it was found to be approximately 5 kg per cm. This value was more than sufficient due to reasons of safety on the part of the printer, and it was possible to fall short with it without any difficulty. For the existing conditions it was found out that the lower limit was at 2,5 kg per cm. Here too a further decrease of the impression force is principally limited by the irregularities found in the contact area of the cylinders. These irregularities are due to thickness variations of the packing and of the offset-plate.

In addition to the numerical values of the impression force, the distribution of pressure forces in the contact area is of utmost interest for the characterization of the packing behavior. As the printing process can be characterized by a rolling motion under the influence of a normal force component, the cylinder packing is subject to deformations in the contact area of the cylinders. These deformations are influenced by the

LITERATURVERZEICHNIS · LITERATURE

- [26] Freundlich, H.: Über Thixotropie. Kolloid-Zeitschrift 46 (1928), Nr. 4, S. 289—299
- [27] Jobling, A.: Some Recent Developments in the Mechanical Testing of Materials. Journal of the Oil and Colour Chemists' Association 38 (1955), Nr. 12, p. 739
- [28] Reiner, M. u. Rivlin, R.: Die Theorie der Strömung einer elastischen Flüssigkeit im Couette-Apparat. Kolloid-Zeitschrift 43 (1927), Nr. 1, S. 1—5
- [29] Buchdahl, R. u. Thimm, J.E.: The Relationship between the Rheological Properties and Working Properties of Printing Inks. Journal of Applied Physics Vol. 16 (1945), p. 344—350
- [30] Voet, A.: Ink and Paper in the Printing Process. Interscience Publishers Inc. New York, London (1952), p. 77
- [31] Zettlemoyer, A. C., Scarr, R. F. u. Schaeffer, W. D.: Influence of Ink Properties on Transfer during Printing. International Bulletin (1958), Nr. 80, p. 90
- [32] Zettlemoyer, A. C., Scarr, R. F. u. Schaeffer, W. D.: Influence of Ink Properties on Transfer during Printing. International Bulletin (1958), Nr. 80, p. 94
- [33] Alfrey, T. jr.: Mechanical Behavior of High Polymers. Interscience Publishers Inc. New York, London (1948), p. 53
- [34] Voet, A.: Ink and Paper in the Printing Process. Interscience Publishers Inc. New York, London (1952), p. 74
- [35] Sjødahl, L. M.: Ink Flow on Rotating Rollers. American Ink Maker 29 (1951), Nr. 3, p. 31
- [36] Green, H.: Industrial Rheology and Rheological Structures. John Wiley & Sons New York (1949), p. 114
- [37] Heidebroek, E. u. Pietsch, E.: Untersuchungen über den Schmierzustand in der Grenzreibung. Z. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens 12 (1941), Nr. 2, S. 74—87
- [38] Bekk, J.: Über die mechanischen Eigenschaften der Druckfarben. Deutscher Drucker 44 (1938), S. 450—56
- [39] Voet, A.: Ink and Paper in the Printing Process. Interscience Publishers Inc. New York, London (1952), p. 62
- [40] Voet, A.: Ink and Paper in the Printing Process. Interscience Publishers Inc. New York, London (1952), p. 66
- [41] Borchers, Ch. H. u. Bruno, M. H.: Studies of Ink Transfer in Lithography. Intern. Bulletin (1958), Nr. 80, p. 96—102
- [42] Borchers, Ch. H. u. Bruno, M. H.: Studies of Ink Transfer in Lithography. International Bulletin (1958), Nr. 80, p. 98/99
- [43] Rantsch, K.: Oberflächenprüfung durch Lichtinterferenz. Feinmechanik und Präzision 52 (1944), Nr. 7/12, S. 75—85
- [44] Rantsch, K.: Oberflächenprüfung durch Licht-

condition of the packing, the pressure, the curvature of the cylinders, by the rolling speed and other factors.

The deformation behavior of the packing can be approximately described by a suitable mechanical model system, which is very clear and distinct. The elastic and plastic conditions which are the fundamental types of this deformation are reproduced here by a spring which is built in accordance with the Hooke's law and by a damper corresponding to the Newton viscosity law. The behavior of an offset cylinder packing under stress can be approximated by coupling a spring with a Kelvin unit. Under the term "Kelvin unit" is understood the parallel connection of a spring and a damper.

On account of the deformation of the cylinder packing in the contact area of the cylinders there appear also slipping movements and consequently also tangential forces in addition to the mentioned visco-elastic reactions. As this entire stress mechanism is very complicated and complex, the exact determination of the existing pressure distribution can only be found by corresponding experiments.

In order to determine the pressure distribution curve by measuring tests under different operational conditions of the offset printing press, it was also possible to make use of the strain gauge (SG) process. The test-values obtained were recorded by means of a suitable electro-mechanical receiver (see figure 18), built-in in the plate-cylinder and by means of the corresponding electronic installation. The receiver which was particularly designed for this purpose was made as a sensitive dynamometer with a negligible testing movement. With the printing press running, the measuring surface of the receiver tactile head, which is relatively narrow as compared with the impression zone width, comes into a momentary contact with the blanket cylinder at each revolution. During this contact it receives the normal force component which acts upon the surface element and which depends upon the rotation angle of the cylinder. Tangential forces do not have any effect upon the measuring process, as their line of application crosses the revolution axis of the compound lever arrangement. The most essential constructional feature of this system is the torsion-lever made of one piece and which is resistant to bending. The diameter of the torsion bar was kept so that during the influence of the impression force the 120 Ohm phenolic resin strain gauge strip of a thickness of approximately 0,04 mm which was hanged up freely movable on the other lever end was subject to length changes of only some thousandths of a millimeter.

For the determination of the pressure distribution curve a soft, a medium-hard and a hard cylinder packing were tested. The

experimental results thus obtained (see illustration 24 and chart 2) characterize the behavior of the cylinder packing and determine the pressure distribution in its functional dependence from several variable influence factors. When interpreting these curves, it is possible at first to show that the three different cylinder packings possess a similar behavior as regards the influence exercised upon them by the different press speeds. Compared with the quasi-static load conditions there follows at first a marked speed-dependent pressure increase. A further characteristic due to the visco-elastic behavior of offset cylinder packings is the reduction of the impression zone width as soon as the packing is exposed to dynamic stress. The resulting asymmetry of the pressure distribution curve is however considerably smaller than was believed so far.

The pressure distribution curves obtained for the three different cylinder packing materials also demonstrate clearly the influence exercised by the packing hardness upon the impression zone width. The numerical value of this influence is of particular interest for the printing technique. With the maximum compressive amplitude being equal, the soft cylinder packing has the greatest impression zone width, causing therefore the greatest total load (see illustration No. 25).

The height of the maximum compressive amplitude has in the first place a decisive influence upon the transfer process of the printing ink. A great impression zone width favors the ink-transfer to a very small degree due to the rather long contact-time; it produces however more distinct slipping movements in the contact area which lowers the quality of the reproduction. Therefore preference should be given to a hard cylinder packing that produces the necessary maximum pressure amplitude with an as small as possible impression zone width. Under the present printing press conditions however the medium-hard cylinder-packing will give a more advantageous tripping-on on account of its better compensating effect.

The reactions of the offset printing inks during the mechanical stress exercised by the printing process depend upon the properties of the vehicle and of the pigment as well as upon the mutual action these two components have upon each other. The vehicle viscosity or "tack", i. e. the resistance against the ink-film splitting at a high splitting speed and the "length" of a filament drawn out of the substance in the moment of splitting are influenced by the shape, the size, the wettability and concentration of the dispersed pigment as well as by the presence, kind and consistency of agglomerates and space structures.

Offset printing inks can be subject to non-reversible changes of their shape due to their liquid character. As to their flow-

LITERATURVERZEICHNIS · LITERATURE

- interferenz. Feinmechanik und Präzision 52 (1944), S. 77
- [45] Rantsch, K.: Grundsätzliches zur Interferenzmikroskopie. Werkstattstechnik und Maschinenbau 42 (1952), Nr. 10, S. 45
- [46] Rantsch, K.: Grundsätzliches zur Interferenzmikroskopie. Werkstattstechnik und Maschinenbau 42 (1952), Nr. 10, S. 46
- [47] Banks, W. H.: The Fountain Solutions and Ink. Penrose Annual 50 (1956), p. 146—148
- [48] Eschenbach, W. u. Wagenbauer, K.: Einsatzmöglichkeiten der Interferenzmikroskopie in der graphischen Technik. Der Polygraph 8 (1955), Nr. 19, S. 725
- [49] Wagenbauer, K.: Die interferenzmikroskopische Beurteilung von Druckfarbenschichten auf nichtsaugenden Materialien. Archiv für Druck und Papier 4 (1958), Nr. 4, S. 427—436
- [50] Mitteilungen der Rosenthal-Isolatoren GmbH, Werk III, Selb/Bayern (1957), Nr. 26, S. 1
- [51] Wunsch, H. L.: Messen der Schwingungen von Kugellagern bei Drehzahlen bis 60 000 U/min. (Referat) Konstruktion 9 (1957), Nr. 12, S. 506
- [52] Gohlke, W.: Mechanisch-elektrische Meßtechnik. Carl Hanser Verlag München (1955), S. 43—49
- [53] Sachse, H.: Ferroelektrika. Springer-Verlag Berlin (1956)
- [54] Gohlke, W.: Der Verstärkereingang bei piezoelektrischen Meßgeräten. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens 13 (1942), Nr. 4, S. 141
- [55] Gohlke, W.: Mechanisch-elektrische Meßtechnik. Carl Hanser Verlag München (1955), S. 125
- [56] Jones, E.: Cemented Piezoelectric Accelerometers. National Bureau of Standards Report Nr. 2654 (August 1953), p. 61/62
- [57] Geyger, W.: Der Katoden-Verstärker. Funk und Ton Nr. 3 (1943), S. 119—124
- [58] Fleming, L.: Cathode-Follower Design, National Bureau of Standards Report Nr. 2654 (August 1953), p. 174—177
- [59] Mitteilungen der Rosenthal-Isolatoren GmbH, Werk III, Selb/Bayern (1957), Nr. 26, S. 15
- [60] Gohlke, W.: Mechanisch-elektrische Meßtechnik. Carl Hanser Verlag München (1955), S. 128
- [61] Gohlke, W.: Mechanisch-elektrische Meßtechnik. Carl Hanser Verlag München (1955), S. 15
- [62] Haantjes, J.: Die Beurteilung eines Verstärkers mit Hilfe der Sprungkennlinie. Philips' Technische Rundschau 6. Jg. (1941), Nr. 7, S. 194
- [63] Tolmon, F. R. u. Wood, J. G.: Fringe Spacing in Interference Microscopes, Journal of scientific Instruments Vol. 33 (1956), S. 236 bis 238

behavior they are situated between the Newton liquids and the Hooke bodies, and they are considered as generalized Bingham bodies. A Bingham body with elasticity can be represented by a Maxwell element which consists of a spring and of a damper and which has a defined dry friction between piston and cylinder.

Under high press speeds the ink-splitting process can be considered as a visco-elastic process, as there can be assumed that stress duration and relaxation time are of same order. The interrelation existing between the viscosity and the elasticity can be obtained from the Maxwell relaxation theorem.

All testing methods used so far are subject to instrumental influences and therefore they do not supply any direct evidence as regards the stress reactions of the printing ink during the printing process. For this reason it seemed to be necessary to study the behavior of the printing inks on the very offset printing press. In order to be able to test the offset printing inks under these conditions, it was indispensable to follow new methods. So it was found out that new results can be obtained by testing inked-up printing elements (screen elements) by means of the interference microscope and by measuring the force-distribution appearing during the ink-splitting procedure.

In order to be able to interpret the inked-up screen elements by means of the interference microscope, the testing apparatus consisting of the interference microscope and the microphotographic installation was built-in in the offset printing press (see illustration No. 42). On the inked-up offset printing plate the split-off ink under the influence of the interfacial forces has the tendency to adopt a drop-like shape, i. e. minimum surface, unless it is prevented from doing so by the flow resistance of the printing ink. It was possible by means of interference microscope shots to determine the shape of the ink-surface, of the ink-film thickness and of the ink-volume transferred. For these reasons the above mentioned testing process supplies suitable information as regards the interpretation of the behavior of offset printing inks in the printing technique.

The test-results obtained for the different types of inks (see illustrations 43—52) show with clearness and with a faultless measuring technique that the ink-transfer behavior is dependent upon the material quality of the pigment-vehicle system, upon the printing speed and upon the absorption of damping-water or paper dust due to the printing-process applied. Furthermore the results obtained enable us to formulate the hypothesis that a printing ink possesses good ink-transfer properties, in case it splits with a filament which is sufficiently long and sufficiently contracted.

The nature and the duration of the reaction forces appearing during the fast ink-film separation on offset printing presses are of a very great interest. It was therefore tried to obtain test-readings of this process. It is however extraordinarily difficult to get measure readings of the small and temporary tension forces of narrow surface elements during the printing process. For a receiver suitable for this purpose must possess

contrary qualities. For this system must reproduce the impulse-like forces without any distortion as a very sensitive dynamometer, i. e. it should possess a very high natural frequency. On the other hand, it must not record the vibrations of the printing press. The principal solution of this testing problem could be found by the piezoelectric method with the help of the barium-titanate receiver.

The piezoelectric receivers of the standard construction possess certain essential disadvantages, when used for measuring the distribution of forces during the ink separation process, defects which are due to their relative construction. Therefore it was necessary to eliminate these defects by designing a testing element of a very simple construction. A solution was found by the use of a glued system. The barium-titanate body was obtained from polarized ceramics by grinding. The barium-titanate disk, acting as a very stiff spring, is glued together with the receiver head and with a potential terminal which is insulated from the pig-iron main-body.

For determining the course of the tractive forces appearing in the ink separation process, we use the measuring surface of 0,2 mm² of the receiver which is built-in in the plate-cylinder and which acts as a printing-element during the ink-transfer process (see illustration No. 56). This means that the measuring surface is inked-up by the four ink-rollers, transferring then part of the ink thus received to the blanket cylinder. In the course of one cylinder revolution the receiver therefore undergoes five times the action of the forces exercised by the separating ink. These forces are recorded by the electric measuring device.

The following values can be derived from these curves (see illustrations No. 64 and 65):

- the maximum tack
- the speed-dependence of the tack
- the duration of the draw-out movement.

The curve-shape characterises summarily the influence factors of this process. The elastic and plastic stress reactions of the inks exercise a particular influence upon the voltage rise. The characteristic curve of the voltage decline, taking place after reaching the maximum, points to the rapidly increasing decrease of the effective ink cross-sections. When interpreting these curves, we must furthermore point out that the printed offset-inks possess a very specific behavior as regards the intensity and the speed-dependence of the maximum tack. Experiments have shown that the duration of the draw-out movement is a very short-timed process: at a speed of 6000 revolutions per hour it amounts to from 10⁻³ to 10⁻⁴ second, depending on the intensity of the tack. The length (liquidity) of an ink can also be characterized by the duration of the tack process, and the relative numerical values can be compared with the values of other inks tested at the same printing speed. The duration of the draw-out process is not only dependent upon the printing speed and ink-quality, but also upon the thickness of the ink film. If an ink film corresponding to deep inking is reduced, tack and duration of application will decrease.

Tätigkeit, etwas treiben, womöglich etwas machen wenigstens aber etwas lernen, ist zum Glück des Menschen unerlässlich, seine Kräfte verlangen nach ihrem Gebrauch und er möchte den Erfolg desselben irgendwie wahrnehmen. Die größte Befriedigung jedoch in dieser Hinsicht gewährt es, etwas zu machen, zu verfertigen, sei es ein Korb, sei es ein Buch; aber daß man ein Werk unter seinen Händen täglich wachsen und endlich seine Vollendung erreichen sehe, beglückt unmittelbar.

Schopenbauer