



# ÜBER DIE REZYKLIERBARKEIT VON FALTSCHACHTELKARTON

Dr Rene Eckhart, Technische Universität Graz

Veröffentlichung in „Wochenblatt für Papierfabrikation 11/2021“

Dezember 2021

# Über die Rezyklierbarkeit von Faltschachtelkarton

## Ergebnisse einer Recyclingstudie



Faltschachtelkarton findet vielfältige Einsatzmöglichkeiten als Lebensmittelverpackung.

**Für den Einsatz von Altpapier für Kartonverpackungen generell und speziell mit dem Ziel einer erhöhten Altpapiersammelquote ist es wichtig zu verstehen, ob und wie sich die Fasereigenschaften durch vielfaches Recycling verändern und wie häufig Altpapierfasern rezykliert werden, um weiterhin für die Kartonerzeugung geeignet zu sein.**

### Einleitung

Papier, Pappe und Karton haben laut Eurostat mit etwa 85 % im Jahr 2019 bei weitem die höchste Recyclingquote aller Verpackungsmaterialien erreicht. Metall liegt dahinter bei 81 %, Glas bei 76 % und Plastik bei nur etwa 40 %<sup>[1]</sup>. Bis 2030 wird von der europäischen Papierindustrie sogar eine Steigerung der Recyclingquote bei Verpackungspapieren auf 90% angestrebt.

Altpapier ist in Europa der wichtigste Rohstoff für die Erzeugung von Papier u. Karton. Über alle Sorten betrachtet liegt sein Anteil bei über 54 %. Im Wesentlichen konzentriert sich der Altpapiereinsatz dabei auf die Verwendung in Zeitungsdruckpapier und in Verpackungsmaterialien wie Wellpappenrohpa-piere, Faltschachtelkarton und Verpackungspapieren.

Während Zeitungen und Wellpappen zu fast 100 % aus Altpapier erzeugt werden, ist der Anteil an Altpapier bei Faltschachteln mit etwa 35 % deutlich niedriger<sup>[2]</sup>. Bedingt durch Produk-anforderungen und lebensmittelrechtliche Vorgaben teilt sich das Sortenspektrum in Produkte auf, die weitgehend aus Altpapier produziert werden (GD-Karton) und solchen auf Frischfaserbasis (GC- u. GZ-Karton).

Verpackungen aus Karton werden von Konsumenten bevorzugt wegen des Umweltschutzgedankens und ihrer einfachen und gut etablierten Rezyklierbarkeit. Als Vorteile faserbasierter Verpackungen werden dabei die Verwendung erneuerbarer natürlicher Fasern gesehen, die aus nachwachsenden Rohstoffen aus nachhaltiger Forstwirtschaft gewonnen werden und nach der Verwendung wieder aus dem Abfallstrom zurückgewonnen werden können.

Größtmögliches Recycling wirkt sich deutlich positiv auf die Ökobilanz der Verpackungen aus, da dadurch der spezifische Wasserverbrauch in der Faserherstellung gesenkt werden kann und durch den niedrigeren Energieeinsatz auch die CO<sub>2</sub>-Produktion signifikant verringert wird<sup>[3]</sup>. Je häufiger eine Verpackung rezykliert werden kann, umso positiver fällt ihre Auswirkung auf die Umwelt aus.

Für die Herstellung von GD-Kartons auf Altpapierbasis wird hauptsächlich gemischtes Altpapier aus Haushaltssammelware mit unterschiedlichen Anteilen an Zeitungen u. Magazinen und Verpackungsmaterialien wie Wellpappekartons und Faltschachteln eingesetzt. Entscheidend für die Auswahl der verschiedenen Altpapiersorten sind neben dem Preis, der Verfügbarkeit und der Sauberkeit vor allem die Qualitätseigenschaften. Während Faltschachteln aus Frischfaser durch die Sortenklassifizierung in ihren Eigenschaften sehr klar definiert

Autoren: Rene Eckhart<sup>1</sup>, Manfred Feichtinger<sup>2</sup> Institut für Biobasierte Produkte und Papiertechnik, Technische Universität Graz, rene.eckhart@tugraz.at; <sup>1</sup>Manfred Feichtinger, IMM BOARD & PAPER GmbH, Manfred.Feichtinger@imm.group

sind, ist das bei Verpackungen aus Altpapier wesentlich schwieriger. Man kann nicht mehr unterscheiden ob das verwendete Material erst einmal rezykliert wurde oder ob es schon vielfach den Altpapierkreislauf durchlaufen hat. Und je nach saisonaler oder lokaler Schwankung der gesammelten Sorten ergeben sich weitere Einflüsse auf die Faser-mischung.

### Stand des Wissens

In der Papierindustrie und in zahlreichen Quellen hält sich vehement der Mythos, dass die Anzahl der maximal möglichen Recyclingzyklen für Papierfasern im Bereich von 4 bis 7 liegt. Eine genauere Betrachtung der Publikationen zu diesem Thema zeigt, dass die Anzahl der Recyclingzyklen die im Rahmen eines Versuchssetups durchgeführt werden können oft weniger vom Faserstoff bzw. der Qualität des Faserstoffes limitiert werden, als von Faserstoffverlusten die im Rahmen des Recyclingvorganges auftreten<sup>[4]</sup>. Dabei sind die Arbeiten oft schwer miteinander vergleichbar, da die Randbedingungen (Faserstoff vorgetrocknet/initial nass, Blattbildung, Trocknung) unterschiedlich sind. Was die technologische Entwicklung des Faserstoffes anlangt sind die wesentlichen Kernaussagen, dass Zellstoff sich vor allem in den ersten zwei bis vier Recyclingzyklen in Bezug auf Wasserrückhaltevermögen und Festigkeitspotential verändert, während die weiteren Veränderungen marginal sind. Die aktuelle Studie von Putz und Schabel<sup>[5]</sup>, an der sich die vorliegende Arbeit weitestgehend orientiert widmet sich mit einem geeigneten Setup zur Recyclingierung ebenfalls dieser Fragestellung. Die Studie behandelt als Ausgangsmaterial eine Mischung von Fasern unterschiedlichen Alters die sich an der Papiersortenstruktur zur Herstellung von Wellpappe in Deutschland orientiert (40% Testliner 3, 40% Wellenstoff, 20% Kraftliner), was einer Mischung von 80% Sekundärfasern unterschiedlichen Alters und 20% Primärfasern entspricht. Die Zerkleinerung erfolgte in einem LC-Pulper bei 4% Stoffdichte. Die Laborblattbildung erfolgte unter Einsatz von Rückwasserführung und es wurden Blätter von 120 g/m<sup>2</sup> hergestellt. Es wurden 25 Zyklen durchgeführt und es wurden über diese Zyklen hinweg keine Primärfasern bzw. Mineralien zugeführt. Über die 25 Zyklen hinweg zeigte sich ein Rückgang des Wasserrückhaltevermögens von 14,5%, eine geringfügige Abnahme des Mahlgrades um 4 Punkte, sowie eine leichte Abnahme des Aschegehaltes, welcher mit nicht zu vermeidenden Verlusten an Feinstoffen im Rahmen der Blattbildung einhergeht. Die Verluste in den mechanischen Eigenschaften (Reißlänge, CMT, SCT etc.) über die 25 Zyklen hinweg lagen zwischen 5,1 und 11,6%. Als Grund für die geringe Abnahme wird der geringe Primärfaseranteil von 20% genannt, da wie gesagt Zellstoffe vor allem in den ersten 2-4 Zyklen eine Veränderung erfahren. Auf Basis dieser Studie wird in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung einer Faserstoffmischung wie sie zur Herstellung von weiß gedecktem Faltschachtelkarton Verwendung findet über 25 Zyklen hinweg betrachtet. Im Unterschied zur oben genannten Studie ist in dieser Stoffmischung der Primärfaseranteil etwas geringer und wird ausschließlich durch mechanisch hergestellten Faserstoff repräsentiert, welcher nach Stürmer und Götttsching<sup>[6]</sup> während des Recyclings kaum Festigkeitspotential einbüßt. Darüber hinaus ist der Aschegehalt in der hier verwendeten Stoffmischung mit 21% deutlich höher als in der Wellpappemischung mit 7,9%. Einerseits lässt der deutlich geringere Primärfaseranteil erwarten, dass die Veränderungen über die Recyclingzyklen hinweg noch geringer ausfallen, andererseits ist es notwendig



**75**  
Punkte  
auf einer Skala  
von 0 bis 10

für Kundenzufriedenheit. Denn wenn die Walzen einen neuen Bezug brauchen, prüfen wir parallel auch all ihre An- und Einbauteile. Vom Walzenkern bis zum Neubezug verlassen unsere Produkte unser Haus, als wären sie neu. Unser Erfolgsrezept ist unsere Erfahrung.  
**Seit 75 Jahren.**

## KARTON

dem hohen Aschegehalt im Versuchssetup Rechnung zu tragen, da im Rahmen der Blattbildung mit Verlusten zu rechnen ist, welche in weiterer Folge die Entwicklung der technologischen Eigenschaften verfälschen würden.

### Durchführung der Recyclingstudie an Faltschachtelkarton

Der in dieser Studie eingesetzte Faltschachtelkarton ist wie folgt aufgebaut:

- Decke: 30 g/m<sup>2</sup>, weiße Akten u. Späne
- Schonschicht: 35 g/m<sup>2</sup>, gemischtes Altpapier u. Verpackungen
- Einlage: 213 g/m<sup>2</sup>, 75 % gemischtes Altpapier u. Verpackungen, 25 % RMP
- Rücken: 40 g/m<sup>2</sup>, 50% gemischtes Altpapier u. Wellpappe, 50 % eigener Ausschuss

Um die Versuchsdurchführung einfacher zu gestalten, wurde ungestrichener Rohkarton verwendet.

Der Primärfaseranteil der repräsentiert wird durch den in der Einlage eingesetzten Refiner Mechanical Pulp (RMP) beträgt somit knapp unter 18 % (Ausschuss berücksichtigt). Der Aschegehalt liegt wie bereits oben beschrieben bei 21 %. Dieser hohe Aschegehalt würde eine Interpretation der Entwicklung der technologischen Eigenschaften des Faserstoffes unmöglich machen, da der laufende Verlust an Asche im Rahmen der wiederholten Blattbildung zwangsläufig die mechanischen Eigenschaften positiv beeinflussen würde. Diesem Umstand wird im Rahmen der Studie Rechnung getragen, indem der Rohstoff in einem Labordrucksortierer welcher mit einem Lochsiebkorb mit 250 µm Lochdurchmesser ausgestattet ist von den mineralischen Bestandteilen weitgehend befreit wird. Zwangsläufig geht in diesem Schritt auch ein beträchtlicher Teil des Faserfeinstoffes verloren. Da im Rahmen der Studie aber ohnehin vor allem die Entwicklung der Faserfraktion von Interesse ist, wurde dieser Verlust an Feinstoff bewusst in Kauf genommen und hat keinen Einfluss auf die zu treffenden Aussagen. Der Aschegehalt wird im Rahmen dieser Sortierung von 21 % auf 5,9 % reduziert, der Mahlgrad reduziert sich durch die Reduktion an Faserfeinstoff von knapp 40 SR\* auf 17 SR\*. Die mechanischen Eigenschaften werden durch die Reduktion an mineralischen Bestandteilen, welche die Faser-Faser Bindungen stören, durchwegs positiv beeinflusst. Die Veränderung der Längenverteilung des Faserstoffes durch die Sortierung geht aus Abb. 1 im Ergebnisteil hervor. Ausgehend von diesem sortierten Rohstoff wurden 25 Recyclingzyklen simuliert. Die Blattbildung erfolgte auf einem Rapid-Köthen Laborblattbildner mit Rückwasserführung. Jegliches Siebwasser, das im Rahmen der Blattbildung in Richtung Kanal geht wurde aufgefangen und nachfolgend wiederrum zum Suspendieren der Blätter im Rahmen der Recyclierung verwendet. Auf diese Weise wurde über die Recyclingzyklen hinweg praktisch kein Frischwasser eingesetzt und so der Verlust an Fasermaterial im Rahmen der Blattbildung minimiert. Dennoch ist über die Wasserringvakuumpumpe ein gewisser Verlust an Fasermaterial unvermeidbar. Dieser beläuft sich über die Zyklen hinweg im Mittel auf 0,98% pro Zyklus. Zum Redispergieren der gebildeten Laborblätter wurde ein Aufschläger nach DIN EN ISO 5263-1 verwendet. Die Redispergierung erfolgte für 25 Minuten bei einer Stoffdichte von 2 %. Auch wenn diese Labor-Desintegration als schonend bezeichnet werden kann ist aus der Literatur bekannt<sup>[7]</sup>, dass im Rahmen dieses Prozessschrittes feines Material von der Faseroberfläche abgetragen wird. Dies äußerte sich im Rahmen der

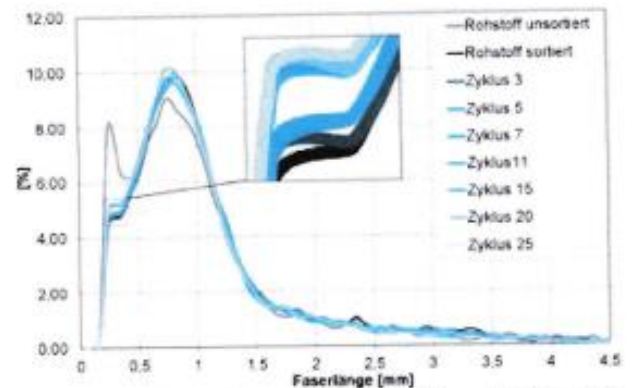


Abb. 1: Längengewichtete Faserlängenverteilung des Rohstoffes vor der Sortierung (rot), nach der Sortierung und nach den einzelnen Recyclingzyklen. Das Detail zeigt den Bereich sehr feinen Materials (200-400µm).

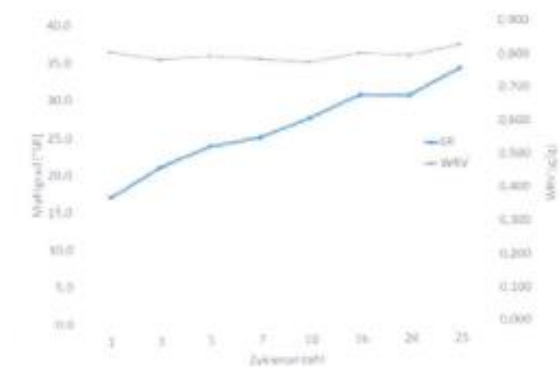


Abb. 2: Entwicklung des Mahlgrades und des Wasserrückhaltevermögens über die 25 Recyclingzyklen.

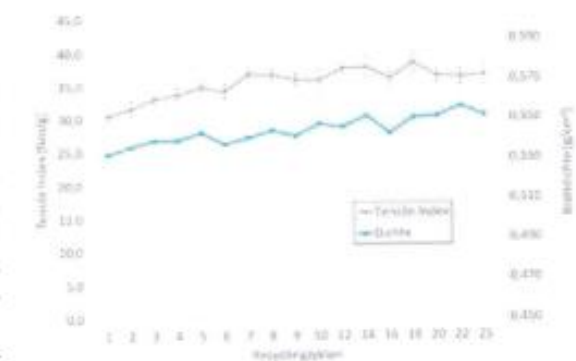


Abb. 3: Entwicklung des tensile index und der Blattdichte über die 25 Recyclingzyklen hinweg.

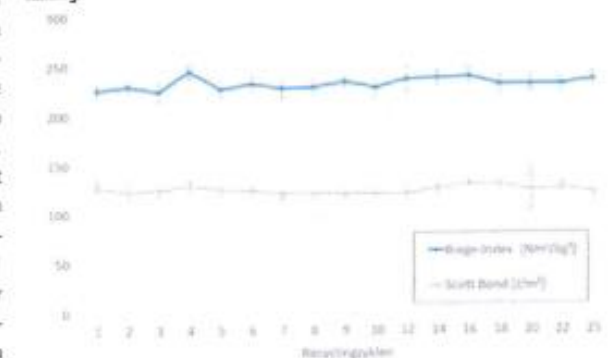


Abb. 4: Entwicklung des Biegelindex und der Spaltarbeit nach ScottBond über die 25 Recyclingzyklen

durchgeführten Zyklen in einem Anstieg des Mahlgrades (im Unterschied zur Studie von Putz und Schabel<sup>[1]</sup> in der eine Abnahme des Mahlgrades zu verzeichnen war) über die 25 Zyklen hinweg. Mahlgrad (EN ISO 5267-1), Wasserrückhaltevermögen (ISO 23714) und Fasermorphologie (ISO 16065-2) wurden nach den Zyklen 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25 bestimmt. Blattprüfungen bezüglich Dicke/Dichte/Volumen (EN ISO 534), Zugfestigkeit (EN ISO 1924-2), Biegesteifigkeit (ISO 2493-1) und Spaltarbeit nach Scott Bond (ISO 16260) wurden bis zum Zyklus 10 an jedem Zyklus und ab Zyklus 10 an jedem zweiten Zyklus durchgeführt. Darüber hinaus wurde nach Zyklus 1, 5, 12 und 25 der Aschegehalt (DIN 54370) bestimmt.

### Ergebnisse der Recyclingstudie an Faltschachtelkarton

Wie bereits angesprochen führt die Desintegration der Blätter im Labor-Aufschläger im Rahmen der Recyclingzyklen zu einer Feinstoffproduktion, da Feinstoff von der Faserwand abgelöst wird. Dies zeigt sich sowohl in der Fasermorphologie (Abb.1), als auch in einem Anstieg des Mahlgrades (Abb.2). Die in Abb.1 dargestellte längengewichtete Faserlängenverteilung zeigt einerseits die Auswirkung der Sortierung des Rohstoffes für die vorliegende Studie und andererseits die Entwicklung über die Recyclingzyklen hinweg.

Es ist klar ersichtlich, dass durch das Recycling zwar feines Material produziert wird (siehe auch das Detail im Diagramm), dass sich aber die Längenverteilung im Wesentlichen nicht verändert, dass also keine Kürzung des Faserstoffes zu verzeichnen ist. Ein großer Teil des produzierten feinen Materials scheint in diesem Diagramm jedoch nicht auf, da erst Objekte ab einer Länge von 200µm in der Längenverteilung Eingang finden. Ähnliche Effekte sind im Rahmen der Stoffaufbereitung einer Produktionslinie ebenfalls zu erwarten. Die Ausprägung derselben wird dabei von den eingesetzten Aggregaten, den Prozessschritten und dem Energieeintrag abhängen. Der Anstieg des Mahlgrades und die Entwicklung des Wasserrückhaltevermögens gehen aus Abb. 2 hervor.

Für die Entwicklung des Wasserrückhaltevermögens war auf Grund der eintretenden Verhornung des Faserstoffes mit wiederholter Trocknung an sich eine Abnahme zu erwarten. Es zeigt sich auch am Beginn (bis Zyklus 10) eine leichte Abnahme des WRV, danach ist jedoch wiederum ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Offenbar überlagern sich hier zwei Effekte. Einerseits haben wir die zunehmende Verhornung, die für diesen Faserstoff, der in erster Linie aus Sekundärfasern und einem Anteil an Holzstoff besteht, ohnehin nicht stark ausgeprägt zu erwarten war, und andererseits die Zunahme des Mahlgrades durch die Produktion von Feinstoff, welche wiederum das Wasserrückhaltevermögen des Faserstoffes erhöht. Diese Feinstoffproduktion im Rahmen der Recycling wirkt sich auch auf Blattdichte und Zugfestigkeit (Abb. 3) der Laborblätter aus. Der erhöhte Feinstoffgehalt bewirkt eine Verdichtung des Blattes, wodurch sich die gebundene Fläche und in weiterer Folge auch die Zugfestigkeit erhöhen. Zumindest am Beginn nimmt eventuell auch noch der Aschegehalt Einfluss, da dieser von anfänglich 5,8 % bis Zyklus 5 auf 3,8 % abfällt. Über die weiteren Zyklen hinweg bis Zyklus 25 bleibt der Aschegehalt dann konstant, so dass kein weiterer Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften zu erwarten ist. Weitere betrachtete mechanische Eigenschaften waren der für diese Produktgruppe relevante Biegeindex, sowie die Spaltarbeit nach Scott-Bond (Abb. 4). Diese beiden Parameter zeigen über die 25 Zyklen hinweg keine signifikante Entwicklung. Entweder wird der

Faserstoff in Bezug auf diese beiden Eigenschaften durch die Recycling gar nicht beeinflusst, oder aber die negative Entwicklung des Faserstoffes wird durch die Feinstoffproduktion und die damit einhergehende Erhöhung der Binfähigkeit in etwa kompensiert.

### Zusammenfassung

Anders als im Fall der Studie an der Wellpappmischung<sup>[7]</sup> in der ein Abfall der mechanischen Eigenschaften zwischen ca. 5 und 10 % über die 25 Zyklen hinweg zu verzeichnen war, ist in der vorliegenden Studie kein negativer Effekt auf die betrachteten mechanischen Eigenschaften nachzuweisen. Auch das Quellvermögen des Faserstoffes – hier repräsentiert durch das Wasserrückhaltevermögen – weist keinen klar negativen Trend auf. Ein weniger stark ausgeprägter Effekt war für die vorliegende Faltschachtelkartonmischung auf Grund des geringeren und auf Refinerholzstoff beschränkten Primärfaseranteiles durchaus zu erwarten. Vor allem im Falle des Quellvermögens, aber auch im Falle der mechanischen Eigenschaften ist davon auszugehen, dass durch den Effekt der Stoffaufbereitung – im Falle der vorliegenden Studie die Redispergierung der Blätter in einem Laboraufschläger für 25 Minuten bei einer Stoffdichte von 2 % – eventuelle negative Effekte der Verhornung kompensiert werden. Dieser Einfluss der Redispergierung und Stoffaufbereitung wird je nach eingesetzten Aggregaten, Prozessschritten und eingetragener Energie unterschiedlich ausfallen und wird sich naturgemäß in den mechanischen Eigenschaften abbilden. Grundsätzlich kann man aber anhand der vorliegenden Studie ganz klar festhalten, dass der Faserstoff an sich eine Recycling über 25 Zyklen hinweg ohne weiteres zulässt und dass in der vorliegenden Studie auch kein begrenzender Trend abzusehen ist. Limitierend für die Recycling des Faserstoffes werden also in erster Linie nicht zu vermeidende Verluste an Faserstoff gemeinsam mit Rejekten in der Altpapiersortierung, sowie die Beanspruchung des Faserstoffes in der Aufbereitung die zu einer Produktion von Faserfeinstoff und eventuell auch zu signifikanter Schädigung des Faserstoffes führt, sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass Faltschachteln eine sehr nachhaltige Verpackungslösung repräsentieren, die scheinbar beliebig oft rezykliert werden kann und deren Anzahl an Recyclingzyklen vor allem durch die Altpapiersammelquote und die Verluste beim Reinigen des Fasermaterials begrenzt wird.

### Literaturhinweise:

- [1] Cepi (2021, 08. Oktober). EPRI Monitoring Report 2020, S. 9. [https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2021/07/WEB-PAGES\\_EPRI-Monitoring-Report-2020\\_20210716.pdf](https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2021/07/WEB-PAGES_EPRI-Monitoring-Report-2020_20210716.pdf)
- [2] Cepi (2021, 08. Oktober). Key statistics 2019, European pulp & paper industry, S. 21 <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2020/07/final-Key-Statistics-2019.pdf>
- [3] RISE Report (2021, 08. Oktober). RISE – Comparing the carbon footprint of carton packaging against alternative solutions [https://www.procarton.com/wp-content/uploads/2021/06/ProCarton\\_Carbon-Footprint-Report\\_Proof-9.pdf](https://www.procarton.com/wp-content/uploads/2021/06/ProCarton_Carbon-Footprint-Report_Proof-9.pdf)
- [4] Eriksson, I., Lunabba P., Pettersson A., Carlsson G.; Recycling Potential of thermomechanical fibres for newsprint; Tappi Journal, 80(1997), Nr. 7, S. 151 ff.
- [5] Putz H.J., Schabel S.; Der Mythos begrenzter Faserlebenszyklen; Wochenblatt für Papierfabrikation 6(2018), S. 350 ff.
- [6] Götttsching I., Stürmer I.; Physikalische Eigenschaften von Sekundärfaserstoffen unter dem Einfluss ihrer Vorgeschichte, Teil II: Einfluss des mehrfachen Recycling; Wochenblatt für Papierfabrikation, 106(1978) Nr. 23/24, S. 909 ff.
- [7] Hejnsson A., Simonsen R., Westermarck U.; Metal Ion Content of Material Removed from the Surface of Unbleached kraft Fibres; Holzforschung 49(1995), S. 75 ff.