

Probleme im Rotationsdruck  
bei hohen Geschwindigkeiten

K. R. Scheuter

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren

Technischen Hochschule Darmstadt

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

November 1966

**Probleme im Rotationsdruck bei  
hohen Geschwindigkeiten**

**Karl R. Scheuter**

Die Probleme im Rotationsdruck bei hohen Geschwindigkeiten sind derart vielschichtig, daß sie im Rahmen eines Vortrages gar nicht vollständig behandelt werden können. Ich muß mich deshalb darauf beschränken, auf einige drucktechnische und mechanische Probleme einzugehen unter Vernachlässigung der nicht weniger wichtigen betriebstechnischen Probleme, wie den Problemen der Spedition, der Maschinenwartung und der Maschinenbedienung.

Der technische Stand im Rotationsdruck hinsichtlich der Laufgeschwindigkeit läßt sich etwa wie folgt darstellen. Die Spitzengeschwindigkeit, die vor kurzem erreicht wurde, liegt bei 13 m/sec (40.000 Zyl./h bei 1200 mm Zylinderumfang). Dieser gegenüber stehen die Produktionsgeschwindigkeiten in der Praxis mit 6 bis 10 m/sec. Diese Werte liegen jeweils bei 60 bis 90 % der garantierten Spitzengeschwindigkeit und sind ein Ausdruck dafür, daß die optimale Produktionsgeschwindigkeit - wie bei allen Maschinen - nicht mit der Spitzengeschwindigkeit zusammenfällt. Es zeigt sich beim Betrieb jeder Maschine, daß mit steigender Laufgeschwindigkeit Störungen wahrscheinlicher werden, die geeignet sind, die effektive Produktionsleistung beträchtlich zu drosseln. Es sind vor allem diese Risiken, die den Ingenieur, der mit der Entwicklung einer noch schnelleren Rotationsmaschine betraut ist, beschäftigen.

Grundsätzliche Probleme entstehen vorwiegend aus drei miteinander verknüpften Grundtatsachen.

- Das Zeitintervall, das für einen notwendigen Vorgang zur Verfügung steht, ist umgekehrt proportional zur Laufgeschwindigkeit. Solche Vorgänge müssen deshalb beschleunigt werden, sofern durch andere Maßnahmen das Zeitintervall nicht verlängert werden kann.
- Die Kräfte, die bei den einzelnen Vorgängen wirksam sind, hängen meist von der Laufgeschwindigkeit direkt ab, und zwar nicht immer nur linear. Dabei ist das Zusammenspiel der ein-

zeln an einem Vorgang beteiligten Kräfte nicht immer bekannt, d.h. der durchzuführende Vorgang ist oft nicht genügend erforscht.

- Die Wirkung der Kräfte auf einige wesentliche Stoffe, die für den Bau und den Betrieb von Rotationsmaschinen eingesetzt werden, läßt sich mit den Mitteln der einfachen Mechanik nicht mehr behandeln, d.h. eine Reihe wichtiger Stoffe folgen in ihren Verhaltensweisen anderen Gesetzen als z.B. die Metalle, die als elastisch betrachtet werden können, oder als einfache Flüssigkeiten, deren Fließverhalten durch die Gesetze der Strömungsmechanik geregelt ist.

Im folgenden sollen nun einige aktuelle Probleme betrachtet werden:

#### Die Farbübertragung

Der Tiefdrucker weiß, daß er die Farbe durch Veränderung der Viskosität an die Laufgeschwindigkeit anpassen muß, weil bei gleicher Farbzusammensetzung die Dichte des Druckbildes mit steigender Geschwindigkeit abnimmt.

-----  
Bild 1  
-----

Trotz der Verschiedenheit der Verfahren muß beim Buchdruck ein ähnliches Verhalten der Dichte erwartet werden. Messungen bestätigen diese Erwartung weitgehend. Es zeigen sich aber auch beträchtliche Abweichungen, die wohl weitgehend mit der zeitlichen Verhaltensweise der Farbwerke in Zusammenhang zu bringen ist.

-----  
Bild 2  
-----

Um diese speziellen Zusammenhänge zu klären, wurde in Darmstadt eine Modellrotationsmaschine gebaut, in deren Farbwerk der Farbfluß simultan an mehreren Stellen gemessen werden kann.

-----  
Bild 3  
-----

Ausgangspunkt für alle die Farbübertragung betreffenden Überlegungen sind die Arbeiten von Walker und Fetsko. Ihnen ist es gelungen, die Farbübertragung als Funktion der angebotenen Farbmenge in einer Gleichung darzustellen. Dabei war die Erkenntnis notwendig, daß bei einem kleinen Farbangebot der Druck nicht mehr gedeckt ist. Die Gleichung stellt einen Zustand dar, der von der Zeit unabhängig ist. Der Vorgang der Farbübertragung ist überall dort, wo volle Deckung vorliegt, unabhängig von der angebotenen Farbmenge. Deshalb darf in der folgenden Betrachtung von der allgemeinen Mengenbilanz der Farbübertragung ausgegangen werden. Die Mengenbilanz lautet

$$m = n + w \quad (1)$$

wobei  $m$  = angebotene Farbmenge

$n$  = Farbmenge zwischen Druckform  
und Oberfläche des Bedruckstoffes

$w$  = weggeschlagene Farbmenge  
bedeutet.

---

Bild 4

---

Bei der Farbspaltung teilt sich die Farbmenge  $n$  in den Anteil  $g$ , der auf dem Bedruckstoff liegt und in den Anteil  $(m-p)$ , der auf der Druckform bleibt, also

$$(m-p) + g = n \quad (2)$$

Die Spaltung erfolgt in einem Verhältnis

$$\alpha = \frac{g}{n} = \frac{g}{m-n} \quad (3)$$

Dieses Spaltungsverhältnis liegt beim Einfarbedruck bei  $\alpha = 0,5$  und soll vorerst als konstant betrachtet werden. Durch Umformung der Mengenbilanz erhält man nun für die gesamthaft übertragene Farbmenge

$$p = w + g = (1 - \alpha) w + m \quad (4)$$

Von den in der Gleichung auftretenden Größen kann nun nur  $w$  von der Zeit abhängig sein, d.h.

$$p = (1 - \alpha) w(t) + m \quad (4.1)$$

Für das Einschlagen sind die Kapillarkräfte maßgeblich, denen die Reibungskräfte entgegenwirken. Dieses Kräftespiel ist einer theoretischen Behandlung weitgehend zugänglich, so daß die Zeitabhängigkeit von  $w$  als geklärt gelten kann.

Da die wegschlagende Farbmenge jedoch höchstens zu Null werden kann, ist die Dichteabnahme beschränkt und kann durch Anpassung der Farbgebung in der bisherigen Art behoben werden. Dabei ist allerdings das Spaltungsverhältnis als unveränderlich angenommen.

Interferenzmikroskopische Untersuchungen des Darmstädter Institutes an eingefärbten Offsetrasterpunkten einer Aller-Platte scheinen zu zeigen, daß die Gestalt und das Volumen der übertragenen Farbe geschwindigkeitsabhängig ist. Unter der Einwirkung der Grenzflächenkräfte neigt die übertragene Farbe dazu, eine tropfenförmige Gestalt anzunehmen. Druckfarben enthalten in der Form der Pigmente jedoch fließhemmende Bestandteile, die umso stärker wirken, je größer sie sind. Farben, die grobe Pigmente enthalten, zeigen bei steigender Geschwindigkeit eine stärker werdende Abweichung von der idealen Gestalt, wobei gleichzeitig das Farbvolumen abnimmt. Geflusste Farben zeigen weitgehende Geschwindigkeitsabhängigkeit, also ein praktisch konstantes Spaltungsverhältnis.

-----  
Bild 5.1

Bild 5.2  
-----

Betrachtet man die Oberfläche des Bedruckstoffes, besonders des Zeitungspapieres, muß auch hier eine fließhemmende Struktur erkannt werden, die von Einfluß auf die Gestalt und das Volumen

der übertragenen Farbe sein wird. Druckfarben mit feinen Pigmenten und Bedruckstoffe mit guter Druckglätte sind also bei hohen Laufgeschwindigkeiten besonders erwünscht.

An der Farbübertragung ist indirekt auch der Aufzug beteiligt, der wie das Papier und neuere Druckformen von visko-elastischer Natur ist. Diese führt beim Papier zwangsläufig zu einer Zeitabhängigkeit der Kapillardurchmesser und der Druckglätte. Die wegschlagende Farbmenge - und bei geringen Schichtdicken auch die Deckung - werden dadurch beeinflusst. Ob weitere grundlegende Einflüsse auftreten, läßt sich heute noch nicht verbindlich beurteilen.

Da den Druckfarben weniger Zeit zum Wegschlagen zur Verfügung steht, steigt die Gefahr des Ablegens und Schmierens. Durch entsprechenden Aufbau der Farben kann dies - wie die neuere Entwicklung auf dem Gebiet der Zeitungsdruckfarben gezeigt hat - zwar weitgehend gemindert werden, doch zeigt sich mehr und mehr die Wünschbarkeit von Trockeneinrichtungen. Diese würden der Qualität des Produktes - vor allem bei Mehrfarbendruckern - auch insofern zu Gute kommen, als dann der Einsatz von besonders geeigneten Qualitätsfarben möglich würde.

Es ist schon gelegentlich die Frage aufgeworfen worden, ob nicht die Druckfarbe infolge der Zentrifugalkräfte weggeschleudert werde. Da eine Geschwindigkeitserhöhung in der Größenordnung einer runden Zehnerpotenz zur Zeit nicht zur Diskussion stehen kann, darf diese Frage eindeutig verneint werden.

Auch wenn das Wissen über das Wesen der Farbübertragung - insbesondere im Bezug auf seine Zeitabhängigkeit - nicht vollständig ist, darf die Möglichkeit einer wesentlichen Steigerung der Laufgeschwindigkeit in Berücksichtigung der in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen durchaus optimistisch beurteilt werden. Andere Problemkreise werden auf die Weiterentwicklung viel hemmender wirken.

### Das Papier

Papierbrüche drücken umsomehr auf die effektive Produktionsleistung der Maschine, je schneller diese arbeitet. Wird die hohe Laufgeschwindigkeit mit einem erhöhten Papierbruch-Risiko erkauft, dann wird die problematisch. Da jede Steigerung der Spitzengeschwindigkeit jedoch dank konstruktiver Verbesserungen erzielt wird, so ergibt sich im Bereich der heute üblichen Produktionsgeschwindigkeiten eine erhöhte mechanische Zuverlässigkeit.

Bei der statistischen Erfassung der Papierbrüche ergibt sich immer wieder etwa folgendes Bild. Neben einer merklichen Zahl von Brüchen, deren Ursache nicht geklärt werden oder aus erkennbaren Gründen nicht vom Papier herrühren kann, sind viele Brüche als direkte Folge von Papierfehlern eindeutig erkennbar.

Beim Lauf durch die Rotationsmaschine treten immer wieder ruckartige Beanspruchungen auf. Solche Beanspruchungen treten vor allem beim Rollenwechsel, in den plattenfreien Zonen ("Kanälen") und im periodisch arbeitenden Farbwerk auf. Sie werden sich nicht vermeiden lassen solange die heutigen Maschinenprinzipien aufrecht erhalten bleiben.

Die normale Papierspannung in einer Rotationsmaschine liegt weit unter der Bruchspannung auch der leichtesten Zeitungspapiere, so daß eine Spannungserhöhung von z.B. 200 % beim Kleben durchaus nicht zum Bruch führen muß. Fehler in der Struktur der Papierbahn, also Löcher, Einrisse, Einschlüsse, Quetschfalten, führen aber infolge ihrer Kerbwirkung zu einer Störung im Spannungsverlauf und damit zu Spannungsspitzen. Je schneller diese sich entwickeln, umso eher führen sie zum Bruch. Das heißt aber, daß Papiere gleicher Fehlerhäufigkeit in schnellerlaufenden Maschinen häufiger brechen werden als in langsamlaufenden.

Das ist keineswegs eine neue Erkenntnis. Es ist jedoch wichtig, daß man sich in vorliegendem Zusammenhang ausdrücklich daran

erinnert und sich klar wird, daß eine Steigerung der Laufgeschwindigkeit der Rotationsmaschine nicht zwangsläufig mit einer proportionalen Erhöhung der optimalen Produktionsleistung identisch ist.

Es besteht wohl kein Zweifel, daß der Papiermacher etwas beitragen kann zur Verbesserung dieser Verhältnisse. Er kann es aber kaum ohne Folgen auf den Herstellungspreis des Papierses. Die Papierkosten sind jedoch im Zeitungsdruck von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens. Deshalb sind hier wohl sehr enge Grenzen gesetzt.

Das Papier und die Druckfarbe zählen zu den elektrischen Isolatoren und laden sich durch Berührung mit Papierleitorganen und nachfolgender Trennung oder durch Reibung statisch auf. Bei höheren Geschwindigkeiten tritt diese Erscheinung stärker auf, so daß unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen die als Folge der Ladung auftretenden Kräfte merkliche Beträge erreichen können. Diese wirken sich überall dort auf den Papierlauf aus, wo die Papierbahn einen geringeren Zug aufweist, also z.B. bei Wendeeinrichtungen und über dem Trichter.

-----  
Bild 6  
-----

Meßtechnisch sehr schwierig zu erfassen ist der Einfluß der elektrostatischen Aufladung im Falzwerk. Dabei liegen hier besonders kritische Bedingungen vor, weil die elektrostatischen Kräfte in die Größenordnung des Exemplargewichtes kommen können. Ihre Wirkung ist dann umso ausgesprochener und führt z.B. zu Exemplarverschiebungen, die deren Weitertransport in Frage stellen.

Bei höheren Laufgeschwindigkeiten kann an solchen kritischen Stellen der Einsatz von Entelektrisatoren zur Notwendigkeit werden.

### Mechanische Probleme

Die mechanischen Probleme sind dort besonders schwierig, wo bereits bei den heutigen Geschwindigkeiten Materialbeanspruchungen auftreten, die sich ihrer zulässigen Grenze nähern. Sofern das heute gültige Prinzip beibehalten werden soll, ist jede weitere Geschwindigkeitssteigerung in diesen Fällen in Frage gestellt.

Ein solches Prinzip ist die Blei-Stereotypie. Die Frage nach der Eignung der Stereoplatte für hohe Druckgeschwindigkeiten wurde mehrfach klar und deutlich behandelt. Experimentelle Untersuchungen zeigen, daß Stereoplaten unabhängig von der Art der Aufspannung bei Umfangsgeschwindigkeiten über 16 m/sec zum Bruch neigen. Selbstverständlich wurde bei diesen Untersuchungen dem Guß der Platten höchste Bedeutung beigemessen und größte Sorgfalt aufgewendet.

Der Vorteil der Stereotypie liegt in ihrer hohen Produktionsgeschwindigkeit. Auf Sorgfalt kann im hastigen Produktionsablauf nicht immer im gewünschten Maß geachtet werden.

Die Spannungen, die die Platten bei der Rotation erleiden, steigen quadratisch mit der Drehzahl bzw. der Laufgeschwindigkeit. Der Sicherheitsfaktor gegen möglichen Bruch ist demnach

$$s = \left( \frac{n_B}{n} \right)^2 = \left( \frac{u_B}{u} \right)^2 \quad (5)$$

mit  $n_B$  = Bruchdrehzahl und

$u_B$  = der dieser entsprechenden Laufgeschwindigkeit

Läuft eine Platte mit  $U = 13$  m/sec, also mit der bis heute erreichten Spitzengeschwindigkeit, so beträgt die Sicherheit gegen Bruch gerade noch  $s = \left( \frac{16}{13} \right)^2 = 1,5$ . Da eine Rotationsmaschine infolge der Begrenzung ihrer maximalen Drehzahl nicht durchbrennen kann, ist dieser Sicherheitsfaktor wohl gerade noch zulässig. Merklich unterschritten darf er jedoch nicht mehr werden, weil dann jeder Fehler in der Stereoplatte unmittelbar zum Bruch führen kann.

Ähnlich liegt der Fall bei den Falzwerken, wo die quadratisch von der Laufgeschwindigkeit abhängigen Luftkräfte zusammen mit Beschleunigungskräften auf das geschnittene Exemplar einwirken. Die Wirkung dieser Kräfte zeigt sich häufig schon bei wenig höheren Geschwindigkeiten in Form von Anrissen an den offenen Seiten des Exemplares. Das Kräftespiel, das zu diesen Schäden führt, ist mathematisch kaum zu erfassen. Einigermaßen fest steht lediglich, daß die Luftkräfte infolge ihrer Instabilität sehr weitgehend für die peitschenartigen Bewegungen der Exemplare verantwortlich sind. Es ist bisher gelungen durch passend angeordnete Führungselemente Verbesserungen zu erzielen.

-----  
Bild 7  
-----

Die Bewegungsvorgänge während des Falzens lassen jedoch keine Zwangsführung der vor- und nachlaufenden Exemplarkanten zu. Es ist deshalb auch nicht möglich bei den heutigen Höchstgeschwindigkeiten immer vollständig unbeschädigte Exemplare zu erhalten.

Während sich beim Plattenproblem dank neuer Plattenmaterialien bereits Möglichkeiten abzeichnen, die einen Vorstoß in einen neuen Geschwindigkeitsbereich ermöglichen würden, ist dies bei den Falzwerken noch nicht der Fall. Der Bedruckstoff ist ja weitgehend gegeben und wird sich den hohen Belastungen kaum anpassen lassen. Es muß also das Prinzip des Falzvorganges und zwar beim rotierenden wie beim Klappenfalzwerk überprüft werden.

Die Zwangsführung der gefährdeten Exemplarkanten wurde bereits angetönt. Eine weitere Möglichkeit bietet die Teilung des anfallenden Exemplarstromes mit anschließender Verzögerung auf eine beherrschbare Laufgeschwindigkeit.

Schnelle Maschinen sind nur dann wirklich schnell, wenn der Rollenwechsel bei voller Laufgeschwindigkeit erfolgen kann. Die für die einzelnen Arbeitsabläufe beim Kleben notwendige Zeit wird immer kürzer und das Kleben immer unsicherer. Hier kann

Jedoch eine Vergrößerung des Rollendurchmessers günstigere Verhältnisse schaffen, weil die für den Klebevorgang zur Verfügung stehende Zeit proportional zum Rollenumfang ist.

Je schneller eine Maschine arbeitet, um so höher werden die Anforderungen an den dynamischen Rundlauf, d.h. an den Wuchtzustand. Es ist üblich, rotierende Körper in zwei Ausgleichsebenen auszuwuchten. Solchermaßen ausgewuchtete Körper erleiden bei der Rotation innere Biegemomente. Werden diese ohne merkliche Deformation vom rotierenden Körper aufgenommen, d.h. ist der Körper quasi starr, so weist er auch bei hohen Drehzahlen einen ruhigen Lauf auf. Druck- und Plattenzylinder gehören beispielsweise in diese Gruppe von Körpern.

Die Voraussetzung der Starrheit ist jedoch bei den Papierleitwalzen, wie sie üblicherweise gebaut werden, nicht mehr erfüllt. Die inneren Biegemomente führen zu einer Verformung, die sich in einem unruhigen Lauf äußert und die Papierführung ungünstig beeinflusst. Das gilt auch dann, wenn die erste biegekritische Eigenfrequenz noch merklich über der Betriebsdrehzahl liegt. Man wird also von der bisherigen Konstruktion der Papierleitwalzen abgehen müssen, d.h. sie als homogene Vollkörper zu bauen, wenn nicht bald eine neue, noch in Entwicklung stehende, Auswuchttechnik eine wesentliche Verbesserung bringt.

Farbwalzen werden durch den Walkvorgang stark belastet. Zu dieser Walkbelastung kommt bei den Auftragwalzen noch die örtliche Belastung durch jede einzelne Letter, insbesondere jedoch durch in Laufrichtung liegende Linien dazu. Metalle verformen sich unter Einwirkung einer pulsierenden Kraft ohne merkliche Dämpfung, Walzenmaterialien dagegen zeigen eine ausgesprochene Dämpfung, d.h. sie sind visko-elastisch. Jede Verformung führt deshalb zu einer beachtlichen Temperatursteigerung, die ihrerseits zu einer Volumenvergrößerung und dadurch wieder zu einer Erhöhung der Anpreßkraft mit nachfolgender Temperatursteigerung führt. Dieses Spiel geht solange weiter, bis die an die Umgebung abgegebene Wärme mit der erzeugten Wärme im Gleichgewicht ist. Bleibt die Grenztemperatur, die sich so einstellt, innerhalb erträglicher Grenzen, erreicht die Farbwalze eine angemessene Standzeit. Steigt

sie jedoch über ein zulässiges Maß, so wird der Walzenbezug unweigerlich und rasch zerstört.

-----  
Bild 8  
-----

Versucht man die oben angeführten Zusammenhänge in Form einer Gleichung aufzustellen, so kommt man etwa zu folgender Aussage über den Temperaturanstieg:

$$\Delta t = t - t_0 = f \left\{ P [u, E' (u,t), \delta (u,t)] \right\} \quad (6)$$

- mit  $t$  = Temperatur des Walzenbezuges  
 $t_0$  = Raumtemperatur - Temperatur des Walzenbezuges vor Betriebsaufnahme  
 $P$  = Anpreßkraft  
 $u$  = Drehzahl der Farbwalze  
 $E'$  = dynamischer Elastizitätsmodul  
 $\delta$  = Dämpfung

Die Problematik des ganzen Vorganges liegt nun darin, daß  $E'$  und  $\delta$  nicht nur von der Drehzahl, also von der Frequenz der Verformung, sondern auch von der Temperatur des Walzenbezuges abhängig sind.

Es ist heute noch nicht möglich die Gleichung für  $\Delta t$  in eine wirklich aussagefähige Form zu bringen. Um diesem Ziel wenigstens näherzukommen, laufen in Darmstadt eine Reihe von Untersuchungen mit dem Ziel, die Kenndaten des viskoelastischen Verhaltens zu messen und eine Vorhersage über die Eignung eines Materials als Walzenbezug zu erreichen.

-----  
Bild 9  
-----

#### Zusammenfassung und Ausblick

Wie einleitend bemerkt, sind dies nur einige der vielen sich stellenden Probleme. Es zeigt sich, daß es vor allem die heute angewandten mechanischen Prinzipie sind, die bei der heute er-

reichten Spitzengeschwindigkeit vermutlich recht nahe dem Ende ihrer Entwicklung stehen. Die nähere Zukunft wird deshalb durch zwei Gesichtspunkte bestimmt sein. Die Weiterentwicklung muß vorerst weniger in Richtung einer weiteren Steigerung der Spitzengeschwindigkeit, sondern in Richtung einer merklichen Annäherung der optimalen Produktionsgeschwindigkeit an die Spitzengeschwindigkeit gesucht werden. Das heißt, daß eine Konsolidierung im Rahmen der heutigen Gegebenheiten erzielt werden muß.

Parallel dazu müssen die wissenschaftlichen Grundlagen mit allen Mitteln und nach allen Seiten vertieft werden und zwar nicht nur, um das bisher Erreichte zu sichern, sondern auch um die Grundlagen zu neuen Prinzipien zu erforschen und zu schaffen.

Zur Lösung beider Aufgaben bedarf es einer verständnis- und vertrauensvollen Zusammenarbeit der Maschinenbauer, Papierhersteller, Fabrikanten und Drucker.

# Bildanhang

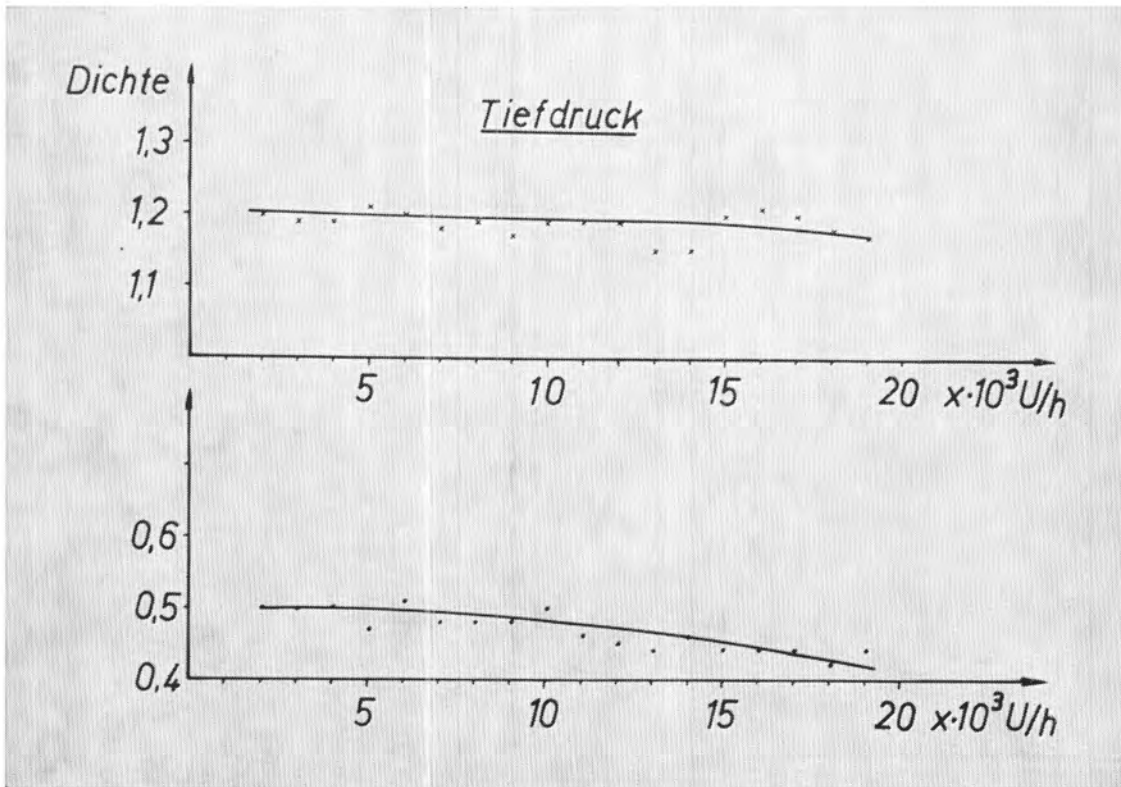


Bild 1 Dichteverlauf eines einfarbigen Tiefdruckes in Abhängigkeit von der Maschinendrehzahl.

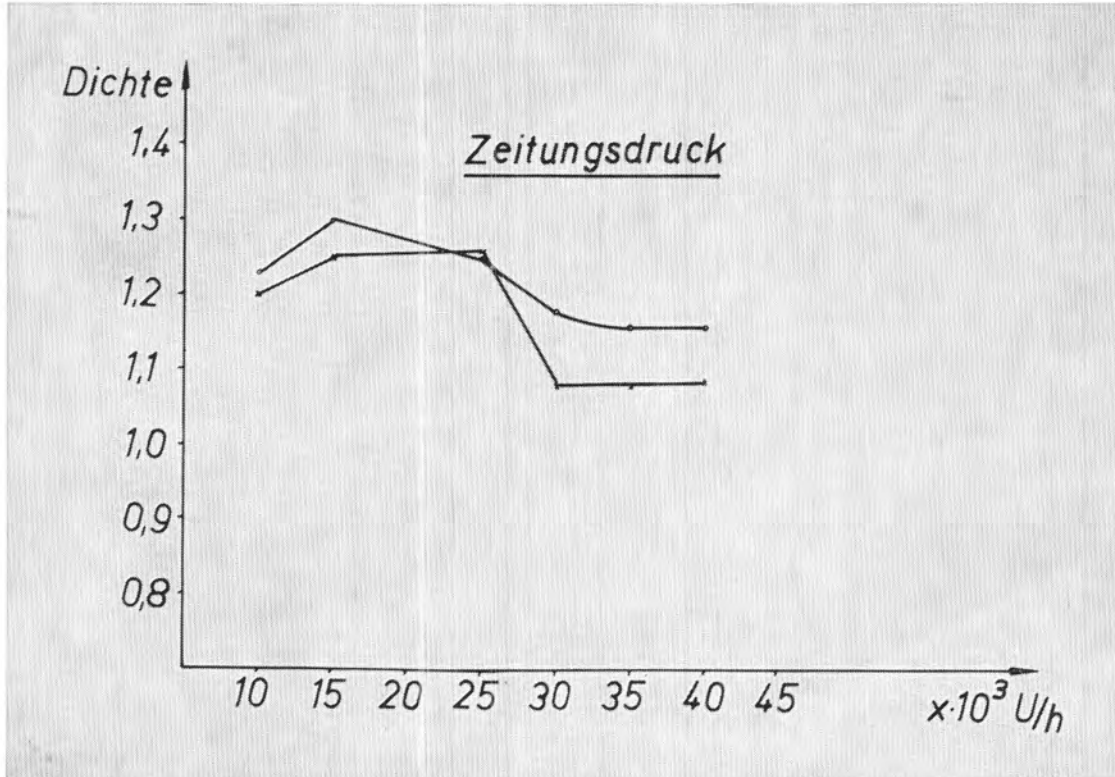


Bild 2 Dichteverlauf eines einfarbigen Zeitungsdruckes in Abhängigkeit von der Maschinendrehzahl.

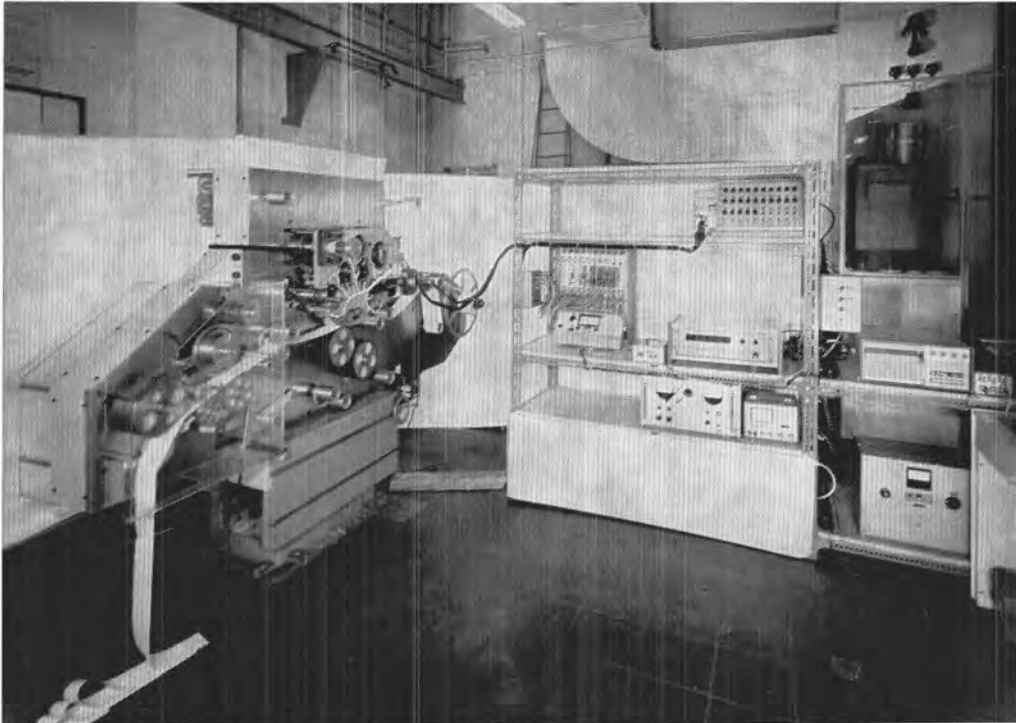


Bild 3.1 Modell-Rotationsmaschine zur Messung der Farbschichtdicken und deren Abhängigkeit von den bestimmenden Einflußgrößen.

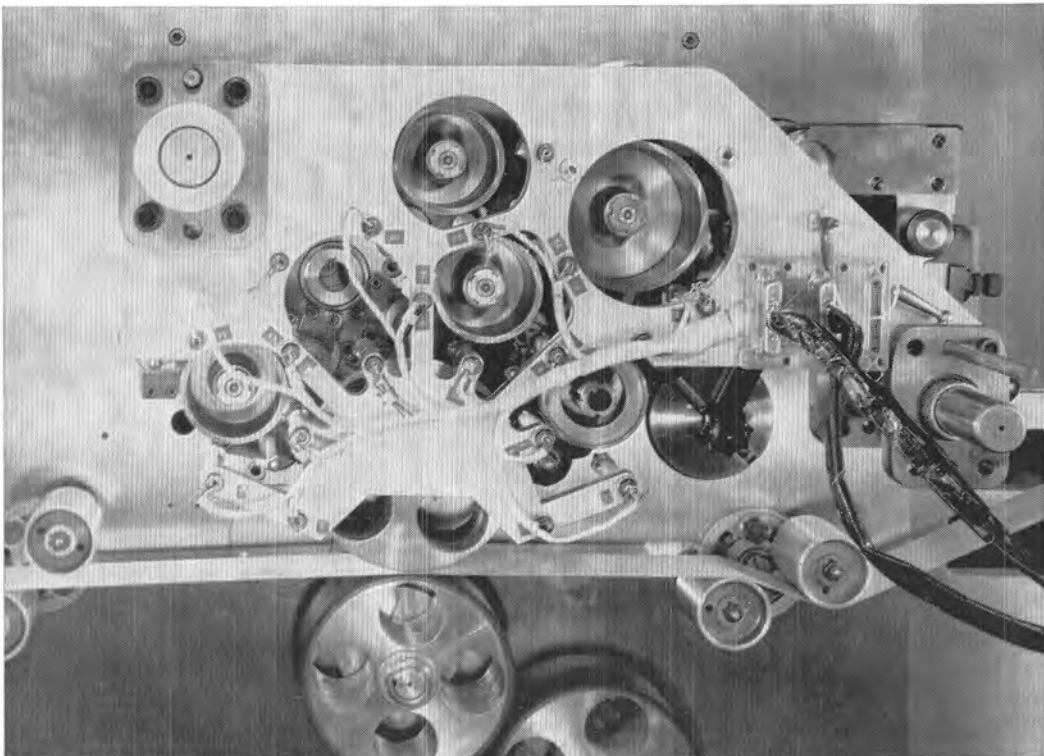


Bild 3.2 Vor dem Farbwerk liegende, abschwenkbare Hilfswand mit 25 Schichtdickenaufnehmern.

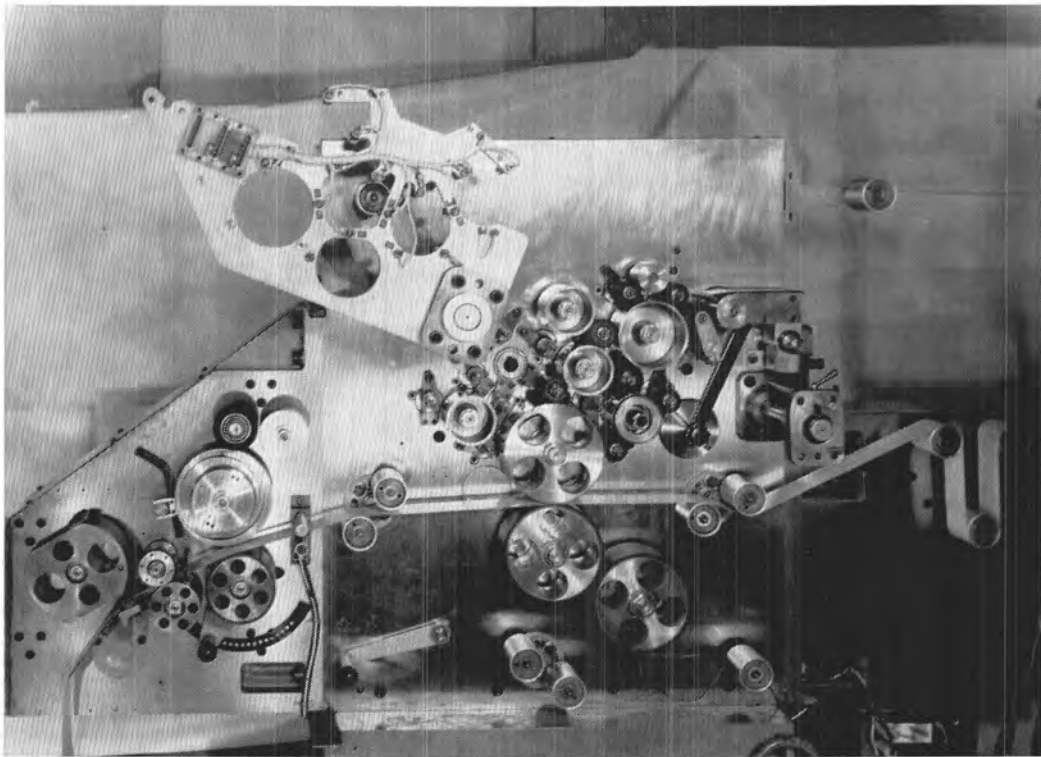


Bild 3.3 Druckwerk mit abgeschwenkter Hilfswand.

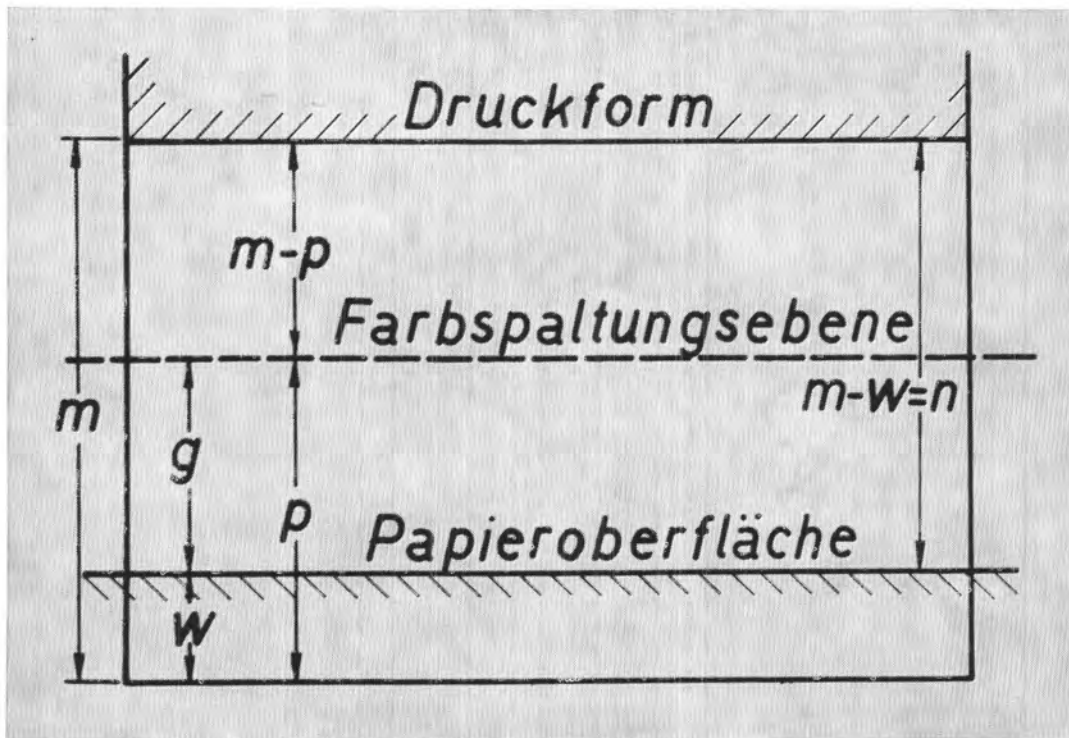


Bild 4 Schematische Darstellung zur Farbübertragung.



Bild 5.1 Interferenzaufnahmen eines Farbpunktes (Offset-Farbe) bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten. Die Höhendifferenz zweier benachbarter Interferenzlinien beträgt  $0,25 \mu\text{m}$ .

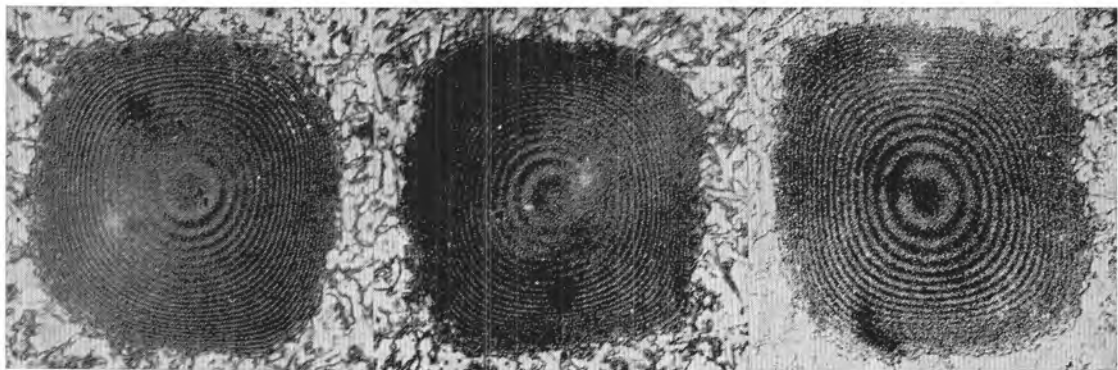


Bild 5.2 Interferenzaufnahmen eines Farbpunktes (geflushte Offset-Farbe).

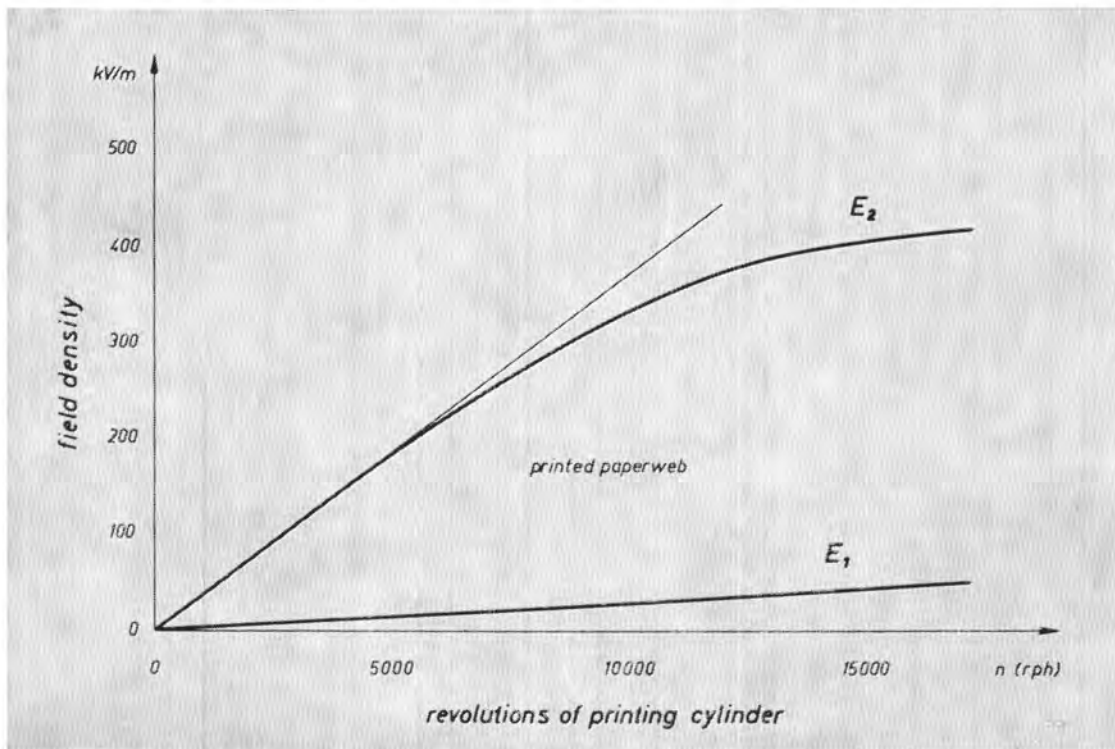


Bild 6 Elektrostatistische Aufladung einer Papierbahn in Abhängigkeit von der Maschinendrehzahl (Kurve  $E_2$ ),

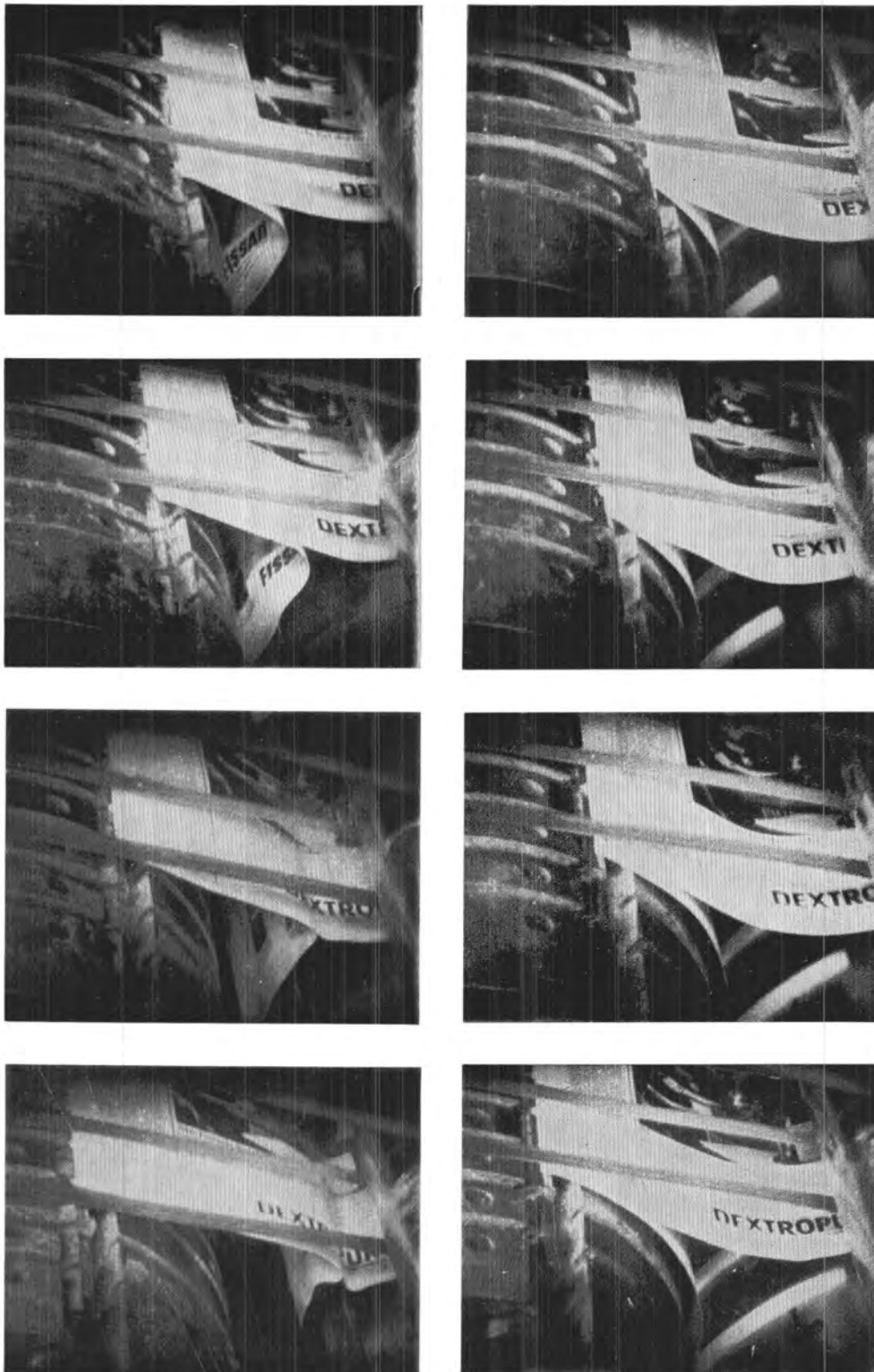


Bild 7 Phasenbilder eines Falzvorganges.  
Linke Bildreihe: Die nachlaufende Exemplarhälfte ist nicht geführt, schießt hoch und beeinflusst auch die vorlaufende Exemplarhälfte.  
Rechte Bildreihe: Die nachlaufende Exemplarhälfte ist zwangsgeführt und hebt sich nur wenig vom Falzklappenzyylinder ab.

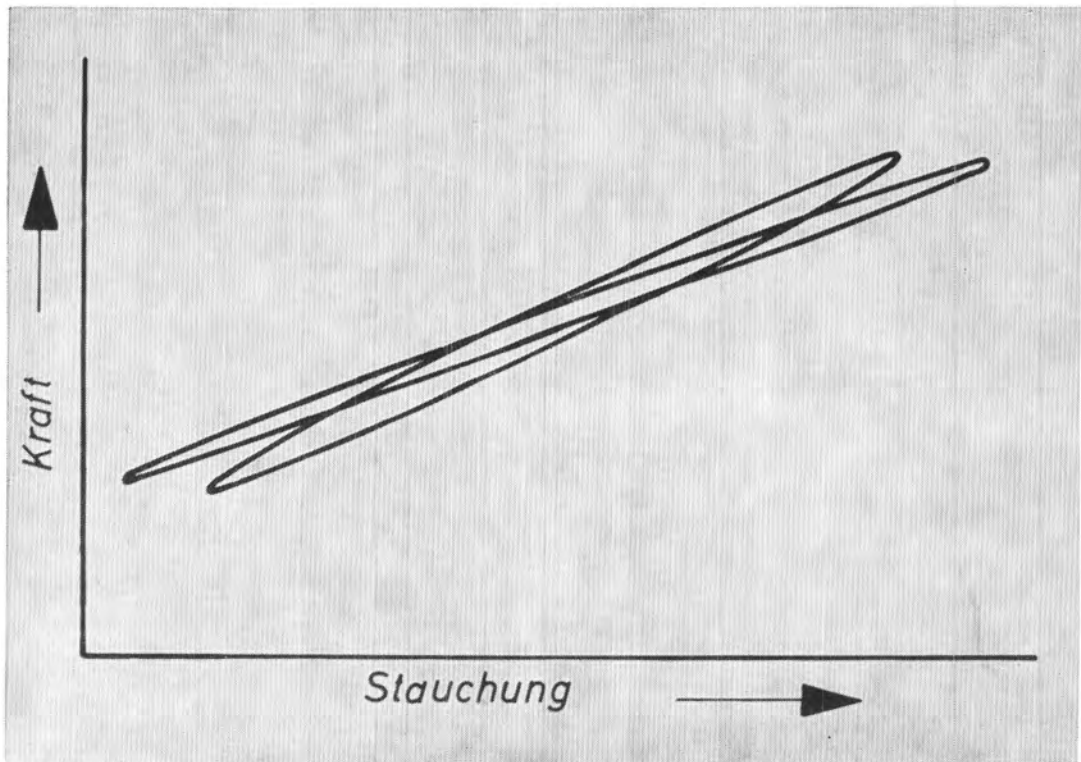


Bild 8.1 Verformungsellipsen eines Walzenbezuges bei 5 Hz und 50 Hz.  
(Die Ellipsenfläche gibt ein Maß für die Erwärmung des Walzenmaterials).

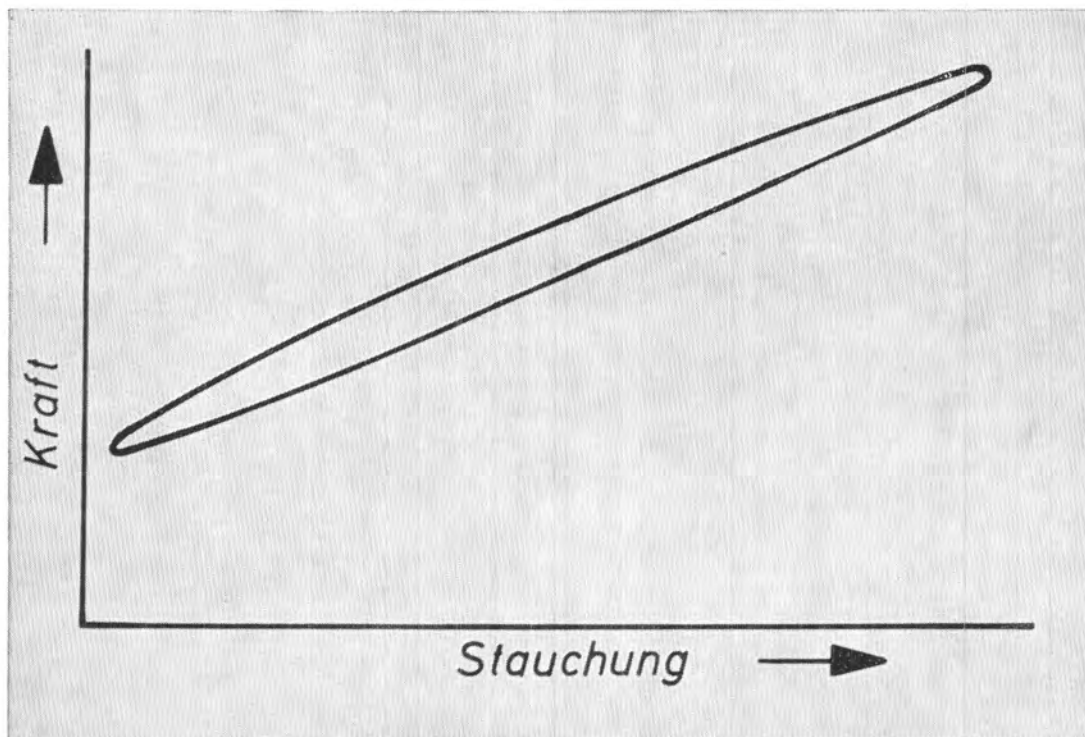


Bild 8.2 Verformungsellipse eines ähnlichen Walzenbezuges. (Die Fläche der Ellipse ist größer. Dieses Walzenmaterial erwärmt sich deshalb stärker).

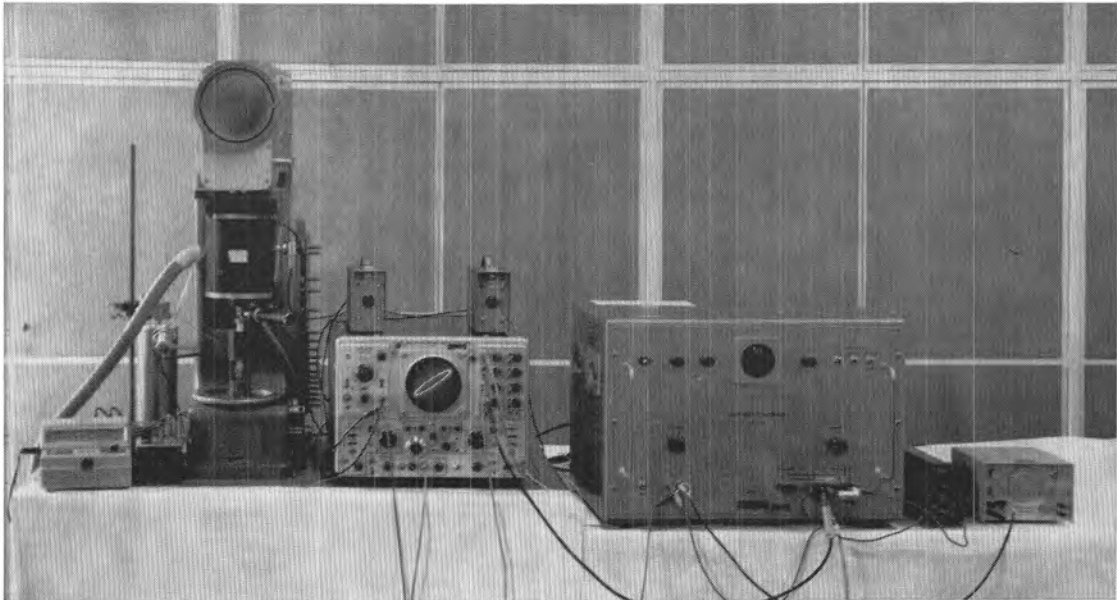


Bild 9.1 Meßeinrichtung zur Bestimmung der visko-elastischen Kennwerte  $E'$  und  $\delta$ .

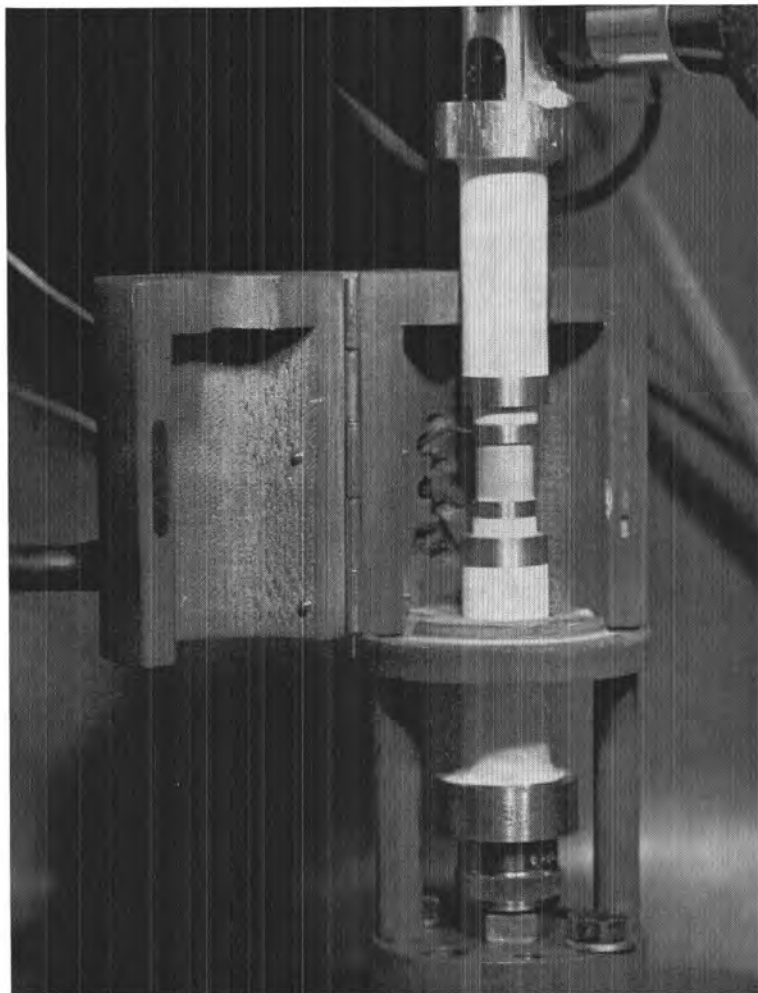


Bild 9.2 Wärmekammer der Meßeinrichtung mit eingespannter Materialprobe.