

Der Mythos begrenzter Faserlebenszyklen

Über die Leistungsfähigkeit einer Papierfaser



Johannes Schug

Für die Durchführung der Mehrfachrecyclingversuche mussten insgesamt mehr als 3000 Laborblätter gebildet werden.

Zusammenfassung

Papier und Karton werden zu einem Großteil aus rezykliertem Fasermaterial hergestellt. Eine nachhaltige Papierwirtschaft ist ohne Recycling nicht mehr vorstellbar. Daher ist die Frage, wie oft eine Papierfaser überhaupt rezykliert werden kann, durchaus berechtigt. So einfach die Frage auch erscheinen mag, die Antwort ist nicht trivial. Die Antwort, die in unserer schnelllebigen Zeit häufig kurz so zusammengefasst wird, dass eine Pa-

pierfaser 4–7 rezykliert werden kann, erfährt durch permanente Wiederholungen keinen höheren Wahrheitsgehalt. Dieser Artikel widerlegt mit einer Literaturrecherche, dass zumindest ein Teil der getroffenen Aussagen nicht korrekt ist. Aktuelle eigene Untersuchungen zeigen auf, was die Papierfasern wirklich im Stande sind zu leisten und dass die kategorische Aussage der doch sehr begrenzten Faserlebensdauer unzutreffend ist.

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz, Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV), Technische Universität Darmstadt, Alexanderstr. 8, 64283 Darmstadt, Germany, putz@papier.tu-darmstadt.de

Keywords

Recycling, Mehrfachrecycling, Faserlebenszyklen, Faserlebensdauer, Faseralter

Motivation

Laut Wikipedia¹ erheben Mythen einen Anspruch auf Geltung für die von ihnen behauptete Wahrheit. In einem weiteren Sinn bezeichnet **Mythos** auch Personen, Dinge oder Ereignisse von hoher symbolischer Bedeutung oder auch einfach nur eine falsche Vorstellung oder Lüge. Die bisherigen Antworten auf die Frage, wie häufig eine Papierfaser rezykliert werden kann, könnten durchaus als ein Mythos gelten, der durch die Tatsache, dass immer wieder eine falsche Antwort erfolgt, nicht richtiger wird. Bleibt nur die Frage, woher stammt die Aussage und wer schreibt von wem ab?

Die zu findenden Antworten nach der maximal möglichen Anzahl der Recyclingzyklen von Fasern liegen meist in einem Bereich von 4 bis 7 Mal.^{2, 3, 4, 5, 6, 7} Diese Spanne wird immer wieder in den Raum gestellt, ohne dass eine eindeutige Quelle benannt wird. Als Gründe für die begrenzte Haltbarkeit werden meist Qualitätseinbußen, Festigkeitsverlust oder kürzer werdende Fasern genannt. In einem der Fachbücher⁸ wird sogar die Aussage getroffen, dass von einem ungebleichten Kiefern-Sulfatzellstoff nach 7 Recyclingvorgängen praktisch kein Substrat mehr für die Blattbildung auf einer Versuchspapiermaschine zur Verfügung stand, da aufgrund begrenzter First-Pass-Retention

selbst bei annähernd geschlossenem Wasserkreislauf der ursprünglich zur Blattbildung geeignete Faserstoff als Feinstoff mit dem Abwasser verloren gegangen ist. In der angegebenen Quelle⁹ ist diese Aussage in der Form allerdings nicht zu finden und der Verdacht lässt einen nicht los, dass der Faserstoff sprichwörtlich „totgemahlen“ wurde.

Grundlagen für ein erfolgreiches Recycling

Auch wenn die stark begrenzte Anzahl an Faserrecyclingzyklen anzuzweifeln ist, sind dennoch einige Aussagen der zuvor zitierten Quellen richtig und für ein funktionierendes und nachhaltiges Papierrecycling erforderlich. In einer Volkswirtschaft wie beispielsweise Deutschland, mit einem sehr diversifizierten Papierproduktionsprogramm, kann Recycling nur dann funktionieren, wenn eine ständige Zufuhr an Primärfasern erfolgt. Die Gründe dafür liegen einerseits darin, dass nicht alle Papierprodukte einem stofflichen Recycling zugeführt werden können. Allgemein wird davon ausgegangen, dass dies ca. 19% des Papierverbrauchs¹⁰ betrifft, insbesondere alle Papiere und Pappen für technische und spezielle Verwendungszwecke sowie alle Hygienepapiere. Andererseits entstehen bei jeder Aufbereitung von Altpapier stets Faser- und Feinstoffverluste, die durch den Eintrag von Primärfasermaterial ergänzt werden müssen. Ohne diesen Frischfaser-Input würde ein geschlossener Papierrecyclingkreislauf in absehbarer Zeit mangels Masse zusammenbrechen. Insofern ist auch die auf Mengenbetrachtungen basierende Berechnung der Faserumläufe von durchschnittlich 3,6 im Jahr 2016 für den europäischen Wirtschaftsraum korrekt¹¹, sagt jedoch nichts über die technologisch maximal mögliche Recyclinganzahl aus. Richtig ist sicherlich auch, dass die mehrfach rezyklierten Fasern durch das Recycling nicht unbedingt „besser“ werden. Allerdings ist der Grad des stets postulierten Festigkeitsverlustes stoffabhängig und begrenzt.

Stand des Wissens

Wissenschaftliche Untersuchungen zum Recyclingverhalten verschiedener Faserstoffe nach Holzart und Aufschlussverfahren wurden bereits in den 1970er Jahren durchgeführt. Stürmer und Göttsching¹² haben durch umfangreiche Laborsimulationen mit bis zu 12 Recyclingzyklen gezeigt, dass sich Zellstoffe und Holzstoffe durchaus unterschiedlich beim Rezyklieren verhalten (Abb. 1). Während ligninreiche Holzstoffe im Laufe sich wiederholender Recyclingzyklen kaum von ihrem ursprünglichen Festigkeitsniveau einbüßen, verhalten sich ligninfreie Zellstoffe deutlich anders. Sie verlieren eigentlich nur innerhalb der ersten drei bis vier Recyclingzyklen deutlich von ihrem Festigkeitspotenzial, danach sind die Veränderungen marginal.

Andere Autoren^{13, 14, 15} sind zu vergleichbaren Erkenntnissen gelangt. Allerdings sind direkte Vergleiche meist nicht möglich, da die Vorgeschichte der untersuchten Primärfaserstoffe (vorgetrocknet oder nicht) nicht immer klar definiert ist oder die Art der Blattbildung (mit oder ohne Rückwasser) und Trocknung (Temperaturniveau, mit oder ohne Vakuum oder Schrumpfungsbehinderung) nicht genau beschrieben sind oder sich einfach unterschiedlich darstellen. Auffällig ist allerdings, dass es keine Untersuchungen zum Recyclingverhalten von Altpapier im Sinne von Ausgangsmaterial als einer Mischung von Sekundärfasern unterschiedlichen „Alters“ für die Herstellung von Testliner und Wellenstoff gibt. Auch zu den klassischen Primärfaserrohstoffen für Kraftliner, also ungebleichtem Sulfatzellstoff, und Halbzellstoff für Flutingpapiere gibt es kaum Veröffentlichungen.

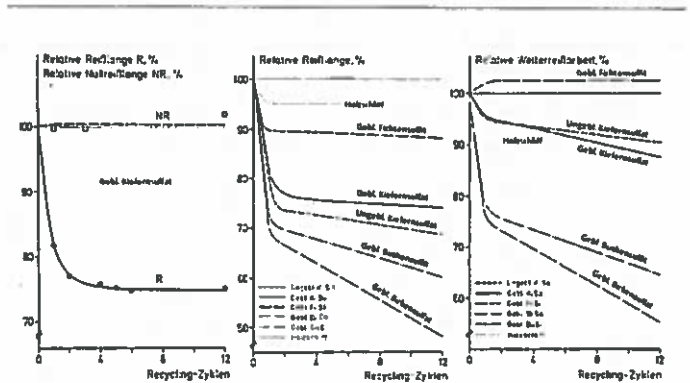


Abb. 1: Relative Festigkeitsentwicklung verschiedener Faserstoffe in Abhängigkeit von der Recycling-Zyklusanzahl (Mahlung nur vor 1. Zyklus; Zellstoffe 37-41 SR; Schliiff 61 SR)¹²

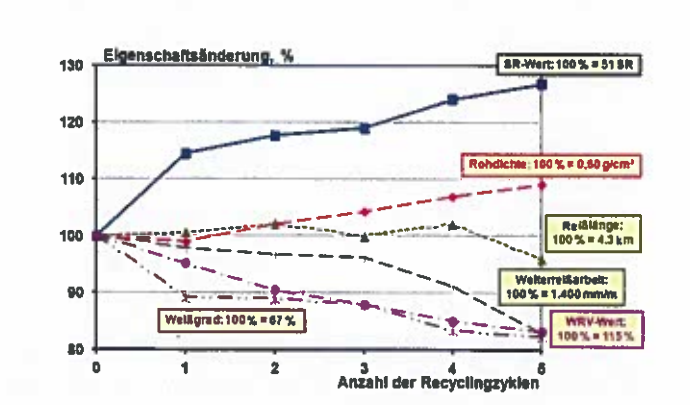


Abb. 2: Prozentuale Eigenschaftsänderungen beim Mehrfachrecycling von Zeitungsdruckpapier¹⁶

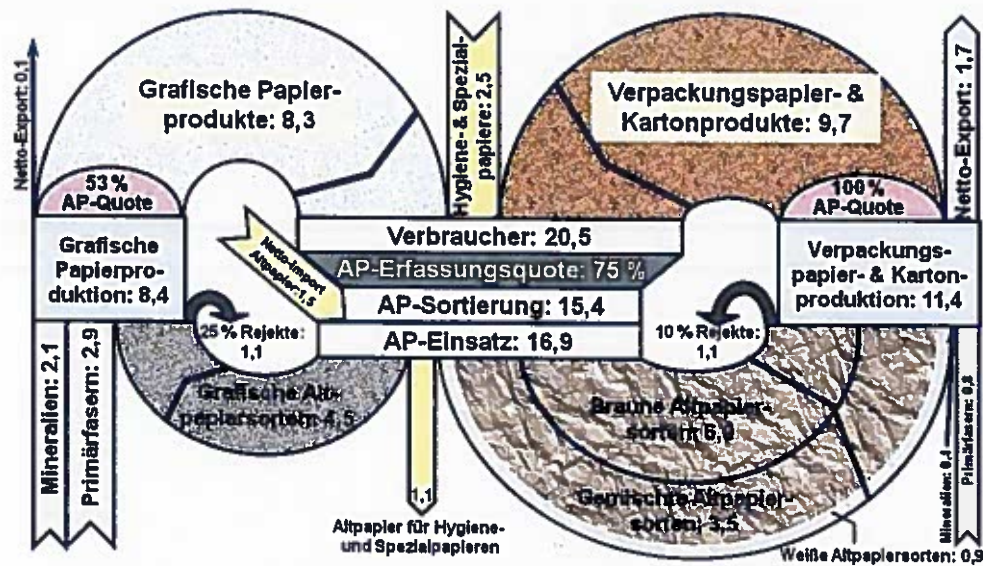


Abb. 3: Faserkreislauf Deutschland 2016 (Zahlenangaben in Mio. t)

Eine einzige Veröffentlichung von Koning und Godshall¹⁶ aus den 70er Jahren widmet sich dem Thema Recycling von Wellpappenkartons. Dabei wird aufwändig aus Kraftliner und (Neutral Sulfite Semi-Chemical) NSSC-Fluting zunächst Wellpappe und daraus dann eine Wellpappenschachtel hergestellt, die in Folge insgesamt drei Mal rezykliert wird. Auch hier wird festgestellt, dass der erste Zyklus bezüglich der Festigkeitsverluste am bedeutendsten ist und ein Großteil der Verluste durch reaktivierende Mahlung wieder aufgefangen werden kann. Aber auch diese Veröffentlichung lässt keine Rückschlüsse auf das Verhalten der in Deutschland mengenmäßig so wichtigen altpapierhaltigen Wellpappenrohstoffe Testliner und Wellenstoff zu. Mit dem zunehmenden industriellen Einsatz der Flotations-Deinking-Technologie in den 1990er Jahren stellten sich nicht nur Industrievertreter die Frage, wie lange es mit dem Recycling grafischer Papierprodukte zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier aus 100% Sekundärfaserstoff überhaupt noch gut gehen kann, wenn die Fasern zunehmend im Kreislauf gehalten werden. Dieser Fragestellung ging das Institut für Papierfabrikation (IfP) der TH Darmstadt in einem AIF geförderten Forschungsprojekt (Nr. 9365) im Pilotmaßstab nach und die experimentellen Ergebnisse und Modellierungen wurden 1997 in der Dissertation von Hunold¹⁷ ausführlich diskutiert und zusammengefasst. Praktisch zeitgleich wurde damals von einem Forscherteam der SCA¹⁸ im Labormaßstab und von einem skandinavischen Industriekonsortium¹⁹ im großem Pilotmaßstab (Large Scale Pilot Study) der gleichen Fragestellung nachgegangen. Die Mehrfachrecyclinguntersuchungen von Zeitungsdruckpapieren führten praktisch überall zum gleichen Resultat mit folgenden Kernaussagen:

- Auch nach 4 bzw. 5 Recyclingzyklen ist das Qualitätsniveau des hergestellten Zeitungsdruckpapiers zufriedenstellend und die Papiere ließen sich gut bedrucken.
- Auf Grund der versuchsbedingten Verluste bei der Stoffaufbereitung mit Flotation war nach 4 bzw. 5 Recyclingzyklen keine ausreichende Papiermenge für einen weiteren Versuchszyklus mehr vorhanden, weshalb keine weiteren Versuche erfolgen konnten.

Stellvertretend für diese Ergebnisse sind in Abb. 2 die Eigenschaftsänderungen aus den IfP-Versuchen nochmals wiedergegeben, die ausgiebig in der Veröffentlichung von Schabel und Putz²⁰ vorgestellt und mit Modellierungen aktualisiert worden sind. Sie belegen, dass ausgehend vom Primärfaserpapier, bestehend aus Zellstoff und Holzstoff, die Festigkeitseinbußen nach 5 Recyclingzyklen bei der Reißlänge lediglich 4% und bei der Weiterreißarbeit 17% betragen. Die für grafische Papiere so wichtige optische Kenngröße Weißgrad ist nach 5 Recyclingzyklen im Vergleich zum unbedruckten Primärfaserpapier 18% niedriger. Dabei ist auffällig, dass bereits nach dem ersten Recyclingdurchgang eine Reduktion des Weißgrades von anfangs 67% auf 60%, also um 11% erfolgt. Die nachfolgenden 4 Recyclingzyklen vergrößern den Weißverlust nur um weitere 7%.

Modellberechnungen zum durchschnittlichen Faseralter

Während nur in Labor- und Pilotversuchen die exakte Zyklanzahl von Fasermaterial bestimmt werden kann, sind in realem Altpapier stets Mischungen von Fasern unterschiedlichen und unbekanntem Faseralters enthalten. In Modellrechnungen kann über Massenbilanzierungen und diverse Annahmen eine Fasergenerationenverteilung für z. B. eine Papiersorte oder ein Land berechnet werden.²¹ Meist wird diese errechnete Verteilung auf das durchschnittliche Faser- bzw. Generationenalter reduziert. Meinel et al.²² haben derartige Berechnungen weiter verfeinert und für verschiedene Länder bzw. Wirtschaftsräume sowie Papiersortengruppen und Altpapiersorten durchgeführt. Dabei wurde für Verpackungspapiere und Karton und den CEPI-Wirtschaftsraum ein durchschnittliches mittleres Faseralter (MFA = Mean Fibre Age) von 3,02 und ein mittleres zukünftiges Potential an Fasernutzungen (MNU = Mean Number of Future Uses) von weiteren 3,09 Zyklen errechnet, in Summe also 6,11. Abzüglich der ersten Primärfaserpapierherstellung resultiert aus diesen Modellrechnungen für Verpackungspapiere und Karton eine durchschnittliche Fasernutzung von 5,1 Zyklen. Diese Ziffer passt auch recht gut zu den häufig kolportierten 4 bis 7 Recyclingzyklen. Gleichwohl sagt sie als durch-

schnittliches Faseralter, basierend auf realen Mengenstrombetrachtungen, nichts darüber aus, wie häufig eine Faser tatsächlich für die Papierherstellung technologisch genutzt werden kann.

Welche Entwicklung ist zu erwarten?

Bezogen auf das Jahr 2007 mit der bisher höchsten Papier- und Kartonproduktionsmenge Deutschlands von insgesamt 23,3 Mio t, ist bis 2016 im Produktionssegment der grafischen Papiere ein Rückgang von 22,7 % zu verzeichnen gewesen und gleichzeitig ein Zuwachs um 19,0 % im Bereich von Verpackungspapieren und Karton. Gleichzeitig ist die Altpapier-Einsatzquote im Bereich der Herstellung von Verpackungspapieren und Karton mit 100 % nahezu doppelt so hoch wie im Bereich der grafischen Papiere (46 % – 53 %^{23, 24}). Daraus muss geschlossen werden, dass die Faserauffrischung im deutschen Papierkreislauf überwiegend im Bereich der grafischen Papiere erfolgt, für deren Herstellung ein Großteil der eingesetzten Primärfasern in Form von Zellstoff und Holzstoff eingesetzt werden. Papiere und Pappen für technische und spezielle Verwendungszwecke und Hygienepapiere bleiben bei dieser Betrachtung außen vor, da sie nach Gebrauch in den seltensten Fällen einer werkstofflichen Verwertung im Rahmen der Papierherstellung zugeführt werden.

Abb. 3 zeigt den Faserkreislauf 2016 in Deutschland, der sehr eindrucksvoll deutlich macht, dass gerade im Bereich der Verpackungspapiere und Kartons mittlerweile große Altpapiermengen im Kreislauf gefahren werden und der Frischfasereintrag sehr begrenzt ausfällt. Dies

bedeutet, dass der Nachschub guter, bisher weniger genutzter Fasern überwiegend durch weiße (grafische) Altpapiersorten und grafische Papierprodukte im gemischten Altpapier erfolgt und insgesamt das durchschnittliche Fasergenerationenalter im Bereich der Verpackungspapiere und Kartons weiter zunehmen wird. Es ist damit durchaus gerechtfertigt, der Frage nachzugehen, wie viele Recyclingzyklen eine Faser im Verpackungspapierbereich überhaupt absolvieren kann, zumal viele Papier-Packmittel als Einwegprodukte häufig in direkter Konkurrenz zu Mehrwegverpackungen aus anderen Materialien stehen.

Versuchsrandbedingungen

Bedingt durch die Stoffaufbereitungsverluste und den fehlenden Primärfasereintrag während der zuvor beschriebenen Mehrfachrecyclingversuche für Zeitungsdruckpapier konnte nur eine sehr begrenzte Anzahl an Recyclingzyklen durchgeführt werden. In einem vergleichbaren Versuch mit z. B. Wellpappenroh-papieren, könnte mit Sicherheit eine wesentlich höhere Anzahl an Recyclingzyklen realisiert werden, da bei der Altpapieraufbereitung deutlich geringere Verluste auftreten.

Aus diesem Grund wurde in aktuellen Untersuchungen zunächst ein Versuchsprotokoll entwickelt, das eine Zerkleinerung und Blattbildung im Labormaßstab bei minimalen Verlusten gestattet und gleichzeitig eine gewisse mechanische Belastung auf den Faserstoff ausübt. Für die Zerkleinerung wurde daher ein (Niederkonsistenz) LC-Pulper genutzt, der einen Nachbau des zum Escher-Wyss Labor-Flachkegelrefiner

PLANT ENGINEERING THAT ORGANIZES AROUND YOUR NEEDS

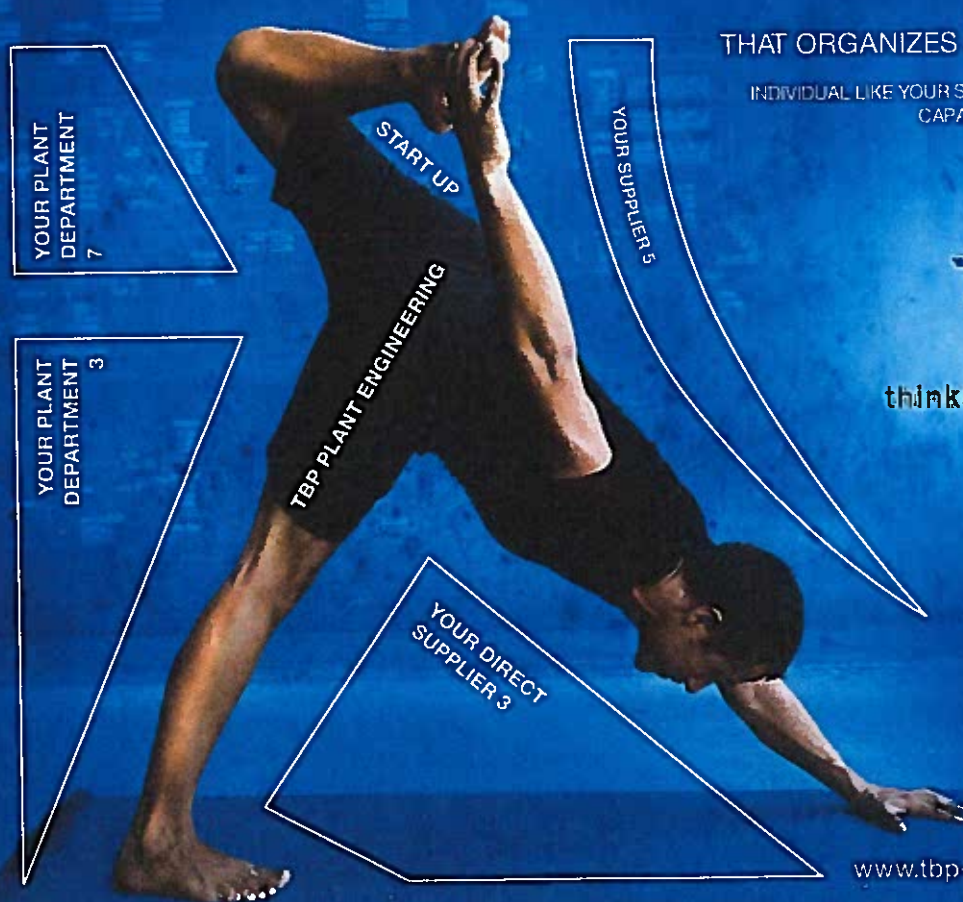
INDIVIDUAL LIKE YOUR SITUATION – EASY LIKE A TURN KEY
CAPABLE OF MULTIPLE 100M PROJECTS
OWNED BY CEO

TBP

thinks beyond planning

PLANT
ENGINEERING
FOR PAPER // PULP
PETROCHEMISTRY
STARCH // SUGAR
WASTEWATER
ENERGY
WOOD

www.tbp-group.com



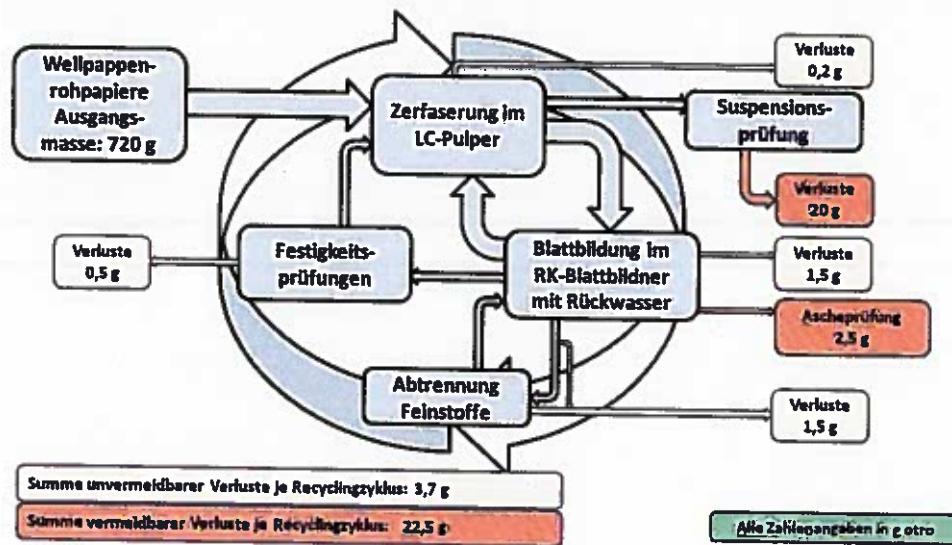


Abb. 4: Mehrfachrecyclingversuch mit minimierten Verlustmengen je Zyklus

zugehörigen Pulpers darstellt. Die Laborblattbildung erfolgte jeweils mit Rückwasserführung. Abb. 4 zeigt die je Recyclingzyklus anfallenden, nicht vermeidbaren Stoffverluste in den einzelnen Prozessschritten, die sich auf insgesamt ca. 3,7 g otro summieren und überwiegend bei den Entwässerungsvorgängen entstehen. Das gesamte für die Papierprüfung eingesetzte Probematerial wurde mit Ausnahme des CMT-Prüfstreifens nach den Messungen jeweils wieder dem nächsten Zerfaserungsschritt zugeführt, so dass bei den Festigkeitsprüfungen fast keine Verluste entstehen. Im Gegensatz dazu verursachen die Suspensionsprüfungen zur Bestimmung von z. B. Schopper-Riegler-Wert oder den Faserfraktionen nach Haindl-McNett wesentlich höhere Verluste von insgesamt rund 22,5 g otro. Diese Verluste sind unmittelbar vermeidbar, wenn keine Prüfung erfolgt, weshalb beschlossen wurde, diese Messungen nur nach dem 1., 3., 5. und dann nach jeweils fünf weiteren Zyklen durchzuführen. Bezogen auf die Ausgangsmaterialmasse von 720 g otro betragen die unvermeidbaren Stoffverluste 0,5 %, während die vermeidbaren Verluste bei 3,1 % liegen.

Der erste umfangreichere Versuch zum Mehrfachrecycling von Wellpappenrohpa-pier im Rahmen des AiF-Projektes 19685 N erfolgte am PMV an einer Papiermischung, die sich am Verbrauch der Papiersortenstruktur 2015 zur Herstellung von Wellpappe in Deutschland²⁵ orientierte. Dementsprechend wurden:

- 40 % Testliner 3,
- 40 % Wellenstoff und
- 20 % Kraftliner eingesetzt.

Die Niederkonsistenz-Zerfaserung erfolgte bei 4 % Stoffdichte bei einer Anfangstemperatur und 60 °C. Die Zerfaserungsdauer wurde der im Zuge des Recyclings abnehmenden Feststoffmenge linear angepasst und betrug konstant 62,5 s/100 g Feststoff, entsprechend 7,5 Minuten bei der ersten Zerfaserung von 720 g otro bzw. 3,3 Minuten bei der letzten Zerfaserung von 320 g otro. Da jeweils der gesamte Pulperansatz zu Laborblättern zu verarbeiten und nach erfolgter Prüfung wieder zu zerfasern war, wurden Laborblätter von 120 g/m² flächenbezogener Masse hergestellt. Nach einer Trocknungszeit von

jeweils 10 Minuten stellte sich an den Laborblättern eine Restfeuchte von ca. 3 % ein. Es erfolgte während der gesamten Mehrfachrecyclingversuche keine Zufuhr von Primärfasern bzw. Mineralien.

Versuchsergebnisse

Nachfolgend sind in den Abbildungen ausgewählte Ergebnisse dieses ersten Versuchslaufes mit der oben beschriebenen Wellpappenrohpa-piermischung über der Anzahl der zusätzlichen Recyclingzyklen dargestellt, die auf der Masterarbeit von Johannes Schug²⁶ beruhen. Es wurde in den Darstellungen bewusst der Begriff „zusätzliche Recyclingzyklen“ gewählt, da nur diese Recyclingzyklenanzahl mit Sicherheit von allen Fasern im Laborversuch exakt durchlaufen wurde. Während die hauptsächlich aus Primärfasern bestehenden Kraftlinerfasern erstmals die in den Laborversuchen genannten Umläufe absolvieren, ist bei den aus Testliner und Wellenstoff bestehenden Sekundärfasern davon auszugehen, dass deren Fasern bereits vor diesen Laborsimulationen eine unbekannte Anzahl an Recyclingzyklen durchlaufen haben.

Abb. 5 zeigt die Entwicklung des Wasserrückhaltevermögens in Abhängigkeit von den durchgeführten 25 Recyclingzyklen. In der Grafik ist die lineare Trendlinie mit Geradengleichung, Bestimmtheitsmaß R^2 und Korrelationskoeffizient r eingezeichnet. Für jeden untersuchten Versuchspunkt ist der Fehlerbalken als Standardabweichung zur jeweiligen Messung angegeben. Das Wasserrückhaltevermögen fällt über die 25 Zyklen von einem Ausgangswert von rund 106 % auf 92 % um insgesamt 14,5 %-Punkte auf Grund eintretender Faserverhornung. Signifikante Veränderungen von Faserlängen bzw. Faserfraktionsanteilen konnten nicht festgestellt werden. Der Schopper-Riegler-Wert sank von 40,5 SR um 4,0 SR-Einheiten zwischen erstem und letztem Zyklus, parallel zum Aschegehalt (525°C) im Laborblatt, der von 7,9 % auf 5,8 % fiel.

Die Fehlerbalken bei der Bestimmung der scheinbaren Dichte (Abb. 6) fallen im Vergleich zum Wasserrückhaltevermögen größer aus. Dennoch ist auch hier ein eindeutiger Trend zum weniger steifen Papier erkennbar. Die scheinbare Dichte fällt zwischen erstem und letztem

Fibers in Process

Nachhaltige Papierwirtschaft

Das Portal für die gesamte Papierbranche:

- News aus der Branche
- Hersteller- und Lieferantenverzeichnis
- Infos rund um Messen & Veranstaltungen

Schauen Sie doch mal rein!

www.fibers-in-process.de



Sie haben noch Fragen? Dagmar Henning hilft Ihnen gerne unter Telefon +49 69 7595-1722 bzw. dagmar.henning@dfv.de weiter.

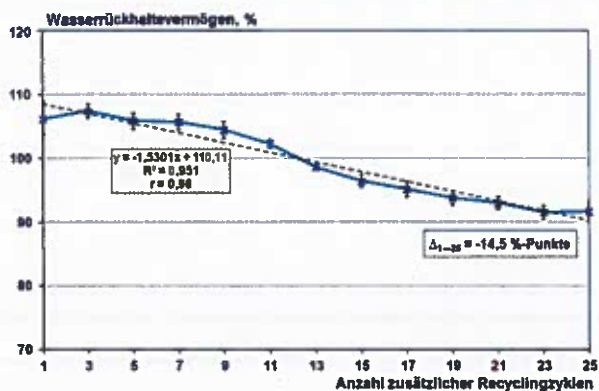


Abb. 5: Wasserrückhaltevermögen einer Wellpappenrohpaiermischung in Abhängigkeit von den Recyclingzyklen

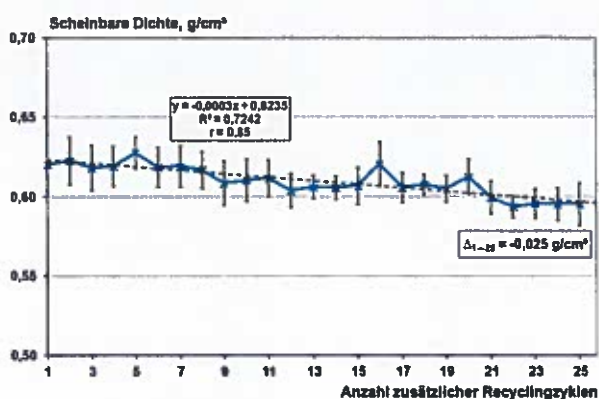


Abb. 6: Scheinbare Dichte von Laborblättern (120 g/m²) aus einer Wellpappenrohpaiermischung in Abhängigkeit von den Recyclingzyklen

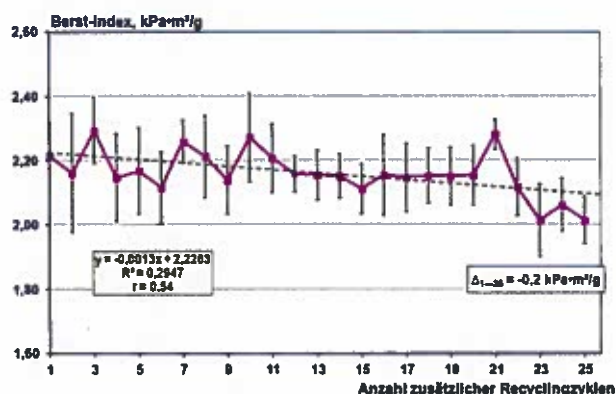


Abb. 7: Berst-Index von Laborblättern (120 g/m²) aus einer Wellpappenrohpaiermischung in Abhängigkeit von den Recyclingzyklen

Recyclingzyklus von 0,620 g/cm³ um 0,025 g/cm³, was einem Rückgang von rund 4 % des Ausgangswertes entspricht.

In Abb. 7 ist die Entwicklung der Berstfestigkeit flächengewichtsbezogen als Berst-Index mit Fehlerbalken je Versuchspunkt und Trendlinie über den Recyclingzyklen dargestellt. Da alle Festigkeitskenngrößen der Laborblätter nach jedem Recyclingzyklus ermittelt wurden, liegen jeweils 25 Messwerte vor. Obwohl die Fehlerbalken relativ groß und der Korrelationskoeffizient relativ niedrig ist, ist ein eindeutiger Trend über die Recyclingzyklen erkennbar. Insgesamt fällt der Berst-Index von

2,2 kPa·m²/g im ersten Zyklus um 9 % bis zum letztem Zyklus, was einer absoluten Reduzierung von 0,2 kPa·m²/g entspricht.

In Abb. 8 sind alle an den Laborblättern gemessenen Festigkeitskenngrößen (Reißlänge, Weiterreißarbeit-Index (WRA-Index), Berst-Index, SCT, RCT, CMT) relativiert dargestellt, d. h. sie sind prozentual bezogen auf den jeweiligen Messwert des 1. Zyklus wiedergegeben. Um die Grafik übersichtlicher zu halten, wurde auf die Darstellung von Fehlerbalken sowie Trendlinien mit Geradengleichung, Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient verzichtet. Die prozentualen Verluste zwischen 1. und 25. Zyklus liegen zwischen 5,1 % und 11,6 % und sind besonders gering für die Parameter Reißlänge, CMT bzw. RCT und am höchsten für SCT und WRA-Index. Obwohl die Einzelwerte eines Parameters von einem zum nächsten Zyklus schwanken und auch mal ansteigen, ist der Trend über die 25 Zyklen eindeutig, wie Abb. 9 zeigt. Darin sind für die zuvor gezeigten Parameter die Trendlinien mit zugehörigem Korrelationskoeffizienten dargestellt, der zwischen 0,54 und 0,81 liegt. Die Trendlinien verdeutlichen den Bereich, in dem die Festigkeitsabnahme über die zusätzlichen 25 Recyclingzyklen für die eingesetzte Wellpappenrohpapiermischung mit 20 % Primär- und 80 % Sekundärfaseranteil liegt.

Ausblick

Im Rahmen des AiF-Projektes 19685 N werden weitere Untersuchungen zum Mehrfachrecycling von Wellpappenrohpapieren bzw. von Rohstoffen für die Wellpappenrohpapierherstellung durchgeführt. Insbesondere wird auf die Besonderheiten der Wellpappenrohpapierherstellung auf Altpapierbasis mit einer gezielten Stärkeapplikation in der Masse bzw. in Leim- und Filmpresse zur Festigkeitssteigerung eingegangen. Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt liegt in den möglichen Auswirkungen der Wellpappenherstellung mit der mechanischen und thermischen Belastung bei Wellenformung und Trocknung der verwendeten Stärkeklebstoffe. Bevor das Projekt Ende 2019 abgeschlossen sein wird, soll ein Pilotversuch auf der PMV-Versuchspapiermaschine die Ergebnislage abrunden.

Schlussfolgerungen

Die vereinfachende Aussage, dass Papierfasern 4- bis 7-Mal rezykliert werden können und danach zu schwach sind, um daraus wieder Papier herzustellen ist widerlegt. Die aus der Literatur bekannten Modellierungen beziehen sich auf Massenbilanzierungen und geben keine Auskunft darüber, wie viele Recyclingzyklen eine Faser ohne nennenswerte Schädigungen tatsächlich überstehen kann.

Sofern Papier nicht aus Primärfasern hergestellt wird, muss stets eine Mischung von Fasergenerationen unbekanntes Alters rezykliert werden. Daher können Versuche mit einer definierten Anzahl an Recyclingzyklen nur im Labor- bzw. Pilotmaßstab durchgeführt werden. Ältere Literaturstellen belegen für verschiedene Primärfaserstoffe mit bis zu 12 Recyclingzyklen, dass die größten Veränderungen jeweils während der ersten 2–4 Zyklen auftreten.

Erste Versuche zum Mehrfachrecycling erfolgten mit einer Wellpappenrohpapiermischung, die sich am Verbrauch der deutschen Wellpappenindustrie orientierte und einen 80 %igen Sekundärfaserpapieranteil beinhaltet. Insgesamt wurden 25 (zusätzliche) Recyclingzyklen mit Zerkleinerung in einem Niederkonzistenz-Laborpulper und Kreislaufwasser-Blattbildung ohne jegliche Frischfaserzugabe durchgeführt. Die Ergebnisse der Suspensionsprüfung beim Mehrfachrecycling weisen über die 25 Zyklen auf eine leichte Reduktion der Werte für Was-

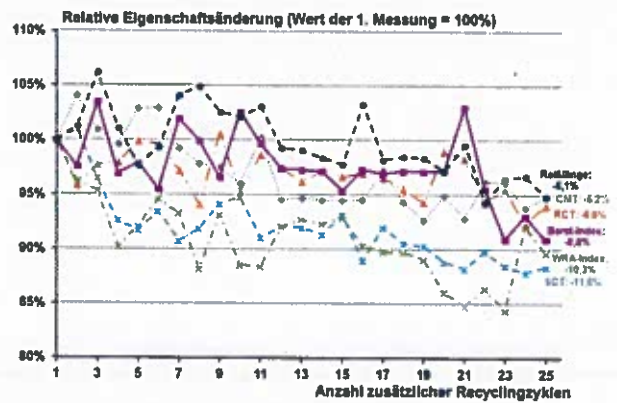


Abb. 8: Relative Änderung von Laborblatt-Festigkeitskenngrößen (120 g/m²) einer Wellpappenrohpapiermischung in Abhängigkeit von den Recyclingzyklen

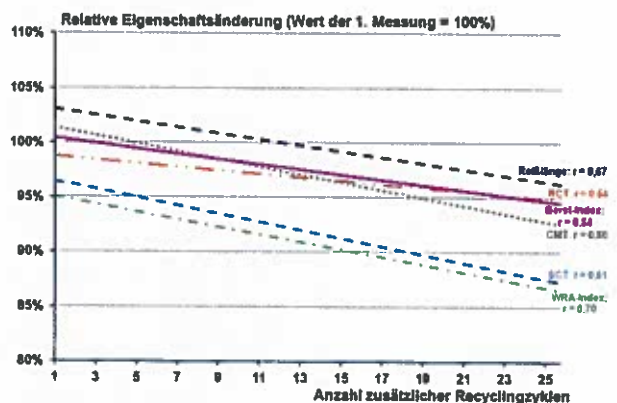


Abb. 9: Trendlinien der relativen Änderung von Laborblatt-Festigkeitskenngrößen (120 g/m²) einer Wellpappenrohpapiermischung in Abhängigkeit von den Recyclingzyklen

serrückhaltevermögen, Schopper-Riegler und Aschegehalt hin. Bei den Mehrfachrecyclingversuchen im Labor sind über die 25 Recyclingzyklen für alle relevanten Festigkeitskenngrößen nur geringe Verluste in einer Größenordnung von 5 % bis 12 % festzustellen. Als Grund ist zunächst der geringe Primärfaserpapieranteil von lediglich 20 % in der Gesamtmischung anzusehen, da alle anderen Faserbestandteile bereits die ersten Recyclingzyklen mit den besonders hohen Beeinträchtigungen hinter sich haben.

Nicht vergessen werden darf allerdings bei allen diesen Modell- oder Pilotversuchen, dass die Herausforderung der Papierfabriken bei der Verwendung von Altpapier als Rohstoff für die Papierherstellung in erster Linie in der Abtrennung von papierfremden Verunreinigungen und Papierproduktbegleitstoffen liegt. Die Entfernung dieser Materialien gelingt nie zu 100 % und führt so über das Mehrfachrecycling zu einer Verschlechterung der Qualität. Hier wäre es wünschenswert, dass sich Hersteller von Papierprodukten bei der Gestaltung solcher Produkte mehr an Fragen der Rezyklierbarkeit orientieren und „Design to Recycling“ betreiben. Derartige Fragen konnten aber im Rahmen der hier vorgestellten Labor- und Pilotversuche nicht betrachtet werden.

Dank

Das IGF-Vorhaben 19685 N der Forschungsvereinigung Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Fibers in Process

Nachhaltige Papierwirtschaft

Literatur

- 1 <https://de.wikipedia.org/wiki/Mythos> (Abgerufen: 03.01.2018)
- 2 https://www.vdp-online.de/fileadmin/Datensammlungen/Publikationen/Papierhoch7_de.pdf (Abgerufen: 19.10.2017)
- 3 <https://www.papyrus.com/deCH/services/9800025/Papierrecycling/view.htm> (Abgerufen: 19.10.2017)
- 4 <http://www.altpapier.ch/de/faq/wieoft> (Abgerufen: 19.10.2017)
- 5 <https://www.fragor.xyz/bir-bureau-of-international-recycling-wo-ich.html> (Abgerufen: 19.10.2017)
- 6 <http://www.papierverarbeitung.de/wp/umwelt/recycling/> (Abgerufen: 19.10.2017)
- 7 <http://www.neuropool.com/berichte/haushalt/wie-oft-kann-altpapier-recycelt-werden.html> (Abgerufen: 19.10.2017)
- 8 **Blechsmidt, J.** (Hrsg.): Taschenbuch der Papiertechnik. Carl Hanser Verlag, 1. Auflage 2010, S. 165 bzw. 2. Auflage 2013, S. 172, München
- 9 **Naujock, H.-J.:** Reaktivierung von Altpapier durch Faserstoffmahlung und Deinking. TU Dresden, Fakultät für Maschinenwesen, Dissertation, S. 102–104, 1986
- 10 <http://www.paperrecovery.org/questions-answers/> (Abgerufen: 15.04.2018)
- 11 http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/recycling/2018/FINAL_Monitoring%20Report%202016.pdf (Abgerufen: 15.04.2018)
- 12 **Götttsching, L.; Stürmer, L.:** Physikalische Eigenschaften von Sekundärfaserstoffen unter dem Einfluß ihrer Vorgeschichte. Teil II: Einfluß des mehrfachen Recycling. Wochenbl. f. Papierfabrikat. 106(1978) Nr. 23/24, S. 909–918
- 13 **Horn, R. A.:** What are the effects of recycling on fiber and paper properties? Paper Trade J. 159(1975) Nr. 7/8, S. 78–82
- 14 **Howard, R. C.; Bichard, W.:** The basic effects of recycling on pulp properties. J. of Pulp and Paper Science 18(1992) Nr. 4, S. J151–J159
- 15 **Law, K. N.; Valade, J. L.; Quan, J.:** Effects of recycling on papermaking properties of mechanical and high yield pulps. Part I: Hardwood pulps. Tappi J. 79(1996) Nr. 3, S. 167–174
- 16 **Koning, J. W.; Godshall, W. D.:** Repeated recycling of corrugated containers and its effect on strength properties. TAPPI 58(1975) Nr. 9, S. 146–150
- 17 **Hunold, M.:** Experimentelle und theoretische Untersuchungen über quantitative und qualitative Auswirkungen steigender Altpapier-Einsatzquoten auf das Recyclingsystem Papier-Altpapier. Dissertation, TH Darmstadt, 1997
- 18 **Eriksson, I.; Lunabba, P.; Pettersson, A.; Carlsson, G.:** Recycling potential of printed thermomechanical fibres for newsprint. Tappi J. 80(1997) Nr. 7, S. 151–158
- 19 **Engstrand, P.:** The effect of multiple recycling on newsprint quality – A large-scale pilot study performed 1992–1996. PTS-CTP Deinking-Symposium, München, 2002
- 20 **Schabel, S.; Putz, H.-J.:** Rohstoff Altpapier – ein Ausblick. Wochenbl. f. Papierfabrikat. 142(2005) Nr. 1/2, S. 1–6
- 21 **Hunold, M.; Götttsching, L.:** Wie „alt“ ist Altpapier heute und morgen? Das Papier 47(1993) Nr. 10A, S. V172–V185
- 22 **Meinl, G.; Tempel, L.; Schiefer, M.; Seidemann, C.:** How old are fibers in paper for recycling and what is their life expectancy? 11th Research Forum on Recycling, Jacksonville, FL, 2016
- 23 N.N.: Papier 2017 – Ein Leistungsbericht. Verband Deutscher Papierfabriken, Bonn, 2017
- 24 N.N.: Papier 2008 – Ein Leistungsbericht. Verband Deutscher Papierfabriken, Bonn, 2008
- 25 N.N.: https://www.wellpappen-industrie.de/data/04_Verband/05_Publikationen/03_ZahlenFakten/ZahlenFakten-2017.pdf (Abgerufen: 15.04.2018)
- 26 **Schug, J.:** Konzeption eines Pilotversuchs zum Mehrfachrecycling von Wellpappe. Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, Masterarbeit, TU Darmstadt, 2017

i Papierfremde Bestandteile sind nach DIN EN 643 eine Teilmenge der unerwünschten Materialien im Altpapier und dürfen je nach Altpapiersorte bis zu einer zulässigen Höchstmenge im Altpapier enthalten sein. Darüber hinaus müssen bei der Altpapieraufbereitung aber auch all diejenigen Stoffe abgetrennt werden, die aus einem Papier oder Karton erst ein Papierprodukt machen (z. B. bei einem Leitz-Ordner die Kunststofffolienkaschierung des Umschlages, die Metallapplikationen des Schließmechanismus und die Klebstoffapplikation des Etiketts) und bei der trockenen Altpapiersortierung nicht entfernt werden können. Diese für die Papierherstellung ungeeigneten Materialien werden hier als Papierproduktbegleitstoffe umschrieben.

Die schnelle Suche nach der Nadel im Heuhaufen - das Hersteller- und Lieferantenverzeichnis!

- Präsentieren Sie Ihr Unternehmen mit einem Basis- oder Premiumbeitrag
- Zeigen Sie Neukunden Ihr Portfolio
- Verbessern Sie Ihre Online-Reichweite

Profilieren Sie sich in der Branche



Registrieren Sie sich jetzt!

www.fibers-in-process.de



Sie haben noch Fragen? Dagmar Henning hilft Ihnen gerne unter Telefon +49 69 7595-1722 bzw. dagmar.henning@dfv.de weiter.