# Über die in Druckmaschinen vornehmlich durch Feuchtigkeit und Temperatur auftretenden Beeinflussungen des Papiers*

DR. WOLFRAM ESCHENBACH, *Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren der Technischen Hochschule Darmstadt*

I.

Soll der Drucker die Beeinflussung der *Druckeignung* des Papiers durch Feuchte und Temperatur beurteilen und beherrschen lernen, dann muß er sich vor allem Klarheit über die Beanspruchungen des Papiers im maschinellen Druckprozeß verschaffen, vornehmlich im Hinblick auf die Laufeigenschaften, denn mit der Forderung nach zunehmenden Druckgeschwindigkeiten ist auch mit anwachsender dynamischer Beanspruchung dieses Bedruckstoffes zu rechnen, namentlich bei *Rotationsschnelläufern*.

Das Papier ist für den Drucker ein in der Druckmaschine unter Einsatz von Druckformen und Druckfarben zu verarbeitender Werkstoff, der auf wirtschaftliche Weise in ein Verkaufsprodukt befriedigender Druckqualität verwandelt werden soll. In der Druckmaschine erfolgt der Druckvorgang, ein zeit-, kraft- und wegabhängiges Wechselspiel zwischen Papier, Farbe und Druckform. Die Beschaffenheit des Papiers und seine Wechselbeziehungen zur Farbe, Druckform und Maschine legen die *Verdruckbarkeit* fest, wobei die drucktechnische Eignung durch die Gesamtwirkung von »printability« und »runability« gekennzeichnet wird. Diese beiden markanten Kriterien, die sich auch gegenteilig beeinflussen können, sollten für die vorliegende Druckpraxis jeweils bestens kombiniert werden. In der Praxis wird von Fall zu Fall die eine oder die andere dieser Komponenten an Bedeutung gewinnen, beispielsweise bei *schnelllaufenden Rotationsmaschinen* die Forderung nach optimalen Laufeigenschaften des Papiers. Verschiedene Faktoren, welche die Druckeignung bestimmen, werden in gewissen Ausmaßen direkt oder indirekt durch die beim Druckprozeß vorherrschenden *Feuchtigkeits-* und *Temperaturverhältnisse* beeinflußt, abhängig von der Art, Intensität und Dauer der Einwirkungen. Feuchtigkeit und Temperatur beeinflussen im Hinblick auf die Bedruckbarkeit die Papierstruktur vorwiegend hinsichtlich Glätte, Porosität, Härte, Elastizität, Benetzungsverhältnissen, Absorptionsvermögen und Widerstandsfähigkeit gegen den Zug der Druckfarben. Diese Faktoren wirken sich in Abhängigkeit von den verschiedenen Druckverfahren und in Relationen zur Druckfarbe, Druckform, Härte der Aufzüge, ferner zum Anpreßdruck und Drucktempo unterschiedlich aus. (Die Glätte ist von besonderer Bedeutung.)

Die *Papierfeuchte* ist namentlich für die Laufeigenschaften des Papiers, vornehmlich für den Rollendruck unter starker dynamischer Beanspruchung der Papierbahn, von erheblicher Bedeutung. Mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt mindern sich die mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Weiterreißfestigkeit, Falzzahl und so weiter, wobei Feuchtigkeitsschwankungen auch drucktechnisch schädliche Flächenveränderungen des Papiers bewirken. Der hygroskopische anisotrope Werkstoff Papier hat die Eigenschaft der elastischen Dehnung, die aber nicht allein von der Belastungshöhe, sondern auch vom Feuchtigkeitsgehalt, der Temperatur und der Belastungsdauer abhängig ist. Von der Gesamtverformung ist bei hoher und langandauernder Belastung, wie sie in Rotationsmaschinen auftritt, nur ein Teil reversibel, so daß plastische Restverformungen bestehen bleiben können. Das Ausmaß des Feuchtigkeitseinflusses auf die Dimensionsstabilität hängt von der Papierbeschaffenheit ab. Folgeerscheinungen sind insbesondere die Neigung zum Verwerfen, Welligwerden, Aufbeulen und zum Rollen, namentlich bei einseitig gestrichenen und bei kaschierten Papieren. Dadurch wird das Planliegen von Formatpapieren verhindert und der Bogendruck durch schlechte Greiferüber-

* Vortrag auf dem 7. EUCEPA-Symposium 1963 (vom 1. bis 4. April 1963): »Klima und Papier in europäischer Sicht.«

nahme sehr erschwert. Im Rotationsdruck ist besonders die Faltenbildung, die auch durch die Feuchte begünstigt wird, störend. Abgesehen von den Falten, die auf die Papierkalander, auf verlaufende Wicklung, Verschmutzung, schlechte Klebestellen, sowie auf die schiefe Papierführung in der Rotationsmaschine – etwa durch beschädigte Aufspannhülsen – zurückzuführen sind, bewirken namentlich feuchte und lappige Papiere, sowie Papierstellen aus randtrockenen Bahnen, ferner solche mit Wasserrändern Faltenbildungen in der Druckmaschine. Dadurch wird auch das gefürchtete Auftreten von »*Zylinderwicklern*« begünstigt. Bei Gurtantrieben von Papierrollen kann – insbesondere bei Schlupf und feuchtem Papier – ein Aufrauhen der Oberfläche erfolgen. Papier, das in der Rotationsmaschine stoßartigen Wechsellasten unterworfen wird, ausgelöst zum Beispiel durch unrunde Papierrollen oder ungleichmäßig arbeitende Transportwalzen, kann zudem Flattererscheinungen erleiden, die namentlich bei Schnelläufern zur Ermüdung des Papiergefüges und zum Einriß führen können.

Übertriebene Wärmetrocknung in den Trockenanlagen der Druckmaschine kann eine Versprödung des Papiers verursachen. Zu trockenes Papier begünstigt auch das Bersten an der Trichternase bei mehreren Stranglagen und beim Falzen, steigert die Neigung zum Stäuben und zu elektrischen Aufladungen und mindert die Deformierbarkeit.

II.

Die nachfolgenden Betrachtungen befassen sich vornehmlich mit den Verhältnissen in schnellaufenden Rotationsmaschinen, weil hier die Papierbahnen stärker und in anderer Weise beansprucht werden als in Papiermaschinen, und weil diese Druckmaschinen große Papierverbraucher sind. Zudem wird über die Verhältnisse beim Bogendruck in anderen Vorträgen referiert.

In Rotationsdruckmaschinen erfolgen störende Veränderungen des Papiercharakters einerseits durch statische und dynamische Kräfteeinwirkungen und thermische sowie elektrische Einflüsse, ferner durch solche der Trockenluftführung, andererseits durch den mechanischen Zustand der Maschine einschließlich ihrer Fördergruppen und durch Bedienungsfehler. Sie können die Druckqualität und die Arbeitsleistung, besonders bei größeren Schnelläufern, beträchtlich mindern.

In schnellaufenden Druckmaschinen wird das Rollenpapier zusätzlich klimatisch beeinflußt durch maschinenbedingte Zufuhren von Wärme und Feuchtigkeit. Aufgrund der Walkarbeit in den belasteten Druckzylindern tritt ein *Wärmestau* auf; ferner wird durch die Widerstandskräfte in den Farbwerken, insbesondere beim Hoch- und Offsetdruck mit großem Rollwiderstand der Farbwalzen, eine beachtliche Wärmesteigerung hervorgerufen, wofür ein Teil der Antriebsenergie aufgezehrt wird. Die laufende Papierbahn, die auch die Formänderungsarbeit durch den Papierzug aufnehmen muß, ist meist nicht imstande, die übertragenen Wärmemengen restlos abzuführen. Vornehmlich aber wird durch verschiedenartige Trocknungsanlagen die Papierbahn hohen Temperaturen ausgesetzt, wenn auch nur kurzzeitig. In gewissen Rotationsmaschinen wird ferner zusätzlich Feuchtigkeit in den Klimastrecken nach »scharfer« Trocknung oder auch verfahrensbedingt im Offsetdruck zugeführt. Hier sei eingeschaltet, daß das Papier unter den eingestellten Anpreßdrücken in den Druckzonen zusätzlichen elasto-plastischen Verformungen unterliegt.

Während des Laufes durch die Rotationsmaschine ist die für einen faltenlosen Druck erforderliche mittlere Zugspannung, die auch geschwindigkeitsabhängig ist, ständigen Änderungstendenzen unterworfen, schwellend oder stoßweise, und zwar im Bereich der Papierabrollungen, der Druckwerke und der Falzwerke. Diese Störungsquellen haben ihre Ursachen einerseits im Papier, andererseits in Unzulänglichkeiten in der Maschine und in der Bedienung. Es kann zu Überlagerungen der Beanspruchungen kommen. Meist liegt keine gleichmäßige Verteilung der Zugkräfte in der Breite vor; diese Erscheinung kann leicht durch Messungen mittels Partialtensiometern nachgewiesen werden. Verlängerungen der Papierbahn in der Rotationsmaschine werden einerseits verursacht durch ansteigenden Papierzug, beziehungsweise tritt auch bei gleichbleibendem Zug nach längerem Einwirken ein Fließen ein, andererseits durch Zunahme der Papierfeuchte. Dieser störende Effekt kann bei großen Mehrfarbenmaschinen beträchtlich hoch anwachsen. Bei inhomogenem Papier, insbesondere solchem stark ungleicher Feuchte, verbunden mit ungünstiger Verteilung der Zugkräfte, können gefährliche partielle Belastungen auftreten. Andererseits treten auch bei »scharfer« Wärmetrocknung registerstörende Längs- und Querschrumpfungen

auf. Infolge ungleicher Feuchte, unregelmäßiger Struktur und Dicke und auch in Abhängigkeit von den Beanspruchungen, denen das Papier vor dem Druckprozeß ausgesetzt war, ändern sich dessen Festigkeitseigenschaften während des Laufes ständig, wodurch analoge Schwankungen in der Dehnung hervorgerufen werden. Liegt also kein einwandfreies homogenes und richtig konditioniertes Rollenpapier vor, so kann das Feld der Spannungstoleranz zwischen mittlerer Betriebsspannung und Bruchgrenze namentlich durch Schwankungen in der Feuchtigkeit örtlich beträchtlich eingeengt werden. Auch unrunde Papierrollen, Einrißstellen und nicht fluchtende Papierrollenachsen verursachen laufend Spannungsschwankungen und verhindern dadurch die notwendige Konstanz des Papierzuges. Messungen des Darmstädter Institutes zeigten in bestimmten Fällen, daß beim Rollenwechsel die größten Spannungsspitzen auftraten; sie pflanzten sich durch alle Druckwerke fort. In einem Zeitraum von weniger als 0,1 Sekunden wurden Spannungsänderungen zwischen 25 und 200 Prozent der mittleren Betriebsspannung registriert.

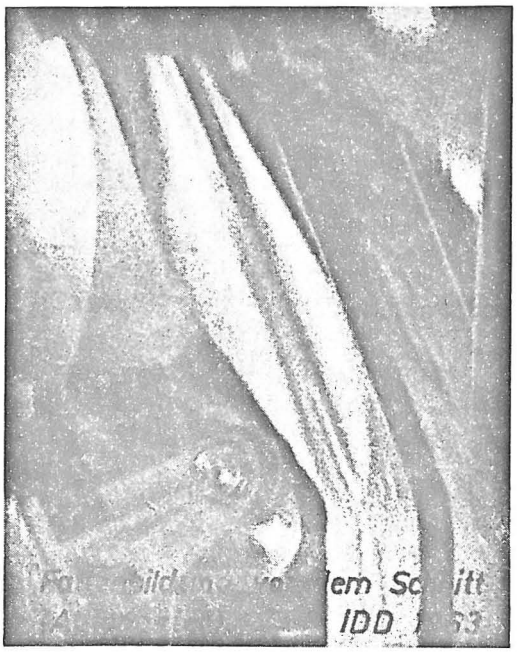

*Abbildung 1:*
*Faltenbildung im Autopaster, bewirkt durch den Einschlag der Bürsten*

An maschinentechnischen und betrieblichen Mängeln, welche die mittlere Betriebs-Bahnspannung beeinträchtigen, seien aufgeführt: nicht fluchtende Druckwerks- und Farbwerkszylinder, Leit- und Zugwalzen, Heiztrommeln und andere; dynamisch ungenau ausgewuchtete Rotationskörper, beziehungsweise solche, die im Bereich kritischer Drehzahlen arbeiten; Durchbiegungen in Walzensystemen, die in der Papierbreite zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten führen; Drehschwingungen, vom Antriebssystem kommend und hauptsächlich vom Falzwerk verursacht; Krafteinwirkungen durch Bremsorgane; Eigenschwingungen der Maschine; schwankender Kontakt zwischen Druckform und Druckzylinder, namentlich beim Rotationshochdruck; schlecht abgestimmte Papierförderung zwischen den Druckzonen.

Mit Papierspannungsreglern der verschiedensten Systeme wird versucht, die Ausreglung der mannigfaltigen Störungsgrößen möglichst trägheits- und zeitlos zu kompensieren; leider sind die Beziehungen zwischen den Störungsquellen und den Größen der Schwankungen noch ungenügend geklärt.

Beim Trocknen der Druckfarben, die in vielen Rotationsmaschinen durch Wärmezufuhr meist nach dem Prinzip »je höher die Temperatur, desto geringer die Trocknungszeit« erfolgt, spielen sich physikalische und chemische Vorgänge ab: Absorption, Oxydation und Verdunstung gemäß den jeweils zur Verwendung gelangenden Druckfarben und den angewendeten Druckverfahren. Bei Verwendung von *Heat-Set-Farben* kommt sogar ein Abflammen der Farbe in Betracht. Wenn die nach verschiedenen Heizsystemen arbeitenden Trockenaggregate die Druckfarbe nicht gleichmäßig über die ganze Papierbahnbreite trocknen beziehungsweise zuviel immanentes Wasser aus den Großkapillaren entziehen, dann treten durch Schrumpfungen längs und quer schädliche Flächenveränderungen auf; bei zu starker Erhitzung sogar irreversible Veränderungen und Versprödung des Papiers. (Durch eine zweckmäßige Trocknung der Bahn vor Einlauf in das erste Druckwerk kann der Schrumpfungsprozeß vorweggenommen werden.) Beim Mehrfarbendruck erfordern die letzten Druckwerke durch Farbschichtenüberlagerungen höhere Trocknungszeiten. Während man beim Tiefdruck Trockentemperaturen bis etwa 110° C vorfindet, treten bei der Abflammung von Heat-Set-Farben Gasflammentemperaturen bis ungefähr 800° (etwa eine halbe

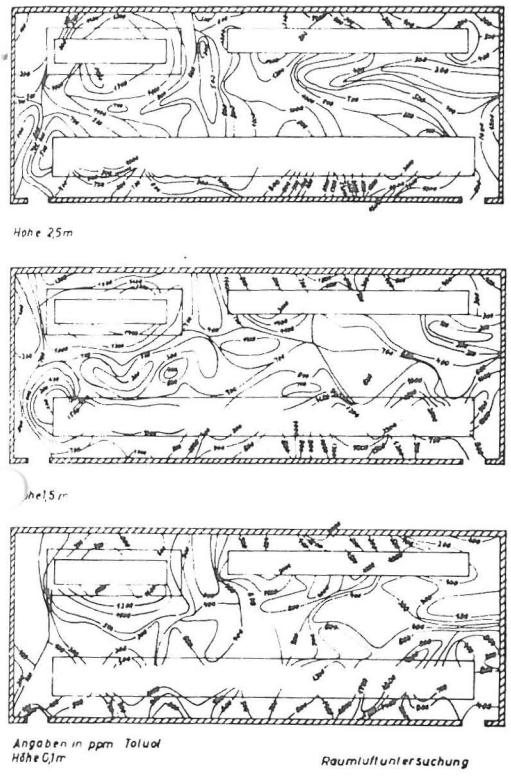


*Abbildung 2a:*
*Raumluft-Zirkulation. (In einem Tiefdruckmaschinenraum vorliegende Verteilung des Toluolgehaltes, gemessen in verschiedenen Höhenschichten.)*

Sekunde lang einwirkend) auf. Durch den zwischen den Flammen und der Papierbahn gleitenden Luftstrom ermäßigen sich die Papiertemperaturen vermutlich auf etwa 200 ° C. Erhebliche Minderungen der Festigkeitswerte sind die Folge, obwohl die Durchlaufzeit nur Sekunden-Bruchteile beträgt. Allzu starke Heißluftströme senkrecht zur Papieroberfläche, welche die Laminar-Luftschicht durchstoßen, können die Papieroberfläche gleichfalls benachteiligen. Kommt aber eine extrem starke Trocknung als letzte Arbeitsstation, der meist ein Kühlsystem nachgeordnet ist, zum Beispiel bei *Naß-in-Naß-Druck*, so sind die auftretenden Schrumpfungen für den eigentlichen Druckprozeß bedeutungslos, jedoch nicht für die Weiterverarbeitung. Dies trifft auch zu, wenn das bedruckte Papier zur Weiterverwendung aufgerollt wird. Starke Luftströmungen in der Rotationsmaschine können zusätzliche Flatterbewegungen der Papierbahnen auslösen (Abbildungen 2a und 2b). Hinsichtlich der Bedruckbarkeit ist noch zu erwähnen, daß durch Temperaturerhöhungen die Viskosität der Druckfarben vermindert und dadurch die Rupfgefahr herabgesetzt wird. Was den Einfluß der Feuchtigkeit, auch solcher aus Kondensation, betrifft, so kann diese die Adhäsion gewisser Farbgattungen verändern und auch zur *Farbfleckenbildung* im Papierstrich führen.

In den Druckmaschinen, namentlich in den Rotationsmaschinen, treten nicht selten erhebliche *elektrische Aufladungen* der Papierbahn auf; erfahrungsgemäß vorwiegend im Winter an Tagen mit geringer Luftfeuchtigkeit. Diese Aufladungen entstehen durch Reibung und vornehmlich bei der Trennung von isolierenden Materialien nach inniger Berührung und führen zu Schwierigkeiten in der Papierführung, vornehmlich durch Zusammenkleben der Bogen, Ankleben des Papiers an Walzen, Aufspeichern von Papierstaub, aber auch zu Funkenbildungen, die in Tiefdruckbetrieben zu *Bränden* und *Explosionen* führen können. Letztere werden vornehmlich dann eintreten, wenn die

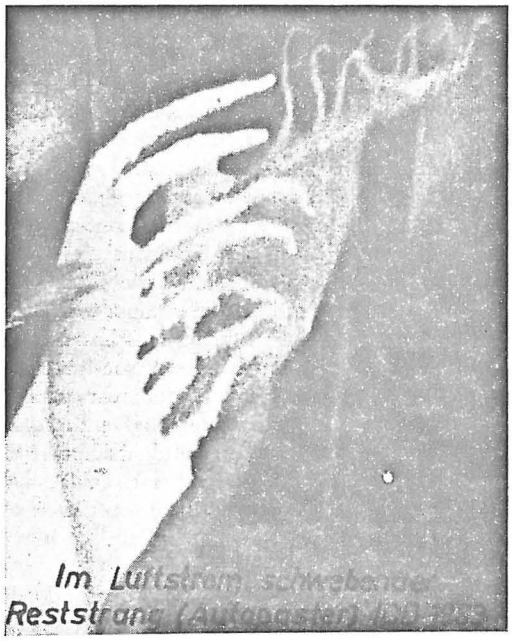


*Abbildung 2b:*
*Schwebender Papier-Reststrang. (Unmittelbar nach dem Schnittvorgang im Autopaster.)*

mit Lösungsmitteln angereicherte Luft schwadenweise in den Bereich starker Aufladungen gelangt. Für die Aufladungsintensität sind die folgenden Faktoren vorwiegend maßgebend: Art, Größe und Rauhigkeit der Berührungsflächen, Größe der Trennkräfte, elektrische Leitfähigkeit der Medien, die Dielektrizitätskonstante der sich berührenden Stoffe, der Isolationswiderstand gegen Erde sowie namentlich der Ionisierungsgrad der umgebenden Luft. Die gebräuchlichen Verfahren zur *Entelektrisierung*, nämlich die Erhöhung der Leitfähigkeit des Papiers durch vermehrte Papierfeuchte beziehungsweise die Erhöhung der Oberflächenleitfähigkeit durch antistatische Gleitzusätze zum Papierstrich, sowie die Ionisierung der Arbeitsraumluft durch elektrische Glimmentladungen, Gasflammen oder radioaktive Substanzen führen, einzeln oder kombiniert angewendet, meist nicht zum Ziel.

Die störenden Aufladungen in den Druckmaschinen sind vor allem auf die Druck- und Reibvorgänge zurückzuführen. Papier, Kunststoff-Folien, Farben und elastische Aufzüge der Walzen sind die Materialien, welche die elektrischen Aufladungen hervorrufen. Die Vielzahl von Oberflächentrennunsgerscheinungen sowie die raschen Bewegungsvorgänge begünstigen die Entstehung von Aufladungen hoher Feldstärken. Hier sei noch erwähnt, daß die bei Zeitungsschnelläufern auftretenden störenden Farbnebel vermutlich in erster Linie auf elektrische Kräfte und zahlreiche Brüche der Farbfäden während der Farbübertragung zurückzuführen sind.

Mit handelsüblichen Meßgeräten – zum Beispiel dem Gerät nach Schwenkhagen –, wovon schon viele in der Praxis von Großdruckereien im Einsatz sind, können die Feldstärken der laufenden Papierbahn kontinuierlich aufgezeichnet werden.

Messungen des *Instituts für grafische Technik* in Leipzig demonstrieren beispielsweise die elektrischen Aufladungen an einer Rotationsmaschine (Abbildung 3). Vorversuche an einem *Darmstädter Rollentiefdruckwerk* zeigten unter anderem immer wieder periodische Änderungen der Feldstärke, aber auch momentane Änderungen, zum Beispiel bei Druckanstellung, und außerdem scheinbar willkürliche (Abbildung 4).

Die Größe der Aufladungen wird auch durch Verunreinigungen von Walzen infolge Papierstaub, Farbreste und so weiter beeinflußt. Bemerkt sei, daß die mit den Papierrollen »angelieferten« elektrischen Aufladungen meist gering sind.

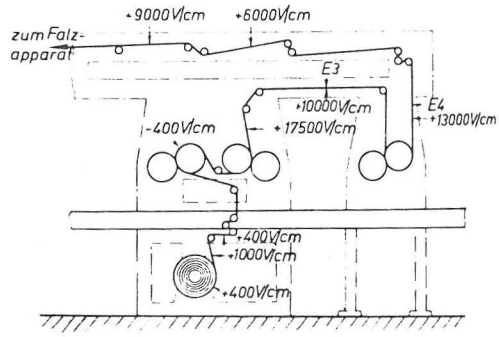


*Abbildung 3:*
*Messungen der elektrischen Aufladung an einer Hochdruck-Rotationsmaschine (40 Prozent r. L. bei 20° C). (Institut für Grafische Technik, Leipzig.)*

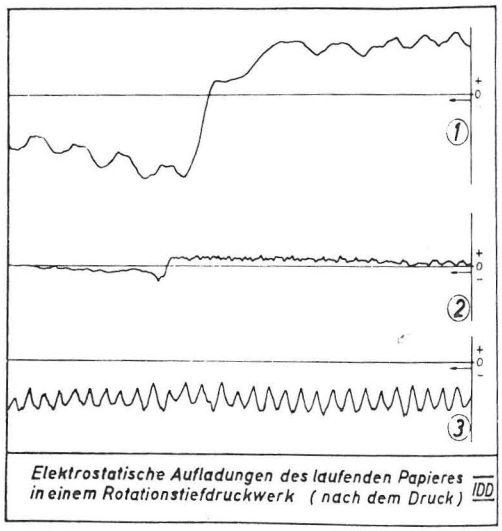


*Abbildung 4:*
*Schwankungen in der Aufladung. Oben Rolle 1, darunter Rolle 2; Ladungswechsel beim Druckeinsatz. (Beide Rollen sind aus einem nichtklimatisierten Lagerraum entnommen.)*
*Unten Rolle 3: Periodische Schwankungen.*
*(Technische Hochschule Darmstadt.)*

III.

Das *Darmstädter Institut* ist seit Jahren bestrebt, durch Versuche in Verbindung mit der Anwendung mathematischer Methoden die wichtigsten Einzelprobleme zu lösen. Sinnvoll erschien es, vor allem das mechanische Verhalten des laufenden Papierstranges unter konstanter beziehungs-

weise veränderlicher Spannung und bei verschiedenen klimatischen Bedingungen, Laufgeschwindigkeiten, Anpreßdrücken, Temperaturverteilung in den Druckwerken und Trockenanlagen zu erforschen. Es ist hervorzuheben, daß alle die Einflußfaktoren in der Druckpraxis gleichzeitig zur Auswirkung kommen und daher auch noch gemeinsam gleichzeitig meßtechnisch erfaßt werden müssen. Einwandfreie Meßresultate in qualitativer und quantitativer Richtung können am besten durch Messungen an laufenden Produktionsmaschinen erzielt werden. Die Ergebnisse können dann die Basis für die Entwicklung brauchbarer Betriebskontrollgeräte liefern.

Nach diesen Ausführungen sei zusammenfassend kurz zur Frage nach der Festlegung des günstigsten *Arbeitsklimas* für die Druckereien Stellung genommen. Da das Papier alle seine vielen drucktechnisch wichtigen Eigenschaften nicht optimal bei einem bestimmten Klima vereinigt, kann nur eine Ausgleichslösung erstrebt werden. Die Lösung ist nicht zuletzt deshalb erschwert, weil bei schnellaufenden Rotationsmaschinen andere Arbeitsbedingungen vorliegen als bei den langsam laufenden sogenannten »Schnellpressen« und anderen in Etappen arbeitenden Bogenmaschinen, und weil zudem das lithografische Verfahren Sonderbedingungen hinsichtlich einer Überkonditionierung der Druckpapiere stellt.

Im schnellen Rotationsdruck spielt das Raumklima praktisch keine Rolle. Grundsätzlich gilt für alle Druckmaschinen, daß nur homogen fabriziertes Papier, das sich im Feuchtegleichgewicht mit dem Arbeitsraumklima befindet, in die Druckwerke gelangen sollte. Nach den geschilderten Verhältnissen sprechen für die Festlegung des Arbeitsklimas von 50 Prozent r. L. bei 23 ° C folgende Hauptgesichtspunkte: Es liegt eine Erhöhung der Zugfestigkeit (gegenüber 65 Prozent r. L.) von etwa 10 Prozent vor, ferner ist dieses Raumklima für die Papierfabrikation vorteilhafter. Dazu kommt, daß unser Klima im Jahresdurchschnitt eine geringere relative Luftfeuchtigkeit hat als 65 Prozent r. L. Nicht zuletzt wird auch die Rostgefahr für die Druckmaschine etwas herabgesetzt. Die Anfälligkeit zu Dimensionsänderungen ist geringer und die bessere Oberflächenglätte sowie Neigung zum schnelleren Trocknen kommen dem Qualitätsdruck zugute. In Kauf genommen werden müssen Minderungen der Papiergeschmeidigkeit, der Falzfestigkeit, der Dehnung und der Einreißfestigkeit. (Allerdings entspricht das Klima 65 Prozent bei 20 ° C mehr der menschlichen Behaglichkeit als das trockenere.) Das bedeutsamste Argument gegen die Wahl des Raumklimas 50 Prozent bei 23 ° C liegt vermutlich in der Tatsache, daß dadurch die Neigung zu elektrostatischen Aufladungen erheblich erhöht wird, eine Erscheinung, die namentlich bei den Rotationsschnelläufern eine markante Störungsquelle liefert.

Es sei noch vermerkt, daß es unter allen Umständen vermieden werden sollte, daß Papiere, die für die beiden unterschiedlichen Normklimata konditioniert wurden, gleichzeitig nebeneinander bedruckt werden; beispielsweise würde sich dies beim Insetterdruck registerstörend auswirken.

In Anbetracht der Vielfältigkeit der herzustellenden Druckereiprodukte und deren Auflagehöhen werden bei der Entscheidung darüber, ob es sinnvoll ist, das bisherige Normklima durch ein anderes abzulösen, vor allem die Großverbraucher von Rollenpapieren ein wichtiges Wort mitsprechen. Im Zeitalter der schnellaufenden Druckmaschine wird man neben der Beachtung der Bedruckbarkeitseignung mehr denn je den Gesichtspunkt »runability« im Auge behalten müssen. Wir müssen als Techniker bestrebt sein, sämtliche drucktechnischen Unsicherheiten dadurch zu mindern, daß wir versuchen, ihre Ursachen im vollen Ausmaß kennenzulernen und unter Kontrolle zu bringen. Zu beachten ist, daß man der Verallgemeinerung von Einzelergebnissen mit größter Vorsicht begegnen muß. Zu diesen Unsicherheiten im Druckprozeß gehören, wie versucht worden ist darzustellen, auch solche, die durch Feuchtigkeits- und Temperatureinflüsse hervorgerufen werden.

Bemerkt sei besonders, daß auch heute noch in vielen Druckereien einwandfreie Klimaanlagen fehlen und daß es schwer ist, die unter anderem von den Einrichtungen des Drucksaales abhängige Luftströmung im Gleichgewicht zu halten, namentlich wenn gleichzeitig auch die Vorschriften nach MAK erfüllt werden sollen. Engste Teamarbeit zwischen Papiermacher, Farbenchemiker, Maschinenbauer und Drucker ist notwendig, um obige Probleme optimal lösen zu können. Die Aufgaben für den Papiermacher sind aus den bisherigen Betrachtungen ersichtlich. Dazu gehört vor allem die Anlieferung von gleichmäßigen Papieren hinsichtlich der geforderten Qualität in zuverlässiger Homogenität. Für den Maschinenbauer resultiert daraus im Hinblick auf den möglichst einwand-

freien Lauf des störungsanfälligen Werkstoffes Papier die Forderung, fehlerfreie Konstruktionen hoher Präzision mit bester Synchronisierung aller Aggregatfunktionen zu erstellen. Er muß mit der Tatsache rechnen, daß mit den Drehzahlen die Massenkräfte im Quadrat steigen. Durch weitestgehende Automatisierung sollten die menschlichen Eingriffe während des Druckprozesses auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden.