

Verbesserung der Dimensionsstabilität von Papier durch gezielte Auswahl und Aufbereitung der Faserstoffe

K. Erhard, M. Fiedler, J. Kretzschmar

Zusammenfassung

Fast alle Papiere werden bei ihrer Ausrüstung, Verarbeitung oder während ihres Gebrauchs Temperaturschwankungen, wechselnden klimatischen Einflüssen oder einer Wiederbefeuchtung ausgesetzt (Offset- oder Inkjet-Druck, Verarbeitung von Tapeten, Applizieren von Etiketten mittels wasserbasierender oder wasserlöslicher Klebstoffe, Luft-, Öl- und Kraftstofffiltration, Extrusionsbeschichtung oder Silikonisierung). Die damit verbundenen Dimensionsänderungen können die Verarbeitungsprozesse des Papiers empfindlich stören oder auch unmöglich machen.

Das Ziel des Forschungsprojektes war die Verbesserung der Dimensionsstabilität von Papier durch die gezielte Steuerung der vom Faserstoff ausgehenden Einflüsse sowie den Papiererzeugungsbedingungen, ohne andere papiertechnologische Eigenschaften zu verschlechtern.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- chemische und fasermorphologische Charakterisierung repräsentativer Marktzellstoffe/Marktfaserstoffe
- Mahlung der Faserstoffe im PTS-Technikums-Refiner (kleintechnischer Maßstab)
- Bildung von Laborblättern sowie kleintechnische Erzeugung von Versuchspapieren
- Charakterisierung des Dimensionsverhaltens (Nassdehnung, Trockenschumpfung), der Festigkeits- und der optischen Eigenschaften der erzeugten Papiere

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Das Dimensionsverhalten der Laborpapiere wird hauptsächlich durch ihre Morphologie, die Grenzviskositätszahl und die Summenparameter Entwässerungswiderstand und Wasserrückhaltevermögen beeinflusst (Einfluss der Faserstoffauswahl).
- Die geographische Herkunft des Zellstoffes beeinflusst sein Dimensionsverhalten: Der Einsatz eines südeuropäischen gegenüber einem südamerikanischen Eukalyptuszellstoffes hatte eine um 0,4 Prozentpunkte geringere Nassdehnung zur Folge.
- Die Erzeugungs- und Aufbereitungsbedingungen eines Zellstoffes in Kochung, Bleiche und Mahlung beeinflussen sein Dimensionsverhalten
- Nassfestmittel und Leimungsmittel verringern die Nassdehnung deutlich. Die Nassdehnung ist der Nassfestmittelkonzentration indirekt proportional. Diese Additiveinflüsse dominieren über die vom Faserstoff ausgehenden Einflüsse.
- Durch Zugabe von nicht quellfähigen Polymerfasern zum Faserstoff wurde eine Verringerung der Nassdehnung auf unter 1,0% erreicht.

Die Einflussgrößen der Dimensionsstabilität wurden in einem Eigenschaftskatalog zusammengefasst. Mit Hilfe des von aufgestellten Modellen können sowohl die Nassdehnung als auch die Trockenschumpfung von Papieren unter alleiniger Kenntnis der Faserstoffeigenschaften beziehungsweise der Papiererzeugungsbedingungen prognostiziert werden.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben AiF 13916 wurde durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), Köln, mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie BMWi gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Abstract

Almost every paper is exposed to changing climatic impacts or moistening during finishing, machining or use (offset- or inkjet print, wallpaper, affixing labels by water based or water soluble adhesives, air-, oil- or fuel filtration, extrusion coating). Effected dimensional changes could constrain or even inhibit following manufacturing processes.

The objective of the project was the improvement of dimensional stability of paper by selective control of the influences effected by pulp and the conditions of papermaking without degradation of other technological properties of paper.

The following inquiries have been accomplished within the framework of the project:

- chemical and morphological characterisation of several representative market pulps
- refining of these pulps by a small-scale refiner (PTS Heidenau)
- formation of sheets in laboratory-scale and by a small-scale paper machine (PTS Heidenau)
- characterisation of dimensional behaviour (wet stretch analysis, heat shrinkage analysis), strength and optical properties of the formed sheets

The inquiries lead to the following results:

- The dimensional behaviour of the laboratory-scale sheets is mainly affected by morphology of the fibres, the limiting viscosity number as well as drainage resistance and water retention (influence of the selected pulp).
- Geographical origin influences the dimensional behaviour of the pulp: The wet stretch could be decreased by 0.4 percentage points by use of a southern European instead of a southern American Eucalyptus-pulp.
- Cooking, bleaching and refining also affect its dimensional behaviour.
- Wet strength agents and sizing agents clearly decrease the wet stretch. The wet stretch decreases by rising concentrations of the wet strength agents. The influence of these additives lords over the influences affected by pulp.
- Adding non-swellable polymer fibres to the pulp yields in a decrease of wet stretch on a level lower than 1.0%.

The influencing variables of the dimensional stability are summarised in catalogue of properties. Both wet stretch and heat shrinkage of paper can be predicted by means of developed mathematical models aware of pulp properties respectively properties of papermaking.

Acknowledgement

The AiF 13916 research project was sponsored by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi and carried under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. We would like to express our warmly gratitude for this support.

1 Einleitung

Der anhaltende Trend hin zu rationellen, schnellen und komplexen Verarbeitungstechniken erfordert Papiere, deren Dimensionen sich nicht in unerwünschter Weise verändern und so eine Verarbeitung zu qualitativ hochwertigen Papiererzeugnissen mit hoher Wertschöpfung ermöglichen. Diesen gestiegenen Anforderungen an die Dimensionsstabilität erzeugter Papiere müssen heute hochproduktive Papiererzeugungsanlagen, in die meist Oberflächenbehandlungsschritte, wie Leimen, Streichen oder Imprägnieren und Beschichten integriert sind, entsprechen. Dies geschieht vor allem durch neue maschinentechnische Entwicklungen, die eine weitere Steigerung der Papiermaschinengeschwindigkeit ermöglichen und gleichzeitig auch zu einer Vereinheitlichung der Papierstruktur beitragen. Dazu zählen unter anderem die Gap-Former-Technologie, die die Zweiseitigkeit verminderte und die unterschiedlichen Blas- und Vakuumsysteme in der Entwässerungs- und Trockenpartie. Diese beeinflussen nicht nur die Runability in der Papiermaschine, sondern auch die Dimensionsstabilität des Endprodukts Papier vorteilhaft. Begleitet wurde diese Entwicklung durch den Wechsel zu umweltgerecht erzeugten ECF- und TCF-Zellstoffen sowie eines rasant steigenden Einsatzes kurzfasriger Laubholz-Zellstoffe und einen Anstieg der Altpapiereinsatzquote auf 65 %.

Dimensionsänderungen von Papier [1, 2] sind ein Ausdruck für die komplexe Eigenschaft „Dimensionsstabilität“. Sie werden durch Änderungen der Abmessungen innerhalb des Papiergefüges in x-, y- und z-Richtung infolge äußerer Einflüsse, die den Feuchtigkeitsgehalt des Papiers und den Quellungszustand der Fasern und Feinstoffe ändern, ausgelöst. Die Faserstoffeinflüsse auf die Dimensionsstabilität sind vom Phänomen her bekannt und Ursache für jegliche Dimensionsveränderung. Sie beruhen auf dem anisotropen Quell- und Schrumpfungsverhalten der Fasern sowie der verstärkten Quellung von mahlungsbedingt erzeugten Feinstoffen.

Die gezielte Aufklärung und Ausnutzung dieser Faserstoffeigenschaften war Gegenstand des durchgeführten Projekts.

2 Einfluss des Faserstoffes auf die Dimensionsstabilität

Beim Eindringen von Feuchtigkeit oder Wasser ins Papier werden Wasserstoffbrücken zwischen Fasern und Fibrillen aufgelöst und es kommt zur Einlagerung von Wassermolekülen in die Faserwand, also zum Quellen. Dadurch steigt der Anteil gebundenen Wassers in den Fasern und die innere Festigkeit im Fasergefüge nimmt ab. Wie stark diese Effekte ausgeprägt sind wird vor allem von der Faserart, d.h. der Zusammensetzung der Faserzellwand [3, 4] bestimmt.

Für die Aufnahme von Wasser in die Faserwand der einzelnen Faser ist ihr hoher Gehalt an OH-Gruppen der Hemicellulose und Cellulose verantwortlich. Sie können über Wasserstoffbrücken Wasser binden und dadurch die Zellwandstruktur aufweiten. Hemicellulosen sind amorph, hydrophil und enthalten Carboxylgruppen. Sie nehmen begierig Wasser auf, quellen und haben damit nachteilige Auswirkungen auf das Dimensionsverhalten [5]. Die Wasseraufnahme führt gleichzeitig zu einer Flexibilisierung der Fasern. Eine hohe Faserflexibilität wirkt sich positiv auf die Faser-Faser-Bindung und damit auf die Papierfestigkeit aus [6, 7].

Die Cellulose besitzt in der Faser einen sehr hohen Ordnungszustand (Kristallinität) und weist nur eine geringe Anzahl ungeordneter, amorpher Bereiche auf. Dadurch sind die OH-Gruppen der kristallinen Bereiche schwerer für Wasser zugänglich. Das Wasser dringt dabei über die amorphen Bereiche in die Cellulosestrukturen ein.

Lignin als amorphes, dreidimensional vernetztes, aromatisches Polymer besitzt wesentlich weniger hydrophile, funktionelle Gruppen und weist dadurch hydrophobe Eigenschaften auf. Damit bestimmt der Ligningehalt der Faser ihren Quellungszustand und damit den Grad der Hygroexpansion [8, 9].

Hinsichtlich der Fasermorphologie sollten kurze, schlanke Fasern grundsätzlich dimensionsstabilere Papiere ergeben als breite Fasern, wobei die Dicke der Faserzellwand den überwiegenden Einfluss auf die Hygroexpansion nimmt. Faserkürzungen und das Abschälen von Faserwandmaterial durch Mahlung sowie die Verminderung des Quellvermögens durch Verhornung der Zellwand nach Trocknung und Recycling verbessern die Dimensionsstabilität der Faser.

Feinstoffe quellen aufgrund ihrer Struktur und ihres Hemicellulosegehaltes praktisch isotrop. Die asymmetrische Verteilung im Papier führt zu einer mehr oder weniger ausgeprägten, insbesondere bei Druck- oder Kopierpapieren unerwünschten, Roll- oder Wölbungsneigung (Out-of-plane-Deformation). Hierbei stellt sich die Frage, ob die Dimensionsänderung durch die Feinstoffe selbst oder durch das Netzwerk der langen Fasern, die durch diese verstärkte Wasseraufnahme stärker quellen, hervorgerufen wird.

Durch Mahlung werden in der Faserstoffaufbereitung die gewünschten papiertechnologischen Eigenschaften, wie Festigkeit und strukturelle Gleichmäßigkeit eingestellt. Verstärkte Mahlung führt zwangsläufig zu verstärkter Schrumpfung im Trocknungsprozess. Die Mahlung der Fasern hat nur dann einen relativ geringen Einfluss auf das Hygroexpansionsverhalten des Papiers, wenn das Schrumpfen der Bahn während der Trocknung möglichst vollständig verhindert wird [10]. Zugunsten einer guten Dimensionsstabilität sollte die Mahlung hinsichtlich notwendiger Papierfestigkeit und Dimensionsstabilität optimiert werden [11].

3 Einfluss der Papiererzeugungsbedingungen auf die Dimensionsstabilität

Die Dimensionsstabilität der Papiere nimmt mit wachsendem Füllstoffgehalt in der Regel zu, da dabei der relative Anteil von quellfähigem Material und die mittlere Faser-Faser-Bindungsstärke verringert werden. Jedoch liegen zu dieser Problematik bisher nur sehr wenige Ergebnisse vor, die noch keine gesicherte Aussage gestatten, denn hier überlagern sich gegenläufige Effekte der Festigkeit und der geringeren Feuchtigkeitsaufnahme [9].

Durch den Einsatz chemischer Additive kann heute wirkungsvoll eine Verbesserung der Feuchtdehnung erzielt werden, indem die Quellung vermindert oder verzögert wird. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass kationische Additive, wie Retentions- und Fixiermittel die Quellfähigkeit vermindern, indem anionische funktionelle Gruppen, die über den osmotischen Druck auf die Quellfähigkeit wirken, elektrisch neutralisiert werden. Andererseits können die Nassverfestigung und die Leimung von Papier den Wasserzutritt erschweren und das Lösen der Faser-Faser-Bindungen verzögern oder verhindern.

Durch Trocken- und Nassfestmittel können Festigkeitsnachteile rezyklierter Faserstoffe, hochgefüllter Papiere sowie durch Mahlung gekürzter oder kurzer Fasern ausgeglichen werden. Neuere Untersuchungen im Fall von Zeitungsdruckpapier sind bei SCHALL et al [12] zusammengefasst.

Die vorliegenden Ergebnisse der Literatur beschreiben zum überwiegenden Anteil Quell-, Verhornungs- und Recyclingprozesse hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Papierstruktur und -festigkeit. Phänomenologische Auswirkungen hinsichtlich der Dimensionsstabilität werden nicht explizit dargestellt. Es liegen keine fundierten Ergebnisse vor, die eine gezielte Auswahl und Aufbereitung von Faserstoffen ermöglichen und über eine empirische Vorgehensweise hinausgehen. Insbesondere die in ihrer Morphologie (Faserlänge, -breite und -wandstärke) und Zusammensetzung (Hemicellulosegehalt und Ladungscharakter) gegenläufigen Eigenschaften der Laub- und Nadelholz Zellstoffe sowie regenerativer und synthetischer Faserstoffe hinsichtlich ihres Dimensionsverhaltens unter dem Einfluss der Mahlung sind ungeklärt.

4 Lösungsweg

In Rahmen des Projektes wurden die folgenden Themenkomplexe bearbeitet:

- umfassende chemische und morphologische Charakterisierung der ungemahlene und im PTS-Technikums-Refiner gemahlene Faserstoffe
- Untersuchungen zum Einfluss der chemischen und morphologischen Kenngrößen ausgewählter Faserstoffe auf die Dimensionsstabilität von Laborpapieren im Abgleich zu Festigkeitseigenschaften und optischen Eigenschaften
- Untersuchungen zum Einfluss
 - des Langfaser/Kurzfasern-Zellstoff-Verhältnisses,
 - der Additivzugabe,
 - der Zugabe von Polyesterfasern sowie
 - der Zugabe von CTMP und DIP
 auf die Dimensionsstabilität kleintechnisch erzeugter Papiere sowie Abgleich zu Festigkeitseigenschaften und optischen Eigenschaften.
- Erstellung eines Eigenschaftskataloges, welcher die Auswirkungen der untersuchten Einflussgrößen auf die Dimensionsstabilität zusammenfasst
- Mathematische Modellierung (Vorhersage) der Dimensionsstabilität auf Grundlage der relevanten Einflussgrößen

Die **Abb. 1** gibt einen schematischen Überblick über die durchgeführten Arbeiten. Die ausgewählten Faserstoffe sind in **Tab. 1** zusammengestellt.

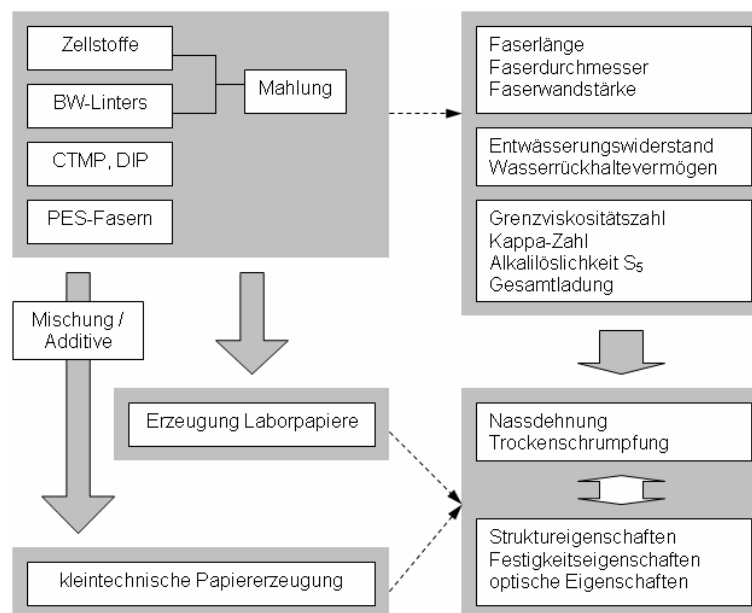


Abb. 1 Überblick über die durchgeführten Arbeiten

Tab. 1 Ausgewählte Faserstoffe zur Untersuchung ihres Einflusses auf die Dimensionsstabilität¹

Bez.	Faserstoff, Erzeugung	Holzart	Herkunft
NBSK-ECF	LF-ECF-Sa	Fichte/Kiefer	Nordeuropa
NBSK-TCF	LF-TCF-Sa	Fichte/Kiefer	Nordeuropa
Pin. rad.	LF-ECF-Sa	Pinus radiata (Südkiefer)	Südamerika
E. glob.	KF-ECF-Sa	Eucalyptus globulus	Südeuropa
E. grand.	KF-ECF-Sa	Eucalyptus grandis	Südamerika
Birke	KF-ECF-Sa	Skandinavische Birke	Nordeuropa
Ahorn	KF-ECF-Sa	Ahorn	Nordeuropa
BW-Li	LF-ECF	Baumwoll-Linters	
DIP	DIP (<u>de-inked pulp</u>)	Altpapier	-
CTMP	CTMP	Aspe	

Die Faserstoffe unterscheiden sich hinsichtlich Holzart und geografischer Herkunft. Diese Rohstoffeigenschaften legen morphologische Fasereigenschaften fest und bestimmen die Anteile an Lignin, Cellulose und Hemicellulose in der Faserwand. Die getroffene Auswahl orientierte sich einerseits an der Einsatzhäufigkeit in der Papiererzeugung und andererseits an dem zu erwartenden eigenschaftsbezogenen Quell- und Hygroexpansionsverhalten der Faserstoffe. Die getroffene Auswahl umfasste praktisch alle wesentlichen Sortimente hinsichtlich Zusammensetzung und Morphologie.

5 Durchgeführte Untersuchungen und Versuchsergebnisse

5.1 Einfluss des Faserstoffes

In diese Untersuchungen wurden alle in **Tab. 1** vorgestellten Faserstoffe einbezogen. Nach dem Auflösen im Pulper wurden diese im Laborrefiner bei 4% Stoffdichte gemahlen. Der Recyclingfaserstoff (DIP) und der CTMP-Faserstoff wurden nicht gemahlen.

Für die Zellstoff-Mahlungen wurden folgenden Bedingungen gewählt:

- Garnitur / Schnittwinkel Scheibe 60° (fibrillierend)
- Mahlkantenbelastung für Langfaserzellstoffe: 1,5 Ws/m
 für Kurzfaserzellstoffe: 1,0 Ws/m
- spezifische Mahlenergie 50 ;100 ;150 und 200 kWh/t

Aus den ungemahlene beziehungsweise gemahlene Faserstoffen wurden auf einem Laborblattbildner Papiere erzeugt. Weiterhin wurden, unter Variation der Papiererzeugungsbedingungen kleintechnisch Versuchspapiere erzeugt.

Das Dimensionsänderungsverhalten wurde durch die Messung der Nassdehnung und Trockenschrumpfung charakterisiert. Die Nassdehnung entspricht der relativen Längenänderung eines definierten Probenstreifens von 6 cm Breite nach 25 s, welcher auf einer Länge von 6 cm benetzt wurde. Die Trockenschrumpfung gibt die Längenänderung des Streifens nach 25 s an, welcher bei einer Temperatur von 150°C (auf 6 cm Breite und 6 cm Länge) thermisch behandelt wurde.

¹ NBSK – Northern bleached softwood kraft pulp , LF – Langfaser, KF – Kurzfaser, ECF – elementarchlorfrei, TCF – total chlorfrei, Sa – Sulfatzellstoff, NH - Nadelholz, LH – Laubholz, CTMP - Chemothermo-mechanischer Faserstoff, DIP – deinked pulp (Recycling-Faserstoff), BW - Baumwolle

5.1.1 Abhängigkeit der Dimensionsstabilität von der Faserzusammensetzung

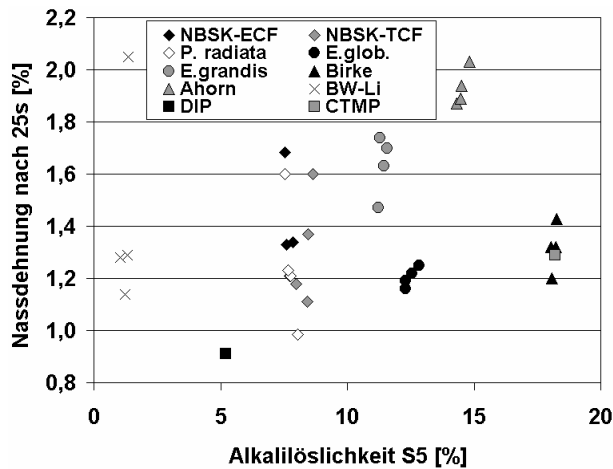


Abb. 2 Nassdehnung in Abhängigkeit der Alkalilöslichkeit S_5

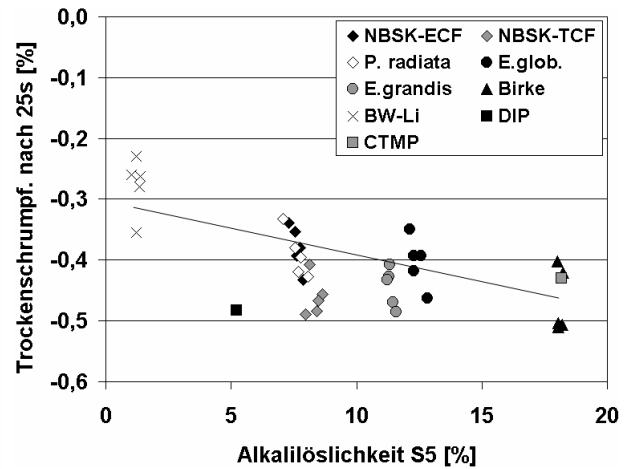


Abb. 3 Trockenschrumpfung in Abhängigkeit der Alkalilöslichkeit S_5

Die Alkalilöslichkeit S_5 beeinflusst die Nassdehnung nicht, da der Gehalt an geladenen Hemicellulosen gegenläufige Effekte auf die Nassdehnung ausübt. Einerseits führt die durch die Ladung bedingte Hydrophilie zu einer verstärkten Faserquellung, was eine Verstärkung der Nassdehnung zur Folge haben sollte. Andererseits wird die Festigkeit des Fasernetzwerkes durch den erhöhten Hemicellulosenanteil und die dadurch erhöhte Zahl der Faser-Faser-Bindungen gesteigert und die Nassdehnung so behindert.

Mit zunehmender Alkalilöslichkeit (steigendem Hemicellulosegehalt) zeigt sich eine steigende Trockenschrumpfung, das heißt der Betrag der Trockenschrumpfung wird größer. Je höher der Hemicellulosegehalt, desto mehr Wasser ist im Faserstoff gebunden. Da dieses Wasser vollständig verdampft, ergeben sich ein höherer Wasserverlust und damit eine höhere Trockenschrumpfung.

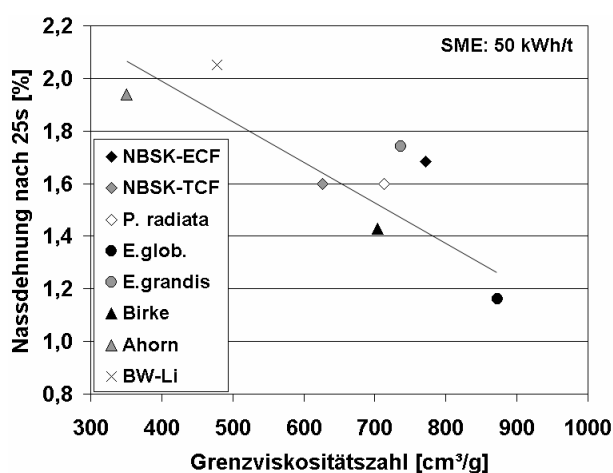


Abb. 4 Nassdehnung in Abhängigkeit der Grenzviskositätszahl (spez. Mahlenergie 50 kWh/t)

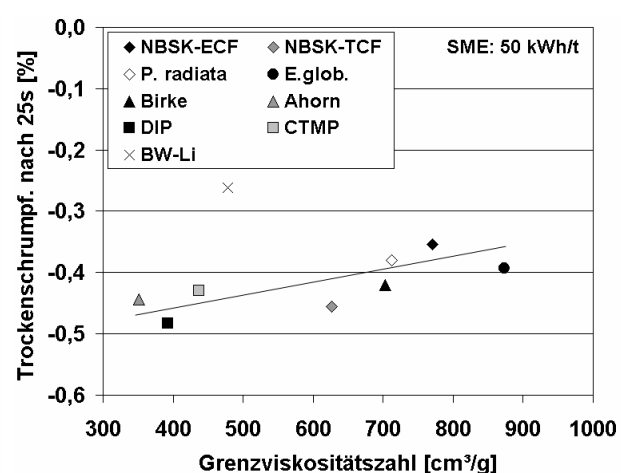


Abb. 5 Trockenschrumpfung in Abhängigkeit der Grenzviskositätszahl (spez. Mahlenergie 50 kWh/t)

Mit steigender Grenzviskositätszahl nehmen sowohl die Nassdehnung, als auch die Trockenschrumpfung der Faserstoffe ab. Je höher die Grenzviskositätszahl, also je höher die mittlere Molmasse der Cellulose, desto weniger Störstellen (Enden der Celluloseketten) stehen in der Cellulosestruktur für einen Wasserangriff zur Verfügung. Das Wasser kann folglich schlechter in die Cellulosestruktur eindringen, die Quellfähigkeit nimmt ab.

Die verringerte Trockenschrumpfung basiert auf dem geringeren Anteil von enthaltenem Quellwasser, welches verdampft wird.

Die höhere Nassdehnung der Papiere aus *Eucalyptus grandis* kann auf die geringere Grenzviskositätszahl des *Eucalyptus-grandis*-Zellstoffes gegenüber dem *Eucalyptus-globulus*-Zellstoff zurückgeführt werden. Die sehr niedrige Grenzviskositätszahl des Ahornzellstoffes ist der Hauptgrund für seine hohe Nassdehnung.

Die Grenzviskositätszahl der NBSK-Zellstoffe unterscheidet sich aufgrund der Bleiche. Die TCF-Bleiche führt zu einem stärkeren Molmassenabbau der Cellulose und damit zu einer niedrigeren Grenzviskositätszahl als die ECF-Bleiche. Dies sollte zu einer verstärkten Quellung führen. Aufgrund der stärkeren Verhornung der Zellwand durch die TCF-Bleiche wurde trotzdem eine geringere Nassdehnung der Papiere aus TCF-gebleichtem Zellstoff beobachtet.

5.1.2 Abhängigkeit der Dimensionsstabilität von der Mahlung

In **Abb. 6** bis **Abb. 13** ist die Dimensionsstabilität (Nassdehnung und Trockenschrumpfung) der Laborpapiere in Abhängigkeit

- des Entwässerungswiderstandes,
- des Wasserrückhaltevermögens,
- der Faserlänge und
- der Faserwandstärke

aufgezeigt.

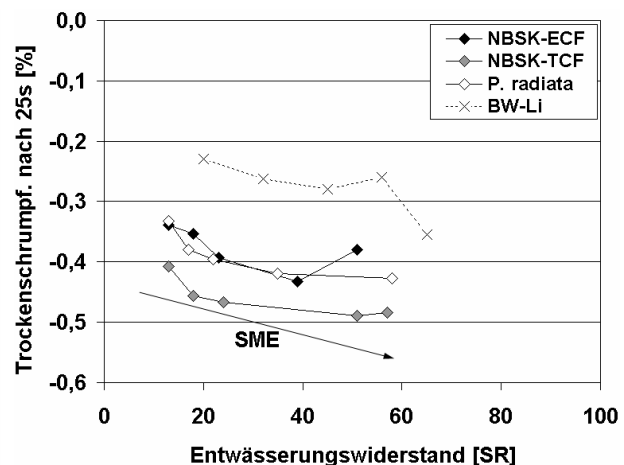
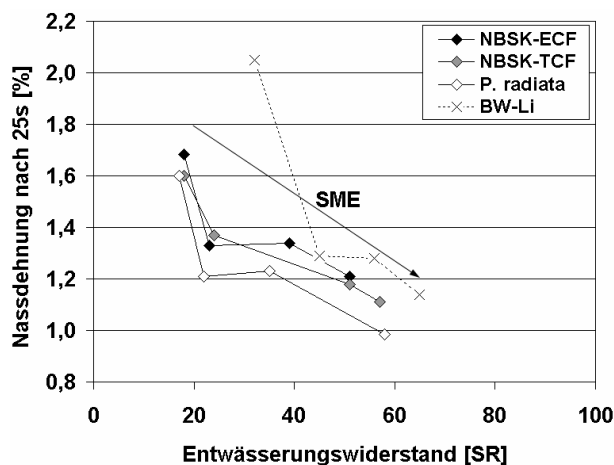


Abb. 6 Nassdehnung in Abhängigkeit des Entwässerungswiderstandes (Auswahl)

Abb. 7 Trockenschrumpfung in Abhängigkeit des Entwässerungswiderstandes (Auswahl)

Mit steigendem Entwässerungswiderstand nimmt die Nassdehnung der Papiere aus Nadelholzzellstoffen deutlich ab, die Nassdehnung der Papiere aus Laubholzzellstoffen zeigt hingegen keine Abhängigkeit von dem Entwässerungswiderstand. Die Mahlung führt also lediglich bei den Papieren aus Nadelholzzellstoffen zu einer Nassdehnungsverringering.

Die Mahlung führt zu einem generellen Anstieg der Trockenschumpfung.

Bezüglich seiner geringen Nassdehnung bietet der DIP eine Alternative zu den untersuchten Laub- und Nadelholz Zellstoffen. Die, aufgrund wiederholt durchlaufener Trocknungs- und Befeuchtungszyklen während des Recyclings verhornte Faserzellwand hat an Quellfähigkeit verloren [13, 14] und ermöglicht so eine geringe Nassdehnung. Der eingesetzte CTMP beziehungsweise der Baumwoll-Linters bieten hingegen keine Vorteile im Hinblick auf das Dimensionsverhalten.

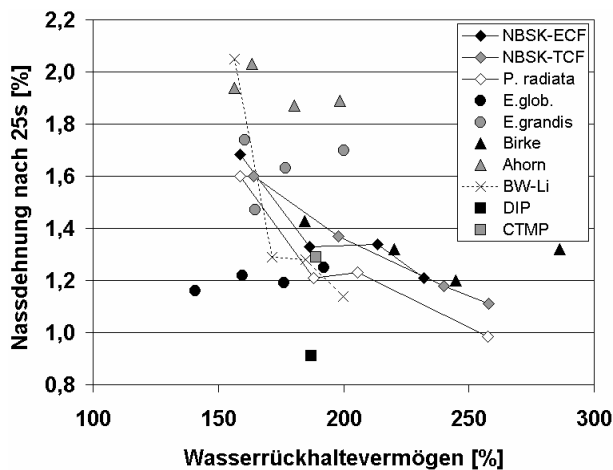


Abb. 8 Nassdehnung in Abhängigkeit des Wasserrückhaltevermögens

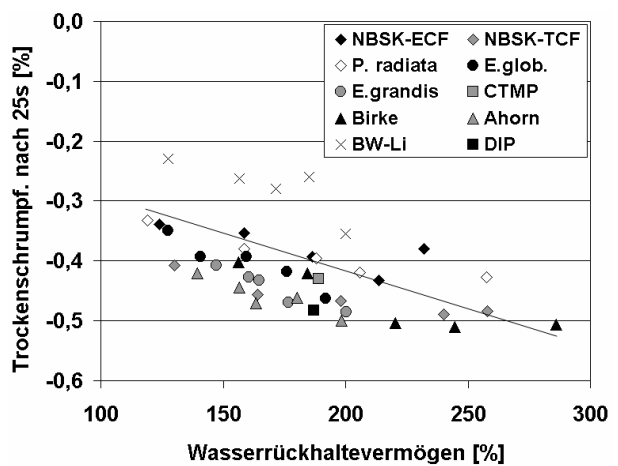


Abb. 9 Trockenschumpfung in Abhängigkeit des Wasserrückhaltevermögens

Das Wasserrückhaltevermögen steht ebenfalls im Zusammenhang mit der Dimensionsstabilität, da es wie der Entwässerungswiderstand linear mit der spezifischen Mahlergie steigt. Die Nassdehnung der Papiere aus Nadelholz Zellstoffen und dem Linters Zellstoff sinkt mit steigendem Wasserrückhaltevermögen. Die Papiere aus Laubholz Zellstoffen zeigen hingegen keine Korrelation zwischen Nassdehnung und Wasserrückhaltevermögen.

Die Trockenschumpfung aller Papiere steigt mit dem Wasserrückhaltevermögen an.

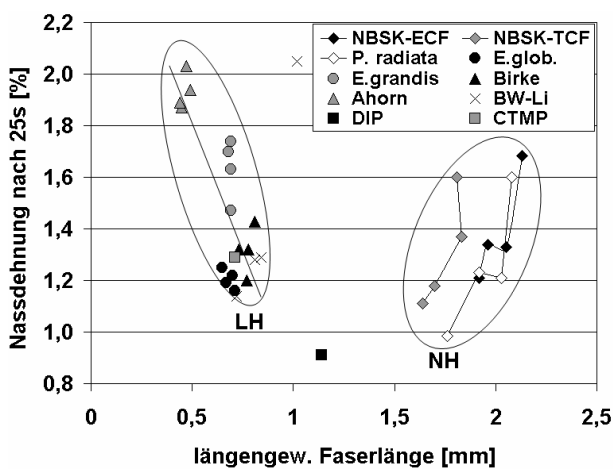


Abb. 10 Nassdehnung in Abhängigkeit der Faserlänge

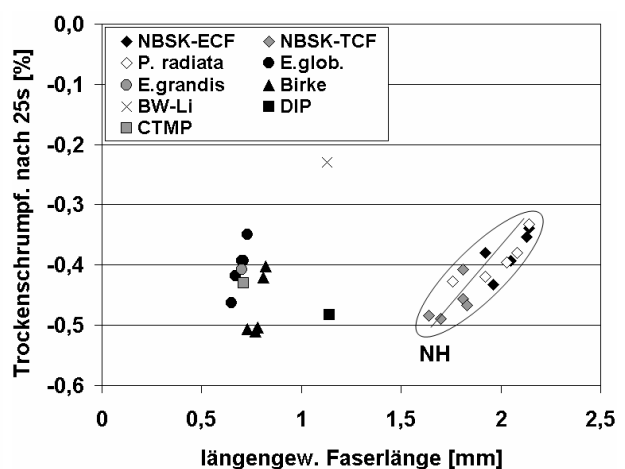


Abb. 11 Trockenschumpfung in Abhängigkeit der Faserlänge

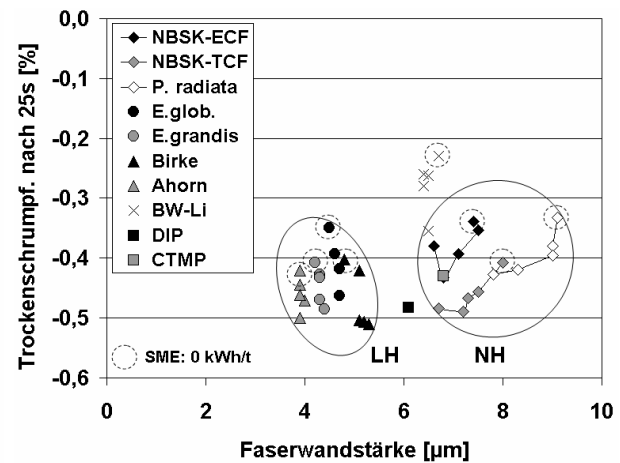
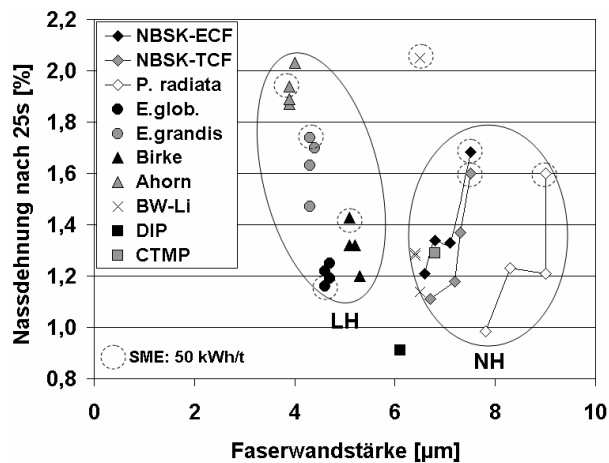


Abb. 12 Nassdehnung in Abhängigkeit der Faserwandstärke **Abb. 13** Trockenschrumpfung in Abhängigkeit der Faserwandstärke

Bei der Betrachtung von Faserlänge, Faserdurchmesser und Faserwandstärke muss zwischen den faserstoffspezifischen Werten dieser Größen im ungemahlten (beziehungsweise wenig gemahlten Zustand; markierte Datenpunkte in den Diagrammen) und ihrer Änderung mit der Mahlung differenziert werden.

Für den ungemahlten (beziehungsweise wenig gemahlten) Zustand wird weder eine Abhängigkeit der Nassdehnung noch der Trockenschrumpfung von der Faserlänge, dem Faserdurchmesser oder der Faserwandstärke beobachtet.

Die Mahlung führt bei allen Nadelholz Zellstoffen zu einer Verringerung von Faserlänge, -durchmesser und -wandstärke, einhergehend mit einer Verringerung der Nassdehnung und einer Erhöhung der Trockenschrumpfung. Die Faserdimensionen der Laubholz Zellstoffe ändern sich durch die Mahlung nur geringfügig, ein Einfluss auf die Dimensionsstabilität ist nicht ersichtlich.

Da die Eukalyptuszellstoffe nahezu identische Faserlängen und Faserwandstärken aufweisen, kann ihre unterschiedliche Dimensionsstabilität nicht auf ihre Fasermorphologie zurückgeführt werden.

5.1.3 Gegenüberstellung von Dimensionsstabilität und Papiereigenschaften

Die Papiereigenschaften (Rohdichte, Tensile-Index, Weißgrad) dürfen neben der Frage nach der Dimensionsstabilität nicht außer Acht gelassen werden.

Mit fortschreitender Mahlung nimmt die Rohdichte aller Papiere zu. Eine Verringerung der Nassdehnung mit steigender Rohdichte wird bei den Nadelholz Zellstoff-Papieren beobachtet. Der Wasserzutritt wird durch die geringere Porosität der dichteren Papierstruktur behindert und die Einzelfaserquellung dadurch erschwert beziehungsweise die Faser-Faser-Bindung verbessert. Eine analoge Verbesserung der Nassdehnung bei den Papieren aus Laubholz Zellstoffen wird bei ebenfalls steigender Rohdichte jedoch nicht festgestellt. Die steigende Rohdichte hat sowohl bei Papieren aus Nadelholz Zellstoffen, wie auch bei Papieren aus Laubholz Zellstoffen eine verstärkte Trockenschrumpfung zur Folge.

Eine Verbesserung des Tensile-Index durch die Mahlung geht bei den Nadelholz Zellstoff-Papieren und dem Linters Zellstoff-Papieren mit einer Verbesserung der Nassdehnung einher. Für die Laubholz Zellstoffe ist ebenfalls eine Steigerung der Tensile-Indizes zu verzeichnen, dies allerdings bei gleich bleibender Nassdehnung. Der steigende Tensile-Index geht bei allen Faserstoffen mit einer gesteigerten Trockenschrumpfung einher.

Ein hoher Weißgrad steht bei allen Zellstoffen einer geringen Nassdehnung entgegen. Der Ahornzellstoff führt beispielsweise zu sehr hohen Weißgraden, weist allerdings auch die höchste Nassdehnung auf. Offensichtlich führt eine verstärkte Bleiche zu stärkerer Faserschädigung und damit zu verschlechtertem Nassdehnverhalten. Werden Zellstoffe eingesetzt, welche zu einer geringeren Nassdehnung führen, so ist dies nur bei geringeren Weißgraden möglich. Demgegenüber weisen Zellstoffe welche zu einem hohen Weißgrad führen aber geringe Trockenschumpfung auf. Ein hoher Weißgrad und eine geringe Trockenschumpfung sind vereinbar. Die Mahlung senkt den Weißgrad und erhöht die Trockenschumpfung.

5.2 Einfluss des Kurzfaser/Langfaser-Zellstoff-Verhältnisses

Aus dem in **Tab. 1** dargestellten Eucalyptus-grandis- beziehungsweise Pinus-radiata-Zellstoff wurden kleintechnisch Versuchspapiere auf der Technikums-Papiermaschine der PTS erzeugt. In **Abb. 14** ist die Nassdehnung der Versuchspapiere in Abhängigkeit der unterschiedlichen Mischungsverhältnisse von Eucalyptus-grandis- und Pinus-radiata-Zellstoff dargestellt.

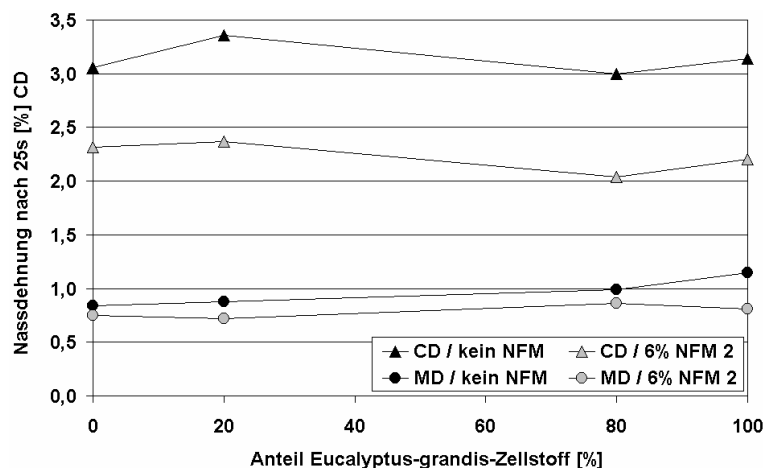


Abb. 14 Nassdehnung der Versuchspapiere in Abhängigkeit des Laubholz-/Nadelholzzellstoff-Verhältnisses

Die Nassdehnung der Versuchspapiere ist in Querrichtung (CD) stets größer als in Maschinenrichtung (MD). Sie weisen Nassdehnungswerte zwischen 2,0% und 3,4% in Querrichtung beziehungsweise zwischen 0,7% und 1,1% in Maschinenrichtung auf. Auf der Papiermaschine erfolgt die Ausrichtung der Faserlängsachse vorzugsweise in Maschinenrichtung. Da die Fasern hauptsächlich in ihrer Dickenrichtung quellen, führen diese Ausrichtung zu einer erhöhten Nassdehnung in Querrichtung und zu einer verminderten Nassdehnung in Längsrichtung (Maschinenrichtung).

Eine optimale Nassdehnung in Querrichtung wurde bei einer Mischung von 80% Eucalyptus-globulus- mit 20% Pinus-radiata-Zellstoff erreicht.

Werden dem reinen Eucalyptus-grandis-Zellstoff 20% Pinus-radiata-Zellstoff zugemischt, so führt dies zu einer Absenkung der Nassdehnung. Setzt man dem reinen Pinus-radiata-Zellstoff 20% Eucalyptus-grandis-Zellstoff zu, erhöht sich die Nassdehnung der Papiere. Dieses Verhalten zeigen sowohl Papiere ohne als auch mit Nassfestmittelzusatz.

In Maschinenrichtung ist dieser Effekt nicht zu beobachten, vielmehr kommt es zu einem leichten Anstieg der Nassdehnung mit steigendem Eucalyptus-grandis-Anteil.

5.3 Einfluss der Additivzugabe

In **Abb. 15** ist die Nassdehnung ausgewählter Versuchspapiere in Abhängigkeit der Nassfestmittelkonzentration dargestellt.

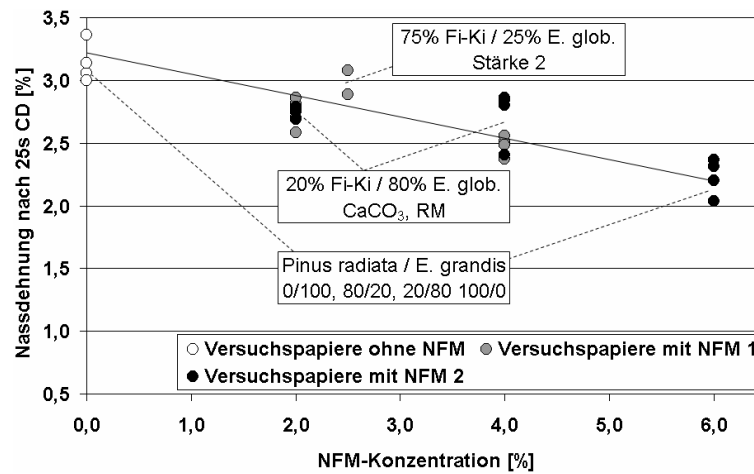


Abb. 15 Nassdehnung ausgewählter Versuchspapiere in Abhängigkeit der Nassfestmittelkonzentration (mit Trendlinie)

Die in **Abb. 15** dargestellten Papiere unterscheiden sich grundlegend hinsichtlich

- des eingesetzten Laubholz-/Nadelholzzellstoff-Verhältnisses,
- des Einsatzes von Füllstoffen und
- des Einsatzes von Stärke und Retentionsmitteln.

Trotzdem ist eine lineare Abnahme der Nassdehnung mit sinkender Nassfestmittelkonzentration zu erkennen. Der Einsatz von Füllstoff (CaCO_3) führt zu keiner sichtbaren Veränderung der Nassdehnung. Der Füllstoff ist zwar nicht quellfähig und sollte demnach eine geringe Nassdehnung und damit eine gute Dimensionsstabilität mit sich bringen, er besitzt jedoch keine Bindungsfähigkeit an die Zellstofffasern. So kann die Netzwerkstruktur des Papiers, trotz des in die Netzwerkzwischenräume eingelagerten Füllstoffes, ihre Dimensionen unbeeinträchtigt von diesem verändern.

Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Nassfestmittelkonzentration und der Trockenschrumpfung.

Die Papiere, welche Calciumcarbonat als Füllstoff enthalten zeigen eine um etwa 0,1 Prozentpunkte geringere Trockenschrumpfung als füllstofflose Papiere. Da der Füllstoff keine Quellfähigkeit besitzt, erfährt er während des Wasserverlustes keine nennenswerte Schrumpfung. Diese Beständigkeit behindert das Fasernetzwerk in seiner Schrumpfung während der Trocknung.

In **Abb. 16** ist der Einfluss zweier Retentionsmittel sowie die Wirkung einer kationischen Stärke und eines Leimungsmittels auf die Nassdehnung dargestellt.

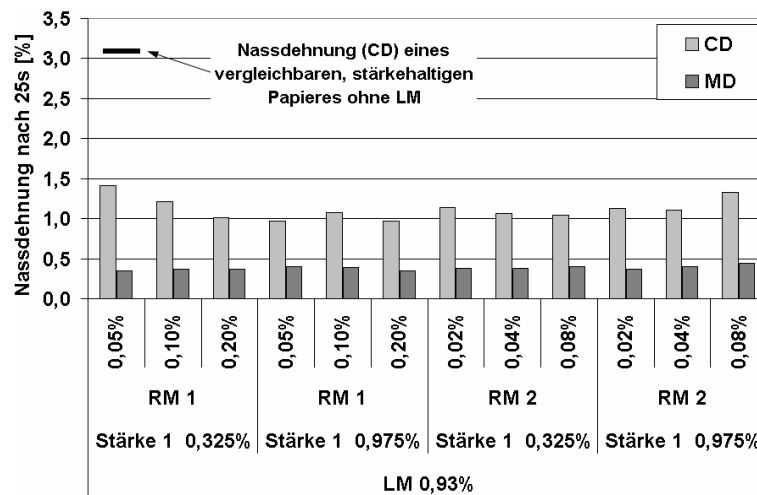


Abb. 16 Nassdehnung der Versuchspapiere in Abhängigkeit von Retentionsmitteltyp und –konzentration bzw. der Stärke- und Leimungsmittelkonzentration

Durch den Zusatz des Leimungsmittels wird die Nassdehnung deutlich gesenkt, sie erreicht einen Maximalwert von 1,4%. Anders als Nassfestmittel bewirkt das Leimungsmittel keine Fixierung der Fasernetzwerkstruktur, sondern es umhüllt die Fasern und behindert so die Einzelfaserquellung.

Die Nassdehnungsverringerung ist nicht auf den Einfluss der Stärke zurückzuführen, da diese selbst quellfähig ist. Zum einen bewirkt die Steigerung der Stärkekonzentration von 0,325% auf 0,975% keine Veränderung der Nassdehnung, zum anderen wurde ein vergleichbares, stärkehaltiges Papiere erzeugt, welches eine hohe Nassdehnung aufweist.

Der Einfluss der Retentionsmittel auf diese Papiere ist gering. Weder bewirkt eine Änderung der Retentionsmitteltyps noch deren Konzentration eine signifikante Änderung der Nassdehnung. Die in **Abb. 16** beobachteten Effekte werden eher durch die veränderte Faser- und Feinstoffretention bewirkt.

Für die Trockenschrumpfung wird weder eine Abhängigkeit von Retentions-, Nassfest- und Leimungsmittelkonzentration noch von der Stärkezugabe festgestellt.

5.4 Einfluss der Zugabe von Polyesterfasern

In **Abb. 17** ist die Nassdehnung kleintechnisch erzeugter Versuchspapiere in Abhängigkeit der Konzentration zweier Polyesterfasertypen dargestellt. Beide Polyesterfasertypen weisen identische mittlere Faserlängen (6 mm) und Faserfeinheiten (1,7 dtex = 0,17 g/km) auf. Zusätzlich ist der Einfluss zweier verschiedener Schnittwinkel (SW) der Mahlgarnitur erkennbar.

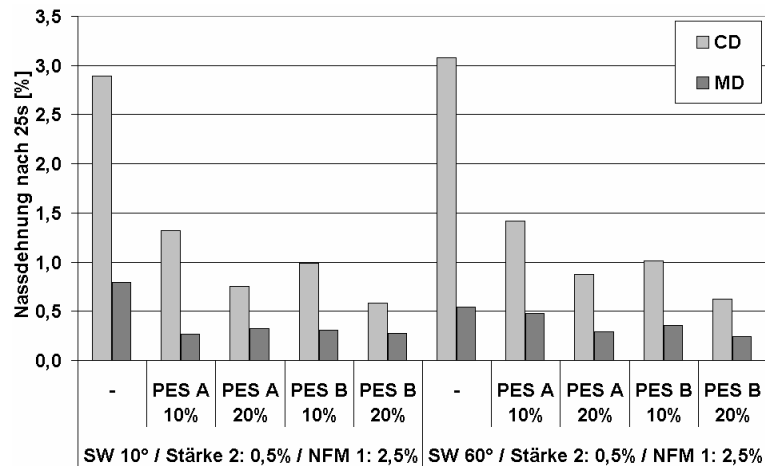


Abb. 17 Nassdehnung der Versuchspapiere in Abhängigkeit der Polyesterfasernzugabe

Der Zusatz von 10% Polyesterfasern verringert die Nassdehnung in Querrichtung unabhängig vom Polyesterfasertyp von etwa 3% (Papiere ohne Polyesterfasern) auf unter 1,5%. Wird der Polyesterfaserzusatz auf 20% gesteigert sinkt die Nassdehnung auf unter 1%. In Maschinenrichtung ist die Nassdehnungsverringerung weniger stark ausgeprägt. Polyesterfasern sind nichtquellfähig und verändern ihre Dimensionen bei Wasserzutritt nicht. Ihre Fähigkeit Wasserstoffbrückenbindungen zu bilden ist jedoch gering, sodass sie nur schwach gebunden im Faserverbund vorliegen und die Nassdehnung auch nur wenig beeinflussen sollten. Das Nassfestmittel bewirkt eine Bindung der Polyester- und Zellstofffasern an deren Kreuzungspunkten, fixiert damit das Fasernetzwerk und ermöglicht so eine Verbesserung des Nassdehnungsverhaltens.

Die Polyesterfaser B (PES B) bewirkt bei den jeweiligen Versuchspapieren, sowohl bei einem Zusatzmenge von 10% als auch von 20%, eine stärkere Verringerung der Nassdehnung als die Polyesterfaser A (PES A). Der Unterschied zwischen den Polyesterfasern kann nicht weiter spezifiziert werden.

Auch die Trockenschrumpfung nimmt mit steigender Zugabemenge der Polyesterfasern deutlich ab. Unterschiede zwischen den Polyesterfasertypen sind im Gegensatz zur Nassdehnung aber nicht ersichtlich.

5.5 Einfluss der Zugabe von CTMP und DIP

In **Abb. 18** und **Abb. 19** sind die Nassdehnung und die Trockenschrumpfung von kleintechnisch erzeugten Versuchspapieren in Abhängigkeit unterschiedlicher Mischungen von DIP, CTMP und Zellstoff dargestellt.

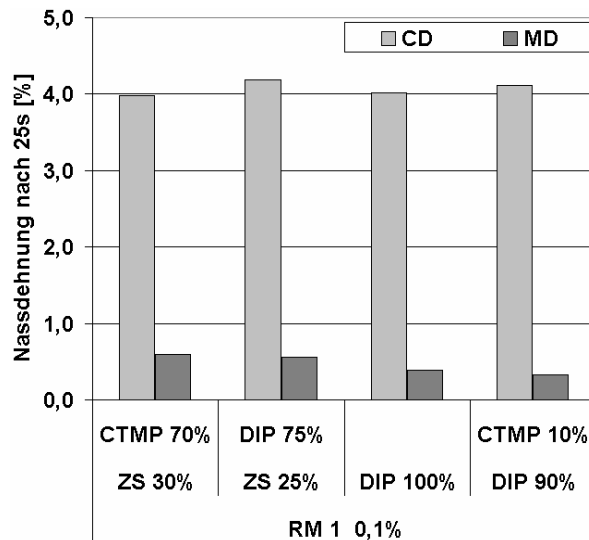


Abb. 18 Nassdehnung der Versuchspapiere in Abhängigkeit der DIP- bzw. CTMP-Zugabe

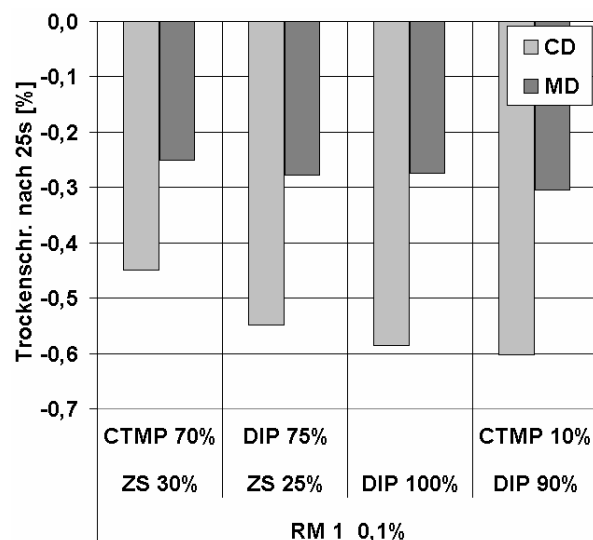


Abb. 19 Trockenschrumpfung der Versuchspapiere in Abhängigkeit der DIP- bzw. CTMP-Zugabe

Die Nassdehnungswerte der vier ausgewählten Mischungen unterscheiden sich in Querrichtung nur geringfügig. Hinsichtlich der Nassdehnung ist es bei diesen Papieren also gleich, ob überwiegend DIP oder überwiegend CTMP eingesetzt wird, auch die Armierung mit Zellstoff bringt keine Nassdehnungsverringerung. Wird statt dem reinen DIP-Stoff (100% DIP) eine Mischung von DIP und 25% Zellstoff beziehungsweise 10% CTMP eingesetzt, so erhöht sich die Nassdehnung. Dies spricht für einen nassdehnungsverringenden Effekt des DIP-Stoffes. Diese Aussage deckt sich mit den anhand der Laborpapiere gewonnenen Erkenntnissen.

Das eingesetzte Retentionsmittel beeinflusst die Nassdehnung, wie anhand **Abb. 16** festgestellt nicht. Die Papiere weisen aufgrund ihrer geringen flächenbezogenen Masse (55 g/m²) eine höhere Nassdehnung als vergleichbare Papiere aus Zellstoff (vgl. **Abb. 14**, Papiere ohne Nassfestmittel) auf.

Die Trockenschrumpfung der Papiere unterscheidet sich deutlich. Die geringste Trockenschrumpfung wird mit einer Mischung aus 70% CTMP und 30% Zellstoff erreicht. Wird statt des CTMP der DIP-Stoff verwendet (75% DIP / 25% ZS) steigt die Trockenschrumpfung an, ein weiterer Anstieg ist beim Einsatz von 100% DIP zu beobachten. Der DIP-Stoff führt zu einer Vergrößerung der Trockenschrumpfung, die Papiere aus 90% DIP und 10% CTMP weisen die höchste Trockenschrumpfung auf.

5.6 Eigenschaftskatalog und Modell

Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Dimensionsstabilität und die daraus abgeleiteten Tendenzen sind im Eigenschaftskatalog (**Tab. 2**) zusammengefasst. Aus diesem Katalog ist ersichtlich, wie sich ein höherer Wert beziehungsweise eine Erhöhung des Wertes einer Einflussgröße auf die Dimensionsstabilität auswirkt. Die Wirkung der Einflussgröße kann damit qualitativ, aber noch nicht quantitativ beurteilt werden.

Tab. 2 Zusammenstellung der Wirkung der Einflussgrößen auf die Dimensionsstabilität (Eigenschaftskatalog)

Ein steigender Wert der Einflussgröße...	hat folgende Auswirkung auf... (– = kein Effekt beobachtet)	
	Nassdehnung	Trockenschrumpfung
Faserzusammensetzung		
Alkalilöslichkeit S_5	–	steigt
Gesamtladung	–	steigt
Grenzviskositätszahl	sinkt	sinkt
Kappa-Zahl	–	–
Fasermorphologie		
Feinstoffgehalt ²	steigt	sinkt
Faserlänge ²	–	–
Faserdurchmesser ²	–	–
Faserwandstärke ²	–	–
Mahlung		
Entwässerungswiderstand	NH: sinkt / LH: –	NH: steigt / LH: –
Wasserrückhaltevermögen	NH: sinkt / LH: –	steigt
Oberflächenladung	–	steigt
Schnittwinkel Mahlgarnitur	steigt	steigt
Feinstoffgehalt ³	–	–
Faserlänge ³	NH: sinkt / LH: –	NH: steigt / LH: –
Faserdurchmesser ³	NH: sinkt / LH: –	NH: steigt / LH: –
Faserwandstärke ³	NH: sinkt / LH: –	NH: steigt / LH: –
Papiererzeugungsbeding.		
NH/LH-Zellstoff-Verhältnis	–	–
Füllstoffzugabe	–	sinkt
Konzentration RM	–	–
Konzentration NFM	sinkt	–
Konzentration LM	sinkt	–
Konzentration Stärke	–	–
Zugabemenge PES-Fasern	sinkt	sinkt
Papiereigenschaften		
Rohdichte	NH: sinkt / LH: –	steigt

Trotz faserchemischer und fasermorphologischer Unterschiede zwischen Laub- und Nadelhölzern sind gleiche Tendenzen bei beiden Faserstoffarten erkennbar, wenn auch nicht im-

² Abhängigkeit der Dimensionsstab. von den typischen Faserdimensionen der jeweiligen Faserstoffart (im ungemahlene Zustand)

³ Abhängigkeit der Dimensionsstab. von den, sich mit der Mahlung ändernden Faserdimensionen

mer die gleichen Einflussgrößen relevant für die Dimensionsstabilität sind. Einige Kenngrößen besitzen keinen relevanten Einfluss, sie können bereits zu Beginn der Modellbildung ausgeschlossen werden.

5.6.1 Modellbildung

Es wurden Algorithmen entwickelt, welche eine Prognose

- der Nassdehnung und
- der Trockenschumpfung

ermöglichen. Die wichtigsten Einflussgrößen wurden mit Hilfe des Eigenschaftskataloges ausgewählt, im Prozess der Modellierung wurden daraus die Haupteinflussgrößen selektiert. Dem gewählten Modell wurde ein multipler linearer Gleichungsansatz der Form

$$y = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \dots + m_n \cdot x_n + b \quad (1)$$

zu Grunde gelegt.

y	Zielgröße (Nassdehnung, Trockenschumpfung)
x_n	Einflussgröße (z.B. Faserlänge oder NFM-Konzentration)
m_n	Wichtungsfaktor der jeweiligen Einflussgröße x_n
b	Konstante
n	Laufindex

Für die zu modellierenden Zielgrößen wurden die in **Tab. 3** angegebenen Einflussgrößen ausgewählt.

Tab. 3 Ausgewählte Einflussgrößen und modellierte Zielgrößen

Modellierung des Einflusses der...	Zielgrößen y	ausgewählte Einflussgrößen x_n
Faserstoffkenngrößen (Laborpapiere)	<ul style="list-style-type: none"> • Nassdehnung • Trockenschumpfung 	<ul style="list-style-type: none"> • längengew., projizierte Faserlänge • Faserdurchmesser • Faserwandstärke • Entwässerungswiderstand • Wasserrückhaltevermögen • Grenzviskositätszahl
Papiererzeugungsbedingungen (kleintechnisch erzeugte Versuchspapiere)	<ul style="list-style-type: none"> • Nassdehnung CD • Nassdehnung MD • Trockenschumpfung CD • Trockenschumpfung MD 	<ul style="list-style-type: none"> • Langfaserzellstoffanteil • Nassfestmittelkonzentration • Leimungsmittelkonzentration • Füllstoffkonzentration (CaCO_3) • flächenbezogene Masse
Polyesterfaserzugabe (kleintechnisch erzeugte Versuchspapiere)	<ul style="list-style-type: none"> • Nassdehnung CD • Nassdehnung MD • Trockenschumpfung CD • Trockenschumpfung MD 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwässerungswiderstand • Anteil Polyesterfaser A • Anteil Polyesterfaser B

5.6.2 Modell des Einflusses der Faserstoffkenngrößen

Aufgrund der deutlichen strukturellen und chemischen Unterschiede zwischen Laub- und Nadelholz Zellstoffen konnte keine hinreichend gute Modellgleichung gefunden werden, welche beide Zellstoffarten vereint. Es existiert je eine Modellgleichung für Laub- und Nadelholz Zellstoffe.

In **Abb. 20** und **Abb. 21** sind die an den Papieren gemessenen Werte den mit Hilfe des Modells prognostizierten Werten gegenüber gestellt.

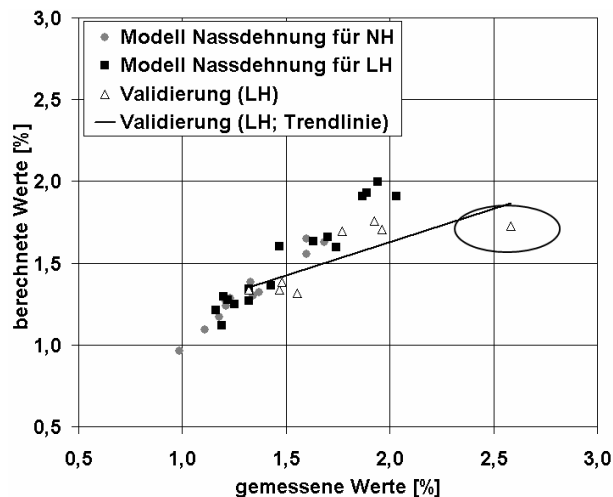


Abb. 20 Gegenüberstellung gemessener und prognostizierter Nassdehnung (Einfluss Faserstoffkenngrößen)

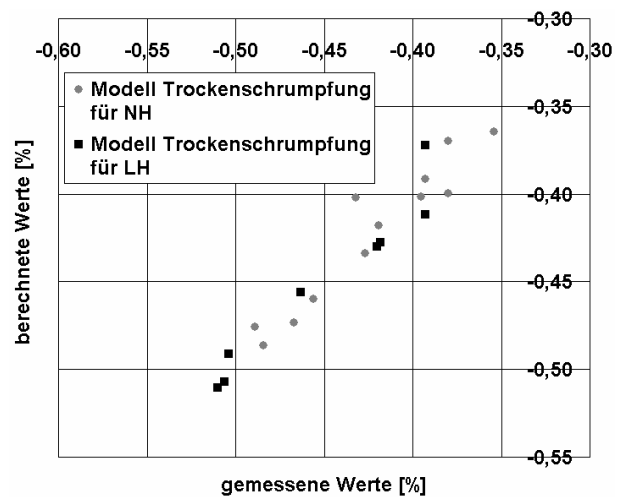


Abb. 21 Gegenüberstellung gemessener und prognostizierter Trockenschrumpfung (Einfluss Faserstoffkenngrößen)

Die Abbildungen zeigen sowohl die Werte der in die Modellbildung (Regressionsanalyse) einbezogenen Papiere, als auch Werte nicht einbezogener Papiere (modellexterne Validierung). Je genauer diese Vorhersage- und Messwert übereinstimmen, desto besser ist das Modell für die Vorhersage geeignet.

Wie es die hohen Korrelationskoeffizienten (**Tab. 4**) erwarten lassen, stimmen berechnete und gemessene Werte für alle Papiere, welche in die Modellbildung einbezogen wurden gut überein. Die modellexterne Validierung zeigt innerhalb der Modellgrenzen gute Übereinstimmung. Die Vorhersagetauglich in der Nähe der Gültigkeitsgrenze des Modells (Nassdehnungswerte um 2%) nimmt bereits merklich ab, gemessene Nassdehnung größer 2% konnten nur mit großem Fehler vorhergesagt werden. Die Einbeziehung von Papieren, mit denen sich ein größeres Nassdehnungsspektrum abdecken lässt führt zur Verbesserung der Vorhersagetauglichkeit.

Tab. 4 Korrelationskoeffizienten der Modellgleichungen (Einfluss Faserstoffkenngrößen)

	ND (NH)	ND (LH)	TS (NH)	TS (LH)
r^2	0,956	0,938	0,916	0,935

Die Korrelationskoeffizienten liegen deutlich über 0,90. Die Modelle sind demnach geeignet die Nassdehnung, Trockenschrumpfung und den Tensile-Index zu prognostizieren. Die hohen Korrelationskoeffizienten lassen zudem den Schluss zu, dass mit dieser Wahl dieser Einflussgrößen der größte Teil der realen Einflussfaktoren erfasst wird.

5.6.3 Modell des Einflusses der Papiererzeugungsbedingungen

Die im vorigen Abschnitt betrachteten Faserstoffkenngrößen werden in diesem Modell in der Einflussgröße „Anteil LF-Zellstoff“ (LF – Langfaser) zusammengefasst. Die Konzentration des Nassfest- und des Leimungsmittels sind aufgrund ihres starken Einflusses auf die Nassdehnung, der Füllstoffanteil aufgrund seines Einflusses auf die Trockenschumpfung einbezogen. Die gleichzeitige Betrachtung der Wirkung des Nassfestmittels und des Leimungsmittels in einem Modell vereint zwei grundsätzlich unterschiedliche Einflüsse auf die Nassdehnung. Das Nassfestmittel senkt die Nassdehnung durch die Fixierung des Fasernetzwerkes, verhindert aber die Faserquellung nicht. Das Leimungsmittel schränkt bereits die Faserquellung ein. Da sich die betrachteten Papiere stark in ihren flächenbezogenen Massen unterscheiden ist diese Größe ebenfalls berücksichtigt.

Die Korrelationskoeffizienten dieser Modelle (**Tab. 5**) sind für die Nassdehnung gut. Die Trockenschumpfung hingegen konnte nur unzureichend prognostiziert werden.

Tab. 5 Korrelationskoeffizienten der Modellgleichungen (Einfluss Papiererzeugungsbedingungen)

	ND (CD)	ND (MD)	TS (CD)	TS (MD)
r^2	0,977	0,915	0,712	0,584

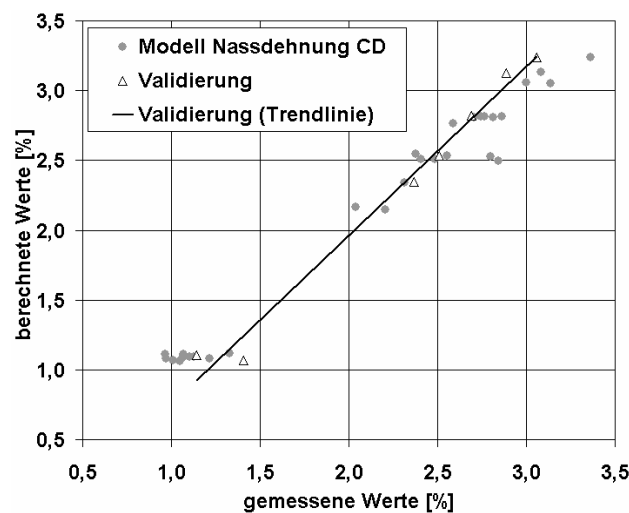


Abb. 22 Gegenüberstellung gemessener und prognostizierter Nassdehnung CD (Einfluss Papiererzeugungsbedingungen)

Die Validierung zeigt für die Modelle der Nassdehnung und des Tensile-Index eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und prognostizierten Werten. Die ungenügende Vorhersagbarkeit der Trockenschumpfung basiert auf einer zu geringen Anzahl betrachteter Einflussgrößen. Eine bessere Vorhersagetauglichkeit des Trockenschumpfungmodells wurde durch Berücksichtigung der Rohdichte erzielt. Dies bedeutet die Einflussgröße „Rohdichte“ beinhaltet weitere Informationen über relevante Faserstoff- oder Struktureigenschaften, welche noch nicht in den gewählten Einflussparametern enthalten sind und stark durch PM-Parameter festgelegt werden. Zu diesem Zweck sollten auch die einzelnen Faserstoffkenngrößen und nicht nur summarisch der Anteil des Langfaserzellstoffes berücksichtigt werden. Eine Einbeziehung der Rohdichte erscheint nicht zweckmäßig, da sie erst anhand des fertigen Papiers bestimmt werden kann, was den Sinn eines Prognosewerkzeuges in Frage stellt.

5.6.4 Modell des Einflusses des Polyesterfaseranteiles

Die Wirkung der zugegebenen Polyesterfasern auf die Nassdehnung konnte ebenfalls simuliert werden. Die Anzahl der Einflussgrößen ist bei diesem Modell deutlich geringer als bei den vorhergehenden. Zum einen resultiert dies aus der geringeren Anzahl verfügbarer Papiere, zum anderen ist mit Berücksichtigung der Polyesterfasernkonzentration die dominante Einflussgröße einbezogen. Der verwendete Faserstoff wurde mit Garnituren zwei verschiedener Schnittwinkel gemahlen, es ist daher zusätzlich der Entwässerungswiderstand als summarische Einflussgröße berücksichtigt.

Tab. 6 Korrelationskoeffizienten der Modellgleichungen (Einfluss Polyesterfasern)

	ND (CD)	ND (MD)	TS (CD)	TS (MD)
r^2	0,869	0,782	0,832	0,814

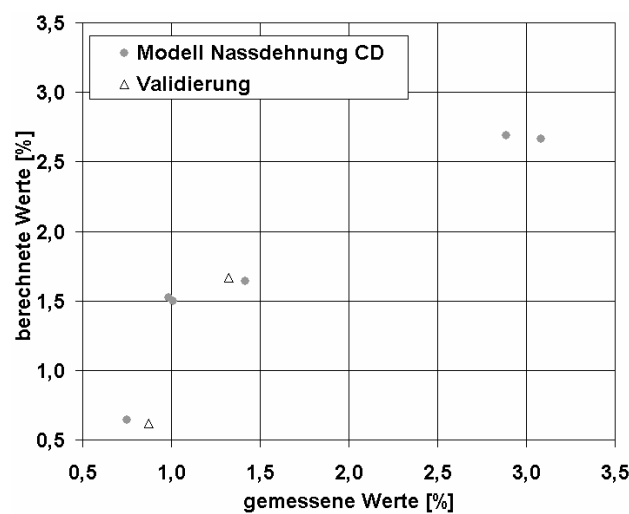


Abb. 23 Gegenüberstellung gemessener und prognostizierter Nassdehnung CD (Polyesterfasereinfluss)

6 Schlussfolgerungen

Das Ergebnis der Untersuchungen hat bestätigt, dass die Dimensionsstabilität von Papier von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. So konnte anhand von Laborpapieren ein deutlicher Einfluss der Faserlänge, der Faserwandstärke und des Faserdurchmessers auf die Nassdehnung und die Trockenschrumpfung erkannt werden. Auch der Entwässerungswiderstand und das Wasserrückhaltevermögen haben entscheidenden Einfluss. Die Mahlung trägt also in hohem Maße zur Dimensionsverhalten bei, eine Mahlung ist für eine gute Dimensionsstabilität unverzichtbar. Durch die Wahl geeigneter Mahlbedingungen ist eine Verbesserung der Dimensionsstabilität bei gleichzeitiger Steigerung der Festigkeit erreichbar, jedoch wird dabei auch das Entwässerungsverhalten nachteilig beeinflusst.

Unterschiede sind bestehen vor allem zwischen Laub- und Nadelholz Zellstoffen, aber auch zwischen verschiedenen Faserstoffspezies wurden Unterschiede festgestellt. So hat beispielsweise der verwendete, südeuropäische Eucalyptus-globulus-Zellstoff Papiere geringere Nassdehnung als der südamerikanische Eucalyptus-grandis-Zellstoff zur Folge. Aus faserchemischer Sicht ist vor allem die Grenzviskositätszahl relevant, das heißt dass bereits der Aufschluss des Zellstoffes seine Nassdehnung beeinflusst.

Die Alkalilöslichkeit S_5 , die Gesamt- und die Oberflächenladung und der Feinstoffgehalt üben einen untergeordneten Einfluss auf das Dimensionsverhalten aus. Wahrscheinlich spielen hier überlagerte Effekte von Quellung und Faser-Faser-Bindung eine Rolle. Je hydrophiler

die Faser beziehungsweise je mehr Faseroberfläche für Wasser zugänglich ist, desto stärker quillt die Faser, gleichzeitig werden die Faser-Faser-Bindungen begünstigt, was der Dimensionsänderung entgegensteht.

Das Dimensionsverhalten der kleintechnisch erzeugten Papiere wird von Nassfest- beziehungsweise Leimungsmitteln bestimmt. Durch den verwendeten Faserstoff ist ein gewisses Dimensionsverhalten vorgegeben, der Einfluss dieser Additive aber dominiert. Die hier wirkenden PM-Einflüsse sind nur summarisch im Dimensionsverhalten erfasst. Die Zugabe von Polyesterfaser erlaubt ebenfalls eine starke Herabsetzung der Dimensionsänderungen. Die Verbesserung der Dimensionsstabilität durch Zugabe von DIP beziehungsweise CTMP war nur marginal. Füllstoffe sowie auch Retentionsmittel und Stärke haben ebenfalls keinen nennenswerten Einfluss auf die Dimensionsstabilität.

Die Ergebnisse der Untersuchungen erlaubten die Aufstellung eines Eigenschaftskataloges, mit dessen Hilfe sich die Einflüsse

- der morphologischen und chemischen Zusammensetzung der Faser,
- der Zugabe von Additiven sowie
- der Zugabe von Polyesterfasern, Recyclingfaserstoff und Holzstoff

auf das Dimensionsverhalten von Papier einschätzen lassen. Auf Grundlage dieses Eigenschaftskataloges wurde ein Prognosewerkzeug erstellt, mit dessen Hilfe Einfluss relevanter Faserstoffkenngrößen sowie von Additiven auf das Dimensionsverhalten quantifizierbar ist. Darüber hinaus gestattet es den Abgleich des Dimensionsverhaltens zu den geforderten Festigkeitseigenschaften. Dies ermöglicht eine schnelle und zielgerichtete Beurteilung der Eignung von Faserstoffen und Additiven für ein gewünschtes Papier. Die Kostenoptimierung hinsichtlich der eingesetzten Faserstoffe und Additive wird damit erheblich schneller realisiert, da nun eine gezielte Eingrenzung der in Frage kommenden Rohstoffe möglich ist. Dies gestattet sehr flexible Reaktionen auf sich verändernde Rohstoffgrundlagen und –preise sowie Kundenwünsche und stärkt damit vor allem Nischenprodukte kleiner und mittlerer Unternehmen.

Ansprechpartner

Dr. Klaus Erhard
Tel. (03529) 551-627
k.erhard@ptspaper.de

Dipl.-Ing. (FH) Manuela Fiedler
Tel. (03529) 551-620
m.fiedler@ptspaper.de

Dipl.-Ing. (FH) Jens Kretzschmar
Tel. (03529) 551-632
j.kretzschmar@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Heißstraße 134
80797 München
Tel. (089) 121 46-0
Fax (089) 121 46-36
e-Mail: info@ptspaper.de
Internet: www.ptspaper.de

7 Literatur

- 1 BRECHT, W. und HILDENBRAND, W.
Über die Flächenbeständigkeit der Papiere
Das Papier 14, 610 – 624 (1960), Nr. 10A
- 2 BRECHT W.
Über das Dimensionsverhalten von Papier
Cellulose, Chemie und Technologie - , 657 – 674 (1969), Nr. 3
- 3 de PUISEAU M. u. W. SCHEMPP
Der Einfluss von Faserstoff und Hilfsmitteln auf die Blattbildung
Wochenblatt für Papierfabrikation 122, 78 – 82 (1994), Nr. 3
- 4 SCHIMLECK L.R., WRIGHT P.J., MICHELL A.J. und A.F.A. WALLIS
Near-infrared spectra and chemical composition of E. globulus and E. nitens plantation woods
Appita Journal 50, 40 - 46 (1997), Nr. 1
- 5 OKSANEN T., BUCHERT J. u. L. VIIKARI
The role of hemicelluloses in the hornification of bleached kraft pulps
Holzforschung 51, 355 – 360 (1997), Nr. 4
- 6 FORSTRÖM, J.; TORGNYS DOTTER, A.; WÅGBERG, L.
Influence of fibre/fibre joint strength and fibre flexibility on the strength of papers from unbleached kraft fibres
Nordic Pulp and Paper Research Journal 20(2): 186-191 (2005)
- 7 FORSTRÖM, J.; TORGNYS DOTTER, A.; WÅGBERG, L.
Influence of fibre/fibre joint strength and fibre flexibility on the strength of papers from unbleached kraft fibres
Nordic Pulp and Paper Research Journal 20(2): 186-191 (2005)
- 8 SCALLAN A. M. u. A. C. TIGERSTRÖM
Swelling and elasticity of cell walls of pulp fibres
Journal of Pulp and Paper Science 18, J188 - J193 (1992), Nr.5
- 9 RUTLAND, D. F.
Dimensional stability and curl
Pulp and Paper Manufacture, 3rd Edition, Vol.9 Chapter V; Ed. M. Kouris TAPPI / CPPA
Atlanta und Montreal, 1992
- 10 SALMEN L., BOMAN R., FELLERS C. u. M. HTUN
The implications of fiber and sheet structure for the hygroexpansivity of paper
Nordic Pulp and Paper Research J. 2, Nr. 4 (127 – 131) 1987
- 11 ALBER W., ERHARD K., FROHBERG K. u. T. GÖTZE
Die Veränderung der chemischen Reaktivität und des Quellverhaltens von Faserstoffen durch Mahlung und Trocknung
Das Papier 53, 366 – 375 (1999), Nr. 6
- 12 SCHALL N., RIEBELING U., ISERMANN R. u. D. HUGHES
Mehrfarbenoffset – eine Herausforderung für den Zeitungsdruck
Wochenblatt für Papierfabrikation 129, 758 – 766 (2001), Nr.11/12
- 13 WEISE U., HILTUNEN E. u. H. PAULAPURO
Verhornung von Zellstoff und Maßnahmen zu ihrer Reversion
Das Papier 52, V14 – V19 (1998), Nr. 10A

- 14 GRUBER E., WEIGERT J. u. C. SCHNEIDER
Möglichkeiten der Beurteilung des Verhornungszustandes von Faserstoffen
5. PTS-Symposium Papierfaserstofftechnik, Dresden 1999, 5-1 – 5-16