

## Passerhaltigkeit von Rollenrotationsmaschinen

Scheuter, Karl R.

(1984)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.12921/tuprints-00017401>

License:



CC-BY 4.0 International - Creative Commons, Attribution

Publication type: Article

Division: 16 Department of Mechanical Engineering

Original source: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/17401>

---

## Die Passerhaltigkeit von Rollenrotationsmaschinen und das Kraft-Dehnverhalten von Papier

---

Karl R. Scheuter

Für den Druckmaschineningenieur ist Papier in erster Linie nichts anderes als ein Werkstoff, der in der Druckmaschine verarbeitet wird und während der Verarbeitungszeit Teil des arbeitsfähigen Systemes "Druckmaschine mit Papier" ist. Da das Teilsystem "Druckmaschine ohne Papier" und das Teilsystem "Papier" sich gegenseitig beeinflussen, muß er die maßgeblichen Eigenschaften beider Systemteile ausreichend genau kennen, damit er das von ihm zu verantwortende Systemteil "Druckmaschine ohne Papier" sachgerecht konstruiert. Ob ihm die sachgerechte Konstruktion gelungen ist, wird vorrangig daran gemessen, ob die gewünschte Druckqualität erreicht wird.

Unter den qualitätsbestimmenden Eigenschaften weist die Passerhaltigkeit einen besonders hohen Stellenwert auf. Passerabweichungen werden vom Betrachter des Bildes als überaus störend empfunden, weil sie zu Farbabweichungen und Farbsäumen an Stellen hohen Farbkontrastes führen. Glücklicherweise hat der Sehsinn auch für derartige Störungen nur ein begrenztes Auflösungsvermögen. Passerabweichungen unter 50 µm gelten als tolerabel.

Die nachfolgenden Überlegungen gelten grundsätzlich unabhängig vom Druckverfahren für alle Rollenrotationsmaschinen. Besonders genau treffen sie jedoch für den Tiefdruck zu, von dem im allgemeinen auch höchste Druckqualität gefordert wird.

Die ideale Passerhaltigkeit ist dann gegeben, wenn innerhalb einer Auflage die gedruckten Teilbilder eines Mehrfarbendruckes mit  $n$  Teilfarben sich genau überdecken. Dies heißt insbesondere, daß die Längen  $L_{0i}$  der Teilbilder im spannungsfreien Zustand unter sich gleich sein müssen. Es muß also für jedes einzelne Exemplar

$$L_{01} = \dots L_{0i} = \dots L_{0n} = L_0 \quad (1)$$

gelten.

Bei der Farbübertragung in den hintereinander geschalteten Druckwerken einer Rollenrotationsmaschine (Abb. 1) steht die Papierbahn unter Spannung und ist damit in einem gedehnten Zustand. Für die den einzelnen Drucklinien zugeordneten effektiven Längen  $L_i$  gilt dann mit den Dehnungen  $\varepsilon_i' = \Delta L_i / L_{0i}$  innerhalb der Drucklinien

$$L_i = (1 + \varepsilon_i') L_{0i} \quad (2)$$

Wählt man als Länge den Abstand der Passermarken sich folgender Bogen, dann gilt mit guter Näherung, daß mit den Zylinderradien  $R_i$

$$L_i = 2\pi \cdot R_i$$

ist. Somit läßt sich als Forderung für die ideale Passerhaltigkeit aus den Gleichungen (1) und (2) die Gleichung

$$L_0 \cdot \frac{1}{2\pi} = (1 + \varepsilon_1') R_1 = \dots (1 + \varepsilon_i') R_i = \dots (1 + \varepsilon_n') R_n \quad (3)$$

als Grundbedingung für die Passerhaltigkeit ableiten.

Die Dehnungen  $\varepsilon_1'$ , ...  $\varepsilon_i'$ , ...  $\varepsilon_n'$  in den sich folgenden Drucklinien werden beeinflußt durch die fortschreitend von den Papierleitelementen und Klemmstellen neu eingebrachten Reibkräften und durch die auftretenden bleibenden Dimensionsänderungen. Sie sind daher durch die Maschinengeometrie einerseits und die Betriebsbedingungen andererseits vorgegeben. Aufgrund der Gl. (3) läßt sich also die Konsequenz ableiten, daß der Drucker die Zylinderradien und ihre Toleranz nicht frei wählen darf. Dies ist bekannt und es verwundert deshalb auch nicht, daß die modernen Zylinderbearbeitungsmaschinen zu den präzisesten Werkzeugmaschinen gehören.

Für das weitere sei nun vorausgesetzt, daß der Drucker - er ist nun offensichtlich neben dem Maschinenhersteller und dem Papiermacher als Dritter für die Passerhaltigkeit mitverantwortlich - Zylinder mit richtigen Radien zur Verfügung gestellt habe.

Es läßt sich unter dieser notwendigen Voraussetzung auf Grund der Kontinuitätsgleichung ferner nachweisen, daß die Dehnungen  $\varepsilon_i'$  in den einzelnen Drucklinien eindeutig mit der Dehnung  $\varepsilon_1$  der freien Bahn zwischen Rollenabwicklung und erstem Druckwerk als weiterem Parameter verknüpft sind. Es gehört deshalb zu jeder Werte-

gruppe  $\varepsilon_1', \dots, \varepsilon_j', \dots, \varepsilon_n'$  der Dehnungen in den sich folgenden Drucklinien nur je ein Wert der Dehnung  $\varepsilon_1$  in der freien Bahn vor dem ersten Druckwerk. Nun gibt es jedoch entsprechend Gl. (3) für jeden gegebenen Zylindersatz nur eine richtige Wertegruppe der Dehnungen  $\varepsilon_j'$  in den Drucklinien und deshalb gibt es - als Grundvoraussetzung der Passerhaltigkeit - nur eine richtige Dehnung  $\varepsilon_1$  in der freien Bahn vor dem ersten Druckwerk. Ändert sich diese Dehnung  $\varepsilon_1$ , dann ändern sich sukzessive die Bildlängen der Teilfarben. Dadurch entsteht ein sich fort-pflanzender Passerfehler, welcher von der Passerregelung ausgeglichen wird. Nach Erreichen eines neuen Niveaus der Dehnung  $\varepsilon_1$  ergibt sich jedoch nun eine neue Wertegruppe für die Dehnung  $\varepsilon_j'$  in den Drucklinien, die nicht mehr zur vorliegenden Wertegruppe der Zylinderradien passt. Infolgedessen wird der Bahnlauf instationär, was zu Ausgleichsvorgängen mit anhaltenden sprunghaften Passerschwankungen in beiden Richtungen führt. Diese qualitäts-schädigenden Schwankungen treten stochastisch auf und können deshalb von der Passerregelung nicht korrigiert werden. Daher ist die Schlußfolgerung zwingend: Voraussetzung für die Passerhaltigkeit ist die Konstanz der richtig gewählten Dehnung  $\varepsilon_1$  zwischen Rollenabwicklung und erstem Druckwerk einer Rollenrotationsmaschine.

Die Dehnung läßt sich nicht unmittelbar, sondern nur mittels einer Kraft- bzw. Spannungseinleitung erzeugen. Um die richtige Spannung und damit die richtigen Maßnahmen zum Konstanthalten von  $\varepsilon_1$  zu finden, muß das Kraft-Dehnverhalten des Papieres ausreichend genau bekannt sein.

Das Kraft-Dehnverhalten des Werkstoffes Papier ist entsprechend seiner Struktur äußerst komplex, denn Papier ist kein rein elastischer Werkstoff. Er ist im Gegensatz dazu ein viskoe-lastischer Werkstoff und zudem ein plastischer Werkstoff. Wählt man - um der Denkweise des Maschineningenieurs näher zu kommen - zu dessen Beschreibung den Begriff des Elastizitätsmodules, dann muß man klar sehen, daß einem alten Begriff ein neuer erweiterter Inhalt gegeben wird. Aus dem Hooke'schen Elastizitätsmodul  $E = E(\sigma, \varepsilon)$  wird mit der zeitabhängigen Spannung  $\sigma(t)$ , der zeitabhängigen Dehnung  $\varepsilon(t)$ , der zeitlichen Dehnungsänderung  $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$  und der Be-

lastungszeit  $t$  ein komplexer Modul der Form

$$E^*(\text{Papier}) = E \left[ \sigma(t), \varepsilon(t), \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, t \right] \quad (4)$$

Diese allgemeine Aussage ist jedoch nur für eine gegebene Probe richtig. Schneidet man nämlich aus einer Bahn fortlaufend Proben z.B. im Abstand  $x$  heraus, dann stellt man fest, daß das Kraft-Dehnverhalten nicht unbedingt gleich ist. Es können z.B. die flächenbezogene Masse, der Feuchtigkeitsgehalt und die Rohstoffeigenschaften variieren. Das Kraft-Dehnverhalten ist also auch vom Ort  $x$  längs der Bahn bzw. von der Bogennummer  $x$  eines Stapels abhängig. Für den komplexen Elastizitätsmodul gilt damit in Erweiterung der Gl. (4)

$$E^*(\text{Papier}) = E \left[ \sigma(t), \varepsilon(t), \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, t, x \right] \quad (5)$$

Der Zusammenhang zwischen der Spannung  $\sigma_1$  und der alle übrigen Dehnungen bestimmenden Dehnung  $\varepsilon_1$  lautet dann

$$\sigma_1 = \sigma_1 [t, x] = \varepsilon_1 \cdot E^*(\text{Papier}) = \varepsilon_1 E \left[ \sigma(t), \varepsilon(t), \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, t, x \right] \quad (6)$$

Es zeigt sich nun, daß die von der Rollenabwickelereinheit zu erzeugende Spannung  $\sigma_1 = \sigma_1(t, x)$  vor dem ersten Druckwerk dem komplexen Elastizitätsmodul  $E^*(\text{Papier})$  nachgeführt werden muß, wenn die Grundbedingung für die Passerhaltigkeit, nämlich  $\varepsilon_1 = \text{konst.}$ , erfüllt werden soll. Diese Erkenntnis ist, wie auch neuere Veröffentlichungen zeigen, noch nicht Allgemeingut und sie widerspricht der traditionellen Auffassung, daß die Passerhaltigkeit von der Konstanz der Spannung  $\sigma_1$  vor dem ersten Druckwerk abhängt.

Soll nun, wie es als richtig erkannt wurde, die Spannung  $\sigma_1$  dem komplexen Elastizitätsmodul  $E^*(\text{Papier})$  nachgeführt werden, dann muß dieser bekannt sein. Der Papierhersteller kann diesen Wert grundsätzlich nicht liefern, da er nicht nur von der Fertigung und ihren Bedingungen, sondern auch von Lagerungseinflüssen (Wickelart, Lagerzeit etc.) abhängt. Der Elastizitätsmodul muß deshalb unmittelbar vor dem Druckvorgang gemessen werden. Da die

Dehnung  $\varepsilon_1$  konstant gehalten werden muß, ist der Ort der Messung festgelegt, d.h. es muß unmittelbar vor dem ersten Druckwerk gemessen werden.

Es muß ferner die Probenlänge festgelegt werden. Sie wird durch den Abstand der beiden, wie Klemmstellen wirkenden Bahnführungselemente bestimmt, zwischen welchen gemessen wird. Da alle Erfahrungen dafür sprechen, daß die innerhalb einer Bildlänge auftretenden Variationen des Elastizitätsmodul nicht passerschädlich sind, muß die Probenlänge sicher nicht kürzer als eine Bildlänge sein. Die maximale Probenlänge hängt einerseits vom Gradienten der Änderung des auf eine Bildlänge bezogenen Elastizitätsmodul in der x-Richtung ab, andererseits jedoch auch von der Totzeit des Reglers, der die Spannung  $\sigma_1$  dem Elastizitätsmodul nachführen soll. Für eine endgültige Aussage fehlen z. Zt. noch die dazu notwendigen Kenntnisse.

Schließlich muß noch die Kernfrage beantwortet werden, wie denn eigentlich der Elastizitätsmodul als Quotient von Spannung und Dehnung gemessen werden soll. Hat man eine aus einer Bahn herausgeschnittene Probe, dann ergibt sich kein Problem, weil die zu jeder Spannung gehörige absolute Längenänderung  $\Delta L$  direkt meßbar ist. Muß jedoch, wie hier notwendig, in der laufenden Bahn gemessen werden, dann kommt man ohne einen Kunstgriff nicht aus, weil die absolute Längenänderung  $\Delta L$  sich der Messung in der laufenden Bahn entzieht. Der Kunstgriff besteht nun darin, daß innerhalb der Probenlänge mittels einer Klemmstelle, z.B. einem angetriebenen Walzenpaar, ein Spannungssprung von einer Spannung  $\sigma_0$  auf die Spannung  $\sigma_1$  eingeführt wird (Abb. 2). Damit springt die Dehnung  $\varepsilon_0$  vor der Klemmstelle auf die Dehnung  $\varepsilon_1$  nach der Klemmstelle.

Beide Dehnungen entziehen sich auch hier der direkten Messung, aber es lassen sich ersatzweise die Bahngeschwindigkeiten  $v_0$  und  $v_1$  vor und nach dem Spannungssprung messen, welche über die Kontinuitätsgleichung nach der Gleichung

$$\frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_0} = \frac{v_1}{v_0} \quad (7)$$

mit den Dehnungen verknüpft sind.

Unter der Voraussetzung, daß die Meßstellen für  $\sigma_0$  und  $v_0$ , bzw.  $\sigma_1$  und  $v_1$  nahe an der dazwischenliegenden Klemmstelle angeordnet werden, gilt auch

$$\varepsilon_0 = \sigma_0 / E^*(\text{Papier}) \quad (8.1)$$

und 
$$\varepsilon_1 = \sigma_1 / E^*(\text{Papier}) \quad (8.2)$$

Eingesetzt in Gl. (7) und nach dem Elastizitätsmodul aufgelöst erhält man für den Elastizitätsmodul des gerade durchlaufenden Bahnabschnittes

$$E^*(\text{Papier}) = \frac{\sigma_1 - \sigma_0 \frac{v_1}{v_0}}{\frac{v_1 - v_0}{v_0}} \quad (9)$$

Da die Messung der Spannungen und Geschwindigkeiten sowie die Berechnung des Elastizitätsmodules praktisch in Echtzeit durchgeführt werden kann, steht die notwendige Größe  $E^*(\text{Papier})$  für die gewünschte und notwendige Nachführung der Spannung  $\sigma_1$  zur Verfügung.

Praktisch jedoch ist mit Schwierigkeiten zu rechnen. Betrachtet man nämlich die Gl. (9), dann stellt man fest, daß die Genauigkeit des Wertes für den Elastizitätsmodul von der Genauigkeit der Geschwindigkeitsdifferenz  $\Delta v = v_1 - v_0$  empfindlich abhängt. Zur Abschätzung der notwendigen Genauigkeit wird Gl. (7) herangezogen und unter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung umgeformt. Daraus ergibt sich

$$\Delta v = v_1 - v_0 \approx (\varepsilon_1 - \varepsilon_0) \cdot v_0$$

Die Differenz der Dehnungen kann nicht sehr groß gewählt werden, allenfalls kann  $\varepsilon_1 - \varepsilon_0 \approx 0,0005$  erreichen. Damit würde die Geschwindigkeitsdifferenz nur ein Zweitausendstel der Bahngeschwindigkeit vor der Klemmstelle der Meßeinrichtung betragen! Nachdem es jedoch dem Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren aufgrund einer ganz anderen Aufgabenstellung gelungen ist, Drehwinkeldifferenzen zweier rotierender Körper mit einer Genauig-

keit von besser als einem Hunderttausendstel aufzulösen, hat sich auch die Möglichkeit eröffnet, über die Drehwinkeldifferenz zweier von der Bahn umschlungener Walzen die Differenzgeschwindigkeit mit ausreichender Genauigkeit zu messen. Die Forschungsgesellschaft Druckmaschinen e.V. und die A.I.F. haben daraufhin den Mut gefaßt, die Entwicklung des Meßverfahrens zur Elastizitätsmodulmessung und die Entwicklung des Regelkreises zur Nachführung der Spannung vor dem ersten Druckwerk zu fördern. Es ist das übergeordnete Ziel, damit einen Beitrag zur Verbesserung der Passerhaltigkeit und damit der Druckqualität zu leisten.

Die Bedeutung des Vorhabens für die Papierindustrie ist jedoch auch einsichtig, weil es erstmalig die Möglichkeit eröffnet, das für die Anwendung in Rollenrotationsmaschinen maßgebliche Kraft-Dehnverhalten des Papiers in situ zu untersuchen.



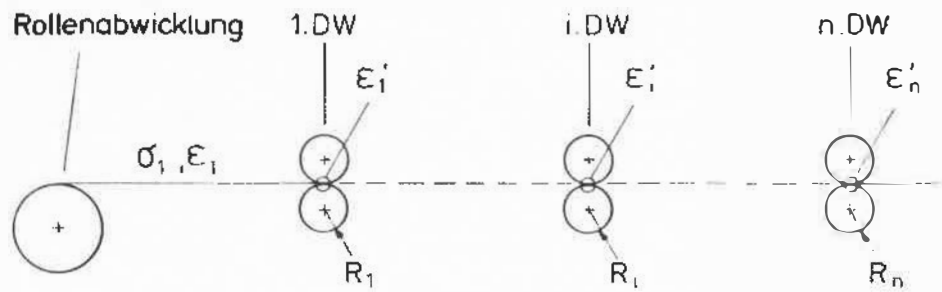


Abb. 1: Schema einer Rollenrotationsmaschine mit der Ortszugehörigkeit der Bahnzustände

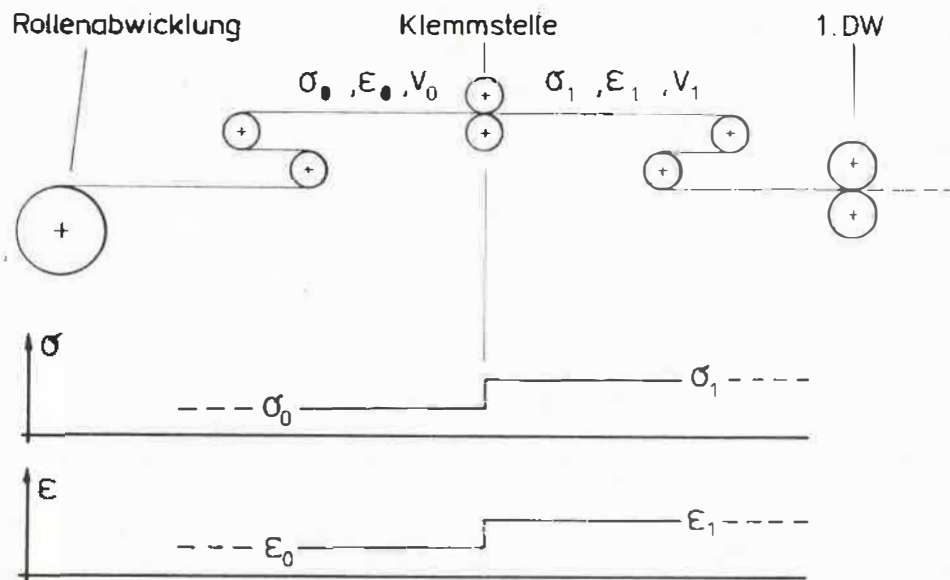


Abb. 2: Schema der Meßanordnung mit der Ortszugehörigkeit der Bahnzustände