

Titel

Sicherung der Produkteigenschaften von Verpackungspapieren und Karton bei sich verändernden globalen Rahmenbedingungen

S. Altmann, G. Meinel, A. Strunz

Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Abstract	3
3	Einleitung.....	4
4	Material und Methoden	5
5	Ermittlung festigkeitsrelevanter Zustandsgrößen von heterogenen Sekundärfaserstoffen für die Erzeugung von Wellpappenrohpapieren und Kartonen...	6
6	Bewertung der Sensitivität wirtschaftlich bedeutender Altpapiersorten gegenüber Mehrfachrecycling	8
7	Modelle zur Berechnung der Eigenschaften von Altpapiersorten heute und morgen....	9
8	Modellentwicklung: Asche-Festigkeit	11
9	Modellentwicklung: Zugfestigkeit, Spaltfestigkeit und SCT mehrlagiger Papiere, Biegesteifigkeit (Sekundärfaserstoffe).....	12
10	Erweiterung des Prognose- und Optimierungswerkzeugs durch Implementierung des Altpapier-Modells, der modifizierten Modellbibliothek und einer CO2-Kostenrechnung	13
11	Szenarienrechnungen anhand des Prognose- und Optimierungswerkzeugs für 2 Papierfabriken	15
11.1	Hersteller Maschinenkarton	15
11.2	Hersteller Wellpappenrohapiere	17

1 Zusammenfassung

Ziel des Projektes	Altpapier ist die wichtigste Ressource für Hersteller von Verpackungspapieren. Die Qualität der Altpapiere ist permanenten Schwankungen unterworfen. Das Forschungsprojekt setzte sich deshalb zum Ziel, Berechnungsmethoden zu entwickeln, welche die Schwankungen der Altpapierqualität realistisch erklären und Schlussfolgerungen zum Einfluss der Qualitätsschwankungen auf Produkteigenschaften erlauben. In Kombination mit bereits verfügbaren bzw. weiterentwickelten Prozessmodellen können Hersteller von Verpackungspapieren aber auch Altpapierlieferanten unter Nutzung dieser Modellansätze strategische Entscheidungen zu Einsatz und Bereitstellung der Rohstoffe vorbereiten, um Endnutzern von Verpackungspapieren eine konstante Produktqualität zu gewährleisten.
Schwankung der Altpapierqualität	Eine der Hauptursachen der schwankenden Qualität von Altpapieren ist deren heterogene Zusammensetzung aus Papierprodukten unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung und lokaler Herkunft. Entwickelte Sortierstrategien können bis zu einem gewissen Grad eine definierte Altpapierqualität sicherstellen, sind aber gegenüber globalen Prozessen, etwa zunehmender Altpapiereinsatzquoten und einer damit verbundenen „Abnutzung“ des Rohstoffes machtlos.
Nutzung von Simulationsmodellen	Werden Megatrends sich verändernder Altpapierqualitäten und Anforderungen des Marktes (auch unter ökologischen Aspekten) durch Berechnungsmodelle sachlich richtig abgebildet, können mit Methoden der Simulation und der mathematischen Optimierung langfristig zweckmäßige Handlungsoptionen vorbereitet werden, die Herstellern von Verpackungspapieren unter sich verändernden globalen Rahmenbedingungen nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit sichern.
Danksagung	Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens IK-MF 090036 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung und Entwicklung bei Wachstumsträgern in benachteiligten Regionen" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Technologie mbH aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier- und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

2 Abstract

Project objective Waste paper is the most important resource for manufacturers of packaging paper. The quality of waste paper is subjected to permanent changes. Consequently the research project aims, to develop numerical simulation methods, which explain the variations in paper quality and allow realistic conclusions about the influence of variations on quality of product characteristics. In combination with already available and more advanced process models, manufacturer of packaging paper and also suppliers of waste papers can use the model approaches for preparing strategic decisions on deployment and use of raw materials to ensure end users of packaging paper, a constant product quality.

Variation in waste paper quality One of the main causes of the varying quality of waste paper is the heterogeneous composition of different material composition and paper products of local origin. Developed sorting strategies can ensure a defined recovered paper quality to a certain degree, but are powerless against global processes, such as increasing waste paper recovery rate and an associated "aging" of the raw material.

Application of simulation models Are mega trends of changing waste paper qualities and requirements of the market (ecological impact) shown accurately by the numerical models, long term expedient courses of action can be prepared by methods of simulation and mathematical optimization, to ensure the manufacturers of packaging paper a sustainable competitiveness under changing global conditions.

Acknowledgement The research project IK-MF 090036 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in disadvantaged areas" based on the decision of the German Parliament and carried out under the umbrella of Euro-Norm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our thank to the involved German and Scandinavian companies for providing proper samples as well as for supporting project performance.

3 Einleitung

Ziel

Die Entwicklung der notwendigen Simulationswerkzeuge, um Herstellern von Verpackungspapieren belastbare Empfehlungen für strategische Entscheidungen zum Altpapiereinsatz und zur Gestaltung der Stoffaufbereitung zu geben, setzt die Bereitstellung folgender Elemente voraus:

- Berechnungsmodelle zur Prognose der Altersstruktur von Faserstoffen unter Berücksichtigung von
 - Altpapiereinsatzquoten bei der Herstellung grafischer und Verpackungspapiere
 - Export- und Importmengen von grafischen und Verpackungsprodukten sowie grafischen und Verpackungsaltpapieren
 - Zusammensetzung und Eigenschaften der Altpapiersorten
- Zusammenhänge zwischen Zyklentalter der Faserstoffe und ihrer morphologischen und physikalischen Eigenschaften
- Modelle der Wirkung wesentlicher Prozesse der Stoffaufbereitung auf die Veränderung geometrisch-morphologischer sowie physikalischer Suspensionseigenschaften
- Simulation der Wechselwirkung zwischen geometrisch-morphologischen sowie physikalischer Suspensionseigenschaften und mechanischen Eigenschaften von Verpackungspapieren
- Abschätzung der Verbesserung mechanischer Eigenschaften von Verpackungspapieren durch einen gezielten mehrlagigen Aufbau
- Implementierung wesentlicher Kostenfaktoren, auch unter Berücksichtigung von CO₂-Emissionen
- Numerische Methoden der linearen und nichtlinearen Optimierung bei variablen Zielfunktionen und komplexen Nebenbedingungen

Kompatibilität

Beim Erreichen der Zielstellung wurde Kompatibilität mit Lösungsansätzen bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben gesichert bzw. wurden Lösungsmethoden geeignet weiterentwickelt. Dies betrifft insbesondere Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben

- Rechnergestützte Minimierung der Herstellungskosten für Wellpappenrohre auf der Basis von Rohstoffdaten und deren Entwicklung durch die Stoffaufbereitung (BMW 1108/03 [1])
 - Einsatz von Verstärkungsfaserstoffen zur Sicherung der Festigkeitseigenschaften leichter Wellpappenrohre (IGF BR 14808 [2])
 - Validierung und Kalibrierung von Modellen zur Prognose von Stoff-suspensions- und Papiereigenschaften (IW 061084) [3]
 - Gezielte Einstellung von Papiereigenschaften durch Wahl geeigneter Füllstoffkombinationen (IW 072042) [4]
-

4 Material und Methoden

Suspensions- eigenschaften

Im experimentellen Teil des Forschungsvorhabens wurden Faserstoffsuspensionen unter Labor- und Praxisbedingungen vermessen. Die geometrisch-morphologischen und physikalischen Eigenschaften der Suspensionen wurden gemäß Tab. 1 charakterisiert. Mittlere physikalische Fasereigenschaften werden über Modellannahmen anhand geeigneter Prüfungen von zugehörigen Laborblättern abgeleitet [6,7].

Tab. 1: Eigenschaften der Faserstoffsuspension

Gruppe	Untergruppe	Eigenschaft	Methode	
Morphologische Fasereigenschaften	Feinstofffraktion	Anteil (Masse)		
		Mittlere Faserlänge		
	Kurzfaserfraktion	Anteil (Masse)		
		Mittlere Faserlänge		
		Mittlerer Faserdurchmesser	PTS-Methode	
		Mittlere Faserwanddicke	Fiberlab [5]	
	Langfaserfraktion	Anteil (Masse)		
		Mittlere Faserlänge		
	Anorganische Bestandteile	-	Mittlerer Faserdurchmesser	
			Mittlere Faserwanddicke	
Fibrillierung	-	Stoffdichte	DIN EN ISO 4119	
		Glührückstand (525°)	DIN 54730	
		SR-Wert	DIN ISO 5267-1	
Physikalische Fasereigenschaften	Externe Fibrillierung	WRV-Wert	ZM IV/33/57	
		Faserfestigkeit	T 231 cm-96	
	Interne Fibrillierung	Bindungsvermögen	Scherbindungsfestigkeit	PTS-Methode [6]
Faserflexibilität		Elastizitätsmodul	PTS-Methode [7]	
Lichtabsorption		Schubmodul		
		Spez. Lichtabsorptionskoeffizient	Elrepho	

Papier- eigenschaften

Neben den Kennwerten der Faserstoffsuspensionen wurden physikalische Eigenschaften von Papieren gemessen, die aus den Suspensionen mittels Blattbildner Rapid-Köthen in Anlehnung an ISO 5269-2:2004 oder mittels der Versuchspapiermaschine der PTS erzeugt wurden. Die Prüfungen der Papiere erfolgten gemäß den üblichen Standards.

Charakterisierung von Faserstoffströme n in Deutschland

Die Bewertung der Faserstoffströme in Deutschland erfolgte auf Basis von Statistiken des VdP [8], des statistischen Bundesamtes [9] und des Unternehmens INTECUS [10].

5 Ermittlung festigkeitsrelevanter Zustandsgrößen von heterogenen Sekundärfaserstoffen für die Erzeugung von Wellpappenrohpa-pieren und Kartonen

Altpapiersorten und deren Hauptkomponenten Die wesentlichen Altpapiere, welche zur Herstellung von Verpackungspapieren eingesetzt werden, sind die Sorten 1.01, 1.02, 1.04, 4.01 und 4.03. Grafische Altpapiere als Hauptbestandteile der Sorte 1.11 gelangen über die Sorten 1.01, 1.02 und 1.04 in Verpackungspapieren. Die so genannten besseren AP-Sorten 3.04, 3.18.01 und 3.16 werden für weiße Decklagen höherwertiger Verpackungspapieren eingesetzt.

Tab. 2: Anteile der Hauptkomponenten in wesentlichen Altpapiersorten

Altpapiersorte (Bezeichnung)		Hauptkomponenten							
		Graphische Altpapiere				Verpackungs- altpapiere		Sonst. Papiere	
		holzhaltig		holzfrei		Karton	Well- pappe		
neu	alt	ungestr.	gestr.	ungestr.	gestr.				
1.01	B10	19%	16%	7%	28%	6%	17%	7%	
1.02	B12	13%	15%	6%	23%	12%	21%	10%	
1.04	B19	9%	2%	0%	7%	6%	69%	7%	
1.11	D39	25%	35%	1%	33%	3%	1%	2%	
3.04	Q14	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	
3.18.01	R12	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	
3.16	S12	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	
4.01	W41	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	
4.03	W52	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	

Die in Tab. 2 für die Sorten 1.01, 1.02, 1.04 und 1.11 angegebenen Masseanteile der Hauptkomponenten wurden in verschiedenen Sortieranlagen ermittelt. Die Angaben für die Sorten 3.04, 3.18.01 und 3.16 und 4.01 entsprechen den jeweiligen Sortenspezifikationen.

Charakterisierung der Hauptkomponenten

Jede Altpapiersorte und jede von deren Hauptkomponenten ist durch einen Vektor geometrisch-morphologischer sowie physikalisch-chemischer Kennwerte charakterisiert (siehe [6]). Ausgewählte Kennwerte sind in **Abb. 1** und **Abb. 2** gegenübergestellt. Mit diesen Kennwerten der Hauptkomponenten können über deren Masseanteile (Tab. 2) die Kennwerte der Altpapiersorten bestimmt werden. Ein erheblicher Teil der Variation der Kennwerte der Altpapiersorten resultiert aus Schwankungen der Anteile der Hauptkomponenten.

Einfluss der lokalen Herkunft von Altpapieren

Eine weitere Quelle von Schwankungen ist die unterschiedliche lokale Herkunft der Altpapiere. Importierte Altpapiere aus Skandinavien zeichnen sich wegen der dortigen Randbedingungen durch einen höheren Anteil noch „junger“ Faserstoffe aus. Sind Qualitätsunterschiede auch an Altpapieren aus anderen Regionen, z.B. Asien, die zunehmend als Umverpackungen den deutschen Markt erreichen, festzustellen? Zur Überprüfung der Hypothese wurden verschiedene asiatische Wellpappen (überwiegend auf Altpapier-Basis: AswOCC1, AswOCC2; krafthaltige: AskOCC1, AskOCC2) mit einem Referenzstoff aus Deutschland verglichen. Signifikante Unterschiede zwischen Wellpappen aus beiden Regionen konnten jedoch nicht nachgewiesen werden (**Abb. 3**, **Abb. 4**).

Hauptkomponenten (Deutschland)

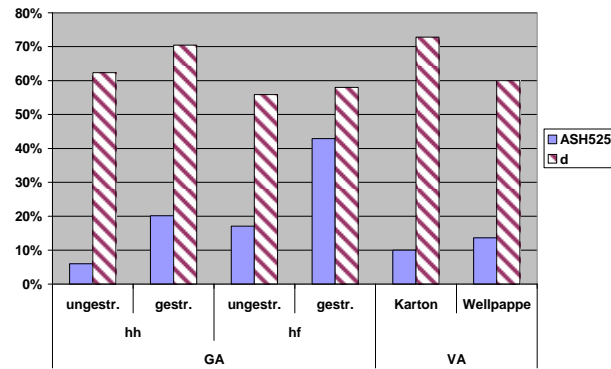


Abb. 1: Glührückstand (ASH₅₂₅) und mittlerer Fasersteifigkeitsindex [δ] der Hauptkomponenten

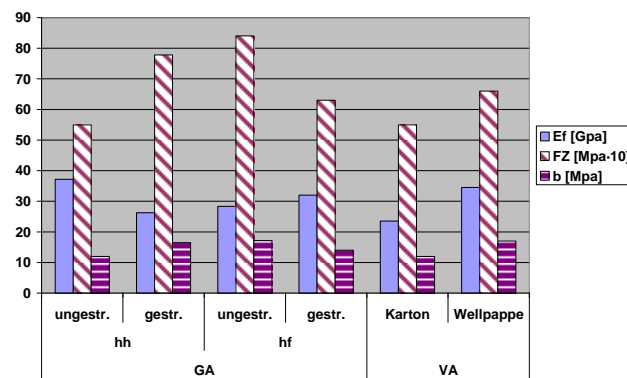


Abb. 2: Mittleres E-Modul (E_f), mittlere Faserfestigkeit (F_z) und mittlere Bindungsfestigkeit (b) der Hauptkomponenten

Wellpappen (Asien)

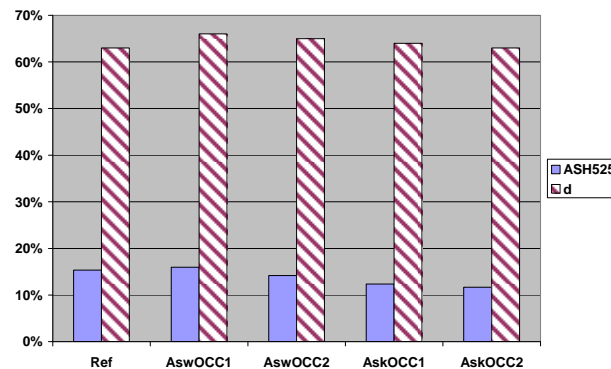


Abb. 3: Glührückstand (ASH₅₂₅) und mittlerer Fasersteifigkeitsindex [δ] asiatischer Wellpappen-Altpapiere im Vergleich zu einem deutschen Referenzstoff

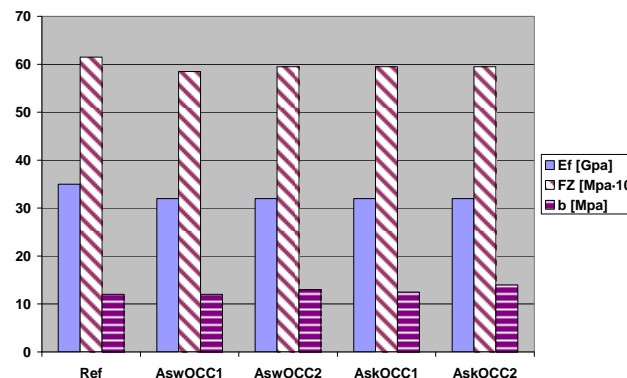


Abb. 4: Mittleres E-Modul (E_f), mittlere Faserfestigkeit (F_z) und mittlere Bindungsfestigkeit (b) asiatischer Wellpappen-Altpapiere im Vergleich zu einem deutschen Referenzstoff

6 Bewertung der Sensitivität wirtschaftlich bedeutender Altpapiersorten gegenüber Mehrfachrecycling

Praxisnahe Rezyklierversuche

In der Literatur wurde bislang vorwiegend das Rezyklierverhalten primärer Faserstoffe diskutiert [11,12,13]. Ergebnisse aus Rezyklierversuchen an sekundären Faserstoffen sind nur unzureichend vorhanden. Um die Lücke zu schließen, wurden Rezyklierversuche mit Verpackungsaltpapieren durchgeführt, wobei aus den Altpapierstoffen sowohl Laborblätter unterschiedlicher Flächenmassen als auch Papiere auf der Versuchspapiermaschine der PTS unter praxisnahen Bedingungen einer Siebwasserrückführung gefertigt wurden.

Relative Veränderungen nach den Rezyklierversuchen

In **Abb. 5** sind die relativen Veränderungen nach den Rezyklierversuchen in Bezug auf den Ausgangszustand (Zyklus 0) für verschiedene Suspensions- und Papiereigenschaften zusammengefasst. Der ausgeprägte Peak für den SR-Wert nach dem 2.Rezyklierzyklus ist wahrscheinlich auf im Prozesswasser gelöste Restchemikalien der Altpapiere zurückzuführen. Tendenziell bleibt der SR-Wert auf hohem Niveau konstant.

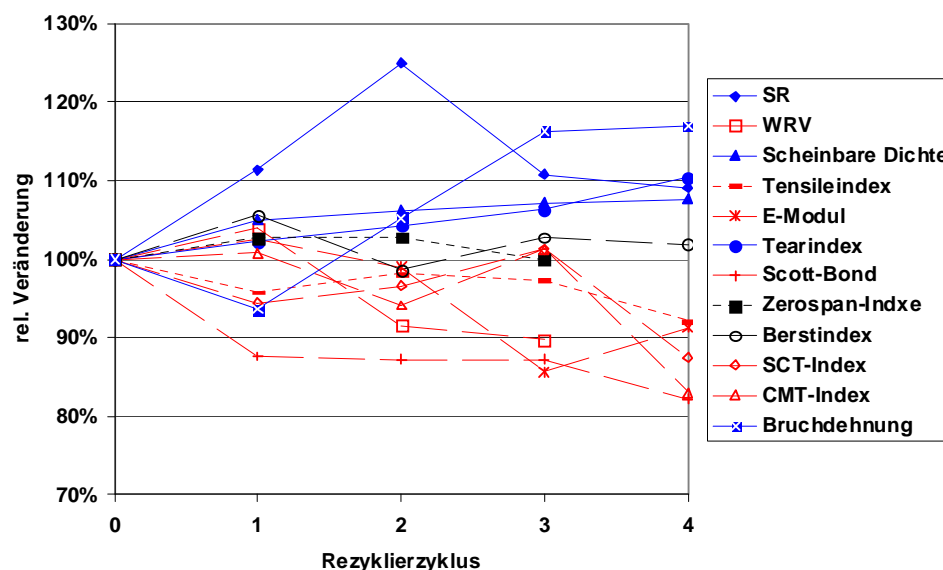


Abb. 5: Relative Veränderung ausgewählter Papier- und Suspensionseigenschaften eines Altpapierstoffes in Abhängigkeit von der Zyklenanzahl

Veränderung der Festigkeitseigenschaften

Die beobachteten Effekte der Rezyklierversuche in Bezug auf Festigkeitseigenschaften, z.B. die tendenzielle Zunahme des Tear-Index, (**Abb. 5**) korrespondieren mit Versuchsergebnissen an primären Faserstoffen ([14], [15]). In Einklang mit der Modell-Vorstellung von VOLLMER [16] kompensiert die zunehmende Bruchdehnung den Verlust an Zugfestigkeit und gewährleistet eine relative Konstanz des Berstindex.

7 Modelle zur Berechnung der Eigenschaften von Altpapiersorten heute und morgen

Modellansatz

Als zweckmäßiger Modellansatz zur Nachbildung der nationalen Nutzungszyklen von Altpapieren hat sich eine Kombination von 2 Zwei-Parameter-Modellen nach HUNOLD und GÖTTSCHING [17] erwiesen. Die zentralen Parameter sind die Altpapiereinsatzquoten a_G bzw. a_V sowie die Einsatzquoten sortenfremder Altpapiere b_G bzw. b_V bei der Herstellung grafischer bzw. Verpackungspapiere.

Gekoppelte 2-Parameter-Modelle

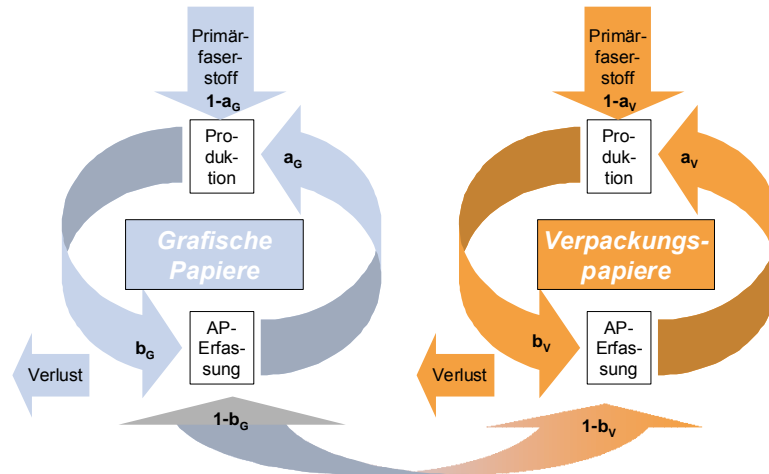


Abb. 6: Gekoppelte 2-Parameter-Modelle zur Simulation der Nutzungszyklen von grafischen und Verpackungsaltpapieren

Ex- und Importströme

Technische und Hygienepapiere werden wegen ihrer untergeordneten Bedeutung für die Mengenbilanz nicht berücksichtigt. Dagegen wurden verschiedene Im- und Exportströme von Papierprodukten und Altpapieren detailliert aufgenommen, wie **Abb. 7** am Beispiel der Verpackungspapiere demonstriert.

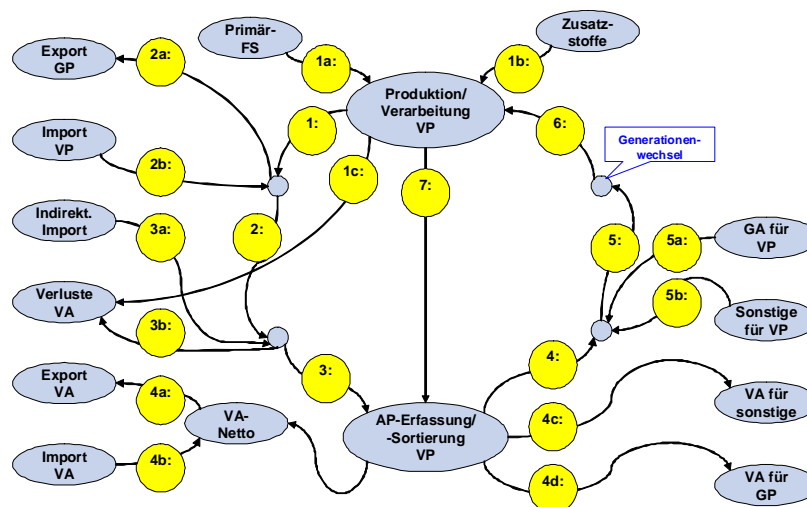


Abb. 7: Flussdiagramm für Verpackungspapiere (VP) bzw. Verpackungsaltpapiere (VA) in Deutschland

Faserstoffmodell und Prozesse

Zur Beschreibung der Faserstoffzusammensetzung entlang der Zyklen wird ein 12-stelliger-Vektor (**Abb. 8**) verwendet, der die Masseanteile der ersten 10 Generationen (organischen) Faserstoffes, den Masseanteil sonstiger (anorganischer) Bestandteile sowie die Gesamtmasse bezogen auf eine Zeitperiode beinhaltet. Innerhalb der Zyklen finden unterschiedliche Teilprozesse auf makro-ökonomischer Ebene statt:

- Mischungen: Importierte Papiere bzw. Altpapiere werden mit nationalen Faserstoffströmen gemischt (massegewichtete Mischung)
- Abtrennungen: Papiere bzw. Altpapiere verlassen den Zyklus infolge Verluste bei Produktion und Konsumtion sowie infolge Export bzw. Transfer in den jeweils anderen Zyklus (spezifische Abtrennregeln)
- Generationswechsel: Übergang der Fasern der Generation i nach $i+1$ nach dem Durchlauf eines Zyklus. Dieser Teilprozess findet in den Modellen unmittelbar vor der Produktionsstufe statt

Ref.Nr.	Erläuterung	Anteil (organischer) Faserstoffe der Generation i										Sonst	Menge <i>Mio.t</i>
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2b	Import VP	56%	17%	7%	3%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	15%	4,5

Abb. 8: Vektor der Faserstoffzusammensetzung (Beispiel: Importierte Verpackungspapiere)

Faserstoffmodell für importierte Papiere und Altpapiere

Dominierenden Einfluss auf die „Verjüngung“ der Fasergenerationen in Deutschland hat der Frischfasereinsatz bei der Papierherstellung und der Papier- bzw. Altpapierimport aus Ländern mit einer traditionell niedrigen Altpapier Einsatzquote. Bei Einschränkung auf Europa, woher Deutschland 95% aller seiner importierten Papiere bzw. Altpapiere bezieht, ergibt sich folgendes Bild:

Tab. 3: Importmengen von Papier und Altpapier aus Regionen und zugehörige AP-Einsatzquoten [8]

	Papier (Mio. t)	Altpapier (Mio.t)	AP-Einsatzquote
Skandinavien	4,7	0,2	~15%
Sonstiges Europa	6,0	3,8	~50%

Daraus kann gemäß dem 1-Parameter-Modell [18] folgende mittlere Verteilung (Tab. 4) der ersten 4 Fasergenerationen im importierten Papier bzw. Altpapier abgeleitet werden:

Tab. 4: Mittlere Verteilung der Fasergenerationen in importierten Papieren bzw. Altpapieren und in Deutschland (bei AP-Einsatzquote 71% [8])

	G0	G1	G2	G3
Papier (Import)	65%	20%	8%	4%
Altpapier (Import)	52%	24%	12%	6%
Papier/Altpapier (Deutschland)	30%	21%	15%	10%

Die in Tab. 4 enthaltenen Relationen bilden die Grundlage bei der Charakterisierung der Generationsverteilung in importierten Papieren und Altpapieren.

8 Modellentwicklung: Asche-Festigkeit

Ursachen der Festigkeitsreduktion

Die nachteiligen Effekte anorganischer Bestandteile in Altpapierstoffen auf die Papierfestigkeit kann mit der Wirkung des Füllstoffeinsatzes verglichen werden. In [4] wurden dazu die beiden wesentlichen Mechanismen beschrieben:

1. Bei konstante Flächengewicht reduziert die Einlagerung anorganischer Partikel die scheinbare Dichte des armierenden Fasernetzwerkes (d.h. des Fasernetzwerkes ohne anorganische Bestandteile und Feinstoffe) und damit dessen relative Bindungsfläche
2. Die Einlagerung anorganischer Partikel zwischen Faser-Faser-Kontakten behindert die Ausbildung stabiler Wasserstoff-Brückenbindungen zwischen den Fasern.

Versuchsplanung

Zum Nachweis der oben genannten Effekte sowie zur Untersuchung deren Wirkung auf Festigkeitseigenschaften von Verpackungspapieren erfolgten Untersuchungen mit folgenden Faserstoff-Füllstoff-Kombinationen:

Kennz.	Faserstoff	Füllstoffzugabe
ZS+CTMP	15% Zellstoff (Nadelholz, SR 28) + 85% CTMP (Nadelholz)	100% Kaolin
AP	100% Altpapier	50% Kaolin + 50% PCC

Bestätigung der primären Effekte

Im Rahmen beider Versuchskomplexe konnte beide primäre Effekte der Einlagerung anorganischer Partikel nachgewiesen werden (**Abb. 9, Abb. 10**).

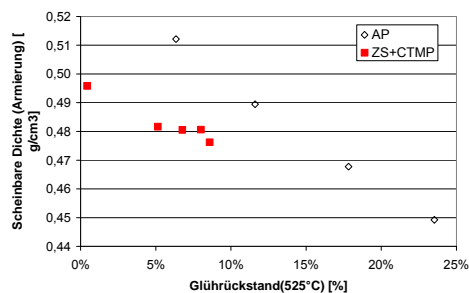


Abb. 9: Scheinbare Dichte des Fasernetzwerkes in Abhängigkeit vom Anteil retendierter anorganischer Partikel

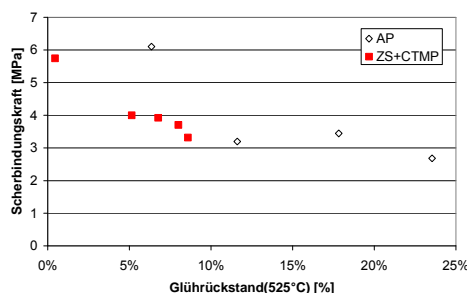


Abb. 10: Mittlere Scherbindingkraft im Fasernetzwerk in Abhängigkeit vom Anteil retendierter anorganischer Partikel

9 Modellentwicklung: Zugfestigkeit, Spaltfestigkeit und SCT mehrlagiger Papiere, Biegesteifigkeit (Sekundärfaserstoffe)

Aufbau der Datenbasis

Im Rahmen zweier Versuchskomplexe wurden an der Versuchspapiermaschine der PTS zweilagige Papiere hergestellt. In den Einzellagen wurden Faserstoffe mit möglichst weit auseinander liegenden Eigenschaften eingesetzt:

- Versuchskomplex 1 (Gesamtflächengewicht 140 g/m²):
Wellenstoff (Mischung der AP-Sorten 1.02 und 1.04) und Kraftliner
Variation des Anteils der 1.Lage: 0%, 20%, 40%, 60%, 80% und 100%,
- Versuchskomplex 2 (Gesamtflächengewicht 100 g/m²):
Kartonstoff (Mischung der AP-Sorten 1.02, 1.04 und 4.01) und BCTMP
Variation des Anteils der 1.Lage: 0%, 30%, 50%, 70% und 100%.

Zum Vergleich erfolgte außerdem im Versuchskomplex 1 die Herstellung einlagiger Papiere (Simplex) bei gleichem Gesamtflächengewicht und Stoffeinsatz.

Ergebnisse

Anhand der Prüfergebnisse an den ein- und zweilagigen Papieren wurde der Modellansatz (1) kalibriert. Folgende Werte für den Effekt c wurden bestimmt.

Tab. 5: Parameter c bei mehrlagiger Blattbildung für verschiedene Stoffsysteme

	Wellenstoff-Kraftliner		Kartonstoff-BCTMP	
	CD	MD	CD	MD
Tensile-Index	3	-1	3	-1,5
E-Modul	1,5	-2	2	-0,7
Bruchdehnung	2	2	-1,5	-3
SCT-Index	-1,5	-1,5	-2	-1
Berst-Index	2,5		-2,5	

Positive Parameter c repräsentieren synergistischer Effekte während negative Parameter c antagonistische Effekte der Wechselwirkung zwischen den Lagen charakterisieren.

Modellansatz

$$E_{2L}(E_1, E_2, w_1, w_2) = \text{Effekt}(E_1, E_2, w_1, w_2) \cdot E_{\text{Mix}}(E_1, E_2, w_1, w_2)$$

$$E_{\text{Mix}}(E_1, E_2, w_1, w_2) = \frac{1}{w_1 + w_2} (w_1 \cdot E_1 + w_2 \cdot E_2) \quad (1)$$

$$\text{Effekt}(E_1, E_2, w_1, w_2) = \left(c \cdot \frac{|E_1 - E_2|}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} \cdot \frac{w_1 \cdot w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) + 1$$

E_1 Flächenmasse unabhängige (indizierte) Eigenschaft der 1. Lage

E_2 Flächenmasse unabhängige (indizierte) Eigenschaft der 2. Lage

w_1 Flächenmasse der 1.Lage

w_2 Flächenmasse der 2.Lage

E_{1L} Flächenmasse unabhängige (indizierte) Eigenschaft bei Mischung der Lagen

E_{2L} Flächenmasse unabhängige (indizierte) Eigenschaft der 2-lagigen Struktur

c zu kalibrierender Faktor

10 Erweiterung des Prognose- und Optimierungswerkzeugs durch Implementierung des Altpapier-Modells, der modifizierten Modellbibliothek und einer CO2-Kostenrechnung

Gegenüber dem zu Projektbeginn dokumentierten Zustand [19] wurden die Simulationstools wie folgt erweitert

- Integration eines Generationenmodells zur Simulation der Alterszusammensetzung von Altpapieren (siehe Abschnitt 7)
- Bestimmung der Faserstoffeigenschaften der Hauptkomponenten von grafischen und Verpackungspapieren in Abhängigkeit der Alterszusammensetzung (siehe Abschnitt 6)
- Dynamische Aktualisierung der Zusammensetzung der eingesetzten Altpapiersorten (siehe Abschnitt 5)
- Überarbeitung der Algorithmen zur Festigkeitsprognose hinsichtlich Effekte des Einflusses anorganischer Bestandteile (siehe Abschnitt 8)
- Entwicklung eines Bausteines „Mehrlagigkeit“ (siehe Abschnitt 9) für die Prozesssimulation
- Implementation einer CO2-Emissionsberechnung

Die Positionierung der neu entwickelten Werkzeuge in den Gesamtkomplex „Simulation und Optimierung der Herstellungsprozesse von Verpackungspapieren“ kann **Abb. 11** entnommen werden.

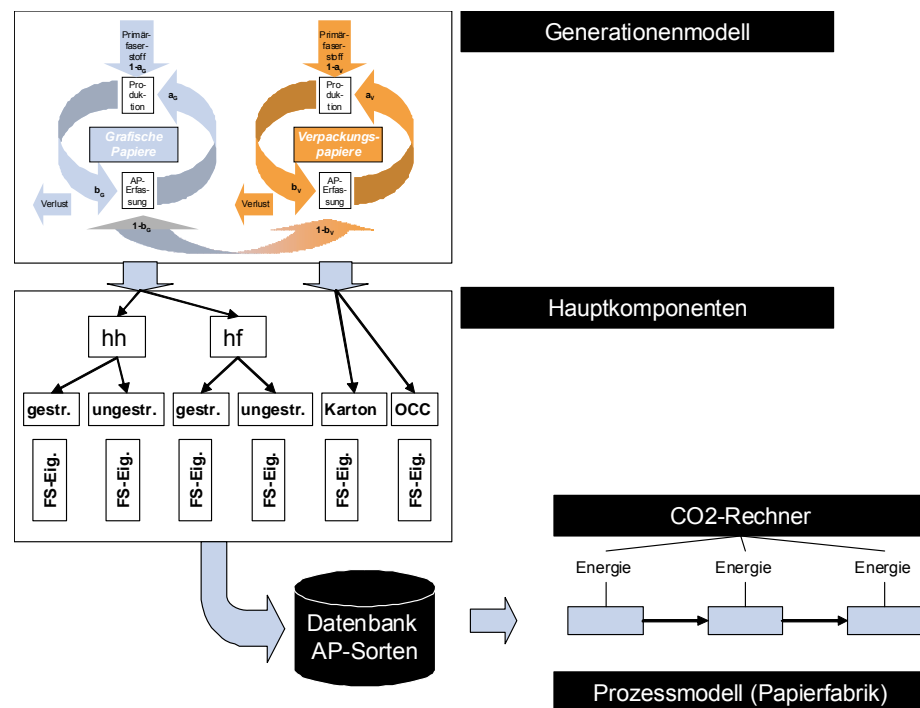


Abb. 11: Komponenten der Simulation und Optimierung der Herstellungsprozesse von Verpackungspapieren

Implementation

Die Implementation der Tools erfolgte sowohl in der integrierten Entwicklungsumgebung IDEAS von ANDRITZ Automation als auch auf Basis von Microsoft EXCEL. Gemäß Problemlage und Kundenanforderungen können diese Tools variabel kombiniert werden (**Abb. 12**).

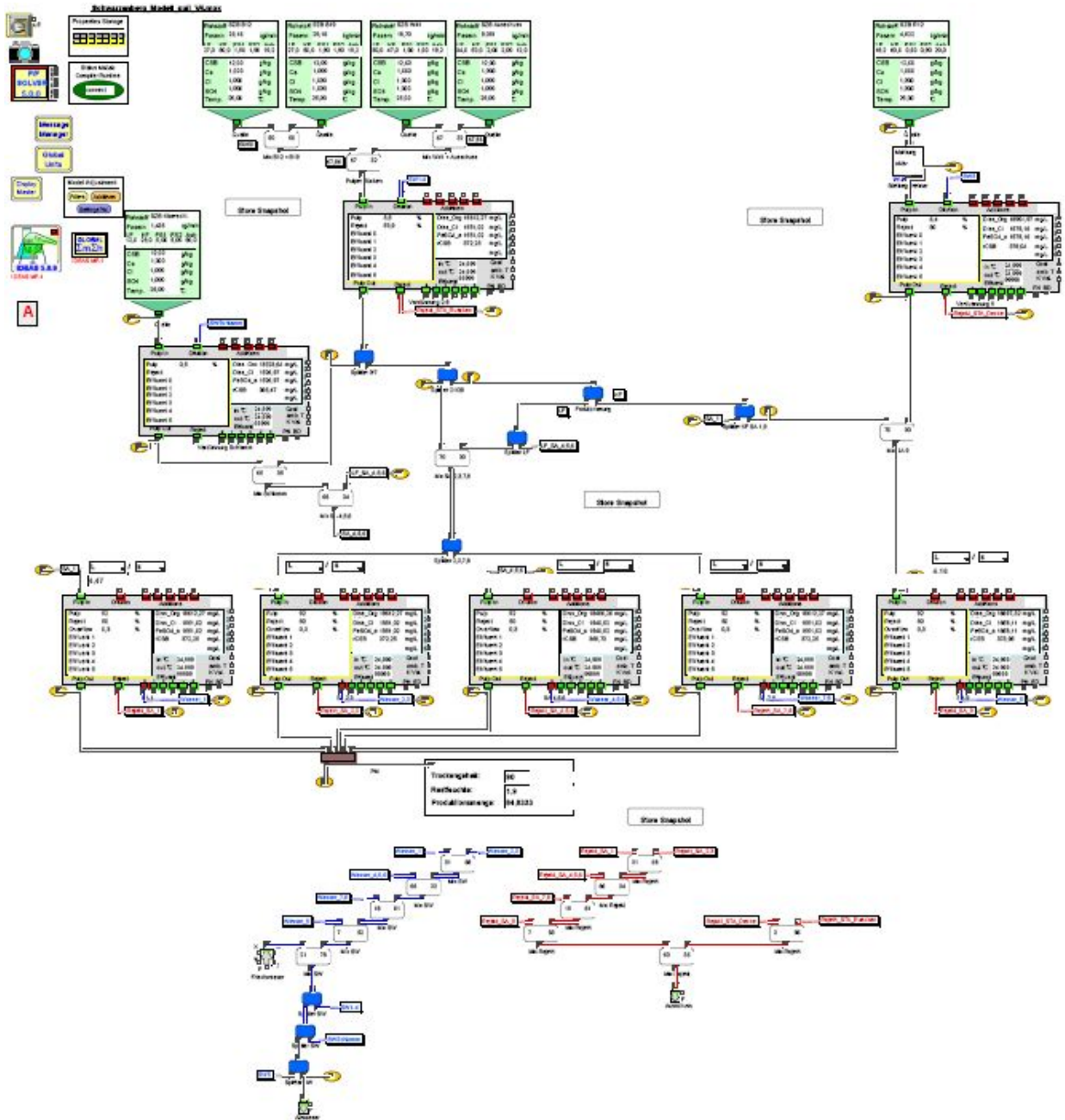


Abb. 12: Exemplarische Umsetzung der Prozesse von Stoffaufbereitung und Papiermaschine der Papierfabrik A auf Basis

11 Szenarienrechnungen anhand des Prognose- und Optimierungswerkzeugs für 2 Papierfabriken

11.1 Hersteller Maschinenkarton

Ausgangssituation und globale Trends Faltschachtelkartone und andere Verpackungswerkstoffe, die Sekundärfaserstoffe aus grafische Altpapieren (insbesondere Offsetdruckerzeugnisse) enthalten, sind wegen hoher Mengen migrationsfähiger Mineralölbestandteile einer heftigen Diskussion konfrontiert [20,21]. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Fraktion der aromatischen Mineralöle karzinogene Stoffe enthält. Entsprechend sensibel ist die Frage des Stoffübergangs aus Kartonverpackungen mit Recyclinganteil auf Lebensmittel.

Dementsprechend ist die Nachfrage nach ökologischem und sicherem Frischfaserkarton durch die Lebensmittelverpackungsbranche schneller gestiegen als erwartet und wird auch durch angekündigte Investitionen zur Kapazitätserhöhung bei Erzeugern von Primärfaserkartonen nicht befriedigt werden können.

Nach Angaben des Weltmarktführers bei altpapierbasiertem Faltschachtelkarton setzen Kartonproduzenten des Konzerns in Deutschland, Österreich, Slowenien und Spanien keine Altpapiersorten mehr ein, die einen hohen Anteil an Zeitungen aufweisen (gemischte Altpapiere).

Szenarien für Hersteller Maschinenkarton

Als Referenz-Produkt wird ein 3-lagiger Karton mit 390 g/m² Flächengewicht angenommen (**Abb. 13**). Alternativ zum Duplexkarton wird weiterhin noch ein Triplexkarton (**Abb. 14**) betrachtet, der aus einer Substitution des Altpapierstoffes in der Rückenschicht durch die Sorte 1.11 (DIP) hervorgeht. Die gewählten Ausgangssituationen entsprechen einem in [22] diskutierten Beispiel. Ausgehend von diesen Zuständen wird folgendes Szenario betrachtet:

- a) Reduzierung des Anteiles der „holzhaltiger ungestrichene grafische Papiere“ in den AP-Sorten 1.01, 1.02 und 1.04 auf 0%

Folgende Reaktionen werden in Ihrer Wirksamkeit bewertet:

1. Substitution von 5% der AP-Sorte 1.02 durch SGW
2. Substitution von 5% der AP-Sorte 1.02 durch TMP
3. Substitution von 5% der AP-Sorte 1.02 durch CTMP
4. Reduzierung des Ascheanteils in der Einlage um 6%

Referenz-Karton

16% 3.18.01	Decke	16% 3.18.01
68% 1.02/1.04/4.01	Einlage	68% 1.02/1.04/4.01
16% 1.02/1.04/4.01	Rücken	16% 1.11

Abb. 13: Duplexkarton (390 g/m²)

Abb. 14: Triplexkarton (390 g/m²)

Ergebnisse der Simulation

Für die Simulationsrechnungen wurde angenommen, dass die Kennwerte der eingesetzten Rohstoffe, die Prozesse der Stoffaufbereitung sowie Effekte der Papiermaschine denen in Papierfabrik A entsprechen. Die Rechnungen lieferten folgende Ergebnisse (**Abb. 15**):

- Wird bei der Herstellung von Karton in den Sorten 1.02 und 1.04 vollständig auf den Einsatz von Zeitungspapieren verzichtet, ist mit einem mittleren Rückgang bei der Biegesteifigkeit von 1-2% zu rechnen.
- Dieser Rückgang kann bei Substitution von 5% 1.02 durch einen Holzstoff deutlich kompensiert werden (siehe auch [22]).
- Der Rückgang kann ebenso kompensiert werden, wenn der Anteil anorganischer Bestandteile in der Einlage von aktuell 17% auf 11% reduziert wird.

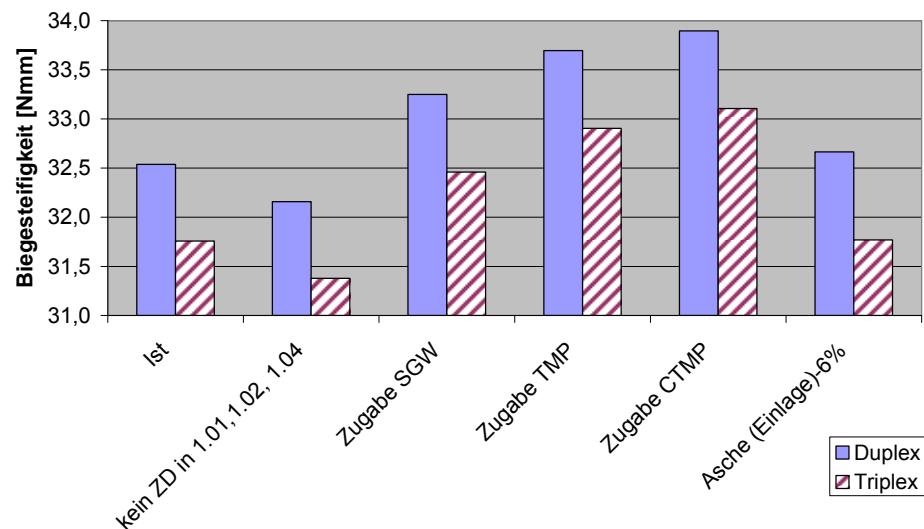


Abb. 15: Prognostizierte Veränderung der Biegesteifigkeit (geometrischer Mittelwert aus Längs- und Querrichtung) eines Duplex- und eines Triplexkartons bei Verzicht auf Zeitungsdruckpapiere in den braunen AP-Sorten und nach entsprechenden Gegenmaßnahmen

11.2 Hersteller Wellpappenrohpa-piere

Ausgangssituatio-n und globale Trends

PIRA prognostiziert bis 2015 ein mittleres Wachstum des Marktes für Wellpap-penprodukte von 5 % [23]. Danach soll der globale Bedarf in 2015 bei 98 Mio t liegen. 44 % des Marktes entfallen auf die asiatische Wirtschaftsregion mit China als stärkster Kraft. Höchste Zuwachsraten sind auch für Brasilien, Russland, Indien und Polen zu verzeichnen. Daraus resultiert ein erheblicher Anstieg des weltweiten Bedarfs an Altpapieren, aber auch eine zunehmende Durchdringung des Altpapierkreislaufes in Deutschland mit Verpackungsaltpapieren asiatischer Herkunft.

Untersuchungen durch das PMV haben ferner gezeigt, dass sich der Ascheanteil in den vergangenen 26 Jahren bei den braunen Altpapiersorten 1.01, 1.02 und 1.04 um 7 % erhöhte [24]. Dieselbe Zunahme wurde bei der Sorte 1.11 sogar innerhalb von nur 14 Jahren festgestellt. Angesichts neuer Optionen, den Füllstoffanteil in grafischen Papieren zu erhöhen [25], dürfte sich diese Entwick-lung fortsetzen.

Es ist deshalb in Deutschland mit folgenden Trends zu rechnen:

1. Die Altpapier-Einsatzquoten (national wie international) werden zuneh-men.
2. Der Anteil von Langfasern in Verpackungsaltpapieren nimmt ab.
3. Der Ascheanteil in Verpackungspapieren nimmt zu.

Szenarien für Hersteller Wellpappenrohpa-pier

Als Referenzprodukt wird ein Wellpappenrohpapier mit 110 g/m² Flächengewicht betrachtet, wie es u.a. Hersteller B produziert. Die Auswirkung folgender Szena-rien wird überprüft:

a) Erhöhung der mittleren AP-Einsatzquote

	<i>national</i>		<i>international</i>	
	<i>Grafisches Papier</i>	<i>Verpa-ckungspapier</i>	<i>Importiertes Papier</i>	<i>Importiertes Altpapier</i>
<i>alt</i>	31%	91%	35	48
<i>neu</i>	50%	95	50	63

b) Reduzierung des Anteils Langfasern um 30%

c) Erhöhung des Füllstoffeinsatzes (national) bei grafischen Papieren um 20% und des Aschegehalts in importierten Papieren und Altpapieren um jeweils 20%

Alle Szenarien werden sowohl separat als auch in Kombination betrachtet.

Ergebnisse der Simulation

Gemäß **Abb. 16** kann angenommen werden, dass bei Kombination aller 3 Szenarien einer Qualitätsverschlechterung der Altpapiere durch folgende Maß-nahmen gegengesteuert werden könnte:

1. Ausschleusung von 45% Asche
2. Erhöhung des Stärkeeinsatzes in der Filmpresse um 1g/m²

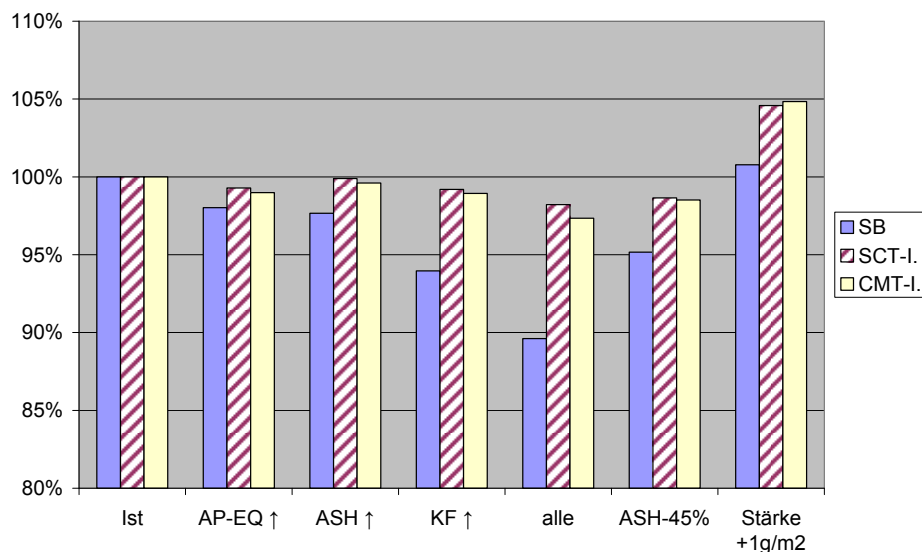


Abb. 16: Prognostizierte relative Veränderungen der Spaltfestigkeit (Scott-Bond), des SCT- und des CMT-Index bei Erhöhung der Altpapiereinsatzquote, des Füllstoffeinsatzes und des Kurzfaseranteils sowie bei simultaner Wirkung aller 3 Szenarien. Ferner sind die Effekte der Ausschleusung von 45% Asche sowie die Erhöhung der Stärkedosierung in der Filmpresse dargestellt.

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Sven Altmann
Tel. 03529 / 551-634
sven.altmann@ptspaper.de

Dr. Gert Meinel
Tel. 03529 / 551-630
gert.meinel@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau
Tel. 03529 / 551-60
Fax 03529 / 551-899

e-Mail: info@ptspaper.de
www.ptspaper.de

Literaturverzeichnis

- 1 Klein M., Strunz A.-M. und Meinel G.
Rechnergestützte Minimierung der Herstellungskosten für Wellpappenroh papier.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben BMWA 1108/03, PTS, Heidenau, 2005.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/BMWA_1108.pdf
- 2 Strunz A.-M., Meinel G., Manoiu A.:
Einsatz von Verstärkungsstoffen zur Sicherung der Festigkeit von Wellpappenrohpapieren.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AiF 14808, PTS, Heidenau, 2008.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/AiF_14808.pdf
- 3 Kuntzsch T.:
Validierung und Kalibrierung von Modellen zur Prognose von Stoffsuspensions- und
Papiereigenschaften in Unternehmen der Papierindustrie.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben IW 061084, PTS, Heidenau, 2008.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_061084.pdf
- 4 Kuntzsch T.
Gezielte Einstellung von Papiereigenschaften durch Wahl geeigneter Füllstoffkombinationen.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben IW 072042, PTS, Heidenau, 2009.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_072042.pdf
- 5 Kuntzsch T.:
Effektive Bewertung von Trennprozessen in der Stoffaufbereitung durch moderne
fasermorphologische Messverfahren.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben IW 050280, PTS, Heidenau, 2007.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_050280.pdf
- 6 Meinel G.:
Senkung der Rohstoffeinstandskosten durch angepasste Mischung von Faserstoffen ohne
nachteilige Einflüsse auf Erzeugungsprozess und Produktqualität.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AiF 14694, PTS, Heidenau, 2008.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/AiF_14694.pdf
- 7 Müller G., Meinel G., Erhard K.:
Gezielte Einstellung von Volumen und Steifigkeit durch Auswahl einer optimalen Faserstoff-
Additiv-Rezeptur
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AiF 15267, PTS, Heidenau, 2009.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/AiF_15267.pdf
- 8 VDP, Leistungsbericht 2010
- 9 N.N.:
Statistisches Bundesamt
- 10 N.N.:
INTECUS
- 11 Sutjipto E.R., Li K., Pongpattanasuegsa S., Nazhad M.M.:
Effect of Recycling on paper Properties.
TAPPSA Nr. 1/2008
http://www.tappsa.co.za/archive3/Journal_papers/Effect_of_recycling_on_paper_p/effect_of_recycling_on_paper_p.html
- 12 Yamauchi T., Yamamoto M.:
Effects of repeated drying-and-rewetting and desintegration cycles on fundamental properties of
kraft pulp fibres and paper made from them.
Appita Journal, Nr. 5/2008, 396-401.

- 13 Brancato A., Banarjee S.:
Effect of recycling on the surface and pore structure of wood fibre.
Appita Journal, Nr. 1/2010, 42-52.
- 14 Sutjipto E.R., Li K., Pongpattanasuegsa S., Nazhad M.M.:
Effect of Recycling on paper Properties.
TAPPSA Nr. 1/2008
http://www.tappsa.co.za/archive3/Journal_papers/Effect_of_recycling_on_paper_p/effect_of_recycling_on_paper_p.html
- 15 Garg M., Singh S.P.:
Reasons of strength loss in recycled pulp.
Appita Journal, Nr. 4/2006, 274-279
- 16 Vollmer W.:
Der Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Berstwiderstand des Papiers.
Das Papier, Nr. 13-14/1953
- 17 Hunold M.
Experimentelle und theoretische Untersuchungen über quantitative und qualitative Auswirkungen steigender Altpapiereinsatzquoten auf das Recyclingsystem Papier-Altpapier, Dissertation, Fachbereich Maschinenbau der Technischen Hochschule Darmstadt, 1997
- 18 Hunold M., Göttching L.:
Wie „alt“ ist das Altpapier heute und morgen?
Das Papier, Nr. 10A/1993, V172-V185
- 19 Hamann L., Kuntzsch T., Meinel G. u. J. Kapfen:
Entwicklung einer simulationsgestützten Prozessanalyse zur optimalen Nutzung des Festigkeitspotenzials bei der Erzeugung von Wellpappenrohpa-pieren auf Altpapierbasis.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben IW 061079, PTS, Heidenau, 2008.
http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_061079.pdf
- 20 Kersten A., Hamm U., Putz H.-J., Schabel S.:
Zur Diskussion um die Migration von Mineralöl in Lebensmittel und das Altpapier-Recycling.
Responsible Packaging Forum, 06.01.2011.
http://www.responsiblepackagingforum.com/uploads/media/Veroeffentlichung_Mineraloel-Problematic_20110106_1430.pdf
- 21 Thiel R.:
Herausforderungen für das Recycling in der Papierindustrie
9. BfR-Forum Verbraucherschutz 28. / 29. Oktober 2010, Berlin
http://www.bfr.bund.de/cm/343/herausforderungen_fuer_das_recycling_in_der_papierindustrie.pdf
- 22 Borschke D.:
Ausbildung von Rohkartoneigenschaften über die Faserstoffauswahl und –behandlung.
Der Papiermacher, Nr.2/2003
- 23 Global Corrugated Board Market to See 5% Growth to 2015
<http://pakbec.blogspot.com/2010/07/global-corrugated-board-market-to-see-5.html>
- 24 Putz H.J., Weinert S.:
Qualitätseigenschaftender wichtigsten Altpapiersorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen.
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben AiF 15408N, TU Darmstadt, Darmstadt, 2010
[http://www.vdp-online.de/pdf/AiF_15408_N_Abschlussbericht\(2\).pdf](http://www.vdp-online.de/pdf/AiF_15408_N_Abschlussbericht(2).pdf)

- 25 Ancona M., Broadus K.:
Mills have been able to increase filler content in graphic papers with Nalco's new filler technology.
Pulp & Paper International (PPI), Nr.4/2010