

# Informationen

*Dr.-Ing. Manfred König, Dipl.-Ing. Dirk Müller*

## Hartpapierhülsen in Papierrollen im Tiefdruck

**Grenzen der Verwendbarkeit der Hülse mit  
76 mm Innendurchmesser**

### 1 Einleitung

Das Bestreben, Zeitschriften und Akzidenzen in hohen Auflagen mit hohem Qualitätsstandard zu produzieren, hat in den Tiefdruckereien dazu geführt, von den Herstellern der Tiefdruckrotationsmaschinen zu fordern, leistungsfähigere Anlagen zu entwickeln und zu bauen. Eine höhere Ausstoßmenge der Maschinen wurde durch die Vergrößerung der Arbeitsbreite von z. B. 1,80 m auf 2,40 m erreicht.

Nachdem Maschinen dieser Größenklasse lange Zeit als größte wirtschaftlich einzusetzende Anlagen galten, erfolgte in der jüngsten Vergangenheit die Inbetriebnahme von Rotationsmaschinen der Arbeitsbreite um 3 m, um Aufträge mit größerem Produktumfang bei höherer Produktionsleistung abwickeln zu können.

Die Entwicklung breiterer und schneller laufender Rotationsmaschinen gelang durch Nutzung moderner Elektronik und verfeinerter mechanischer Bearbeitung aller Bauteile, so daß heutige Anlagen mit bis zu 50 000 Zylinderumdrehungen pro Stunde betrieben werden können. Alle Hochleistungsro-

tationsmaschinen sind heute mit Autotronanlagen zur Aufrechterhaltung des Registers und mit Viskositätsreglern für gleichbleibende Druckfarbeigenschaften während des Fortdrucks ausgerüstet. Zur Unterstützung der Farbübertragung aus den Nöpfchen des Zylinders auf das Papier sind elektrostatische Druckhilfen an den Maschinen vorhanden.

Eine wesentliche Voraussetzung zum reibungslosen Betreiben dieser schnelllaufenden Rotationsmaschinen stellt die problemlose Papierversorgung dar. Neben der zu automatisierenden Papieranlieferung an den Rollenträger muß ein vertretbarer Zeittakt für den Papierrollenwechsel realisiert werden. Damit die Häufigkeit der Rollenwechsel bei schneller laufenden Anlagen nicht zunimmt, werden Rollen mit größerem Durchmesser (z. Z. bis 1,25 m) eingesetzt.

Durch diese Entwicklung wurde zwangsläufig die Frage akut, ob die bisher als Kern der Papierrolle verwendete Standardhülse aus Hartpapier mit 76 mm Innendurchmesser den dadurch entstandenen Anforderungen gewachsen ist, zumal einige



Hülsenbrüche in der Praxis darauf hindeuteten, daß hier tatsächlich ein Problem entstanden war. Aufgrund des höheren Rollengewichts – das bei 3 m breiten Rollen bis zu 4,5 t beträgt – werden die Hülsenenden sowohl beim Aufwickeln als auch beim Abrollen der Rolle in der Druckmaschine stärker als früher belastet. Die größere von der Hülse zu überbrückende Breite erfordert zum Aufwickeln des Papiers eine größere Steifigkeit der Hülse gegenüber dem Anpreßdruck der Papier-Andruckköpfe und der Stützwalze, und schließlich wird die kritische Drehzahl der Restrolle mit zunehmender Rollenbreite niedriger.

Täglicher Betrieb 2,65 m breiter Druckmaschinen mit Bahngeschwindigkeiten bis zu 14 m/s sowie Pilotanwendungen von 3 m breiten Druckmaschinen mit Papierrollen auf 76er Hülsen zeigen jedoch, daß die besten heute erhältlichen Hartpapierhülsen die erforderliche Festigkeit und Steifigkeit besitzen. Andererseits zeigen aber die Hülsenbrüche in der Praxis und auch Untersuchungen der Hülsen- und Papierhersteller, daß ab einer bestimmten Breite und Abrollgeschwindigkeit die Papierrollen nicht bis auf den gewünschten Durchmesser abgerollt werden können, da die Restrolle in Schwingungsresonanz gerät. Dies führt zu einer explosionsartigen Zerstörung der Restrolle und stellt eine Gefahr für das Bedienungspersonal der Druckmaschine dar. Es muß also entweder die Papierrolle bereits gewechselt werden, wenn sich noch eine größere Papiermenge auf der Rolle befindet, oder es muß die

Druckgeschwindigkeit vor jedem Rollenwechsel drastisch reduziert werden.

Der Einsatz von Hülsen aus einem anderen Material würde vermutlich die Kosten der Hülsen erhöhen, und die Verwendung von Hartpapierhülsen mit größerem Durchmesser führt zu Mehrkosten hinsichtlich der Papierausnutzung. Weiterhin ist sowohl in der Druckerei als auch in der Papierfabrik eine hohe Flexibilität bei der Auftragsdisposition mit verschiedenen Papierbahnbreiten erforderlich. Diese Gründe sprechen dafür, das jetzige System Pinole und Hülse – wenn

irgend möglich – auch für breitere Rollen und höhere Geschwindigkeiten beizubehalten. Dazu benötigt man aber eine sichere Aussage darüber, wo die Grenze liegt, bis zu der die 76er Hülse gefahrlos verwendet werden kann.

Die im Auftrag des Bundesverbandes Druck, Fachbereich Tiefdruck, durchgeführte Untersuchung, deren Ergebnis im folgenden dargestellt ist, diente vornehmlich der Klärung dieser Frage. Gleichzeitig wurde aber auch untersucht, welche Maßnahmen möglich sind, die durch die Schwingungserregung

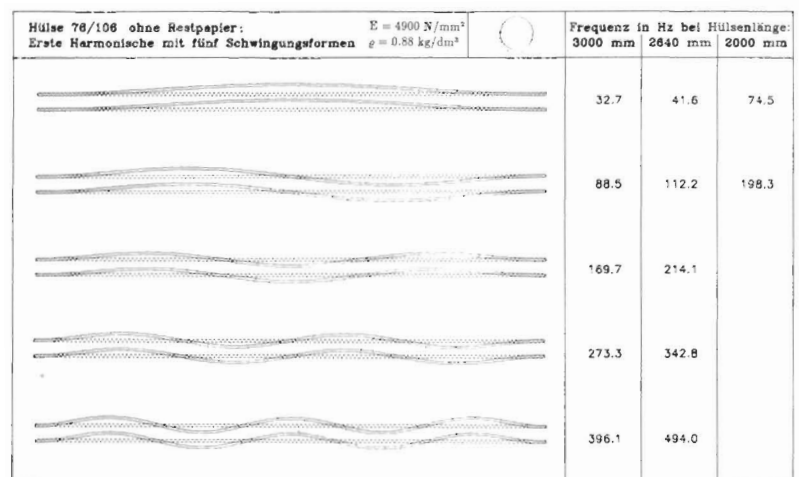


Abb. 1: Eigenschwingungsformen und zugehörige Schwingungsfrequenzen von Hülsen bei starrer Einspannung der Hülse im Rollenträger

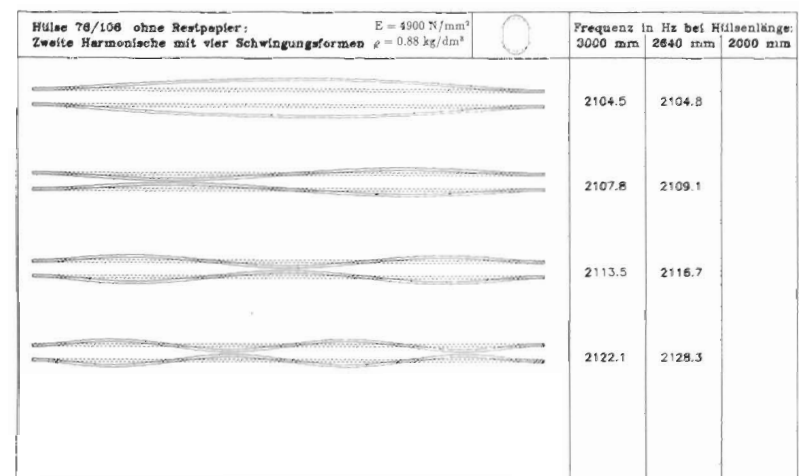


Abb. 2: Eigenschwingungsformen und zugehörige Schwingungsfrequenzen von Hülsen bei starrer Einspannung der Hülse im Rollenträger

der Restrolle beim Abrollen gegebene Grenze hinauszuschieben. Eine entsprechende Empfehlung, die die Gesichtspunkte von Papier- und Hülsenherstellern, von Aufwickel- und Druckmaschinenherstellern und selbstverständlich der Tiefdrucker mit einbezieht, schließt den vorliegenden Bericht ab.

## 2 Berechnung der kritischen Abrollgeschwindigkeit von Papierrollen

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen Eigenschwingungsformen und die zugehörigen

Schwingungsfrequenzen der heute üblichen Hartpapierhülse, die mit der Methode der Finiten Elemente berechnet wurden. Während für die Schwingungen in Abb. 1 und 2 eine vollkommen starre Einspannung der Hülse im Rollenträger angenommen wurde, ist bei den in Abb. 3 und 4 dargestellten Schwingungen die elastische Pinole in das Berechnungsmodell mit einbezogen worden. Dies ist bei Verwendung der Methode der Finiten Elemente – im Gegensatz zu Berechnungen nach klassischen Methoden – sehr einfach möglich. Weitere Vorteile der Methode der

Finiten Elemente gegenüber klassischen Berechnungsmethoden bestehen darin, daß nicht nur die Torsions- und Biegeschwingungen berechnet werden können sondern auch Schwingungen, bei denen sich der Querschnitt verformt (siehe Abb. 2). Weiterhin kann ein realistischeres nichtisotropes Materialverhalten berücksichtigt werden – selbst, wenn dieses Verhalten nicht genau bekannt ist, kann durch Variation der Materialeigenschaften in der Rechnung festgestellt werden, in welchem Maße das Schwingungsverhalten überhaupt vom Materialverhalten abhängig ist.

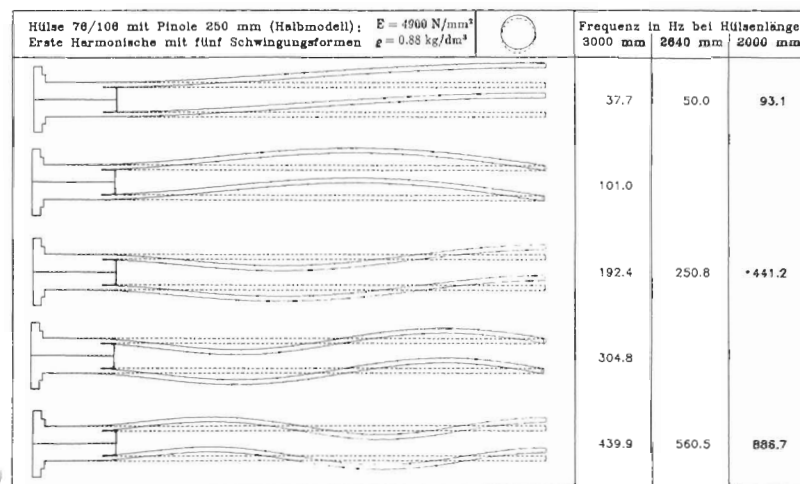


Abb. 3: Eigenschwingungsformen und zugehörige Schwingungsfrequenzen bei Mitberücksichtigung der elastischen Pinole (übliche Pinolenlänge)

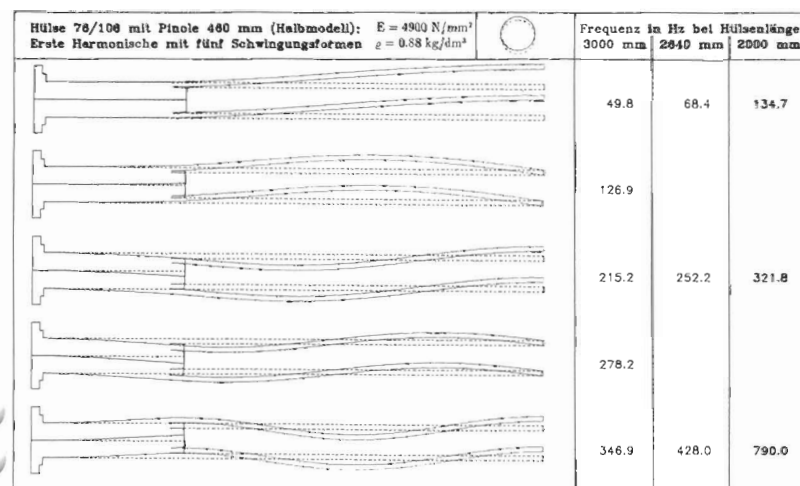


Abb. 4: Eigenschwingungsformen und zugehörige Schwingungsfrequenzen bei Mitberücksichtigung der elastischen Pinole (fiktive, verlängerte Pinole)

Die mit Finiten Elementen durchgeführten Untersuchungen zeigen nun, daß einzig die Biegeschwingung der Restpapierrolle kritisch ist, und daß die entsprechende Schwingungsfrequenz mit der für einen beidseitig fest eingespannten Biegestab geltenden Formel aus der Balkentheorie (1) abgeschätzt werden kann. Wie Abb. 5 zeigt, liegen die Werte, die man mit dieser Formel erhält (wenn man als freie Schwinglänge den Abstand zwischen den Pinolenden einsetzt), je nach Steifigkeit der Einspannung der Hülse, mehr oder weniger über den genaueren Werten, die man mit der Methode der Finiten Elemente erhält, aber für größere Schwinglängen nur wenig höher als diese.

Für die mit bis zu 10 mm Restpapier beaufschlagte Hülse zeigen sowohl die mit der Methode der Finiten Elemente als auch die mit der Balkentheorie erhaltenen Ergebnisse, daß, obwohl sich die kritische Schwingungsfrequenz mit der Dicke der Restpapierlage ändert, die

daraus bestimmte Abrollgeschwindigkeit nahezu konstant ist. Somit kann bis zu einer Restpapierdicke von 10 mm die Berechnung der kritischen Abrollgeschwindigkeit nach der Formel für die Hülse ohne Restpapier erfolgen.

Abb. 6 zeigt nun die nach der Balkentheorie bestimmte kritische Abrollgeschwindigkeit als Funktion der freien Schwinglänge im Vergleich zu Werten, die sich aus gemessenen kritischen Drehzahlen

ergeben. Der Streubereich der berechneten Werte ergibt sich aus der Streuung der gemessenen Elastizitätsmoduln der Hülse, das Streuband der Meßwerte aus der Streuung der gemessenen kritischen Drehzahlen. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß die tatsächlichen kritischen Geschwindigkeiten um einen gewissen Prozentsatz unterhalb der berechneten Werte liegen. Die Verfasser erklären sich dies aus der Nichtberücksichtigung der Materialdämpfung in der Biegeschwin-

gungsformel und zusätzlich damit, daß schon vor Erreichen der Resonanzfrequenz die Hülse zu vibrieren beginnt und somit – vor allem im Bereich der Einspannung – das Hülsenmaterial geschädigt wird.

Fügt man nun einen aus Abb. 6 abgeleiteten Erfahrungsfaktor von 0,66 der Balkenbiegeschwingsformel aus (1) hinzu, so erhält man für die kritische Schwingungsfrequenz  $f_{krit}$  und die kritische Abrollgeschwindigkeit  $v_{krit}$  bei Papierdicke bis zu 10 mm:

$$f_{krit} = 0,66 \frac{2,8}{\pi} \frac{1}{l^2} \sqrt{d_a^2 + d_i^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

$$v_{krit} = \pi d_a f_{krit} \quad (1)$$

Hierbei bedeuten  $\pi$  die Kreiszahl 3,14,  $l$  die freie Schwinglänge (Hülsenlänge abzüglich der beiderseitigen Eindringtiefe der Pinolen),  $d_a$  Außendurchmesser und  $d_i$  Innendurchmesser der Hülse,  $\rho$  Dichte und  $E$  Elastizitätsmodul des Hülsenmaterials. Der Elastizitätsmodul kann mittels Durchbiegungsmessung der Hülse bestimmt werden.

Für den Fall, daß die Dicke der Restpapierlage größer als 10 mm ist, lassen sich die folgenden Formeln herleiten:

$$f_{krit} = 0,66 \frac{11,2}{\pi} \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{E_{II} I_{II} + E_p I_p}{\rho_{II} A_{II} + \rho_p A_p}};$$

$$v_{krit} = \pi d_p f_{krit} \quad (2)$$

mit

$$I_{II} = \frac{\pi}{64} (d_a^4 - d_i^4)$$

$$I_p = \frac{\pi}{64} (d_p^4 - d_a^4)$$

$$A_{II} = \frac{\pi}{4} (d_a^2 - d_i^2)$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_a^2)$$

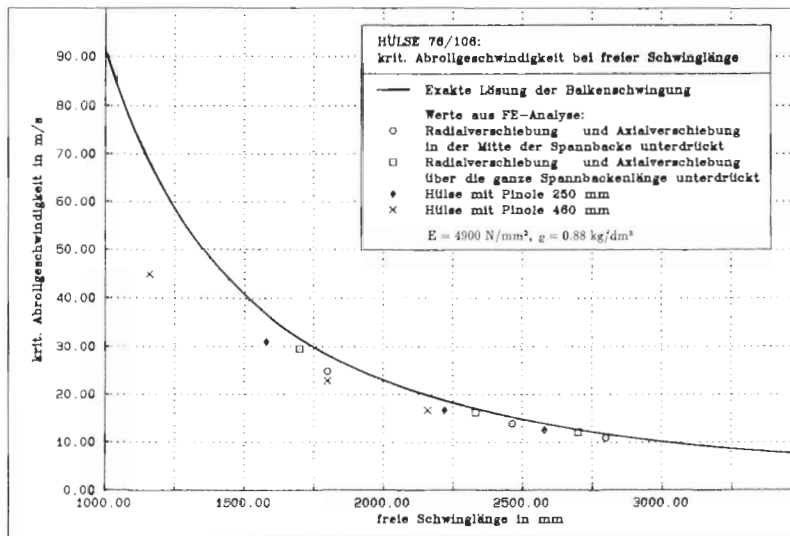


Abb. 5: Kritische Abrollgeschwindigkeit der Hülse ohne Restpapier als Funktion der freien Schwinglänge

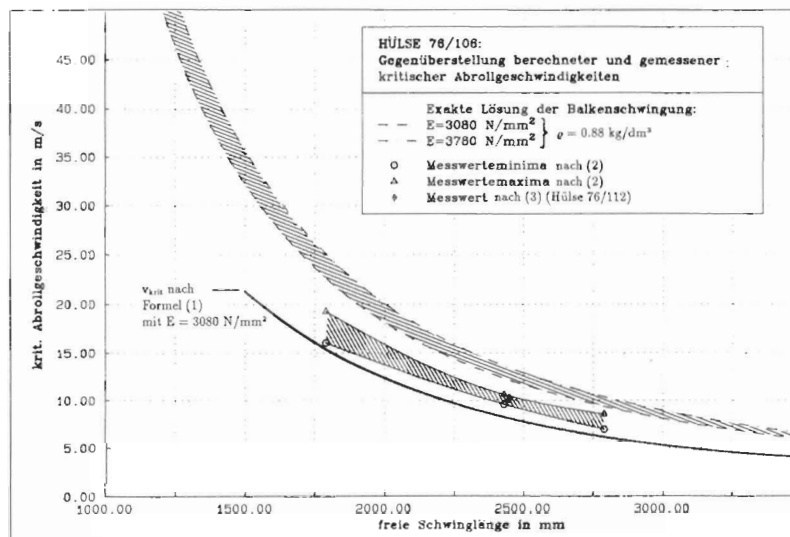


Abb. 6: Vergleich gemessener und berechneter kritischer Abrollgeschwindigkeiten (Hülse ohne Restpapier)

Die Indizes  $H$  und  $p$  kennzeichnen Werte für die Hülse bzw. für das Papier. Der Elastizitätsmodul der Restpapierlage wurde aus vorliegenden Meßwerten der Durchbiegung von Restpapierrollen zu  $E_p = 1800 \text{ N/mm}^2$  bestimmt, für die Dichte des Papiers wurde  $\rho_p = 1,2 \text{ kg/dm}^3$  angenommen.  $E_H$  und  $\rho_H$  sind Elastizitätsmodul und Dichte des Hülsmaterials,  $\pi$  ist die Kreiszahl 3,14,  $l$  die freie Schwinglänge (Hülslenlänge abzüglich der beiderseitigen Eindringtiefe der Pinolen),  $d_a$  Außendurchmesser und  $d_i$  Innendurchmesser der Hülse und  $d_p$  ist der Außendurchmesser der Restpapierrolle.

Die Formeln (1) und (2) können mit einem gewissen Vorbehalt bezüglich des Erfahrungsfaktors 0,66 für beliebige Hülsen-Abmessungen und -Materialien und für beliebige Restpapierdicke verwendet werden. Unterschiedlich lange Pinolen können über die freie Schwinglänge berücksichtigt werden, und selbst die Wirkung eines Unterstützungssystems der Rolle am Rollenträger könnte über die damit reduzierte freie Schwinglänge abgeschätzt werden.

### 3 Maximale Abrollgeschwindigkeit von Papierrollen auf Hartpapierhülsen mit 76 mm Innendurchmesser

Mit den Formeln von Abschnitt 2 kann die maximale Abrollgeschwindigkeit einer Papierrolle auf der sogenannten 76er Hartpapierhülse berechnet werden. Diese maximale Abrollgeschwindigkeit ist abhängig von der Rollenbreite, der

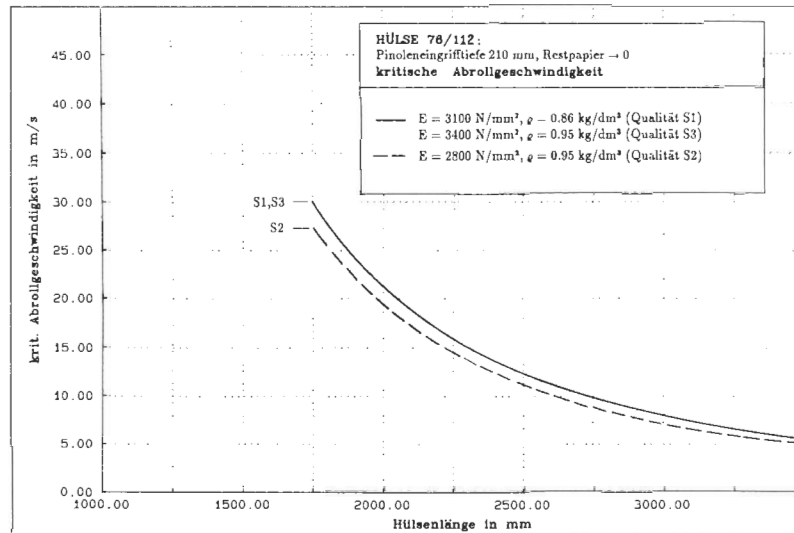


Abb. 7: Kritische Abrollgeschwindigkeit als Funktion der Hüslenlänge für Hartpapierhülsen verschiedener Qualitäten (Restpapierdicke bis 10 mm)

Restpapierdicke und somit dem Rollenaußendurchmesser und in geringerem Maße von der Wandstärke und den Materialeigenschaften der Hülse.

Eine Erhöhung der üblichen Wandstärke der 76er Hülse von 18 mm auf 20 mm – 20 mm gelten als die derzeit größte herstellbare Wandstärke bei gleicher Materialqualität – bewirkt eine Erhöhung der kritischen Abrollgeschwindigkeit von lediglich 6 %.

Was durch eine Verbesserung der Materialeigenschaften der Hartpapierhülse in der näheren Zukunft zu erwarten ist, zeigt Abb. 7. Mit den Materialwerten der in Entwicklung befindlichen Qualität S3 wird die Hülse der Qualität S2 auf die Abrollgeschwindigkeitswerte der Qualität S1 angehoben. (Der Elastizitätsmodul von S3 ist zwar höher als der von S1, andererseits ist aber die Dichte von S3 größer als die von S1.) Die Vorteile der S2-Qualität und der S3-Qualität gegenüber der leichteren

S1-Qualität bestehen in der höheren Materialfestigkeit, die insbesondere an den Hüslenenden benötigt wird.

Abb. 8 zeigt die Abhängigkeit der maximalen Abrollgeschwindigkeit der Papierrolle von der Restpapierdicke bzw. dem Außendurchmesser der Rolle. Aus diesem Diagramm kann für eine gegebene Druckbreite und Geschwindigkeit der Restrollendurchmesser abgelesen werden, bei dem die Rolle spätestens gewechselt werden muß, oder aber die Geschwindigkeit, auf die der Fortdruck reduziert werden muß, damit die Rolle bis auf eine bestimmte Restpapierdicke abgerollt werden kann. So zeigt das Diagramm zum Beispiel, daß bei 3 m Druckbreite und einer Geschwindigkeit von 14 m/s die Rolle schon bei einem Außendurchmesser von 192 mm – das entspricht einer Restpapierdicke von 40 mm – gewechselt werden muß oder daß, um sie bis auf 10 mm Restpapier abrollen zu können, die Geschwindigkeit auf 8 m/s abgesenkt werden muß.

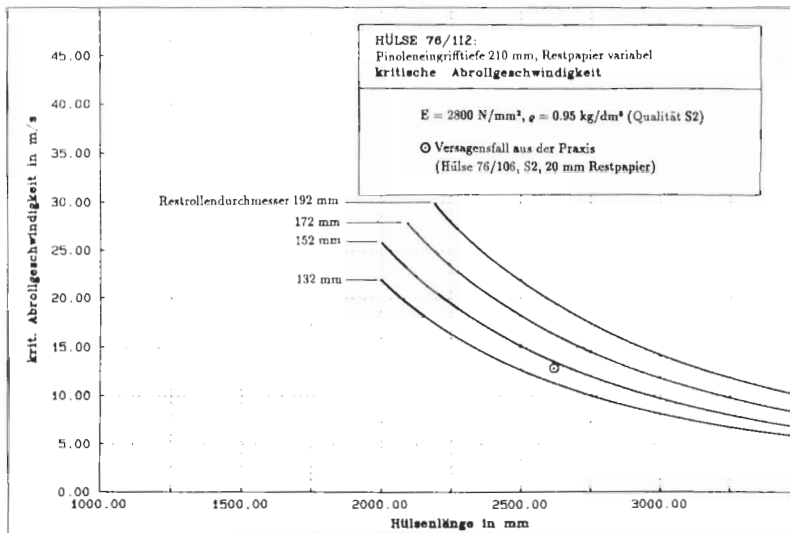


Abb. 8: Kritische Abrollgeschwindigkeit von Papierrollen als Funktion des Restlendurchmessers

#### 4 Möglichkeiten zur Erhöhung der kritischen Abrollgeschwindigkeit

Die Formeln aus Abschnitt 2 gestatten es, für beliebige Spannweiten der Hülse, beliebige Innen- und Außendurchmesser und für beliebige Hülsenmaterialien zumindest näherungsweise die kritische Abrollgeschwindigkeit der Papierrolle zu bestimmen. Damit ist man in der Lage, den Einfluß aller wesentlichen Parameter auf eine Erhöhung der kritischen Abrollgeschwindigkeit hin zu untersuchen. Dies ist in der vorliegenden Arbeit geschehen. Es sind konstruktive Maßnahmen am Rollenträger (eine Vergrößerung der Eindringtiefe der Pinolen oder ein zusätzliches Unterstützungssystem der Rolle), die Wirkung einer Vergrößerung des Hülseninnendurchmessers und Möglichkeiten der Verwendung anderer Hülsenmaterialien untersucht worden.

Um jedoch eine rational begründete Entscheidung treffen zu können, was die

wirtschaftlichste Lösung ist, wenn die heute gebräuchliche Hartpapierhülse mit 76 mm Innendurchmesser nicht mehr ausreicht, genügt es nicht, nur die Gefahr des Aufschwingens der Restpapierrolle beim Drucken zu betrachten; es muß vielmehr eine Systemlösung gefunden werden, die die Gesichtspunkte der Papierhersteller, die das Papier auf die Hülse aufwickeln müssen und die wiederum von den Möglichkeiten der Maschinenbauer und der Hülsenhersteller abhängen, mit einschließt. So hat sich in mehreren, vom Bundesverband Druck angelegten Arbeitsgesprächen, in denen die Tiefdrucker, die Hülsen- und Papierhersteller, die Aufwickel- und die Druckmaschinenhersteller vertreten waren, das Urteil herausgebildet, daß als nächster Schritt eine **Hartpapierhülse** mit 150 mm Innendurchmesser und 13 mm Wandstärke (Hülse 150/176) eingeführt werden sollte. Es werden deshalb im folgenden die Eigenschaften dieser Hülse in bezug auf die Gefahr der Schwingungsresonanz dargestellt.

Das der Abb. 6 entsprechende Diagramm für die Hülse 150/176 ist in Abb. 9 dargestellt. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, daß es gemessene Versagenswerte gibt, die unterhalb der berechneten liegen, wenn der aus dem Vergleich von Rechnung und Messung bei der 76er Hülse abgeleitete Erfahrungsfaktor von 0,66 verwendet wird. Um in dieser Hinsicht eine gewisse Sicherheitsreserve zu besitzen, wurde die Kurve von Abb. 10, die die kritische Abrollgeschwindigkeit der Papierrolle bei Verwendung der Hülse 150/176 zeigt, mit einem Faktor 0,55 anstelle des Faktors 0,66 erstellt.

Trotz der in den Diagrammen der Abbildungen 7, 8 und 10 über den Erfahrungsfaktor 0,66 bzw. 0,55 enthaltenen Sicherheitsreserve sollte man sich dessen bewußt sein, daß absolute Sicherheit gegen Hülsenbruch nicht möglich ist. Materialfehler oder Fehler bei der Herstellung der Hülse und Handhabungsfehler beim Umgang mit der Papierrolle sind nie vollkommen auszuschließen. Es wäre extrem unwirtschaftlich, solche Risiken durch einen entsprechend hohen Sicherheitsfaktor berücksichtigen zu wollen. Es sollten vielmehr Vorkehrungen dafür getroffen werden, daß der Schaden auf ein akzeptables Maß beschränkt bleibt, wenn es infolge solcher entsprechend selten vorkommender Fehler zu einer „Hülsenexplosion“ kommt. So sollte eine Verletzungsgefahr des Bedienungspersonals der Druckmaschine ausgeschlossen sein. Wenn dies beachtet wird, kann die Hülse für den Normalfall, also ohne allzu großen Sicherheitsfaktor ausgelagert werden.

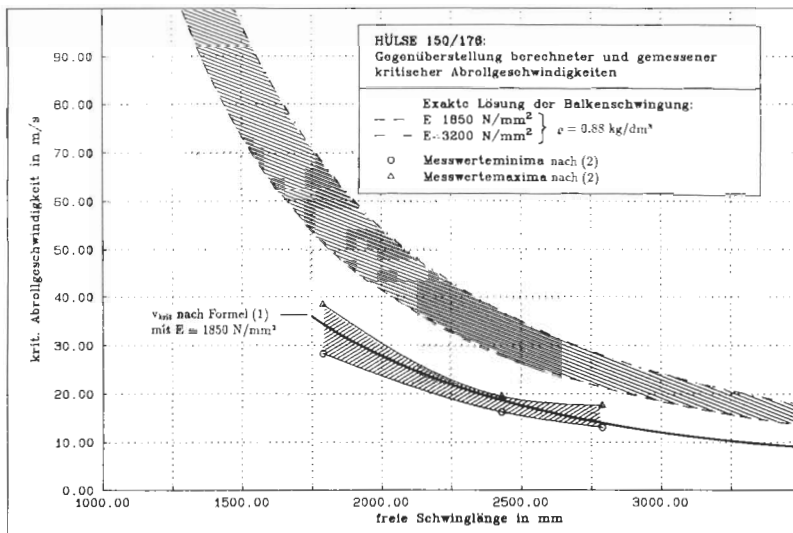


Abb. 9: Vergleich gemessener und berechneter kritischer Abrollgeschwindigkeiten für eine Hülse mit größerem Durchmesser (Hülse 150/176)

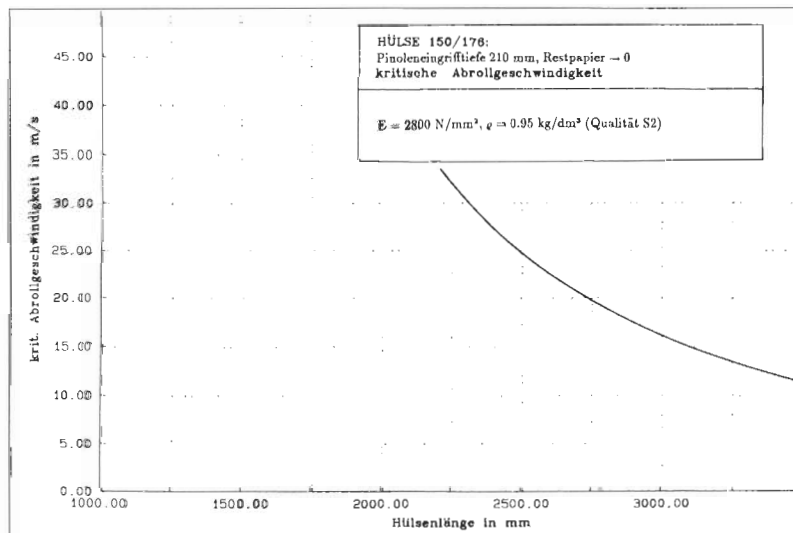


Abb. 10: Kritische Abrollgeschwindigkeit der Papierrolle auf einer Hülse 150/176 als Funktion der Hüslenlänge bei Restpapierdicke bis 10 mm

## 5 Empfehlungen für die Praxis

Für Tiefdruckrotationsmaschinen mit einer Arbeitsbreite bis 2,45 m sind minimale Restpapierlagen von etwa 10 mm und maximale Abrollgeschwindigkeiten von 12 m/s als Produktionsstandard für die 76er S2-Hülse anzusehen. Für größere Breiten, also ab 2,45 m aufwärts, sind bei Verwendung der 76er Hülse Einschränkungen beim Rollenwechsel in Kauf zu nehmen.

Gemäß Abb. 8 kann der Rollenwechsel entweder mit voller Abrollgeschwindigkeit und erhöhtem Restrollendurchmesser oder mit reduzierter Abrollgeschwindigkeit bei minimalem Restrollendurchmesser durchgeführt werden. So ist zum Beispiel aus Abb. 8 zu ersehen, daß bei 3 m Arbeitsbreite und einer Abrollgeschwindigkeit von 14 m/s die Restrolle schon bei einem Durchmesser von 192 mm (bei 12 m/s bei einem Durchmesser von 172 mm) gewechselt werden oder daß,

um die Rolle bis auf die minimale Restpapierdicke von 10 mm (also auf einen Restrollendurchmesser von 132 mm) abrollen zu können, die Abrollgeschwindigkeit auf 8 m/s reduziert werden muß. Als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme werden von den Maschinenherstellern Absperungen des Bereichs um den Rollenträger angeboten.

Alternativ zur 76er Hülse kann die 150er Hülse gemäß Abb. 10 eingesetzt werden, um zu einer wirtschaftlichen Produktion auch während des Rollenwechsels beizutragen. Wie Abb. 10 zeigt, kann bei 3 m Arbeitsbreite die Papierrolle mit bis zu 16 m/s Abrollgeschwindigkeit auf minimale Restpapierdicke abgerollt werden.

Mit Hilfe der Diagramme der Abbildungen 8 und 10 kann jeder Tiefdrucker die für ihn günstigste Möglichkeit auswählen. Dazu könnten auch die Maschinenhersteller beitragen, indem sie leicht austauschbare Pinolensysteme entwickelten – damit wäre dem Tiefdrucker die Möglichkeit eines wechselnden Einsatzes von Rollen mit 76er und 150er Hüslen gegeben.

## 6 Literaturhinweise

- (1) Harris, C.M., Crede, C.E., Shock and vibration handbook, Vol. 1, McGraw-Hill Book Company, 1961.
- (2) Meßprotokoll der Firma Haindl Papier GmbH, Werk Walsum, Duisburg
- (3) Meßprotokoll der Firma Feldmühle AG, Viersen

Herausgeber:  
Bundesverband Druck E.V.,  
Abt. Technik + Forschung

© 1988  
Bundesverband Druck E.V.,  
Biebricher Allee 79,  
6200 Wiesbaden 1

Das Werk einschließlich seiner Einzelbeiträge und Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Bundesverbandes Druck unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Gesamtherstellung:  
Druckerei Guido Zeidler,  
Wiesbaden