

## Zur Trocknung im Rollenoffsetverfahren

Rodriguez-Giles, Jorge; Kühlmeyer, L.

(1988)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00014091>

Lizenz:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Namensnennung

Publikationstyp: Report

Fachbereich: 16 Fachbereich Maschinenbau

16 Fachbereich Maschinenbau

Quelle des Originals: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/14091>

---

Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren  
der Technischen Hochschule Darmstadt

Institutsdirektor: Prof. Dr. - Ing. Christoph Hars

**Zur Trocknung im  
Rollenoffsetverfahren**  
**Hinweise für den Anwender**

J. Rodriguez-Giles, L. Kühlmeyer

Darmstadt 1988

Institutsbericht 1 / 1988



### III

#### Vorwort

Am Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren wurden im Jahre 1987 die Arbeiten zum Forschungsvorhaben "Wärmeübergang an Kühlwalzen in Offset-Rollenrotationsdruckmaschinen" aufgenommen.

Der ehemalige wissenschaftliche Mitarbeiter dieses Instituts, Herr Dr.rer.nat. J. Rodriguez-Giles, führte bereits früher zahlreiche Untersuchungen zur Druckfarbenverfestigung im Rollenoffsetverfahren durch und verfolgt den Verlauf dieses Forschungsvorhabens mit besonderem Interesse. Der so entstandene Dialog führte zu der Erkenntnis, daß für viele produktionsmindernde Probleme und Störerscheinungen bereits Abhilfemaßnahmen existieren, die jedoch in der Praxis nicht überall bekannt sind.

Hieraus entstand der Gedanke, diese Problemfelder zusammen mit den sich aus dem heutigen Erkenntnisstand ableitenden Lösungsmöglichkeiten in Form eines Institutsberichtes zusammenzufassen und zu veröffentlichen.

Die vorliegenden Ausführungen wenden sich primär an die Betreiber von Rollenoffsetanlagen und sollen dazu beitragen, deren Produktivität zu erhöhen und die Produktqualität zu sichern.

Mein Dank gilt Herrn Dr. J. Rodriguez-Giles, der seine Kenntnisse und Erfahrungen dem Institut zur Verfügung gestellt und die Anfertigung dieses Berichtes in diesem Umfang ermöglicht hat, ferner meinem wissenschaftlichen Mitarbeiter, Herrn Dipl.-Ing. Lothar Kühlmeyer, der das laufende Forschungsvorhaben wahrnimmt und die Ausgestaltung dieses Berichtes erarbeitet hat. Unser Dank gilt schließlich der Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V., die mit ihrer Unterstützung dieses Instituts auch diese Veröffentlichung ermöglicht hat.

Christoph Hars



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Allgemeine Problemstellung	1
2.1. Die Druckfarbe und der Bedruckstoff	2
2.2. Der Heißlufttrockner	6
2.3. Die Kühlwalzen	7
3. Hinweise und Tips	9
3.1. Temperaturen, Papier, Feuchte	9
3.1.1. Infrarotstrahlungsthermometer	12
3.2. Kühlwalzen	13
3.2.1. Temperaturmessung an der Oberfläche von Kühlwalzen	13
3.2.2. Der Wärmetransport durch die Kühlwalze	16
4. Neue Entwicklungen	21
4.1. Trockner	21
4.1.1. Wärmeübertragung, Thermoschlitze, Konzentrationsregelung	21
4.1.2. Hochtemperaturstrecke am Trocknereingang	24
4.2. Kühlwalzenstände	24
4.2.1. Energieeinsparung durch Kühlturmwater	24
5. Zusammenfassung	27
6. Formelzeichen	29

## 1. Einleitung

Beim Rollenrotationsoffsetdruck mit "Heat-Set"-Farben treten beim Farbverfestigungsprozeß im Bereich des Trockners und der Kühlwalzen eine Reihe von Problemen auf. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Zusätzlich zu den grundlegenden verfahrens- und materialbedingten Problemen werden Schwierigkeiten durch fehlende, falsche, veraltete, falsch eingestellte oder verschmutzte Ausstattung und Bauteile verursacht.

Durch die in den letzten Jahren permanent gestiegenen Maschinengeschwindigkeiten verstärken sich die angesprochenen Probleme, neue kommen hinzu.

Die maschinentechnisch mögliche Druckgeschwindigkeit wird deshalb oft durch die Trocknungs- und Kühlungseinheiten begrenzt.

Der vorliegende Bericht soll dazu beitragen, Zusammenhänge zu verdeutlichen, bestimmte Probleme aufzuzeigen und, soweit vorhanden, auf Lösungsmöglichkeiten hinzuweisen. Der vorliegende Bericht wendet sich vor allem an die Druckmaschinenanwender. Hinweise auf neue, verbesserte, am Markt angebotene Systeme sollen Entscheidungshilfen im Hinblick auf Neuanschaffungen in Druckereien geben. Zusätzlich sollen hier Anregungen für die Nachrüstung von bereits im Betrieb befindlichen Rollenoffsetlinien mit verbesserten Bauelementen und Instrumenten gegeben werden. Die angesprochenen Maßnahmen können zu einer erheblichen Steigerung der Druckleistung sowie zu Qualitätsverbesserungen beitragen. Zugleich sind Energieeinsparungen möglich.

Die im vorliegenden Bericht zitierten Meßergebnisse wurden an verschiedenen Anlagen ermittelt. Aus Gründen der Diskretion können jedoch die Firmen, bei denen die Messungen durchgeführt wurden, nicht genannt werden.

## 2. Allgemeine Problemstellung

Im Mehrfarbenrollenoffsetdruck wird in der Regel die Verdunstungstrocknung eingesetzt; man verwendet also Farben, die durch Lösemittelverdunstung trocknen, die sogenannten "Heat-Set"-Farben. Die Bedruckstoffbahn wird beidseitig Naß in Naß bedruckt, und anschließend werden in einem Prallstrahlschwebetrockner die Lösemittel ausgetrieben.

Nach Verlassen des Trockners ist die Druckfarbe zwar bis auf einen geringen Rest frei von Lösemitteln, jedoch aufgrund der hohen Bahntemperaturen noch immer in geschmolzenem Zustand. Im Kühlwalzenständer wird die Bahn auf Raumtemperatur abgekühlt. Erst nach diesem Prozeßschritt ist die Druckfarbe endgültig verfestigt.

Prinzipiell ist der beschriebene Vorgang einfach, jedoch treten eine Reihe von grundsätzlichen Problemen auf, aus denen erhebliche Detailprobleme resultieren. Im folgenden wird der Versuch unternommen, wenigstens einige dieser Problemfelder aufzuzeigen und, falls vorhanden, auf Lösungsmöglichkeiten oder zumindest Abhilfemaßnahmen hinzuweisen.

Obwohl Trockner (mit Abluftreinigung) und Kühlwalzen getrennt behandelt werden, sollte der Druckfarbenverfestigungsprozeß als Ganzes betrachtet werden. Neben seinen Auswirkungen auf die Farbe beeinflusst dieser Prozeß auch noch das Papier. Oft wird sogar die Leistung der gesamten Rollenoffsetlinie von der Trocknungsstrecke (mit Kühlwalzen) bestimmt bzw. begrenzt.

### 2.1. Die Druckfarbe und der Bedruckstoff

Die im Rollenoffsetverfahren zur Anwendung kommenden "Heat-Set"-Farben bestehen zu etwa 20 % aus Pigmenten, zu 40 bis 50 % aus Bindemitteln und zu 30 bis 40 % aus Lösemitteln. Von einer Rollenoffsetfarbe erwartet man, daß sie dem Offsetverfahren gerechte Oberflächenspannungs- und Kohäsionseigenschaften aufweist; diese dürfen sich im Farbwerk auf dem Wege vom Farbkasten zu den Auftragswalzen nicht nennenswert ändern. Diese Forderung kann nur erfüllt werden, wenn die Lösemittelverdunstung im Druckwerk gering ist. Andernfalls trocknet die Farbe bereits im Druckwerk aus. Ein Offsetdruckwerk besitzt eine beträchtliche Verdunstungsfläche, die durch das "Fadenziehen" bei der Farbspaltung weiter vergrößert wird. Bei höheren Maschinengeschwindigkeiten sind außerdem erhöhte Temperaturen im Farbwerk zu erwarten. Aus diesen Gründen müssen die Lösemittel von "Heat-Set"-Farben für den Rollenoffsetdruck eine geringe Verdunstungsneigung oder anders ausgedrückt hohe Siedepunkte besitzen, und sie liegen deshalb in der Größenordnung von 230 bis 300 °C. Lösemittel mit derart hohen Siedepunkten erfordern schließlich hohe Trocknungstemperaturen für einen schnellen Trocknungsvorgang. Die

Bahntemperaturen am Trockneraustrittsschlitz liegen beim üblichen Vierfarbendruck zwischen 130 und 150 °C. Wie später aufgezeigt wird, führen Bahntemperaturen in dieser Größenordnung, die weit über dem Siedepunkt von Wasser liegen, zu einer sehr unerwünschten Austrocknung des Papiers. Hieraus resultieren Probleme, die zwar nicht grundsätzlich beseitigt werden, jedoch gemindert werden können. Die Binde- und Lösemittel werden so abgestimmt, daß sie den gegensätzlichen Anforderungen - Nichttrocknen im Farbwerk und Schnellverdunsten im Trockner - optimal gerecht werden. Auf diese Weise kann mit geringeren Trocknungstemperaturen gearbeitet werden, wodurch auch die Papieraustrocknung reduziert wird. Trotz Optimierung der Farbrezeptur ist davon auszugehen, daß weiterhin Bahntemperaturen benötigt werden, die im obengenannten Bereich (um 140 °C) liegen.

Die beim Rollenrotationsoffsetdruck zur Anwendung kommenden Bedruckstoffe sind meist gestrichene Papiere, insbesondere Hochglanzpapiere. Die Farbe bleibt grundsätzlich auf der Oberfläche, das Wegschlagen spielt eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Grund sollte für die Trocknung das Papiergewicht nicht relevant sein. Dieses bestätigt sich in der Praxis nicht.

Die Austrocknung des Papiers und die damit verbundene Wellenbildung ist eines der Hauptprobleme beim Rollenoffsetdruck. Rollenoffsetpapiere besitzen zu Beginn Feuchtebeladungen von 4,5 bis 6 %, die sich während des Trocknungsvorganges auf ca. 1,2 bis 2,5 % reduzieren.

Zum leichteren Verständnis seien einige ergänzende Bemerkungen zum Thema Papierfeuchte gegeben. Feuchtebeladungen werden oft mit dem Ausdruck "absolute Feuchte" bezeichnet. Die Bezeichnung "absolute Feuchte" ist irreführend und wird deshalb im folgenden *Papierfeuchte* oder *(Papier-) Feuchtebeladung* genannt. Im allgemeinen versteht man nämlich unter einer absoluten Größe das Produkt aus einem Zahlenwert und einer Einheit (z.B. 5 m; 1,332 kJ/kg K). Im Gegensatz dazu beschreibt eine relative Größe ein Verhältnis, das in der Regel keine Einheit besitzt, bzw. in Prozent angegeben wird. Da die Feuchtebeladung die Relation aus Masse des Wassers zu Masse des trockenen Gutes ist, kann von einer absoluten Größe nicht die Rede sein.



Häufig wird auch im Zusammenhang mit Papierfeuchte eine "relative Feuchte" angegeben. Darunter versteht man die relative Luftfeuchte, zu der sich nach genügend langer Verweildauer, gemäß der Sorptionsisothermen, eine bestimmte Gleichgewichtsbeladung im Papier einstellt. Die Sorptionsisothermen sind stoff- wie auch temperaturabhängig. Relative Feuchtwerte sind bei Papierendfeuchten, wie sie sich bei der Rollenoffsettrocknung einstellen, nicht mehr bestimmbar, da sie nahe bei Null liegen. Wird in den weiteren Ausführungen von Papierfeuchte gesprochen, so ist, wenn nicht anders vermerkt, die Feuchtebeladung gemeint.

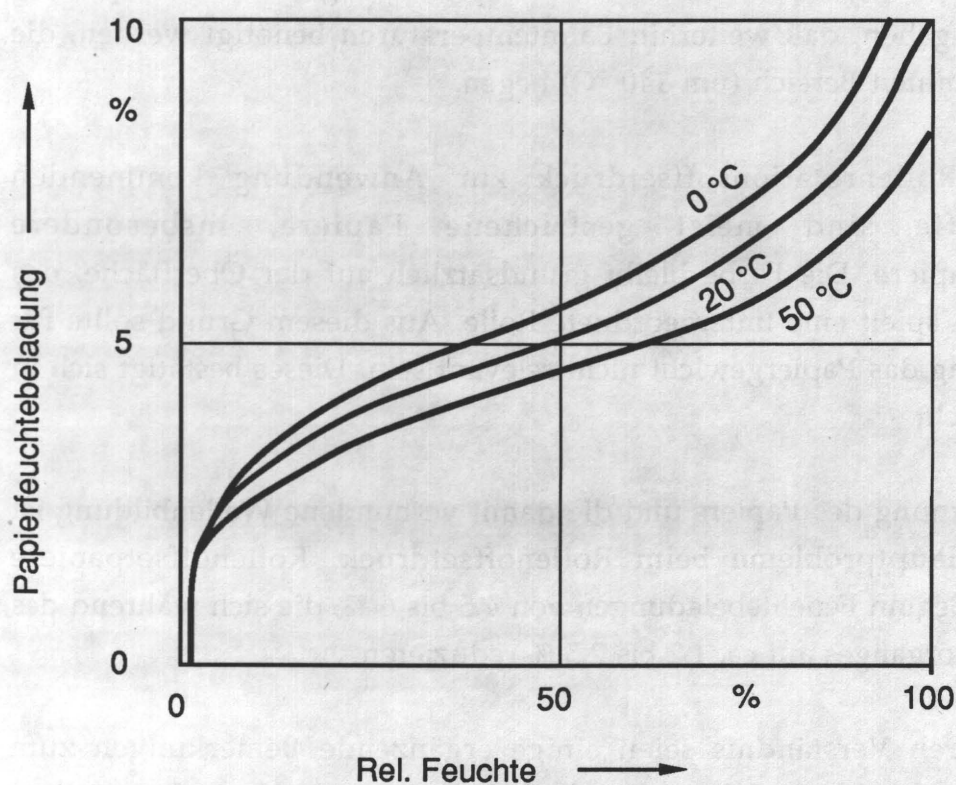


Bild 1: Sorptionsisothermen für ein Papier.

Die auf das Papier aufgedruckte Farbschicht wirkt während und nach dem Trocknungsvorgang wie eine Dampfsperre. Je nach Flächendeckungsgrad ist der Feuchteverlust des Papiers unterschiedlich. Zwischen einer beidseitig mehrfarbig bedruckten und einer unbedruckten Fläche kann die Papierfeuchtebeladung erheblich differieren (z.B. 1 %, ermittelt an einem Papier mit einer flächenbezogenen Masse von  $90 \text{ g/m}^2$  und einer Bahntemperatur am Trockneraustritt von  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Bei übermäßiger Erhitzung des Papiers ist die gefürchtete Blasenbildung möglich (Bild 2). Freigesetzter Wasserdampf kann die Farbschicht nicht durchdringen, wodurch das Papier partiell "aufgeblasen" und somit plastisch verformt wird.

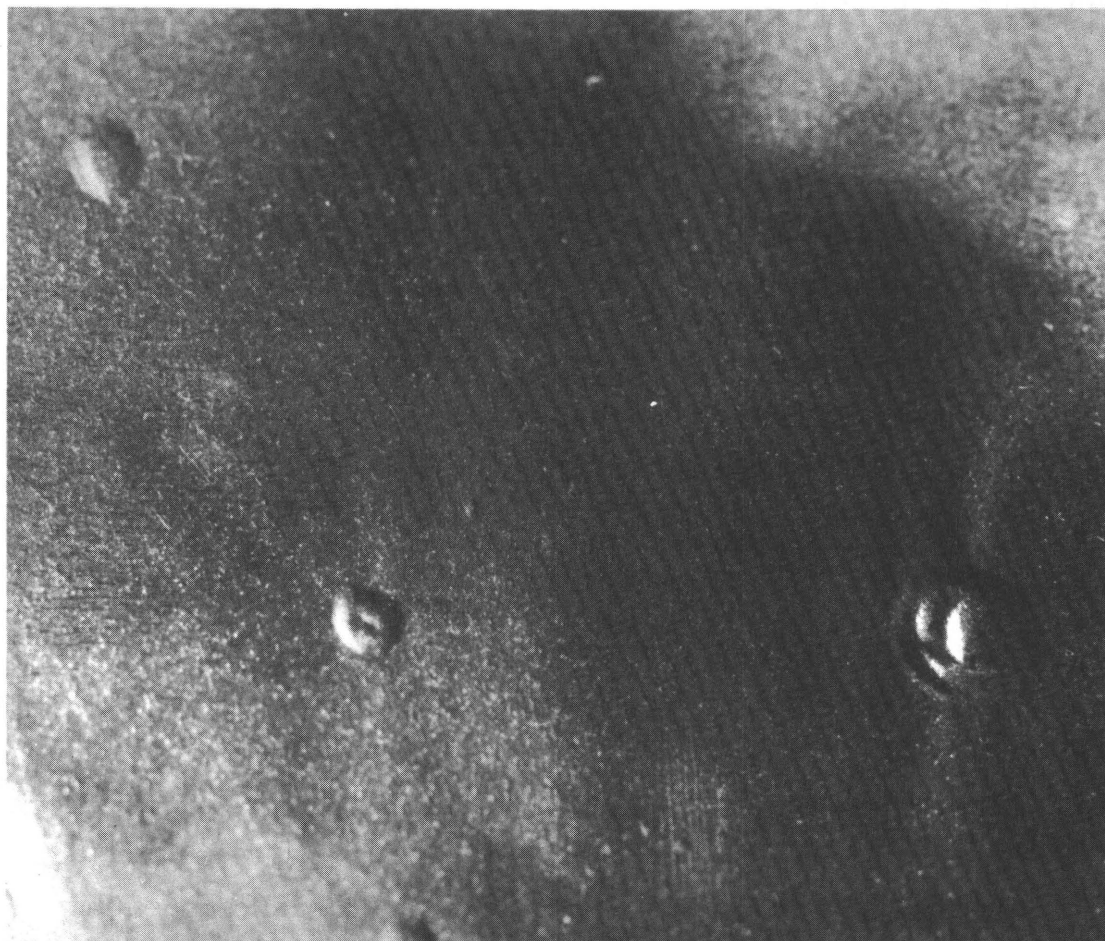


Bild 2: Blasenbildung im Papier.

Bei der Weiterverarbeitung der ausgetrockneten Papiere nimmt die Feuchtigkeit nur unbedeutend zu. Als Endergebnisse erhält man Buch- bzw. Zeitschriftenblöcke, deren Kerne über einen längeren Zeitraum Papierfeuchten um 2 % aufweisen, deren Schnittflächen sich jedoch schnell an die der Luftfeuchtigkeit entsprechenden Feuchtebelastung angleichen (4,5 bis 6 %). Dieser Prozeß kann zu einer übermäßigen Wellenbildung mit Schwierigkeiten bei der Weiterverarbeitung und Qualitätsverlusten führen. Eine Wiederbefeuchtung des Papiers wird durch die Feuchtesperrenwirkung der Farbe stark erschwert. Eine Angleichung der Papierfeuchte im Falzgutstapel kann Monate dauern.



## 2.2. Der Heißlufttrockner

Die beidseitig bedruckte Bahn wird in der Regel in einem Prallstrahl-Schwebetrockner getrocknet, also in einem Trockner, in dem die Düsen die Bahn zugleich trocknen und in der Schwebe halten (Bild 3).

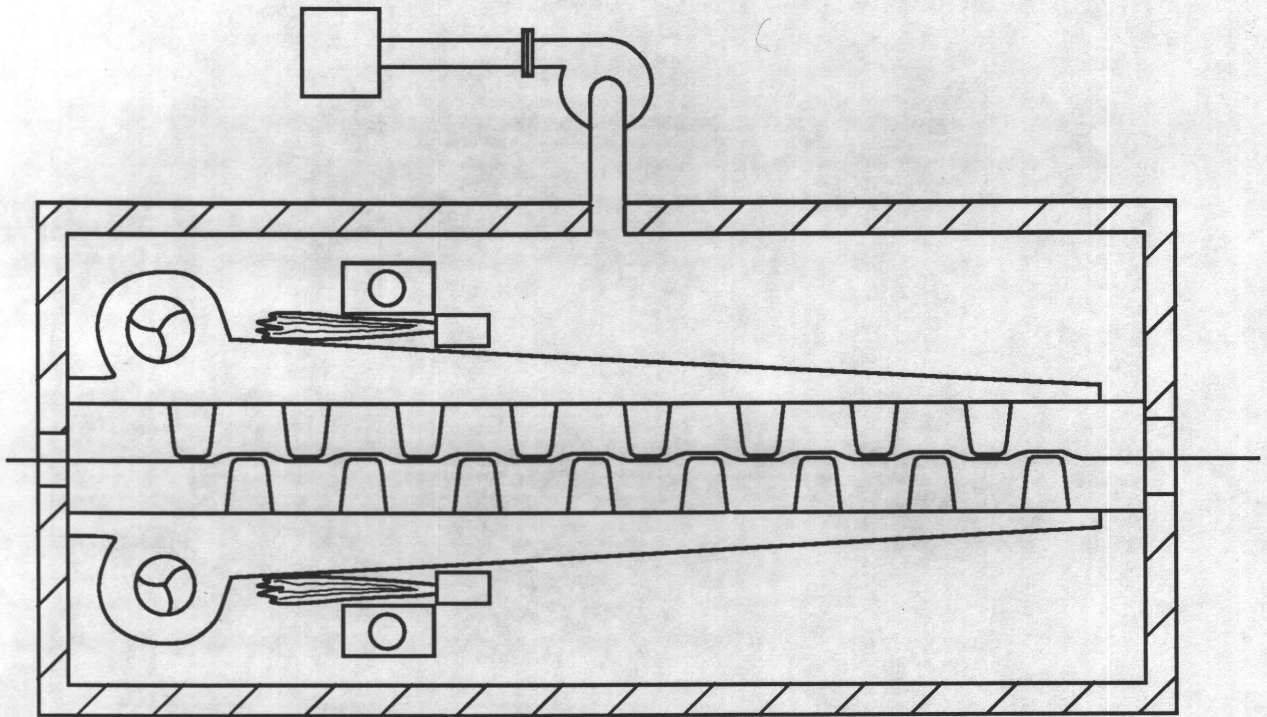


Bild 3: Schematischer Aufbau des Trockners einer Rollenoffsetmaschine.

Im Gegensatz zum Tiefdruck ist die Gestaltung der Düsen nicht alleine auf den Trockenvorgang optimiert.

Die Prallstrahlen aus den Trocknerdüsen zerstören bis auf einige Hundertstel Millimeter die mit Lösemitteln aufgeladene wärmeisolierende Luftgrenzschicht\* an der Bahn. So wird zugleich Wärme zur Bahn hin transportiert und Lösemittel von der Bahn entfernt. Die Aufheizung der Luft in Prallstrahlrocknern erfolgt üblicherweise mittels einer offenen

\* Unter Grenzschicht versteht man den wandnahen Bereich einer Strömung, in dem Größen wie Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und Konzentration von ihrem Wert in der Außenströmung auf ihren Wert an der Wand übergehen. Die Grenzschichtströmung kann laminar oder turbulent sein (siehe hierzu Kap. 3.2.2.), wobei Grenzschichten in unmittelbarer Wandnähe immer laminar sind. Faustregel: Je größer die Turbulenz, desto dünner der laminare Anteil der Grenzschicht und desto besser der Wärmeübergang sowie der (Ab-)Transport von in der Grenzschicht enthaltenen Stoffen (z.B. der Lösemittel).

Oft wird nur dieser laminare Bereich in unmittelbarer Wandnähe als Grenzschicht bezeichnet. Diese Definition soll auch für die folgenden Ausführungen im vorliegenden Bericht gelten.

Flamme. Die lösemittelbeladene Luft wird ständig vom Trockner zur thermischen Nachverbrennung (TNV) gefördert und durch Frischluft ersetzt. In der TNV wird die Trocknerabluft von Lösemitteln und anderen Schadstoffen durch Verbrennung befreit. Der Frischluft- bzw. Abluftvolumenstrom liegt in der Größenordnung von 10 % des vom Gebläse durch die Düsen geförderten Luftvolumenstromes. Die Frischluftzufuhr ist für den Abtransport der mit Lösemittel beladenen Luft im Trockner, also für die Lufterneuerung, erforderlich. Durch die Bahnein- und -austrittsschlitze strömt die Frischluft in den Trockner und verhindert so weitgehend, daß lösemittelhaltige Luft durch die Schlitze hindurch aus dem Trockner austritt.

Trotz der beschriebenen Maßnahmen führt die Bahn eine mit Lösemittel angereicherte Grenzschicht zu den Kühlwalzen mit.

An den Bahnein- und -austrittsschlitzen kommt es zur Mischung von kalter Frischluft aus dem Raum und lösemittelangereicherter Heißluft, wodurch die Lösemittel kondensieren und zu einer starken Verschmutzung führen können.

Zur Veranschaulichung seien einige typische Werte aufgeführt.

In einem einfachen Praxistrockner mit einer Länge von 6 m für Maschinen mit Geschwindigkeiten von bis zu 6 m/s liegt der durch die Düsen geförderte Volumenstrom bei etwa 20000 m<sup>3</sup>/h, der Frischluftvolumenstrom bei etwa 3000 m<sup>3</sup>/h. Bei einer Düsenlufttemperatur von ungefähr 200 °C liegt die Ablufttemperatur bei 165 °C, während die Bahntemperatur nach Trockneraustritt 140 °C beträgt. Die Luft im Trockner ist mit ca. 2 bis 3 g/m<sup>3</sup> Lösemittel beladen.

### 2.3. Die Kühlwalzen

In der Kühlwalzeneinheit erfolgt die Verfestigung der Druckfarbe. Bei modernen Kühlwalzen wird das Wasser in enge spiralförmige Kanäle gezwängt, um eine möglichst hohe Wärmeübertragungsrate zu erzielen. Die Grenzschicht der Wasserströmung an der Innenseite des Kühlwalzenmantels stellt den Hauptwärmewiderstand im Kühlwalzenkörper dar. Insbesondere bei der ersten Kühlwalze ist die Wärmebelastung beträchtlich (20 kW/m<sup>2</sup> und mehr). Bei derart hohen Wärmeleistungen ist ein erheblicher Temperaturabfall zwischen Kühlwalzenoberfläche und Strömungskern notwendig. Die



Oberflächentemperatur der ersten Kühlwalze liegt weit über der Kühlwassertemperatur. Beträgt die Kühlwassertemperatur beispielsweise 12 °C, so nimmt die Kühlwalzenoberflächentemperatur in der Regel Werte zwischen 30 und 50 °C an. Normalerweise werden bis zu vier Kühlwalzen verwendet, von denen zumindest die zwei letzten mit Kühlwasser aus einer Kältemaschine (unter 12 °C) betrieben werden müssen, damit die Bahn definiert auf Raumtemperatur abgekühlt werden kann.

Mit zunehmender Maschinengeschwindigkeit stellt man fest, daß die Wärmeübergangszahl vom Papier zur Kühlwalze sinkt. In diesem Fall ist die Vermutung naheliegend, daß die Bahn auf der Kühlwalze "schwimmt", d. h. es besteht kein direkter Kontakt mehr. Verstärkt wird dieser Verdacht durch das Ansammeln von Lösemitteln auf der Kühlwalze, sowie durch Verunreinigungen im Falzapparat, die auf punktuellen Wiederanlösen der Farbe durch die beschriebene Lösemittelansammlung zurückgeführt werden könnten. Dieses Problem ist noch nicht gelöst und tritt ab Bahngeschwindigkeiten von 6 bis 7 m/s auf.

Mittels direkt hinter dem Trockner angebrachter Prallstrahldüsen kann die lösemittelhaltige Grenzschicht von der Papierbahn abgerakelt werden. Auf dem weiteren Weg der Bahn zu den Kühlwalzen treten jedoch weitere Lösemittel durch Nachverdampfung aus, die sich wiederum auf den Kühlwalzen niederschlagen können.

Ein anderer Lösungsansatz sieht den Einbau von Prallstrahldüsen am Papiereinlaufbereich der ersten Kühlwalze zum zwangsweisen Andrücken der Bahn vor. Hier stellt man eine verbesserte Wärmeübertragung vom Bedruckstoff zur Kühlwalze fest. Ob dieses Verfahren das Problem der Wiederanlösung der Farbe endgültig beseitigt, bleibt abzuwarten.

Zur Beseitigung der Lösemittel von der Oberfläche der ersten Kühlwalze werden auch mechanische Methoden (Reinigungseinrichtungen) angewendet.

Meistens werden hinter dem Kühlwalzenständer Silikonisieranlagen angebracht, deren Aufgabe darin besteht, eine Silikondispersion auf das bedruckte Papier aufzutragen; der Feuchtegehalt des Papiers wird dadurch nur unwesentlich erhöht.

### 3. Hinweise und Tips

#### 3.1. Temperaturen, Papier und Feuchte

Papier ist bekanntlich ein hygroskopischer Stoff, der mit der Umgebung Feuchtigkeit austauscht, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht wird. Die Feuchtebelastung des Papiers hängt sowohl von der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft wie auch von deren Temperatur ab (siehe hierzu auch die Ausführungen über die Sorptionsisothermen in Kap. 2.1.).

Bild 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der Temperaturdifferenz Luft-Kühlgrenztemperatur und der Lufttemperatur für ein Durchschnittspapier. Als Parameter treten hier die relative Luftfeuchte, die hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte des Papiers und der Dampfanteil in der Luft auf. Anhand dieses Diagrammes ist zu erkennen, daß bei den hohen Temperaturen, die bei der Trocknung von Offsetfarben erforderlich sind, selbst bei einer reinen Dampfatmosphäre die Anfangsfeuchtebelastung des Papiers reduziert wird. Auch wenn die Verweilzeit im Trockner in der Größenordnung von einer Sekunde für die Einstellung des Gleichgewichtszustandes, in diesem Fall die vollkommene Austrocknung, nicht ausreicht, so stellen sich doch erhebliche Feuchteverluste ein.

Rechnersimulationen\* erlauben einen besseren Einblick in den Prozeß. Bild 5 zeigt das Ergebnis einer solchen Simulation für Temperatur und Feuchte von zwei Papieren beim Durchlaufen eines Trockners. Es zeigt sich, daß ein nennenswerter Anteil der vom Trockner an das Papier abgegebenen Wärme (leider) zur Feuchtigkeitsverdunstung verbraucht wird. In der zweiten Hälfte des Trockners ist die Bahntemperatur wie auch die Verdunstungsrate nahezu konstant.

Solange noch Feuchtigkeit im Papier vorhanden ist, wird es durch Verdunstung "gekühlt". Die Differenz zwischen Trocknerlufttemperatur und Bahntemperatur am Trocknerauslauf beträgt bei den üblichen Wärmeübergangszahlen etwa 60 °C. Die Feuchtigkeitsverdunstung hängt weiterhin von der Dampfdurchlässigkeit der Papieroberfläche ab; Druckfarbe

---

\* Grundlage der Rechnersimulation sind bekannte Stoffwerte, die Sorptionsisothermen von Papier, sowie die Kennwerte des Trockners. Lediglich eine Konstante für die Papierfeuchtedurchlässigkeit wurde angepaßt. Die Simulation ergab Temperaturen und Feuchtwerte, wie sie auch im Produktionstrockner zu beobachten sind.



vermindert diese. Daraus resultiert eine gegenüber den nichtbedruckten Stellen merklich erhöhte Restfeuchtigkeit der insbesondere zweiseitig bedruckten Flächen. Mit Hilfe von verbesserten Farbzepturen und anderen Maßnahmen kann auch mit niedrigeren Bahntemperaturen getrocknet werden. Bei den gängigen Papieren und Farben stellt man jedoch fest, daß bei Bahntemperatursenkung die Restfeuchtedifferenz zwischen unbedruckten und bedruckten Flächen zunimmt.

Die unbedruckten Flächen schrumpfen daher wesentlich stärker als die bedruckten und wirken wie ein "Schrumpfraumen" um die Bilder. Das Ergebnis ist eine starke Wellung der bedruckten Flächen, die bei Vierfarbenbildern mit hoher beidseitiger Flächendeckung besonders ausgeprägt sein kann. Beispielsweise werden mit Bahntemperaturen um 115 °C relativ hohe Restfeuchtwerte erzielt; die starke Wellung kann das Produkt jedoch unverkäuflich machen. Aufgrund der Hystereseeigenschaften des Papiers verschwindet diese Wellung auch nach längerer Zeit nicht vollständig, wohingegen die zuvor erwähnte Wellung an den Rändern (z.B. an Buchblöcken) sich mit der Zeit zurückbildet und in der Regel auch vollkommen verschwindet.

Auch bei der Herstellung von "Hard Cover"-Büchern können durch die Wellung erhebliche Schwierigkeiten auftreten, da ein sauberes Verkleben der ersten und letzten Seite erschwert wird. Die Minimierung dieser Wellenbildung kann durch die Einhaltung bestimmter Grenzwerte wie Temperatur und Feuchtebeladung der Bahn am Trockneraustritt erreicht werden. Der Trockner muß dafür mit entsprechenden Kontrollinstrumenten ausgestattet sein und richtig eingestellt werden. Die Eignung der Auflagepapiere ist nach deren praxisgerechter Austrocknung durch Bindeversuche zu bestätigen.

Als beste Lösung für die zuletzt angesprochenen Probleme hat sich die Trocknung mit Bahnaustrittstemperaturen von 130 bis 140 °C erwiesen. Dies gilt ganz besonders für Druckprodukte mit hoher Flächenbelegung. Höhere Temperaturen sollten in jedem Fall vermieden werden, während Bahntemperaturen in der Größenordnung von 115 °C bei niedriger Flächenbelegung (nach vorher durchgeführten Versuchen) zu besseren Resultaten führen können.

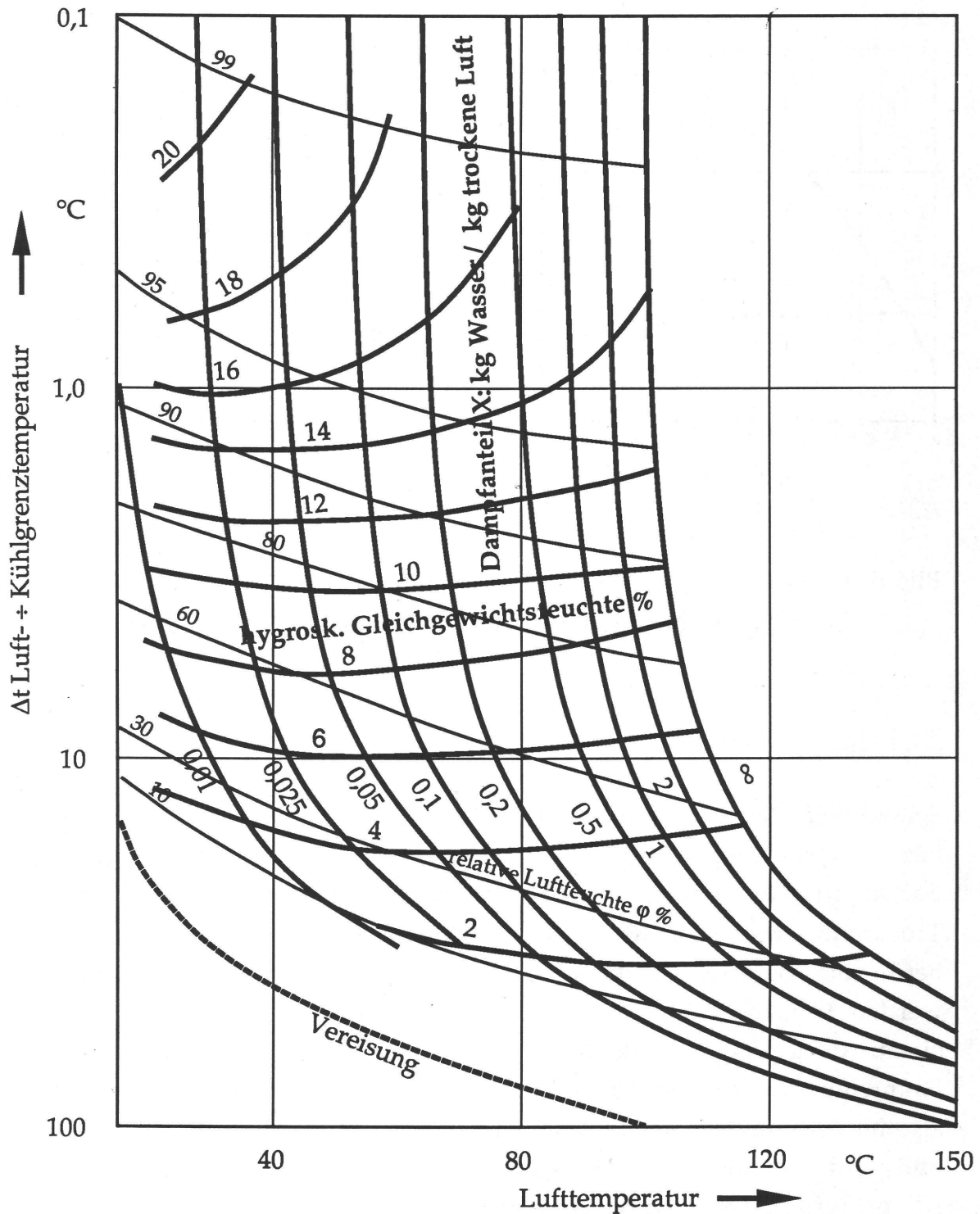


Bild 4: Zusammenhang zwischen der Temperaturdifferenz Luft-Kühlgrenztemperatur und der Lufttemperatur für ein Durchschnittspapier mit den Parametern relative Luftfeuchte, hygroskopische Gleichgewichtsfeuchte und Dampfanteil in der Luft. (Mit freundlicher Genehmigung der Firma Pagendarm GmbH, Hamburg).



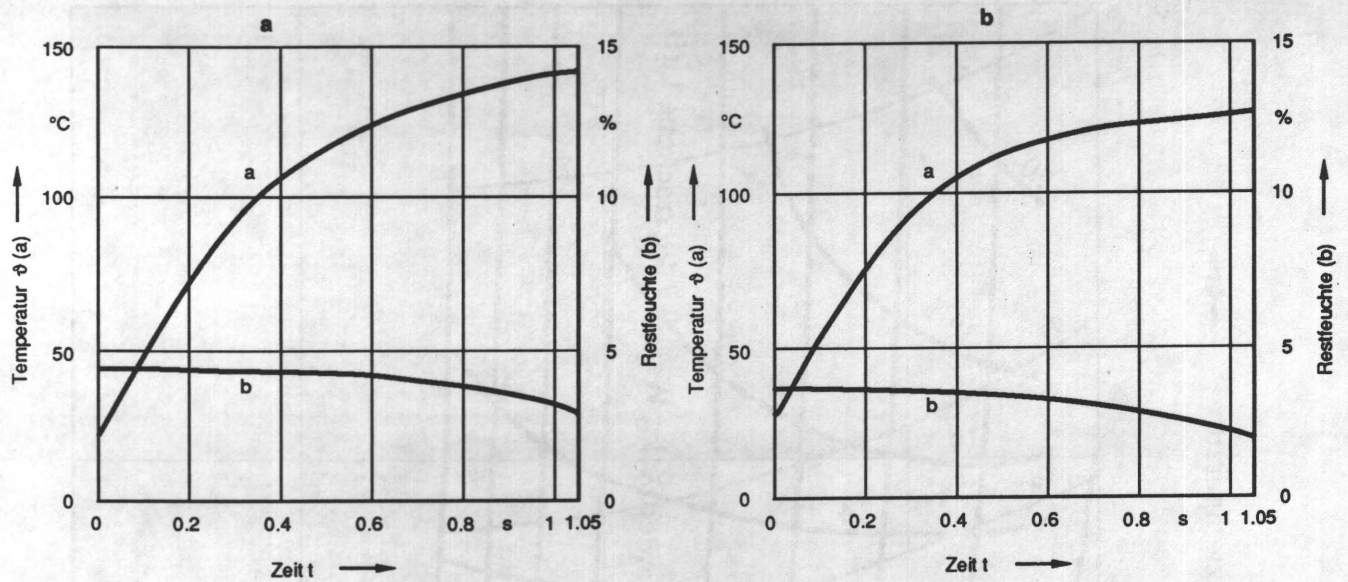


Bild 5: Computersimulation der Trocknungsvorgänge für zwei Papiere mit Flächengewichten von  $54 \text{ g/m}^2$  (a) und  $100 \text{ g/m}^2$  (b).

### 3.1.1. Infrarotstrahlungsthermometer

Seit einiger Zeit werden Heißlufttrockner über zwei Temperaturmessungen kontrolliert bzw. geregelt, und zwar über die Heißluft- und die Bahnaustrittstemperatur. Meistens ist die Bahntemperatur für das Trocknungsergebnis maßgebend. Die Messung der Bahntemperatur muß berührungslos erfolgen, da die Farbe noch nicht verfestigt ist. Eingesetzt werden Infrarotstrahlungsthermometer, die aus einer Infrarotoptik und einem (in der Regel getaktetem) Infrarotfühler bestehen. Bei den üblichen Bahntemperaturen liegt die dominierende Infrarotwellenlänge bei  $7 \mu\text{m}$ , also im Ferninfrarotbereich. Der Emissionsfaktor von Papier liegt bei  $\epsilon = 0,9$  und wird von der Druckfarbe kaum beeinflusst. Unter diesen Bedingungen ist prinzipiell eine Infrarottemperaturmessung problemlos möglich. Tatsächlich treten in der Praxis Fälle auf, bei denen die Temperaturanzeigen der Infrarotthermometer oft 30, 50 oder gar 100 Grad unter der tatsächlichen Bahntemperatur liegen. So kann es vorkommen, daß ein Maschinenbediener die durch Fehlmessungen ermittelte scheinbare Bahntemperatur von  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  einhält, während diese aber in der Realität  $190 \text{ }^\circ\text{C}$  beträgt und damit viel zu hoch ist. Die Überhitzung der Bahn führt zu der bereits erwähnten Blasenbildung, zu einer übermäßigen Trocknung

und zu dem sogenannten Fiberlifting (Papierfasern stellen sich senkrecht auf, wodurch das Papier an Glanz verliert). In Extremfällen kann das Papier so spröde werden, daß es beim Drahtklammerbinden bricht.

Diese Temperatur-Fehlmessungen sind in der Regel auf eine Verschmutzung der ungeschützten Infrarotoptik zurückzuführen. Diese Verschmutzung entsteht durch Kondensation der im Bereich des Trockners und der Kühlwalzen oft vorhandenen Lösemitteldämpfe, in denen zusätzlich noch Papierstaub gebunden ist.

Die Vermeidung solcher Fehlmessungen ist denkbar einfach. Die Infrarotthermometer werden mit einer Luftspülung versehen, so daß die Lösemitteldämpfe nicht bis zur Infrarotoptik vordringen können. Inzwischen bieten mehrere Hersteller derartige geschützte Infrarotthermometer als Standardausrüstung an.

Oft wird die Ansicht vertreten, daß die relative Feuchte von Rollenoffsetpapieren wegen der Gefahr von Blasenbildung einen Wert von 35 % nicht überschreiten sollte.

Vermeidet man jedoch die Papierüberhitzung, können auch Papiere mit 50 % relativer Feuchte (bei 20 °C) erfolgreich eingesetzt werden. Dadurch werden nach dem Trocknen höhere Restfeuchten erzielt.

Neuere Farben erlauben niedrigere Bahntemperaturen als die vorher genannten 140 °C. Auf die Schwierigkeiten bei Temperaturen deutlich unter 130 °C wurde bereits hingewiesen.

## 3.2. Kühlwalzen

### 3.2.1. Temperaturmessung an der Oberfläche von Kühlwalzen

Seit Jahrzehnten werden Thermolemente zur Messung der Oberflächentemperatur von rotierenden Walzen angeboten. Diese Thermolemente gehören zur Standardausrüstung von Papierfabriken zur Überwachung der Kalandervalzen. Der durch die Reibung verursachte Fehler liegt selbst bei höheren Geschwindigkeiten unter 1 °C. Selbstverständlich muß die Messung an der "Rückseite", d.h. im nicht umschlungenen Bereich der Kühlwalze erfolgen.

Infolge der Wärmeträgheit des Stahles differieren bei der Wärmeübertragung vom Papier zur Kühlwalze die Temperaturen des umschlungenen und nicht umschlungenen Bereiches der Kühlwalzenoberflächen nur wenig. Bild 6 zeigt einen durch Computersimulation\* errechneten Verlauf der Oberflächentemperatur einer Kühlwalze.

Man stellt fest, daß insbesondere die Oberflächentemperatur der ersten Kühlwalze weit über der Kühlmitteltemperatur liegt.

Bei langsamen Maschinen und leichten Papieren ist eine Kühlwalzenoberflächentemperatur um 30 °C zu erwarten, während sich bei schnellen Maschinen und schweren Papieren bei gleichem Kühlmittelfluß 50 °C und mehr einstellen. Die Temperaturen der nachfolgenden Kühlwalzen sind entsprechend geringer.

Es empfiehlt sich, die Messungen der Oberflächentemperaturen durch Überprüfen der Papiertemperaturen im Kühlwalzenständer zu vervollständigen. Als besonders geeignet haben sich hier Handinfrarotthermometer erwiesen, mit denen auch die am Trockner angebrachten Infrarotthermometer kontrolliert werden können.

Manchmal werden die Trockner für Probleme verantwortlich gemacht, deren Ursachen jedoch bei den Kühlwalzen liegen. Bei höheren Kühlwalzenoberflächentemperaturen (als Anhaltswert kann 65 °C genannt werden, obwohl eine genaue Grenze nicht festgestellt werden kann) kann es zum Farbaufbau auf der ersten Kühlwalze kommen. Als Konsequenz tritt das gefürchtete Kühlwalzenrupfen auf (Bild 7). Durch Erhöhung der Trocknertemperatur wird die Situation weiter verschlimmert, wie im folgenden gezeigt wird.

---

\* Das Simulationsprogramm basiert auf bekannten Stoffkennwerten von Stahl, Kühlwasser, Luft und Papier und gibt Werte, wie sie auch in Produktionsmaschinen beobachtet werden, wieder.



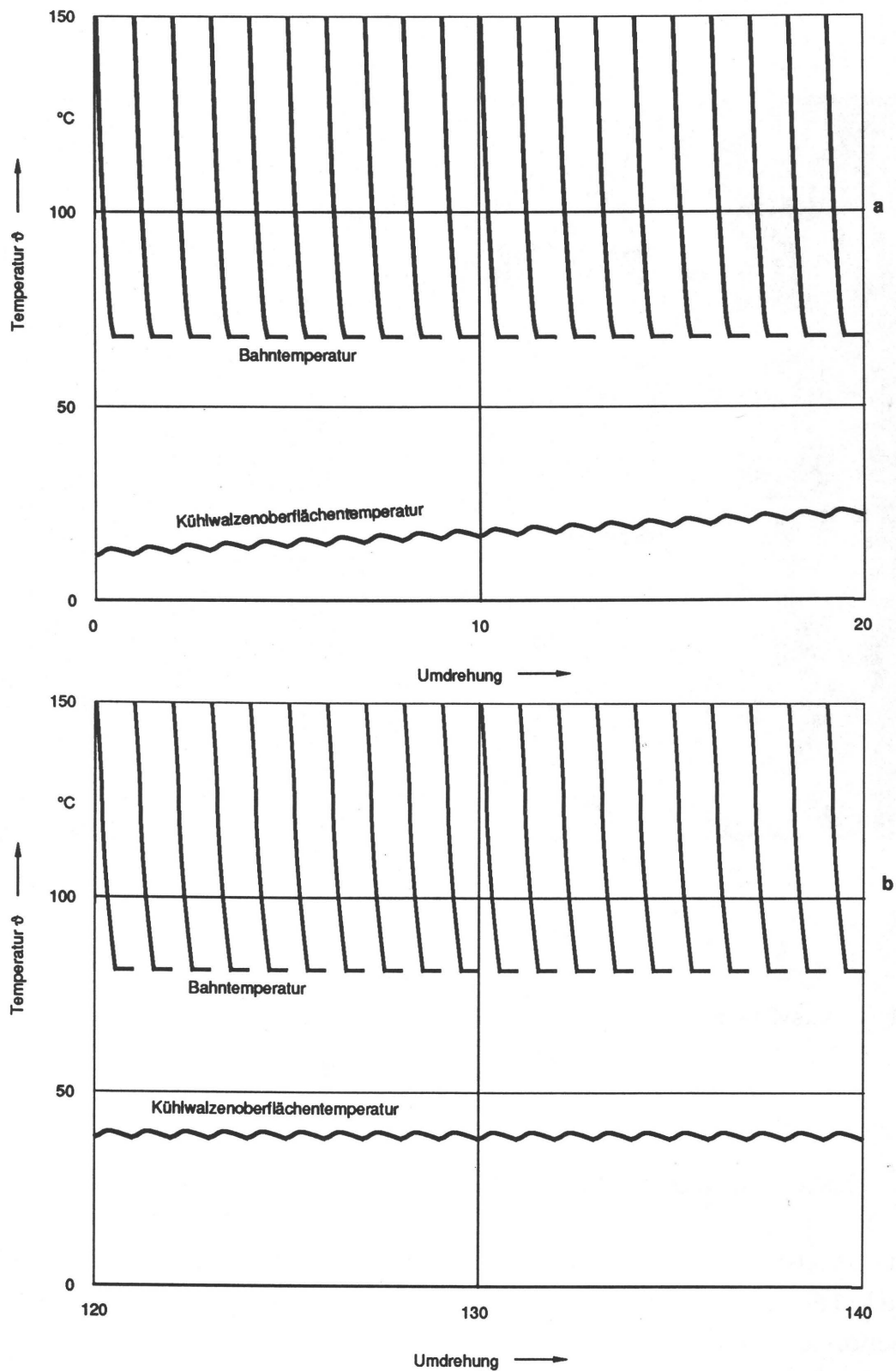


Bild 6: Computersimulation des Kühlvorganges von Papier beim Lauf über die Kühlwalze. Bild 6a zeigt den Anlaufvorgang, während bei Bild 6b stationäre Verhältnisse vorliegen.

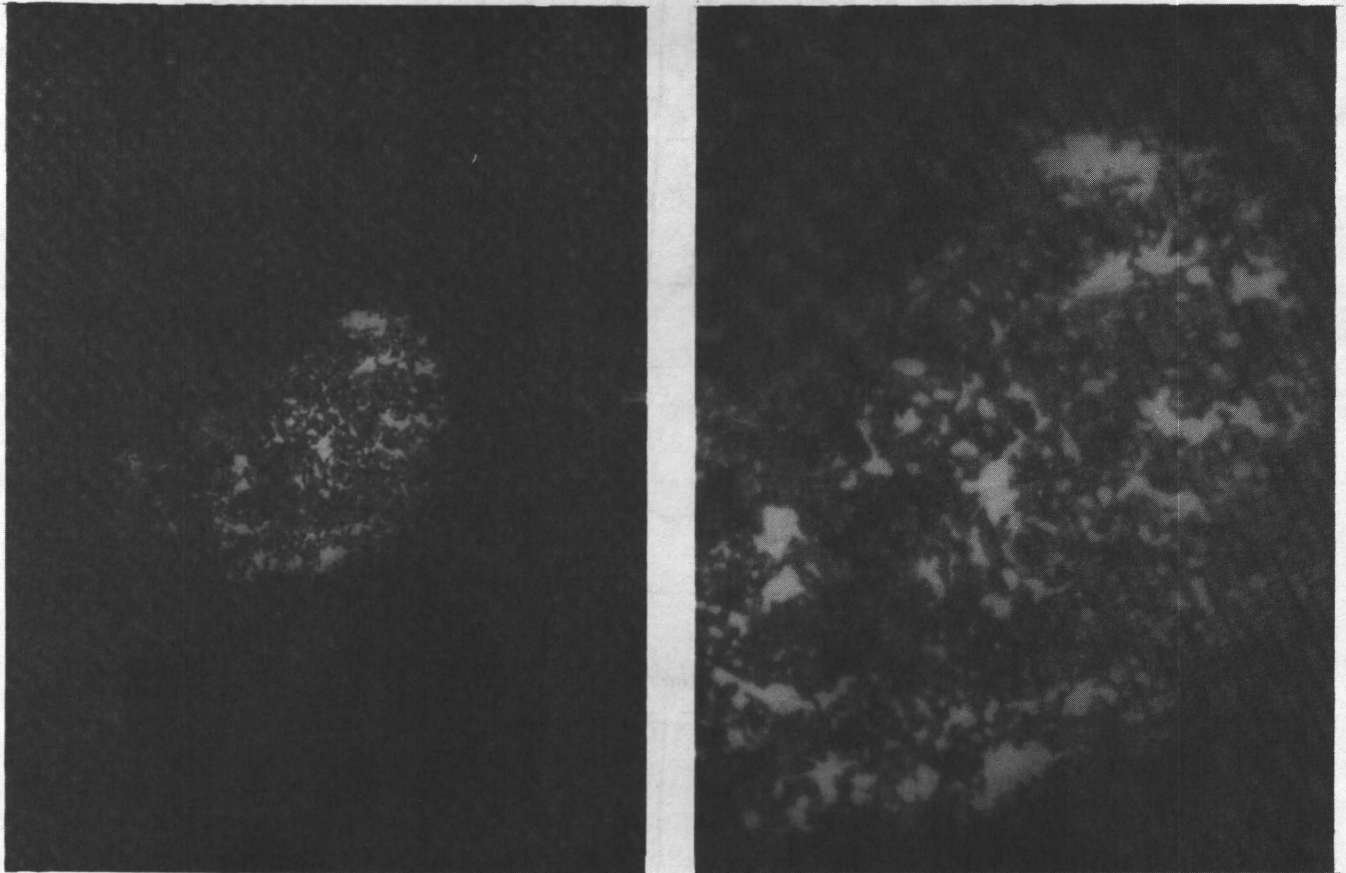


Bild 7: Auswirkungen des Kühlwalzenrupfens auf das Druckprodukt  
(Bild 7a 19-fach vergrößert, Bild 7b 45-fach vergrößert).

### 3.2.2. Wärmetransport durch die Kühlwalze

Trotz moderner Anlagen und einer guten Ausstattung traten in einer Druckerei erhebliche Schwierigkeiten an einer schnellaufenden Rollenoffsetmaschine auf.

Die Maschine mit einem Plattenzylinderumfang von mehr als 1 m war für 30000 Umdr/h ausgelegt, kam jedoch bei Verwendung von Papier mit einem Flächengewicht von  $65 \text{ g/m}^2$  über 18000 Umdr/h nicht hinaus. Anhand dieses Beispiels soll die Bedeutung einer optimalen Prozeßkontrolle und einer guten Kühlwalzenfunktion aufgezeigt werden.

Die erwähnten Schwierigkeiten wurden auf Mängel am Trockner zurückgeführt, die jedoch nicht entdeckt werden konnten. Bei der meßtechnischen Erfassung der Kühlwalzen wurden die in Bild 8 dargestellten Werte ermittelt:

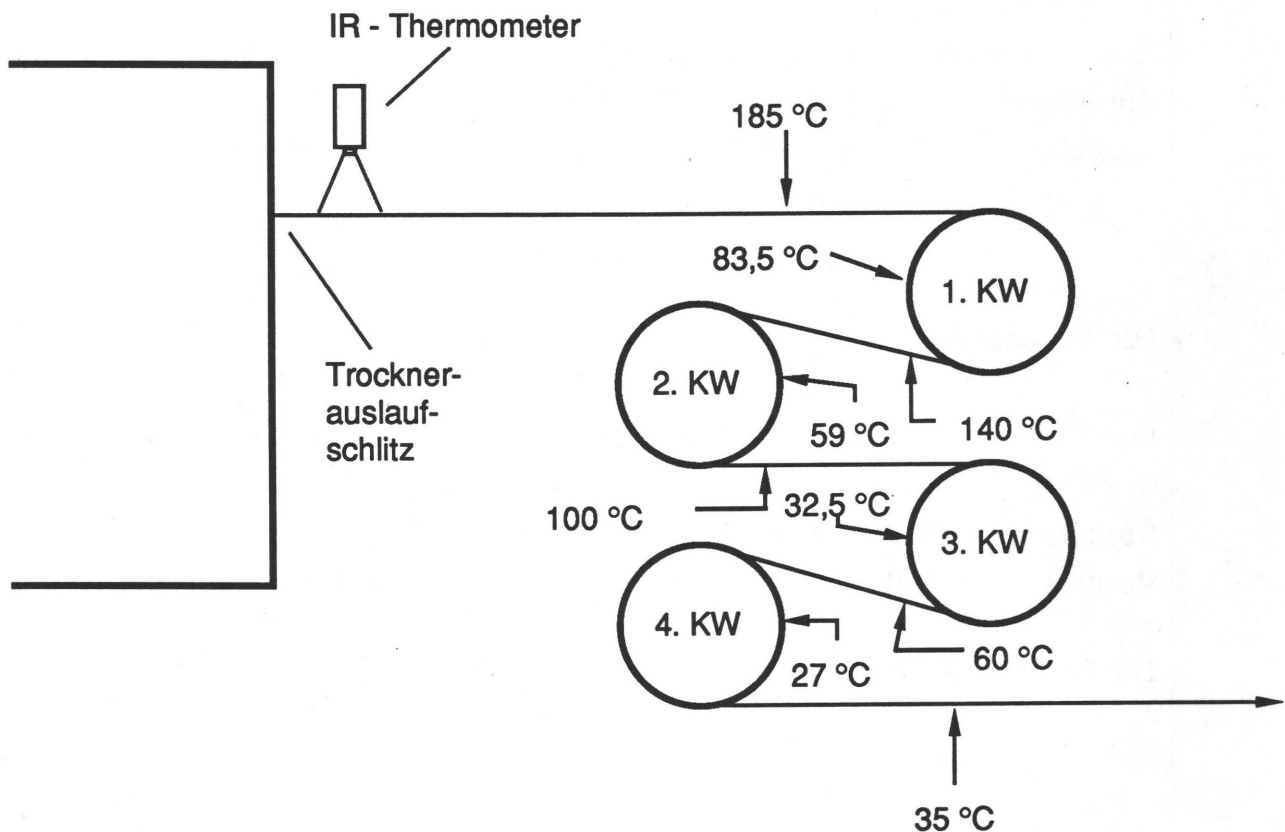


Bild 8: Temperaturen am Trockner und im Kühlwalzenständer.

Das Infrarotthermometer des Trockners zeigte eine Bahntemperatur von 120 °C an, während die Düsenlufttemperatur im Trockner 290 °C betrug. Bei derart hohen Trocknertemperaturen stellen sich normalerweise wesentlich höhere Bahntemperaturen ein. Der Fehler lag folglich offensichtlich beim Infrarotthermometer, dessen Optik verschmutzt war und einer Reinigung bedurfte. Bei der Abnahme der Trocknerstrecke hatte es sicherlich richtig angezeigt, aller Wahrscheinlichkeit nach verschmutzte es aber mit der Zeit. Aber dieses war nicht die alleinige Ursache der Probleme.



Durch die hohen Bahntemperaturen steigt die Wärmebelastung des Kühlwalzenständers, woraufhin sich besonders auf der ersten Kühlwalze eine unzulässig hohe Oberflächentemperatur einstellt. Ein Farbaufbau ist bei derart extrem hohen Kühlwalzenoberflächentemperaturen unvermeidlich. Die folgende Rechnung zeigt, welche hohe Wärmestromdichte sich mit den in Bild 8 genannten Temperaturen ergibt.

Zunächst wird die Gleichung für die Kühlleistung  $Q_K$  [W] benötigt, da die Wärmestromdichte  $q_K$  [W/m<sup>2</sup>] die flächenbezogene Kühlleistung darstellt.

$$Q_K = m_P \cdot c_P (\vartheta_{B1KW_e} - \vartheta_{B1KW_a}) \quad (1)$$

Hierbei bedeuten:

- $m_P$  - Papiermassenstrom [kg/s].
- $c_P$  - Spez. Wärmekapazität des Papiers [kJ/kg K].
- $\vartheta_{B1KW_e}$  - Bahntemperatur am Einlaufbereich der 1. Kühlwalze [°C].
- $\vartheta_{B1KW_a}$  - Bahntemperatur am Auslaufbereich der 1. Kühlwalze [°C].

Die Gleichung für die Wärmestromdichte  $q_K$  [W/m<sup>2</sup>] lautet:

$$q_K = Q_K / A_{1KW} \quad (2)$$

mit:

- $A_{1KW}$  - Umschlungene Fläche der ersten Kühlwalze [m<sup>2</sup>].

Einsetzen der Werte

$$m_P = 0,35 \text{ kg/s (entspricht einem Flächendurchsatz von 5,44 m}^2\text{/s)}$$

$$c_P = 1,332 \text{ kJ/kgK}$$

$$\vartheta_{B1KW_e} = 185 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{B1KW_a} = 140 \text{ °C}$$

$$A_{1KW} = 0,87 \text{ m}^2$$

ergibt:

$$Q_K = 0,35 \cdot 1,332 \cdot (185 - 140) \text{ kW} = \underline{\underline{21,2 \text{ kW}}}$$

und weiterhin:

$$q_K = 21,2 / 0,87 \text{ kW/m}^2 = \underline{25,6 \text{ kW/m}^2}$$

Die von der Papierbahn abgegebene Wärmemenge muß von der Kühlwalze aufgenommen und durch sie hindurch zum Kühlmittel transportiert werden. Im Kühlwalzenmantel entsteht ein Temperaturabfall  $\Delta\vartheta$ . Der formelmäßige Zusammenhang ist folgendermaßen gegeben:

$$q_K = \Delta\vartheta \lambda_{ST} / s \Rightarrow \Delta\vartheta = q_K s / \lambda_{ST} \quad (3)$$

mit:

$s$  - Wanddicke der Kühlwalze [m]

$\lambda_{ST}$  - Wärmeleitfähigkeit der Kühlwalzenwand (Stahl) [W/mK]

Im vorliegenden Fall wird mit folgenden Werten gerechnet:

$$s = 0,006 \text{ m} = 6 \text{ mm}$$

$$\lambda_{ST} = 45,5 \text{ W/mK}$$

Der Temperaturabfall in der Kühlwalzenwand ergibt sich damit zu:

$$\underline{\Delta\vartheta} = 25600 \cdot 0,006 / 45,5 \text{ K} = \underline{3,4 \text{ K}}$$

Daraus resultiert der Temperaturabfall von der Innenwand der Kühlwalze zum Strömungskern von  $\Delta\vartheta_W = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Wasser ist ein guter Isolator. Die Wärmeleitfähigkeit beträgt  $\lambda_W = 0,598 \text{ W/mK}$ . Die Grenzschichtdicke  $s_G$  für annähernd stehendes Wasser kann aus der Gleichung für die Wärmestromdichte berechnet werden:

Wärmestromdichte von Kühlwalzeninnenwand zum Strömungskern:

$$q_K = (1/w) \Delta\vartheta_W \quad (4)$$

Hierbei stellt  $w$  den spez. Wärmewiderstand [ $\text{m}^2 \text{K/W}$ ] zwischen Kühlwalzeninnenwand und Strömungskern dar. Der formelmäßige Zusammenhang ist folgendermaßen gegeben:

$$w \approx s_G / \lambda_W \quad (5)$$

Gl.(5) in Gl.(4) einsetzen und nach der Grenzschichtdicke  $s_G$  auflösen ergibt:

$$s_G = (\lambda_W / q_K) \Delta\vartheta_W \quad (6)$$

$$s_G = (0,598 / 25600) \cdot 64 \text{ m} = 0,001495 \text{ m} = \underline{1,495 \text{ mm}}$$

Aus diesem Wert wird deutlich, wie dünn diese als laminar angenommene Grenzschicht sein muß, damit die anfallende Wärme auch tatsächlich abtransportiert werden kann. Das vorliegende Beispiel veranschaulicht sehr deutlich die Bedeutung der Wärmetransportvorgänge in einer Kühlwalze. Besondere Beachtung gilt hier der großen Differenz zwischen Kühlmitteltemperatur und der Kühlwalzeninnenwand- bzw. der Kühlwalzenoberflächentemperatur.

Die verwendeten Gleichungen basieren auf Vereinfachungen der eindimensionalen, stationären Lösung der Fourierschen Wärmeleitungsdifferentialgleichung. Unter anderem wird davon ausgegangen, daß die Wärmeaustauschfläche auf der Oberfläche wie auf der Innenseite der Kühlwalze gleich groß ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Die Schwierigkeiten ergaben sich nicht nur durch den Trockner, sondern auch durch die Kühlwalzen, insbesondere durch die erste.
2. Obwohl sich an der Stirnseite der Kühlwalze Kondenswasser ansammelte, war die Berührungszone Kühlwalze-Papier sehr heiß.
3. Der Hauptwärmewiderstand liegt offensichtlich zwischen der Kühlwalzeninnenwand und dem Kühlmittel.

Der letztgenannte Punkt führt häufig zu Problemen. Die Ursachen können vielfältig sein. Das Walzeninnere kann durch Schmutz und Kalk belegt sein, wodurch ein zusätzlicher Wärmewiderstand auftritt. Ebenso ist es aber auch möglich, daß die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers zu klein ist,



um eine ausreichende Turbulenz\* zu erzeugen. Eine turbulente Strömung ist die Voraussetzung für eine dünne Grenzschicht und damit für einen guten Wärmeübergang und eine ausreichend niedrige Wandtemperatur. Zu diesem Zweck wird das Wasser durch dünne spiralförmige Kanäle geführt.

Maßnahmen am Kühlwalzenständer, insbesondere an der ersten Kühlwalze (die Kühlwalze mit der höchsten Wärmebelastung und Kühlleistung), schaffen hier Abhilfe. Im vorliegenden Beispiel konnte mit einem Finanzaufwand, der lediglich einen Bruchteil der Neuanschaffungskosten der Rollenoffsetlinie betrug, die Leistung der Maschine um 30 % gesteigert werden.

#### 4. Neue Entwicklungen

##### 4.1. Trockner

###### 4.1.1. Wärmeübertragung, Thermoschlitz, Konzentrationsregelung

Eine wichtige Kennzahl für einen Trockner ist die Wärmeübergangszahl. Sie ist ein Maß für die Eignung der Düsen, Wärme auf das Papier zu übertragen. Bei den heutigen Trocknern stellt man in der Regel für die Wärmeübergangszahl Werte von  $\alpha \approx 100$  bis  $180 \text{ W/m}^2\text{K}$  fest\*\*. Weiterhin liefert die Wärmeübergangszahl Hinweise auf die Dicke der Luftgrenzschicht, die von der Wärme überwunden werden muß. Gleichzeitig müssen die Lösemitteldämpfe durch die Grenzschicht hindurch diffundieren. Folglich besteht ein Zusammenhang zwischen Wärme- und Lösemitteltransport. Ein Trockner, der hohe Wärmeübergangszahlen erzeugt, bewirkt neben einer schnellen Bahnaufheizung auch ein besseres "Wegblasen" der Lösemittel.

Bedauerlicherweise können die hohen Wärmeübergangszahlen der Tiefdrucktrockner in typischen Trockenanlagen von Rollenoffsetmaschinen nicht erreicht werden, da die Düsenausführung

---

\* Eine Gas- oder Flüssigkeitsströmung kann *laminar* oder *turbulent* sein. Bei der laminaren Strömung fließen die Stoffteilchen geordnet nebeneinander, während bei der turbulenten auch Bewegungen quer zur Strömungsrichtung stattfinden. Bei der laminaren Strömung kann der Wärmetransport quer zur Strömungsrichtung nur durch Wärmeleitung erfolgen (wie in der ruhenden Flüssigkeit), während bei der turbulenten zusätzlich Wärme durch Querbewegung einzelner Teilchen transportiert wird, wodurch der Wärmetransport in diese Richtung erheblich vergrößert wird. Die Neigung zur Turbulenz steigt bei der Rohrströmung mit wachsender Geschwindigkeit und zunehmendem Durchmesser.

\*\* Die Trocknerhersteller geben oft höhere Werte an.

nicht allein auf einen guten Wärmeübergang optimiert ist, sondern auch Bahnführungsaufgaben zu übernehmen hat. Auf diesem Gebiet sind in Zukunft sicherlich noch Fortschritte zu erwarten.

Seit geraumer Zeit bieten verschiedene Hersteller Lösungen zur Vermeidung von Lösemittelnebelbildung im Einlauf- und Auslaufschlitz des Trockners an: An den Schlitzten wird vorgewärmte Luft in den Trockner hineingeblasen. Damit wird nicht der gesamte Frischluftbedarf des Trockners gedeckt; zusätzlich dringt noch etwas Kaltluft aus der Halle in den Trockner.

Die Temperatur dieses Frischluftgemisches beträgt ungefähr 100 °C. Beim Vermischen der wärmeren Frischluft mit der lösemitteldampfhaltigen Trocknerluft entsteht kein Lösemittelkondensat am Trocknerein- und -austritt.

Die Erhitzung der Luft kann in der Flamme des Trockners erfolgen. Ebenso kann aus Gründen der Energieeinsparung die Abwärme der thermischen Nachverbrennung zur Lufterwärmung genutzt werden. Letztgenannte Systeme werden ebenfalls am Markt angeboten.

Zur Einspeisung in die Ein- und Austrittsschlitze wird oftmals die Luft aus der Kühlwalzenabsaugung verwendet, wozu diese erhitzt wird. Die Lösemittelkonzentration im Trockner beträgt einige Gramm pro Kubikmeter, wohingegen die im Kühlwalzenständer bei 0,1 g/m<sup>3</sup> liegt. Diese Konzentration ist zwar für die Halle zu hoch, jedoch beim Einblasen in den Trockner unproblematisch.

Die Lösemittelkonzentration hängt vom Farbauftrag und von der Maschinengeschwindigkeit ab.

Bild 9 zeigt beispielhaft die Lösemittelkonzentrationen, die an einer Rollenoffsetmaschine über eine längere Betriebszeit ermittelt wurden. Die Lösemittelkonzentration sollte je nach Trockner bzw. Wärmeübergangszahl Grenzwerte nicht überschreiten, da ansonsten die Trocknung erschwert wird. Man wird bestrebt sein, das Abluftvolumen so gering wie möglich zu halten, d.h. es wird gerade soviel Luft erneuert, wie für das Einhalten der Grenzlösemittelkonzentration erforderlich ist. Die Herabsetzung des Abluftvolumens dient der Energieeinsparung, da ansonsten mehr Frischluft erwärmt werden müßte. Die Energieeinsparung darf allerdings nie auf Kosten der Maschinengeschwindigkeit gehen denn:

- Entscheidend ist nicht der absolute Energieverbrauch, sondern die Energie pro bedruckter Fläche.
- Die Energiekosten betragen nur einen Bruchteil der Betriebskosten bei Rollenoffsetmaschinen.

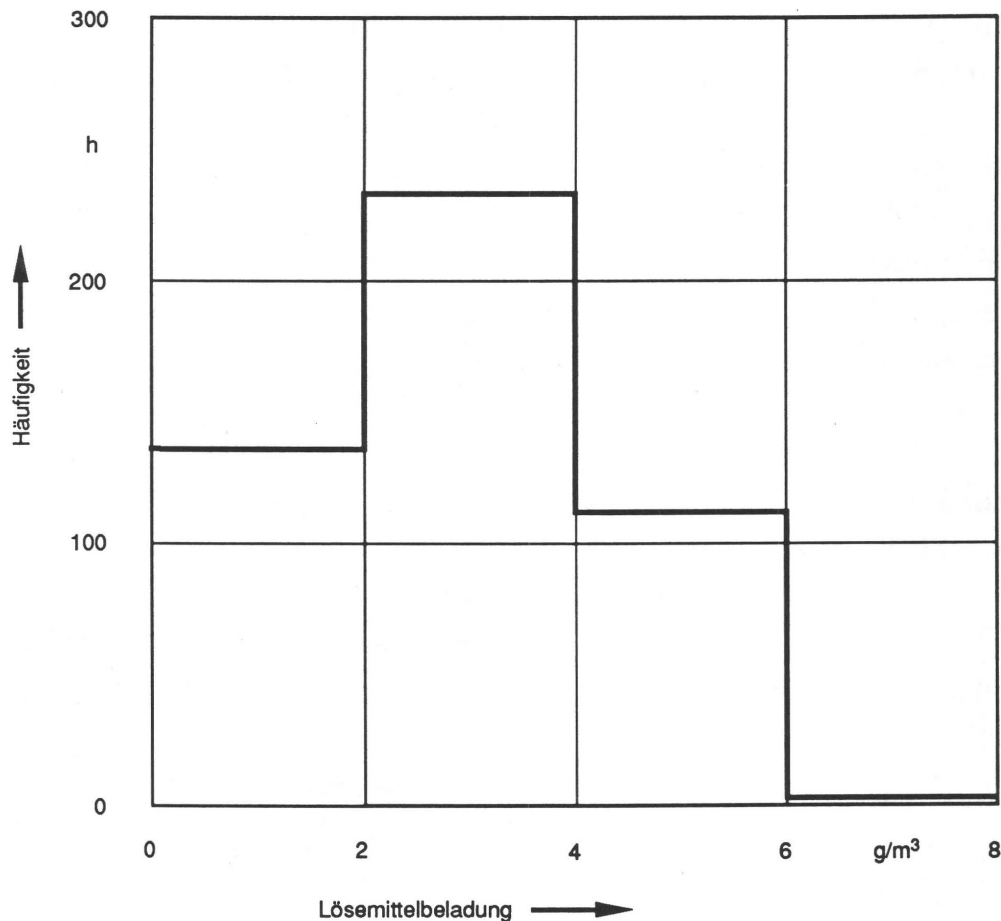


Bild 9: Lösemittelkonzentration.

Gleichzeitig darf aber auch ein unterer Schwellenwert des Frischluftzustromes nicht unterschritten werden, da sonst die notwendige Lufteinströmung in den Ein- und Auslaufschlitzen nicht mehr gewährleistet ist. Als Folge tritt lösemittelhaltige Luft aus, der Trockner "qualmt".

Auf dem Markt werden Abluftregelungssysteme angeboten. Die Regelung erfolgt über eine Lösemittelkonzentrationsmeßvorrichtung. Diese sind sowohl im Aufbau als auch im Betrieb relativ umständlich.

Eine zweite Möglichkeit besteht in der Regelung über die



Maschinengeschwindigkeit, wobei die Farbdeckung auf dem Bedruckstoff jedoch nicht berücksichtigt werden kann.

#### 4.1.2. Hochtemperaturstrecke am Trocknereingang

In der Computersimulation von Abschnitt 3.1., Bild 5 konnte festgestellt werden, daß die Aufheizung eines schweren Papiers mehr Zeit in Anspruch nimmt als die eines leichten. Damit die effektive Trockenstrecke - also die Strecke im Trockner, in der die Bahntemperatur über 90 °C liegt - bei beiden Papieren vergleichbar bleibt, ist bei schweren Papieren eine Erhöhung der Trockentemperatur erforderlich. Im Kapitel 2.1. wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Farbtrocknungsprozeß entgegen der Erwartung doch vom Papiergewicht beeinflusst wird.

Weiterhin kann eine gezielte stärkere Erwärmung der Bahn am Trocknereingang zur Verlängerung der effektiven Trockenstrecke beitragen. Eine Möglichkeit dieses unter kontrollierten Bedingungen\* durchzuführen, besteht im Einbau einer Hochtemperaturstrecke am Trocknereingang. Hier strömt wesentlich heißere Luft aus den Düsen als in den übrigen Trocknerabschnitten. Die Ergebnisse der Computersimulation zeigt Bild 10. Die Vorteile sind besonders bei schweren Papieren offensichtlich. Spätestens seit der Drupa 1986 werden solche Konzepte angeboten.

#### 4.2. Kühlwalzenständer

##### 4.2.1. Energieeinsparung durch Kühlturmwasser

Wie aus dem Beispiel aus Kap. 3.2.2. zu ersehen ist, ist die thermische Belastung der 1. Kühlwalze sehr hoch. Sowohl eine gleichmäßigere Auslastung der Kühlwalzen, als auch eine niedrigere Oberflächentemperatur der 1. Kühlwalze können erreicht werden, wenn der Umschlingungswinkel der 1. Kühlwalze (z.B. auf 135°) und somit auch die Wärmeübertragungsfläche verkleinert wird. Auf diese Weise

---

\* In den alten Gasflammentrocknern ist man von einem ähnlichen Prinzip ausgegangen, jedoch ergibt sich durch die offene Flamme eine unkontrollierte Erwärmung.

reduzieren sich die Papierabkühlung, der Wärmefluß durch die Walze und die Oberflächentemperatur auf der 1. Kühlwalze.

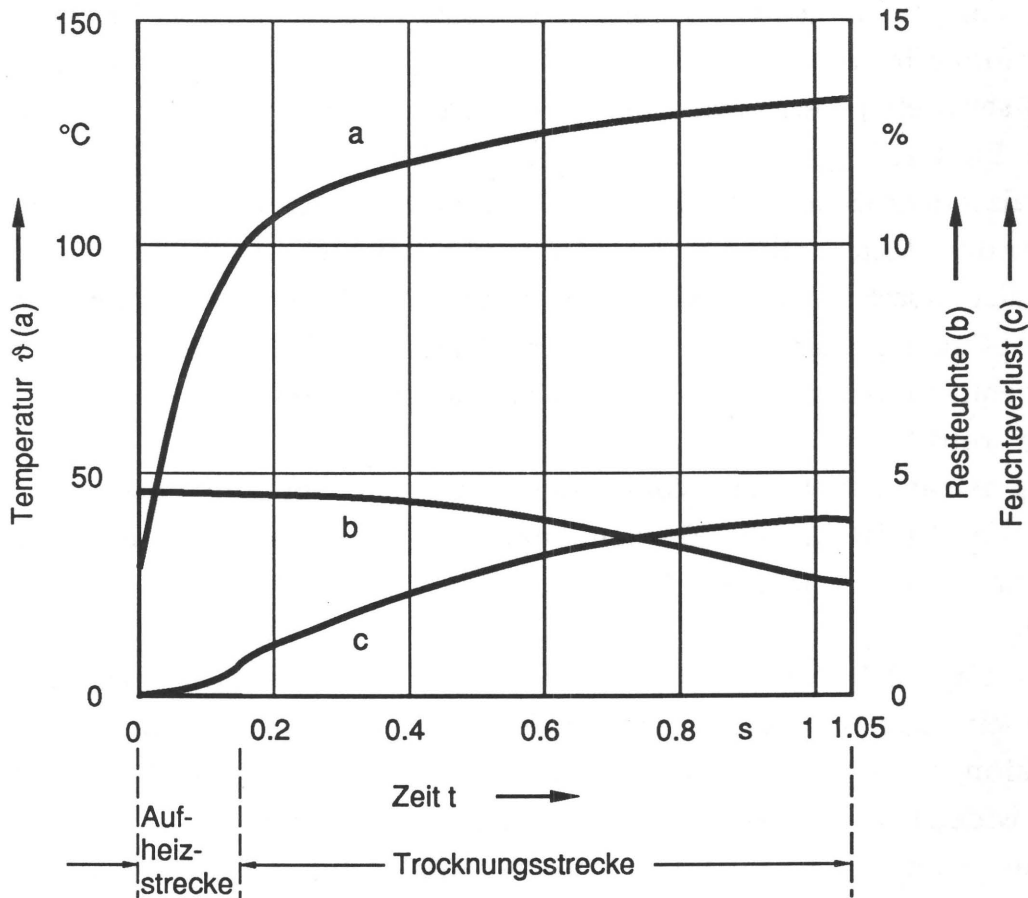


Bild 10: Computersimulation für Trockner mit Hochtemperaturstrecke.

Auch dieses Konzept ist bereits realisiert und trägt dazu bei, eine Energiesparmaßnahme zu verwirklichen, nämlich die Versorgung der ersten Kühlwalzen mit Wasser aus dem Kühlturm. Die Temperatur des so gekühlten Wassers liegt bei etwa 28 °C.

Wie schon erwähnt, arbeiten viele Kühlwalzen mit Oberflächentemperaturen um 50 °C. Wird der Umschlingungswinkel der 1. Kühlwalze auf 135° herabgesetzt, bleibt die Kühlwalzenoberflächentemperatur bei 50 °C, auch wenn die Walze mit Kühlturmwasser anstelle von Wasser aus der Kältemaschine betrieben wird.

Vielfach hört man, daß zur Farbverfestigung auf den Kühlwalzen ein "Kälteschock" mit Kühlwassertemperaturen von 8 bis 12 °C erforderlich sei.

Theoretische Betrachtungen wie auch meßtechnische Untersuchungen zeigen, daß ein derartiger "Kälteschock" nicht auftritt und folglich auch nicht erforderlich ist.

Hierzu seien einige ergänzende Erläuterungen gegeben: Zur Vermeidung des Farbablegens auf der Kühlwalze darf die Kühlwalzenoberflächentemperatur nicht zu hoch werden und es muß eine bestimmte Mindesttemperaturdifferenz zwischen Bahn- und Kühlwalzenoberflächentemperatur eingehalten werden. Sorgt man für einen optimalen Abtransport der Wärme über die Kühlwalze, so kann diese Temperaturdifferenz auch mit Kühlwassertemperaturen von 25 °C erreicht werden.

Wichtig ist also nicht die Kühlwassertemperatur, sondern einzig und allein die Kühlwalzenoberflächentemperatur in Verbindung mit der Differenz zur Bahntemperatur\*.

Wie in Kap. 3.2.2. kurz angesprochen wurde, können sich auf der Wasserseite der Kühlwalzen im Laufe der Zeit Schmutz-, Kalk- und Korrosionsschichten bilden, wodurch weitere unerwünschte Wärmewiderstände in der Kühlwalze hinzukommen. Das Anwachsen der Schichten wird durch den Einsatz offener Kühlmittelsysteme, d.h. durch Zufuhr von Frischwasser, begünstigt, da in diesem Fall die für die Ablagerungen und Korrosionsbildung (Sauerstoff) verantwortlichen Stoffe ständig nachgefördert werden und so eine fortwährende Schichtzunahme verursachen. Es sollten also ausschließlich geschlossene Kreisläufe, die immer mit demselben Kühlmittel arbeiten, zur Anwendung kommen.

Beispielsweise können diese Probleme auch beim Einsatz von Kühlturmwater auftreten, wenn dieses direkt zur Kühlwalzenkühlung benutzt wird, da dann ein offenes System vorliegt. Der Einsatz eines Kühlturmes ist also nur dann sinnvoll, wenn das Kühlmittel nicht fortwährend mit der Umgebungsluft in Berührung kommt und dadurch die Zufuhr von Staub und Sauerstoff unterbunden wird. Dieses kann mit

---

\*Auch bei umgekehrten Verhältnissen - kaltes Papier und heiße Walzenoberfläche - tritt kein Farbablegen auf, wenn eine ausreichende Temperaturdifferenz besteht (Patentschrift DE 2947785).



zwei getrennten Wasserkreisläufen, die über einen Wärmetauscher in Verbindung stehen, realisiert werden.

1. Ein geschlossener Kreislauf, in dem die Wärme von der Kühlwalze zum Wärmetauscher transportiert wird.
2. Ein Kreislauf, der die Wärme über den Wärmetauscher vom ersten Kreislauf aufnimmt und diese über den Kühlturm an die Umgebung abgibt.

Da die ersten beiden Kühlwalzen etwa 65 % der Kühlarbeit verrichten, lassen sich auf diese Weise die Energiekosten erheblich senken. Auch dieses Konzept ist bereits am Markt erhältlich.

### 5. Zusammenfassung

Beim Rollenoffsetdruck treten im Rahmen des Farbverfestigungsprozesses eine Reihe von prozeßbedingten Problemen auf, für deren Lösung oft Kompromisse eingegangen werden müssen.

Diese Kompromißlösungen führen zu akzeptablen Ergebnissen, vorausgesetzt die Trockner und die Kühlwalzen entsprechen dem Stand der Technik und besitzen funktionstüchtige Kontroll- und Regelinstrumente.

Mit zunehmender Bahngeschwindigkeit steigen die Anforderungen an den Trockner. Da eine Verweilzeit des Bedruckstoffes im Trockner von 0,8 bis 1 Sekunde eingehalten werden sollte, verlängert sich die Trocknerstrecke. So ergeben sich Bahnführungsprobleme im Trockner. Mit steigender Druckgeschwindigkeit steigt auch die flächenbezogene Kühlleistung, wodurch Probleme im Bereich der Kühlwalzen hervorgerufen werden. In der letzten Zeit gehen Druckmaschinenhersteller vermehrt dazu über, eine bestimmte Produktionsleistung (= bedruckte Fläche/Zeiteinheit) mit Hilfe einer vergrößerten Bahnbreite und reduzierten Bahngeschwindigkeiten zu erreichen, und zwar durch Falzschemata mit "liegenden Seiten". So steigt die Produktionssicherheit bei gleichzeitig leicht zurückgehendem Energieverbrauch, da die Trocknerverluste herabgesetzt werden.

Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich, wenn auf diese Weise die Bahngeschwindigkeit unterhalb der kritischen Geschwindigkeit, bei der das Abheben der Bahn von den Kühlwalzen beginnt, gehalten werden kann. Dieses Abheben der Papierbahn stellt ein großes Hindernis auf dem Weg zu



höheren Bahngeschwindigkeiten im Vierfarbenrollenoffsetverfahren dar.

Die verfahrensbedingte Austrocknung des Papiers wird auch in Zukunft nicht vollständig zu beseitigen sein. Durch die Feuchtigkeitsaufnahme aus der Umgebungsluft geht diese Erscheinung mit der Zeit zurück (z.B. im Bücherregal des Käufers eines Rollenoffsetproduktes). Durch diese Rückbildung steigt die Qualität eines Rollenoffsetproduktes mit zunehmender Lagerzeit, so daß trotz anfänglich auftretender Wellung hochwertige Drucke entstehen.

Eine naheliegende Lösung für das Problem des Austrocknens wäre das Wiederbefeuchten des Papiers. Bedauerlicherweise steht dem die Feuchtigkeitssperrwirkung der Farbe im Wege. Jedoch könnte zumindest der durch den Trocknungsprozeß hervorgerufene Feuchteunterschied zwischen bedruckten und unbedruckten Flächen ausgeglichen werden.

Generell muß festgestellt werden, daß Maßnahmen am Trockner und an den Kühlwalzen in erster Linie auf Qualitätssicherung auszurichten sind. Eine energetisch optimale Prozeßführung hat sich dieser Prämisse unterzuordnen. Vielfach trägt eine Verbesserung der thermischen Eigenschaften auch zu einer Qualitätssteigerung bei.

6. Formelzeichen

$A_{1KW}$	- vom Bedruckstoff umschlungene Fläche der ersten Kühlwalze [m <sup>2</sup> ]
$Q_K$	- Kühlleistung [W]
$c_p$	- spez. Wärmekapazität des Papiers [kJ/kg K]
$m_p$	- Papiermassenstrom [kg/s]
$q_K$	- Wärmestromdichte (= flächenbezogene Kühlleistung) [W/m <sup>2</sup> ]
$s$	- Wanddicke der Kühlwalze [m]
$s_G$	- Grenzschichtdicke der Kühlwasserströmung in der Kühlwalze [m]
$w$	- spez. Wärmewiderstand zwischen Kühlwalzeninnenwand und Strömungskern [m <sup>2</sup> K/W]
$\alpha$	- Wärmeübergangszahl [W/m <sup>2</sup> K]
$\Delta\vartheta$	- Temperaturabfall in der Kühlwalzenwand [°C]
$\Delta\vartheta_W$	- Temperaturabfall zwischen Kühlwalzeninnenwand und Strömungskern [°C]
$\varepsilon$	- Strahlungsemissionsfaktor von Papier
$\lambda_{ST}$	- Wärmeleitfähigkeit der Kühlwalzenwand (Stahl) [W/mK]
$\lambda_W$	- Wärmeleitfähigkeit des Kühlwassers [W/mK]
$\vartheta$	- Temperatur [°C]
$\vartheta_{B1KWa}$	- Bahntemperatur am Auslaufbereich der 1. Kühlwalze [°C].
$\vartheta_{B1KWe}$	- Bahntemperatur am Einlaufbereich der 1. Kühlwalze [°C].

---