

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Siedlungswasserwirtschaft

Bachelorarbeit
Nr. IUB/2009/08

**Charakteristik von Toilettenpapier vor dem
Hintergrund seiner gezielten Hydrolyse**

Erstprüfer: Herr Prof. Dr.-Ing. J. Londong
Zweitprüfer: Herr Dipl.-Ing M. Hartmann

Autor: cand. B.sc. Sabine Niebel

Matrikel-Nummer: 51331

Datum der Abgabe: 15. Januar 2010

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig und unter Angabe aller verwendeten Quellen geschrieben habe.

Weimar, 15.01.2010

Sabine Niebel

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich für die Hilfe und Unterstützung bedanken, die ich während meiner Bachelorarbeit erhalten habe.

Der Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. M. Hartmann für die Betreuung der Arbeit, meinen Eltern für die Hilfe beim Layout, das Korrekturlesen und die vielen Anregungen, Herrn Dipl.-Ing. F.-W. Möller, der sich noch zu Weihnachten die Zeit genommen hat, mit mir am Telefon Literatur und seine Einschätzung zum Thema zu besprechen, Herrn H. Loeffen von der Firma Werra Papier GmbH Wernshausen, der mir bei einer Werksführung zahlreiche Fragen beantwortet hat sowie Herrn W. Waschina von den Stadtwerken Jena, der mir von der abwassertechnischen Seite ein paar Fragen beantworten konnte.

Inhalt:

1 Einführung.....1

 1.1. Problemstellung.....1

 1.2. Zielsetzung.....2

 1.3. Herangehensweise.....2

2 Charakterisierung von Toilettenpapier.....3

 2.1. Geschichte des (Toiletten-)Papiers.....3

 2.2. Verbrauch.....5

 2.3. Hersteller und ihre Produkte.....7

 2.4. Eigenschaften und Anforderungen.....9

3 Die Papierherstellung und ihre Ausgangsstoffe.....13

 3.1. Das Papier14

 3.2. Faserstoffe allgemein.....14

 3.2.1 Ausgangsstoff Holz15

 3.2.2 Ausgangsstoff Altpapier18

 3.3. Herstellung der Faserstoffe.....19

 3.3.1 Primärfaserstoff Holzstoff.....19

 3.3.2 Primärfaserstoff Zellstoff21

 3.3.3 Sekundärfaserstoff aus Altpapier.....24

 3.4. Die Papierherstellung.....25

 3.4.1 Aufbereitung von Halbstoffen.....25

 3.4.2 Der Prozess der Papierherstellung.....26

 3.4.3 Wasserstoffbrückenbindung.....29

4 Eigenschaften der Papiere und deren Bewertung31

 4.1. Festigkeit, Weichheit und Saugvermögen31

 4.2. Auflösungsvermögen.....32

 4.3. Organische Fracht.....35

 4.4. Sonstige Eigenschaften.....35

 4.5. Bewertung der wichtigsten Eigenschaften37

 4.6. Empfehlung.....38

5 Zusammenfassung und Ausblick.....40

6 Quellenverzeichnis.....41

7 Anhang.....46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Papyrus.....	3
Abbildung 2.2: Papiermanufaktur	4
Abbildung 2.3: Papiermaschine um 1860	5
Abbildung 2.4: Einzelblattpapiere im Spender	6
Abbildung 2.5: Jumborollen	7
Abbildung 2.6: Verschiedene Hygienepapiere	7
Abbildung 2.7: Abhängigkeiten bei der Papierherstellung bezüglich der Eigenschaften Auflösevermögen und organische Fracht.....	10
Abbildung 2.8: Abhängigkeit der organischen Fracht von den Eigenschaften der Toilettenpapiersorte und der Verbrauchsmenge.....	12
Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Papierherstellungsprozesses	13
Abbildung 3.2: Schematische Gliederung der verschiedenen Faserstoffe nach Ausgangsstoff bzw. Herstellungsverfahren.....	15
Abbildung 3.3: Holzhaltige Pflanzenzelle.....	16
Abbildung 3.4: Holzstoff.....	17
Abbildung 3.5: Zellstoff.....	21
Abbildung 3.6: Zellstoff unterm Mikroskop.....	21
Abbildung 3.7: Ungebleichter Zellstoff.....	23
Abbildung 3.8: Gebleichter Zellstoff.....	23
Abbildung 3.9: Lagerung von Altpapier.....	24
Abbildung 3.10: Aufbereitung im Pulper.....	24
Abbildung 3.11: Stoffauflauf auf einer Papiermaschine.....	27
Abbildung 3.12: Langsiebpartie mit Pressen und Trockenzyklindern.....	28
Abbildung 3.13: Trockenzyylinder.....	29
Abbildung 3.14: Wasserstoffbrückenbindung.....	30
Abbildung 3.15: Wasserstoffbrücken zwischen den Hydroxylgruppen der Papierfasern....	30
Abbildung 4.1: Dreidimensionales Netzwerk um die Faserkontaktpunkte durch Nassfestmittel	34
Abbildung 4.2: Mangelnde Hygiene durch fehlende Umhüllung des Toilettenpapiers	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Übersicht über Toilettenpapierhersteller und ihre Produkte.....	8
Tabelle 2.2: Unterscheidung Papier - Pappe nach der Grammatrur.....	9
Tabelle 3.1: Ausbeute der verschiedenen Aufschlussverfahren.....	19
Tabelle 4.1: Bewertung von Toilettenpapier.....	37
Tabelle 4.2: Einfluss der Eigenschaften auf das Auflösevermögen.....	38
Tabelle 4.3: Ausgewählte Hygienepapiere für den möglichen Einsatz an PWC-Anlagen...	39

Abkürzungsverzeichnis

AFH	Away From Home
BCTMP	gebleichter CTMP-Stoff
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CRMP	chemi refiner mechanical pulp (chemisch vorbehandelter Refinerholzstoff)
CTMP	Chemisch vorbehandelter TMP-Stoff
GW	groundwood (Holzschliff)
lutro	lufttrocken
otro	ofentrocken
PGW	pressurized groundwood (Druckschliff)
RC	Recycling(-stoff)
RMP	refiner mechanical pulp (Refinerholzstoff)
SGW	stone groundwood (Steinschliff)
TGW	thermo groundwood (Thermosteinschliff)
TMP	Thermomechanischer Holzstoff
TOC	Total organic carbons

1 Einführung

1.1. Problemstellung

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt mit rund 12.500 km Autobahnen und etwa 40.700 Bundesstraßen über eines der dichtesten Fernstraßennetze Europas, das infolge der verkehrstechnischen Entwicklung noch weiter ausgebaut werden soll. An diesen Straßen befinden sich zahlreiche bewirtschaftete Rastanlagen bzw. Tank- und Raststätten sowie unbewirtschaftete Rastanlagen, die bei Vorhandensein von WC sogenannte PWC-Anlagen sind. Diese sind in abwassertechnischer Hinsicht als Extremstandorte einzuschätzen. Neben dem durch die Hauptverkehrszeiten bedingten stark schwankenden Abwasseranfall sind der hohe Anteil von Urin im Abwasser sowie der hohe Anteil von Toilettenpapier und Grobstoffen zu berücksichtigen. Diese sind den kurzen Aufenthalten der Benutzer und dem fehlenden Grauwasseranfall an den PWC-Anlagen zuzuschreiben.

Aus dem hohen Urinanteil resultieren sehr hohe Stickstofffrachten. Durch die im aeroben Milieu der gängigen Behandlungsverfahren unweigerlich einsetzende Nitrifikation kommt es zu einer Abnahme der Säurekapazität, was eine Versäuerung der Biozönose und somit eine Beeinträchtigung aller anderen Ab- und Umbauprozesse bewirken kann (siehe Gleichung 1-1 und 1-2).

– Nitrifikation: bakterielle Oxidation von Ammoniak (NH_3) zu Nitrat (NO_3^-)

1. Schritt: Oxidation von Ammoniak zu Nitrit

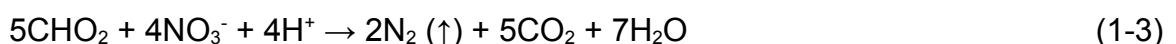


2. Schritt: Oxidation von Nitrit zu Nitrat



Der nachfolgende Prozess der Denitrifikation kann zur Neutralisation beitragen, stößt jedoch schnell an seine Grenzen, da das vorliegende Abwassergemisch zu wenige leicht verfügbare Kohlenstoffverbindungen (CHO_2) aufweist. Diese sind Nahrungsquelle für die Denitrifikanten (siehe Gleichung 1-3).

– Denitrifikation: Umwandlung des im Nitrat gebundenen Stickstoffs zu molekularem Stickstoff (N_2 – flüchtig)



An dieser Stelle setzt die Überlegung an, ob Toilettenpapier, das im Abwasser anfällt, gezielt als Kohlenstoffquelle für denitrifizierende Bakterien genutzt werden kann. Damit gilt es zu untersuchen, ob frei zugänglicher Kohlenstoff im Toilettenpapier vorhanden ist und ob das Papier gezielt hydrolysiert werden kann. Die Hydrolyse wird dabei ganz allgemein als Zersetzung des Papiers verstanden.

1.2. Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Herstellung von Toilettenpapier darzustellen und die von den Rohstoffen und den Herstellungsprozessen abhängigen Eigenschaften des Papiers zu analysieren. Dies geschieht vor dem Hintergrund der Betrachtung der Hydrolyse des Papiers als Kohlenstoffquelle für denitrifizierende Bakterien im Abwasser.

Ein weiteres Ziel ist es, herauszufinden, ob es besonders geeignetes Toilettenpapier für den Einsatz an PWC-Anlagen gibt, welche Eigenschaften es haben muss und von welchem Hersteller ein solches Papier gegebenenfalls produziert wird. Bestenfalls steht am Ende dieser Arbeit die Empfehlung einer oder mehrerer Toilettenpapiersorten und die Angabe deren Hersteller.

1.3. Herangehensweise

Diese Arbeit basiert im wesentlichen auf einer Literaturrecherche. Nach anfänglicher Recherche zur Klärung von Grundbegriffen und allgemeinen Fakten im Internet wurden Fachbücher und Fachmagazine zum Thema Papier- und Tissueherstellung aus der Bibliothek der Bauhaus-Universität Weimar und der Stadtbibliothek Weimar sowie über die Fernleihe herangezogen. Da es fast unmöglich war, Angaben zur Löslichkeit und dem Kohlenstoffgehalt bzw. der organischen Fracht von Toilettenpapier in der Literatur zu finden, wurde die Herstellung des Papiers genauer betrachtet, um Hinweise bezüglich dieser zwei Schwerpunkte zu finden.

Des Weiteren wurden die in der Arbeit erwähnten Toilettenpapierfabriken, die beim Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP) aufgelistet sind, angeschrieben. Drei Firmen haben geantwortet und Unterlagen geschickt, bei der Firma „Werra Papier“ kam es außerdem zu einer Besichtigung des Betriebes und Gesprächen mit dem Vertriebsleiter und der Beauftragten für das Qualitätsmanagement. Des Weiteren kam es zu Telefonaten mit Spezialisten der Abwasserbehandlung.

Auf den einzelnen Internetseiten und in den Produktkatalogen der Hersteller wurden die angebotenen Toilettenpapiere recherchiert und nach Tauglichkeit für den Einsatz an PWC-Anlagen analysiert. Dies geschah auf Grundlage eigener Schlussfolgerungen basierend auf der Literaturrecherche sowie aus dem Wissen, das durch Gespräche, Telefonate und E-Mails erworben wurde.

2 Charakterisierung von Toilettenpapier

In diesem Kapitel wird Toilettenpapier hinsichtlich der geschichtlichen Entstehung, der Mengen und der Art und Weise der Verwendung charakterisiert sowie Hersteller und deren für die Verwendung an Raststätten relevante Produkte aufgelistet.

2.1. Geschichte des (Toiletten-)Papiers

„Am Anfang war der Schmerz. Soviel steht heute fest. Denn angenehm können die frühen Reinigungsvorgänge nicht gewesen sein. Die alten Griechen nutzten zur Reinigung Steine und Tonscherben oder Muscheln, die Germanen Stroh und Laub. Die Römer waren da schon zivilisierter: Sie banden salzwassergetränkte Schwämme um einen Stock und stocherten und wischten sich sauber.“ [URL - Welt der Wunder, 2006] Der Weg zum Papier - und besonders bis zum heutigen Toilettenpapier – war noch ein weiter.

Das Wort Papier ist von Papyrus abgeleitet, einer faserigen Pflanze, die schon vor 4.000 Jahren im alten Ägypten Ausgangsstoff für die ersten beschreibbaren Blätter und Schriftrollen war. Dabei wurden die Pflanzenstängel geschnitten und kreuz und quer übereinandergelegt und die Fasern zu einem papierartigem Blatt geklopft (siehe Abbildung 2.1) [So wächst das Klopapier, 2007].

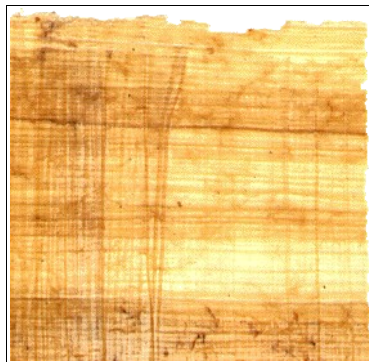


Abbildung 2.1: Papyrus

(Quelle:
http://www.artlex.com/ArtLex/p/images/papyrus_specimen.gif)

Das erste Papier nach heutigem Verfahren entstand in China 105 nach Christus, als der Chinese Ts'ai Lun Textilabfälle für die Herstellung verwendete. Eine alte Legende besagt, dass das Verfahren dadurch entdeckt wurde, dass Frauen am Fluss ihre Kleidung auf Steinen gewaschen haben, welche dadurch Fasern verloren haben. Diese haben flussabwärts ein Blatt auf der Oberfläche des Wassers gebildet, das entnommen und getrocknet werden konnte [Goedvriend GJM, 1988]. Bis zum ersten Toilettenpapier dauerte es allerdings nochmal ein reichliches Jahrtausend und ebenfalls wurde es in China hergestellt. Das 1391 fabrizierte Toilettenpapier war ausschließlich für den Kaiser bestimmt und soll Abmessungen von einem halben Quadratmeter besessen haben. Die Jahresproduktion lag bei 720.000 Blatt [Schramm St, 2005].

In Deutschland wird die erste Papiermühle auf 1390 datiert und dem Kaufmann Ulmann Stromer bei Nürnberg zugeschrieben. Das erste Toilettenpapier ließ in Deutschland bis zum Ende des 19. Jahrhunderts auf sich warten. Damals gab es 10.000 Stück dünnes, hartes, bräunliches Papier, geschnitten und abgepackt als „Closetpapier Satinas“ für 4,50 Mark zu kaufen. Der Schwabe Hans Klenk war der erste, der 1928 in Europa ein Toilettenpapier von der Rolle mit garantierter Blattzahl produzierte. Dabei handelte es sich um perforiertes Krepppapier, das Klenk selbst herstellte und von einem Schubkarren aus verkaufte [URL – IKW, 2009].

1958 wurde das erste Tissuepapier (ein sehr leichtes, feingekrepptes Hygienepapier; zur Differenzierung der Papiersorten siehe Abschnitt 3.1, S.14) - in Deutschland eingeführt, der Ursprung liegt in den USA. Die Vorteile des neuartigen Papiers waren angenehme Weichheit bei gleichzeitiger Festigkeit und Saugfähigkeit. Bereits 1990 dominierte Tissue mit 83 % Anteil weit vor dem Krepppapier auf dem deutschen Markt für Toilettenpapier [Göttsching L, 1990]. 1972 gab es das erste dreilagige, ab 1979 das erste feuchte Toilettenpapier [URL – IKW, 2009]. Der Trend geht in Deutschland zu immer mehr Qualität bezüglich der Weichheit, der Anzahl der Lagen und zu dem schönen Aussehen des Papiers durch Bleiche und Bedruckungen.



Abbildung 2.2:
Papiermanufaktur

(Quelle: <http://www.fahrrad-info.com/img/news/large/papierherstellung.jpg>)

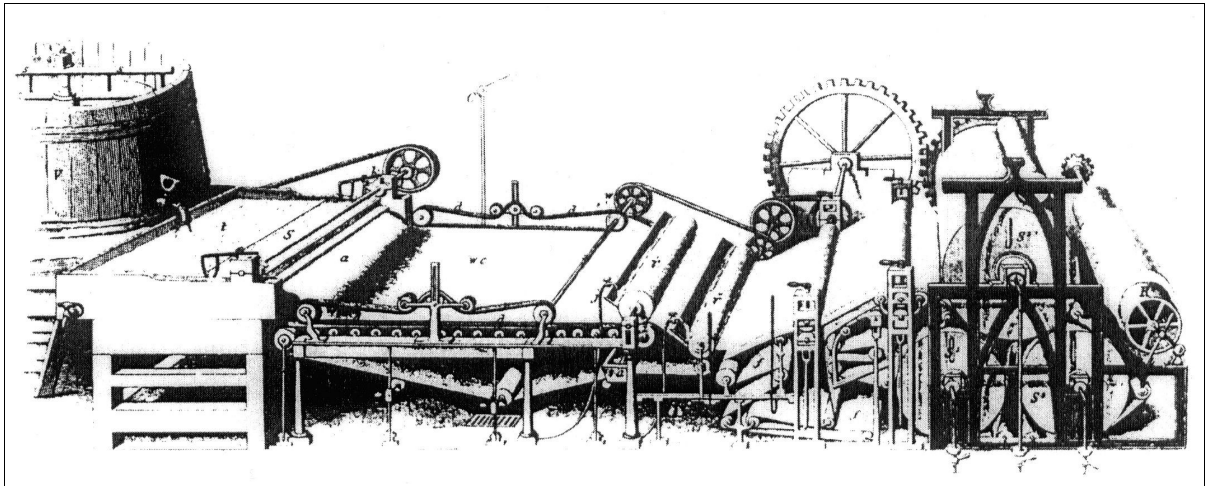


Abbildung 2.3: Papiermaschine um 1860

(Quelle: [Goedvriend GJM, 1988])

2.2. Verbrauch

Toilettenpapier ist ein relativ unspektakuläres Thema. Und doch: Jeder braucht es, jeder benutzt es täglich, über 85 Sorten gibt es in Deutschland und die Verbrauchsmengen sind dabei nicht unbeachtlich. Der Gesamtverbrauch in Deutschland liegt bei 3,8 Milliarden Tonnen pro Jahr [URL - IKW, 2009], 2,5 Milliarden Rollen sollen für 1 Milliarde Euro jährlich über den Ladentisch gehen [P.M., 2007]. Das entspricht etwa 30 Rollen pro Jahr und Einwohner. Da dies umgerechnet allerdings weniger als 1 Rolle pro Woche und Person ergibt, ist anzunehmen, dass darin auch Großrollen enthalten sind oder ein Rechenfehler vorliegt. Eine kleine Rolle wiegt etwa 100 bis 150 g (eigene Messungen), 2,5 Milliarden Rollen mit einem Gewicht von 150 g ergeben nur etwa 0,38 Milliarden Tonnen. Bedacht werden muss in diesem Zusammenhang auch der Fakt, dass Toilettenpapier häufig als fester Abfall im Müll landet. Jedoch ist dies an Raststätten wohl eher vernachlässigbar. Allgemein ist anzumerken, dass für die Betrachtung von Toilettenpapierverbrauch an PWC-Anlagen die Zahlen aus den Haushalten nicht allein herangezogen werden können und spezifische Erhebungen an PWC-Anlagen notwendig sind.

Auf einer üblichen Rolle Toilettenpapier für Haushalte befinden sich zwischen 130 und 150 Blatt, das Blattformat liegt bei etwa 120 bis 130 mm Länge und ca. 95 mm Breite [URL - IKW, 2009]. Die Anzahl der Lagen ist variabel, der Trend geht allerdings zu immer mehr Lagen. Mittlerweile gibt es schon fünflagiges Toilettenpapier. Ein Drittel des verkauften Papiers sind Markenprodukte, zwei Drittel günstige Papiere [URL – Handelsblatt.com, 2005]. Toilettenpapier ist mittlerweile der größte Tissue-Bereich in Deutschland mit einem Wachstum von 2 % und einem Umsatz von 878 Millionen Euro in 2008 [Kondej M, 2009].

Der Trend zu bestimmten Toilettenpapieren und deren Eigenschaften liegt in der Art und Weise der Anwendung begründet. Studien von Procter & Gamble haben ergeben, dass in Deutschland etwa 90 % der Bevölkerung sogenannte „Falter“ sind, die ihr Toilettenpapier vor der Benutzung ordentlich zusammenlegen, und nur etwa 6 % „Knüller“. Die restlichen Prozente teilen sich auf „Wickler“ und „Ein-Blatt-Abreißer“ auf

[Schramm St, 2005]. Falter benötigen ein dickes und reißfestes Toilettenpapier, Knüller dagegen ein dünnes. Weich sollte das Toilettenpapier dabei immer sein. Die Weichheit steht jedoch im Gegensatz zu der Festigkeit, denn je weicher die Faser, desto leichter geht sie kaputt [URL - Stern.de, 2005]. An dieser Stelle müssen entweder Kompromisse gemacht oder die Technologien weiterentwickelt werden.

Laut Angaben eines Hygienepapier-Herstellers [Kimberly-Clark, 2009] beeinflusst auch das Format des Toilettenpapiers den Verbrauch. So werden bei Einzelblattpapieren pro Toilettengang in der Länge gemessen 0,97 m verwendet, der Verbrauch bei Großrollen liegt bei 1,40 m und bei Kleinrollen bei 1,65 m. Diese Angaben weichen von der Vermutung ab, dass der Verbrauch und die Verschwendung bei Großrollen höher ist als bei kleinen Rollen. Unklar ist hierbei, mit welchen Methoden und an welchen Orten der Verbrauch ermittelt wurde. Des weiteren würde der Einsatz von Einzelblattpapieren neben der Verschwendung auch die Zweckentfremdung erheblich verringern [Kimberly-Clark, 2009].

Angaben der Firma „Werra Papier“ (Loeffen H, 2009) bestätigen die Reduktion des Papierverbrauchs um ca. 30 % bei Einsatz von Einzelblattpapieren, allgemein würden pro Toilettengang zwischen 24 und 30 Blatt Papier verbraucht. Frauen benutzen dabei im allgemeinen etwas mehr Papier als Männer.

Die angegebenen Werte differieren sehr. Jedoch ist es recht wahrscheinlich, dass das Format des Papiers die Verbrauchsmengen tatsächlich erheblich mitbestimmt. Große Rollen rollen sich sehr leicht ab, Papier hängt oft auf den Boden und wird unbenutzt weggeschmissen. Dies führt zu der Vermutung, dass der Verbrauch bei Großrollen höher ist als bei kleinen Rollen. Reißt das Papier einer Großrolle in der Halterung, kommt auch noch der Aspekt der mangelnden Hygiene hinzu, da Benutzer mit den Fingern in der Halterung nach dem Papierende suchen müssen. Einzelblattpapiere müssen dagegen Blatt für Blatt aus dem Spender herausgezogen werden und machen damit etwas mehr Arbeit für den Benutzer. Außerdem sind diese Papiere vorteilhaft, wenn sie für die Abdeckung der Toilettenbrille benutzt werden, da sie sich leicht in eine runde Form legen lassen. Dass Toilettenbrillen vor der Benutzung der Toilette mit Papier abgedeckt werden, ist häufig auf öffentlichen Toiletten der Fall.



Abbildung 2.4: Einzelblattpapiere im Spender

(Quelle:

<http://www.nicilon.de/images/produkte/349080.jpg>)



Abbildung 2.5: Jumborollen

(Quelle: <http://www.josef-hufsky.de/wcpapier.jpg>)

2.3. Hersteller und ihre Produkte

Tabelle 2.1 (S.8) soll einen Überblick geben über die in Deutschland ansässigen Hersteller von Toilettenpapieren. Auf die Vollständigkeit der Angaben wird dabei kein Anspruch erhoben. Die Übersicht der Firmen stammt von der Internetseite des vdp – Verband Deutscher Papierfabriken e.V. [URL – vdp, 2009]. Angaben über die Produkte der einzelnen Firmen sind von den Firmenseiten zusammengestellt worden. Auch hier kann kein vollständiger Überblick gegeben werden, weil das Sortiment vieler Hersteller fast unüberschaubar ist und Angaben zu Rohstoffen und Eigenschaften teilweise fehlen. Oft stellen Hersteller unter verschiedenen Markennamen für unterschiedliche Anbieter Hygienepapier her. Die Quellen für die Produkte sind nach den Produktangaben aufgeführt. Produkte, die nicht für den privaten Hausgebrauch bestimmt sind, werden oft auch unter der Bezeichnung AFW (Away From Home) geführt.



Abbildung 2.6: Verschiedene Hygienepapiere

(Quelle: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/produkte/hygiene.jpg>)

Tabelle 2.1: Übersicht über Toilettenpapierhersteller und ihre Produkte

Hersteller	Standort	Kontakt	Produkte
fripa Papierfabrik Albert Friedrich KG	Miltenberg	info@fripa.de www.fripa.de Tel.: 0 93 71 / 5 02-0 Fax: 0 93 71 / 5 02-4 01	Kleinrollen: - 2-3 lagig, Tissue oder 100 % RC, weich und weiß Jumborollen: - 1 lagig, Krepp naturell - 1 lagig, RC-Papier, weich - 2 lagig, RC- oder Zellstoffpapier, weich (http://www.fripa.de/content/images/stories/downloads_flyer/downloads/toilettenpapiere_produktdlaetter_maerz09.pdf)
Hakle-Kimberly Deutschland GmbH Werk Reisholz / Koblenz	Reisholz / Düsseldorf	Martina.pfrommer@kcc.com www.hakle.de Tel: 02 11 / 99 66-0 Fax: 02 11 / 99 66-1 09	Kleinrollen: - 2-3 lagig, Tissue, (super-)hochweiß Jumborollen: - 1 lagig, naturell - 2 lagiges Tissue, hochweiß Einzelblattpapiere: - 1- 2 lagig - 80 % Frischzellstoff - oder 100 % RC (Prospekte)
	Koblenz	afhde@kcc.com www.kcprofessional.com Tel: 02 61 / 92 27-0 Fax: 02 61 / 92 27-4 94	
Metsä Tissue GmbH	Kreuzau	Vorname.Name@metsatissue.com www.metsatissue.com Tel: 0 24 22 / 56-0 Fax: 0 24 22 / 49 40	Kleinrollen: - 2-4 lagig, weiß - auch „Easy Flush“-Produkte (leicht zersetzbare Papiere) Jumborollen: - 1-2 lagig, naturweiß Einzelblattpapiere: - 2 lagig, weiß (http://www.katrin.com/portal/deutsch/)
	Hedwigs- thal	Tel: 0 26 48 / 6 09-0 Fax: 0 26 84 / 6 09-80	
Omega Papier GmbH / Werra Papier Wernshausen GmbH	Werns- hausen	info@werrapapier.de www.werrapapier.de Tel: 03 68 48 / 3 85-0 Fax: 03 68 48 / 3 85-36	Kleinrollen: - 1 lagig, RC, natur - 2-3 lagig, RC, weiß - 2-4 lagig, Zellstoff, weiß Jumborollen: - 1 lagig, RC, natur - 2 lagig, Zellstoff, weiß Einzelblattpapiere: - 2 lagig, Zellstoff (Broschüre)
SCA Hygiene Products GmbH	Mannheim	www.sca.com Tel: 06 21 / 7 78-0 Fax: 06 21 / 7 78-22 48	Jumborollen: - 1-2 lagig, RC, weiß - 1 lagig, RC, natur - auch als Mini-Jumborolle Einzelblattpapiere: - 2 lagig, Frischfaser, weiß - 2 lagig, Frischfaser, natur (www.sca-tork.com)
	Mainz- Kostheim	Torkmaster@sca.com www.tork.de Tel: 0 61 34 / 6 08-0 Fax: 0 61 34 / 6 08-4 00	
	Witzen- hausen	www.bounty.de Tel: 0 55 42 / 5 09-0 Fax: 0 55 42 / 5 09-2 44	

WEPA Papierfabrik P. Kregel GmbH & Co. KG	Arnsberg	info@wepa.de www.wepa-hygiene.de Tel: 0 29 32 / 3 07-0 Fax: 0 29 32 / 3 07-1 79	Kleinrollen - 2-5 lagig, Zellstoff, hochweiß und soft - 2-3 lagig, 100%RC, weiß und hochweiß, soft
	Mainz	www.wepa.de Tel: 0 61 31 / 97 24-0 Fax: 0 61 31 / 97 24-2 28	Jumborollen - 1 lagiges Krepp, 100%RC, natur - 2-3 lagig, 100%RC, hochweiß (www.wepa-professional.de)

2.4. Eigenschaften und Anforderungen

Die Eigenschaften und Anforderungen an Toilettenpapier werden in diesem Abschnitt näher betrachtet. Es gibt Aspekte, die besonders für die Herstellung wichtig sind, aber besonderer Wert muss natürlich auf die Anforderungen der Verbraucher gelegt werden. Diese steigen in den letzten Jahren deutlich. Wenig beachtet werden die Anforderungen der Kläranlagenbetreiber, die sich um die Entsorgung des Toilettenpapiers kümmern müssen.

Bei der Herstellung von Toilettenpapier ist die Wirtschaftlichkeit zu beachten. Dies umfasst die Auswahl und Verarbeitung der Rohstoffe. Weiterhin ist die Lagerfähigkeit und der Transport sowie die allgemeine Nachfrage entscheidend für den Hersteller.

Die Anforderungen an das Toilettenpapier von Seiten der Benutzer sind sehr variabel und reichen von der Benutzerfreundlichkeit über die Umweltfreundlichkeit bis hin zu niedrigen Preisen. Allgemein sollte Toilettenpapier weich und saugfähig sein und dabei aber eine gewisse Reißfestigkeit aufweisen. Die Dicke, das Volumen, die Grammatur (flächenbezogene Masse) des Papiers und die Anzahl der Lagen sind dafür sehr wichtig. Ein kontrollierbarer Abriss, gegebenenfalls durch Perforation der einzelnen Blätter, ist außerdem wünschenswert. Die Unterscheidung Pappe – Papier – Karton ist von der Grammatur abhängig und ist in Tabelle 2.2 (S.9) dargestellt.

Oft spielt auch die Optik eine entscheidende Rolle. Gebleichtes weißes Toilettenpapier wird häufig als besser und hygienischer eingestuft als ungebleichtes, ein schöner Aufdruck und ein dem Papier aufgesprühter Duft kommen ebenfalls in Mode.

Tabelle 2.2: Unterscheidung Papier - Pappe nach der Grammatur

Bezeichnung	Grammatur
DIN 6730	
Papier	7 bis 225 g/m ²
Pappe	ab 225 g/m ²
Umgangssprachlich (Deutsch)	
Papier	7 bis 150 g/m ²
Karton	150 bis 600 g/m ²
Pappe	ab 600 g/m ²

(Quelle: [wikipedia, 2009 b])

Nach der Benutzung landet das Papier im Abwasser und sollte sich aus Sicht der Kläranlagenbetreiber nach Möglichkeit schnell auflösen. Anderenfalls kann es zu Problemen, wie z.B. der Verstopfung der Rohre, kommen. Da sich das Papier im Abwasser zersetzt, sollte es außerdem frei von Schadstoffen sein, um die Abwasserbehandlungsprozesse, insbesondere die biologische Behandlung, nicht zu gefährden. Können die Kohlenstoffverbindungen des Papiers leicht aufgeschlossen werden, kann das Papier als Nahrungsquelle für denitrifizierende Bakterien genutzt werden.

Für diese Arbeit sind besonders das Auflösungsverhalten und die Inhaltsstoffe (organische Fracht) im Toilettenpapier wichtig. Beide Eigenschaften sind abhängig von den verwendeten Ausgangsstoffen und den Prozessen der Papierherstellung. Diese werden im folgenden Kapitel betrachtet. Abbildung 2.7 (S.10) zeigt die Abhängigkeiten bei der Papierherstellung bezüglich der Eigenschaften Auflösungsvermögen und organische Fracht auf. Auf beide Eigenschaften nehmen die Wahl des Ausgangsstoffes und die Herstellungsprozesse Einfluss. Außerdem beeinflusst der Ausgangsstoff die Wahl Herstellungsprozesse. In wie weit die Inhaltsstoffe das Auflösungsvermögen beeinflussen ist zu recherchieren.

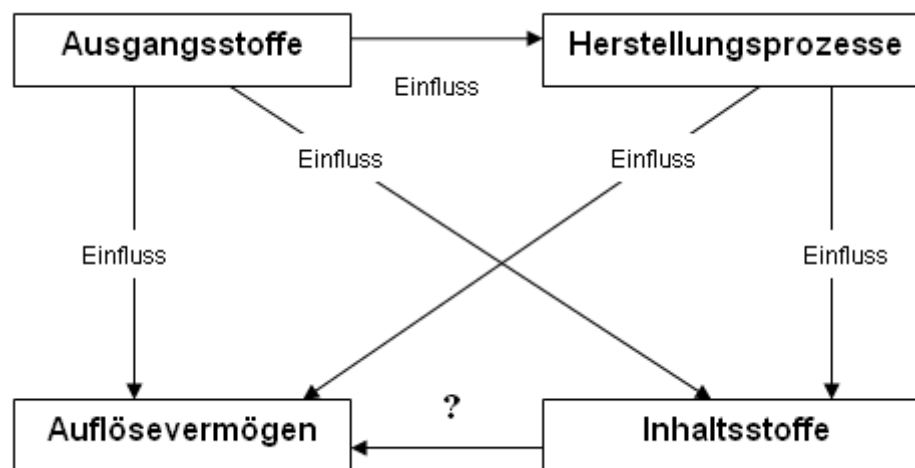


Abbildung 2.7: Abhängigkeiten bei der Papierherstellung bezüglich der Eigenschaften Auflösungsvermögen und organische Fracht

Die im Toilettenpapier enthaltene Cellulose ist ein Polysaccharid, also eine hochmolekulare Kohlenstoffverbindung, die nicht wasserlöslich ist. Allerdings kann Cellulose durch Säuren in einfache Zucker zerlegt werden. [Koppe und Stozek, 1999] Bakterien können ebenfalls Cellulose aufspalten und abbauen.

Da Kohlenstoffverbindungen nur schlecht von anderen Stoffen abzugrenzen sind und es schwierig ist, sie einzeln nachzuweisen, werden Summenparameter verwendet, wie BSB, CSB und TOC oder sie werden als Glühverlust des Filterrückstandes mit anderen Substanzen zusammen bestimmt [Koppe und Stozek, 1999].

Kohlenstoffe sind wichtig im Abwasser, um den Abbau von Nitraten zu gewährleisten. Das Nährstoffverhältnis sollte idealerweise $BSB_5:N:P = 100:5:1$ betragen. Für kommunales Rohabwasser liegt meist ein Verhältnis von 100:22:3,3 vor. [Imhoff und Imhoff, 2007, S.144f] Das Verhältnis der Stoffe in PWC-Anlagen ist als noch viel ungünstiger anzunehmen, da wesentlich weniger Kohlenstoffverbindungen in diesen Abwässern vorhanden sind. An dieser Stelle setzt der Gedanke an, Toilettenpapier gezielt als Kohlenstoffquelle einzusetzen. Der Beitrag von Toilettenpapier zum CSB- oder BSB-Gehalt im Abwasser wird bisher jedoch meist vernachlässigt, es sind nur wenige Angaben dazu in der Literatur zu finden.

[Neuartige Sanitärsysteme, 2009] geht von einem BSB_7 -Wert durch Toilettenpapier von 11,5 g pro Person und Tag aus. [Koppe und Stozek, 1999] berechnen die gelösten und ungelösten Kohlenstoffanteile für kommunales Abwasser wie folgt: Menschliche Ausscheidungen bringen durch den Urin ca. 1 g/(E·d) und durch Fäkalien ca. 5,8 g/(E·d) an gelösten Kohlenstoffen. Toilettenpapier enthält ungelöste Kohlenstoffe (Cellulose) und bringt ca. 5 g/(E·d). Dabei entspricht 1 g Kohlenstoff etwa 1 g CSB. (5 g Toilettenpapier entsprechen bei einer Grammatur von 30 g/m² etwa 14 Blatt.)

Die unterschiedlichen Angaben lassen auf unterschiedliche Verbrauchsmengen oder unterschiedliche Messmethoden schließen, wobei zweiteres eher wahrscheinlicher ist. Da keine weiteren Angaben zu den Werten in der Literatur gefunden wurden, sollten die Werte experimentell überprüft werden.

Abbildung (S.) zeigt schematisch die Abhängigkeit der Menge der organischen Fracht im Abwasser von der Toilettenpapiersorte und dem Verbrauch. Je höher die organische Fracht im Toilettenpapier, je besser dieses sich auflöst und umso mehr Papier benutzt wird, desto höher kann die organische Fracht im Abwassersubstrat sein. Damit sind die beiden Faktoren Toilettenpapiereigenschaften sowie der Toilettenpapierverbrauch für die organische Fracht im Abwasser ausschlaggebend. Folglich wäre also ein möglichst hoher Toilettenpapierverbrauch wünschenswert. Dies ist jedoch in Hinblick auf die Umweltfreundlichkeit nicht zielführend. Bei der Wahl der Papiere sollte Wert auf die Eigenschaften des Papiers selbst und auf eine mögliche Ressourcenschonung durch die Verwendung bestimmter Papiersorten und Formate gelegt werden.

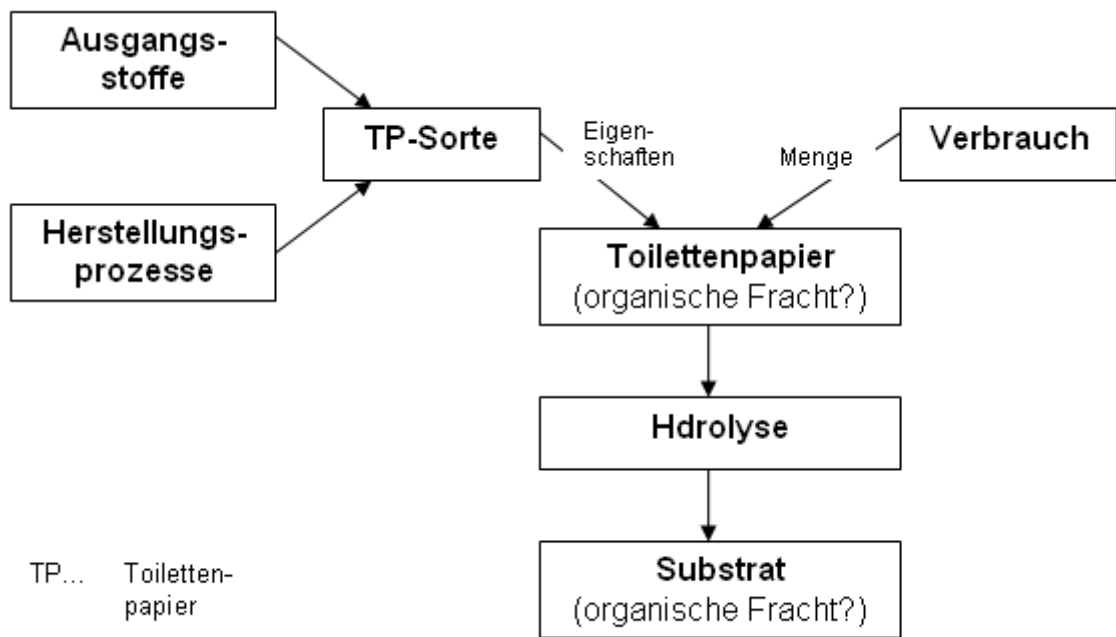


Abbildung 2.8: Abhängigkeit der organischen Fracht von den Eigenschaften der Toilettenpapiersorte und der Verbrauchsmenge

Im nächsten Kapitel werden die Ausgangsstoffe und die Herstellungsprozesse des Toilettenpapiers genauer betrachtet, um die Toilettenpapiereigenschaften organische Fracht und Auflösungsvermögen besser einschätzen zu können.

3 Die Papierherstellung und ihre Ausgangsstoffe

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte der Herstellung von Papier genauer betrachtet. Das Papier, seine Ausgangs- und Rohstoffe sowie seine Herstellung werden untersucht und die Stoffe und Prozesse bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Papiereigenschaften analysiert. Dabei gelten Holz und andere Pflanzen sowie Altpapier als Rohstoffe, die daraus gewonnene Fasermasse als Halbstoff. Aus diesem kann durch Aufbereitung und Mischen Ganzstoff hergestellt werden. Daraus entsteht schlussendlich das Papier als Endprodukt. Abbildung 3.1 zeigt schematische diese Prozesskette auf.

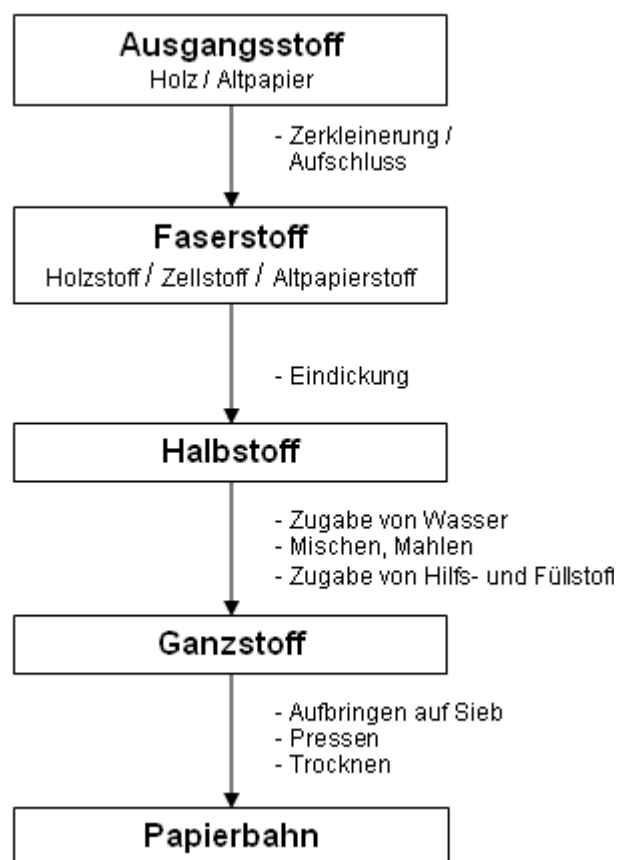


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Papierherstellungsprozesses

3.1. Das Papier

Papier besteht auf das Gewicht bezogen zu 60 bis 95 % aus Faserstoff, zu 5 bis 10 % aus Wasser. Füllstoffe und Pigmente können bis zu 35 % ausmachen. Faserstoff, der wichtigste Bestandteil, kann unterschieden werden in Primärfaserstoff, welcher meist aus Holz gewonnen wird, und Sekundärfaserstoff, der aus Altpapier hergestellt wird. Wasser dient bei der Papierherstellung als Transport-, Reinigungs- und Verdünnungsmittel und liefert die Wasserstoffbrückenbindung im Papier selbst, wodurch die Fasern zusammengehalten werden [Göttsching L, 1990]. Laut [Möbius, 2002, S.24] sind „95 % der bei der Papiererzeugung eingesetzten Stoffe (...) wasserunlösliche Faser- und Füllstoffe.“

In Deutschland gibt es über 3.000 verschiedene Sorten Papier [So wächst das Klopapier, 2007], beim Toilettenpapier gibt es über 85 verschiedene Sorten [Schramm St, 2005]. Diese reichen von grauem, rauem Krepppapier bis hin zu sehr weißen und sehr weichen Zellstoff- und Tissueprodukten. Die wichtigsten Begriffe sollen im folgenden kurz näher erläutert werden.

Hygienepapier: Internationale Bezeichnung für Toilettenpapier und andere Hygieneartikel, hergestellt aus Altpapier und/oder Zellstoff, mit und ohne Holzbeimischung.

Krepppapier: Grobes, dünnes, leichtgewichtiges Papier, das gekreppt wurde. Dieser Prozess bewirkt eine Verkürzung der Papierbahn und erhöht damit die Dehnbarkeit des Papiers in Laufrichtung. Ausgangsstoff sind Holzstoff und/oder Sekundärfasern aus Altpapier.

Zellstoff: Vorwiegend aus Cellulose bestehende faserige Masse, gewonnen durch meist chemischen Aufschluss von Pflanzenfasern. Halbstoff für die Herstellung von Hygienepapieren.

Tissue: Englisches Wort für Taschentücher oder Hygienepapiere. Teilweise aber Verwendung der Bezeichnung „Tissue“ ausschließlich für saugfähiges, meist mehrlagiges, feingekrepptes und weiches Hygienepapier aus Zellstoff.

Weitere Begriffe der (Hygiene)Papierherstellung sind im Anhang A aufgelistet und erläutert. Auf die Herstellung von (Toiletten-)Papier wird in Kapitel 3.4 näher eingegangen. Der folgende Abschnitt betrachtet die Faserstoffe und geht dabei auf die Ausgangsstoffe Holz und Altpapier ein.

3.2. Faserstoffe allgemein

Faserstoffe machen mit 60 – 95 Masse-% den größten Teil des Papiers aus und unterscheiden sich in Primär- und Sekundärfaserstoffe. Primärfaserstoffe sind Zellstoff und Holzstoff und werden aus pflanzlichen Rohstoffen, zumeist Holz, aber auch aus Einjahrespflanzen wie Stroh oder Bambus, hergestellt. Der Anteil von Holz liegt dabei bei 94 % [Bos et al., 2006, S.34]. Primärfaserstoffe werden unterschieden nach Aufschlussverfahren (chemisch oder mechanisch) und der verwendeten Pflanzen- und Holzart. Chemischer Aufschluss liefert Zellstoff, mechanischer Aufschluss den Holzstoff. Sekundärfaserstoffe werden aus Altpapier gewonnen und können nach Anfallstelle des Altpapiers oder der ursprünglichen Papiersorte unterschieden werden [Göttsching

L,1990]. Die Herstellung von Faserstoff wird in Abbildung 3.2 schematisch aufgezeigt, unterteilt in die beiden Ausgangsstoffe Holz und Altpapier.

Weitere Faserstoffe sind nach [Bos et al., 2006, S.30f]:

- Lumpenfasern (Hadern)
- Synthetische Fasern
- Tierische Fasern
- Mineralische Fasern

Da diese Faserstoffe nicht zum Einsatz in der Toilettenpapierproduktion kommen, sollen im folgenden nur die Rohstoffe Holz und Altpapier genauer betrachtet werden. Einjahrespflanzen zur Gewinnung von Primärfaserstoffen kommen in Deutschland seit den 60er Jahren nicht mehr zum Einsatz [Göttsching L,1990, S.76] und werden daher auch nicht weiter betrachtet.

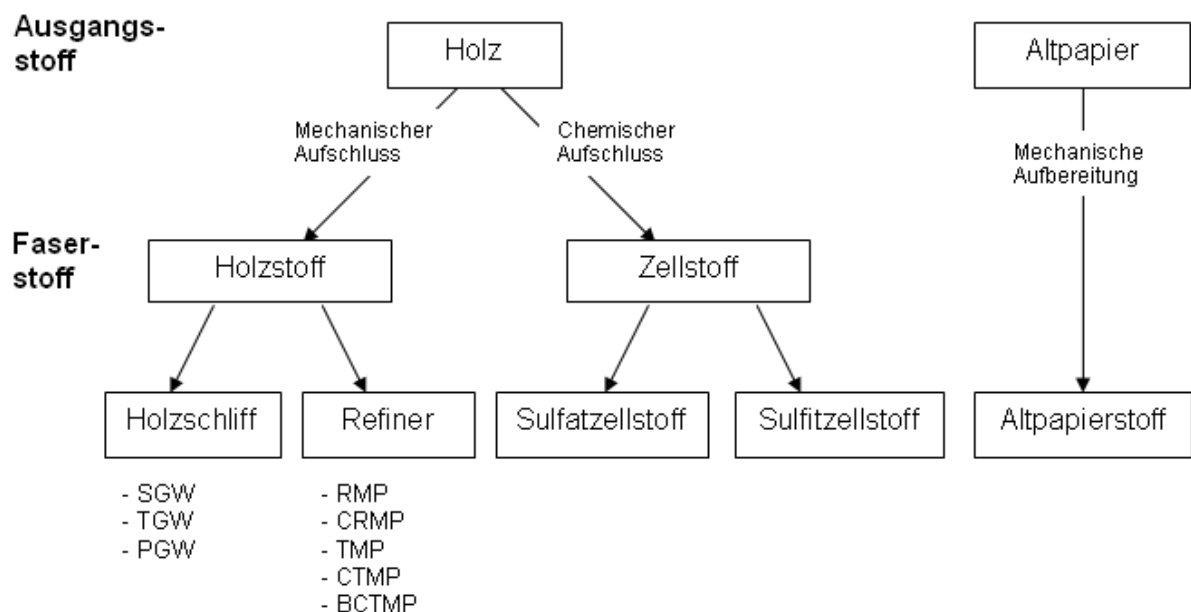


Abbildung 3.2: Schematische Gliederung der verschiedenen Faserstoffe nach Ausgangsstoff bzw. Herstellungsverfahren

3.2.1 Ausgangsstoff Holz

Das Holz für die Papierindustrie wird in Deutschland aus der Durchforstung der Wälder gewonnen, wobei sogenanntes Schwachholz anfällt. Durchforstungsholz hat in der Regel ein Alter von 15 bis 30 Jahren. Zudem kommt Industrieholz aus Sägewerken. Der aus dem Holz gewonnene Faserstoff ist ein Primärfaserstoff und kann chemisch oder mechanisch gewonnen werden. Das verwendete Holz wird in Raummeter / Ster [m³], Festmeter [m³solid bzw m³s], mit dem Gewicht oder dem otro-Gewicht (ofentrocken) bemessen [Bos et al., 2006, S.51].

Die Hauptfasertypen des Holzes sind nach [Bos et al., 2006]:

- Tracheiden, Trachen
- Fasern, Libriformzellen, Sklerenchymzellen
- Parenchymzellen
- Gefäßzellen

Holz kann in Laub- und Nadelholz unterschieden werden, wobei sich die Fasern und die Fasereigenschaften voneinander unterscheiden. Während Nadelholz vorwiegend Tracheiden zur Verfestigung und für den Wassertransport besitzt, weist Laubholz Libriformzellen (Stützfasern) und Gefäßzellen auf [Bos et al., 2006, S.30f]. Die Fasern des Nadelholzes sind langgestreckt und besitzen eine Länge von 2,5 bis 4,0 mm und einen Durchmesser von 0,02 bis 0,07 mm [Göttsching L,1990, S.75]. Dies hat zur Folge, dass Papier aus Nadelholz eine höhere Festigkeit aufweist im Vergleich zu Papier aus Laubholz. Dieses hat eher kurze Fasern mit einer Länge von ca. 1,0 mm und einem Durchmesser von 0,03 mm [Göttsching L,1990, S.75]. Dadurch ist Papier aus Laubholz wesentlich weicher. Oft kommt eine Kombination der beiden Faserstoffe zum Einsatz, um eine feste und eine weiche Seite des Papiers zu erzeugen.

In Abbildung 3.3 ist eine Zelle einer holzhaltigen Pflanze dargestellt. Laut [Goedvriend, 1988] besteht eine solche Zelle aus vier Schichten: Die Mittellamelle (LM) füllt den Raum zwischen den einzelnen Zellen. Die Primärzellwand (P) enthält lose angeordnete Cellulose. Die Sekundärzellwand (S1-3) besteht aus drei einzelnen Schichten, welche Cellulose und Lignin enthalten. Die Tertiärwand (T) umschließt den Zellinhalt (H).

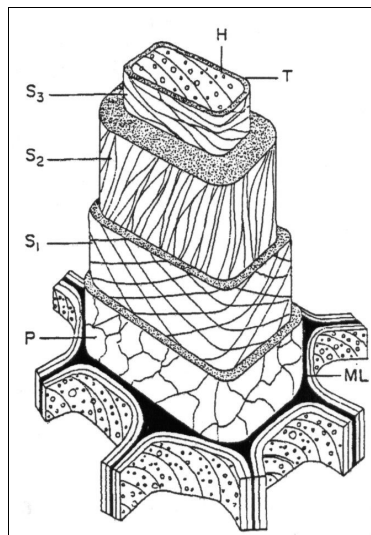


Abbildung 3.3: Holzhaltige Pflanzenzelle

(Quelle: [Goedvriend GJM, 1988])

Chemisch aufgebaut sind die Fasern des Holzes aus folgenden Stoffen [Bos et al., 2006, S.31]:

- *Cellulose* ist der Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwand und ist eine Polysacchachidverbindung. Cellulose ist in Wasser unlöslich.
- *Hemicellulose* hat eine größere Affinität zu Wasser als Cellulose und ist daher wichtig bei der Quellung der Fasern. Hemicellulose kann als natürlicher Leim zur Bindung der einzelnen Fasern untereinander bezeichnet werden.
- *Lignin* ist eine wasserfeste Kittsubstanz, die unter Sauerstoff- und Lichteinfluss leicht vergilbt.
- *Lösliche Stoffe* sind extrahierbare Stoffe, wie Harz, Wachs und Fett und machen einen Anteil von ca.10 % aus.
- *Anorganische Salze*, z.B. Eisen, Mangan und Zink, machen einen Anteil von ca. 0,5 % aus.

Abgesehen von den organischen Salzen sind diese Stoffe aus Kohlensäure und Wasser gebildet worden und können durch die Photosynthese der Pflanze zu wasserlöslichem Zucker, der Glukose, umgewandelt werden. Diese wird weiter zu Stärkeverbindungen umgewandelt und in den Parenchymzellen abgelagert. Durch diese Umwandlung entstehen Moleküle mit freien Hydroxylgruppen, die bei der Papierherstellung wichtig für die Wasserstoffbrückenbindung sind.

Fichtenholz hat eine günstige Faserlänge und einen geringen Harzgehalt. Bei der Herstellung von Zellstoff findet es vorwiegend Verwendung bei dem Sulfitverfahren. Kiefernholz dagegen hat einen recht hohen Harzgehalt und verursacht deswegen Probleme beim mechanischen Aufschluss, also der Gewinnung von Holzstoff. Daher wird Kiefernholz vor allem für die Zellstoffherstellung im alkalischen Sulfatverfahren verwendet [Bos et al., 2006].



Abbildung 3.4: Holzstoff

(Quelle: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/holzstoff.jpg>)

3.2.2 Ausgangsstoff Altpapier

Altpapier ist ein Rohstoff für die Papierproduktion und wird in Deutschland als Wertstoff gesammelt. Dies geschieht entweder durch das Bringsystem mit großen Containern an zentralen Sammelstellen oder über das Holsystem durch das Einsammeln an den einzelnen Gebäuden mittels Bereitstellung meist blauer Papiertonnen. Es gibt 40 verschiedene Altpapiersorten, die in Deutschland in die folgenden fünf Gruppen unterteilt werden [Göttsching L, 1990, S.80]:

- Gruppe 1: Untere Sorten
- Gruppe 2: Mittlere Sorten
- Gruppe 3: Bessere Sorten
- Gruppe 4: Krafthaltige Sorten
- Gruppe 5: Sondersorten

Eine genauere Aufschlüsselung der Sorten befindet sich im Anhang B.

Die Sorten des anfallenden Altpapiers sind meist vom Anfallort abhängig und können in etwa wie folgt unterteilt werden [Göttsching L, 1990, S.70]:

- Haushalt: Mischpapier (Zeitungen und Zeitschriften, Werbung, verschiedene Papier- und Pappsorten)
- Gewerbe: Karton- und Papierverpackungen
- Büros: Druck- und Schreibpapiere
- Papierherstellung: Ausschuss, unverkaufte Rohprodukte, Fehldrucke etc.

Altpapier ist eine stoffliche Ressource, die sehr inhomogen ist und papierfremde Bestandteile (z.B. Metalle, Kunststoffe, Glas, Holz), produktionsschädliche Papiere und Pappen (z.B. Pergamentpapier, Kohlepapier, nassfeste Papiere) sowie Füllstoffe und Pigmente enthalten kann [Göttsching L, 1990, S.80]. Diese schränken die Weiterverarbeitbarkeit und die Qualität des daraus produzierten Papiers ein.

Krepptoilettenpapier wird ausschließlich aus Altpapierqualitäten unterer, mittlerer und Sondersorten hergestellt [URL – Umweltbundesamt, 2009]. Während 1990 Altpapier einen Anteil von ca. 38 % in Hygieneprodukten ausmachte [Göttsching L, 1990, S.37], sind es mittlerweile bei inländisch erzeugten Hygieneprodukten durchschnittlich 60 % [URL – Umweltbundesamt, 2009]. Greenpeace zufolge gilt diese Tendenz jedoch nicht für das außerhalb Deutschlands erzeugte Papier. Demzufolge betrug 1998 der Anteil Toilettenpapier aus Recyclingfasern nur ca. 30 %, da der Trend zum Einsatz des weißen Frischfaserzellstoffs geht [URL - Greenpeace, 2004]. Momentan werden ca. 3,5 t Frischzellstoff für die Weiterverarbeitung in Deutschland importiert [URL - Greenpeace Aachen, 2009].

Toilettenpapier wird über die Toilette in die Kanalisation entsorgt und geht damit der Papierkette verloren. Da Altpapier aufgrund der Verkürzung der Fasern bei der Aufbereitung nur 4 bis 8 mal recycelt werden kann, ist es sinnvoll, für die Herstellung von Toilettenpapier ausschließlich Sekundärfasern unterer Sorten zu verwenden, um Ressourcen zu schonen. Bis zu 2,2 kg Holz können laut Greenpeace [URL - Greenpeace Aachen, 2009] pro kg Sekundärfaserpapier eingespart werden.

3.3. Herstellung der Faserstoffe

In diesem Abschnitt wird die Herstellung der verschiedenen Faserstoffe beschrieben. Dabei handelt es sich um die Primärfaserstoffe Holzstoff und Zellstoff sowie um den Sekundärfaserstoff aus Altpapier.

3.3.1 Primärfaserstoff Holzstoff

Holzstoff ist der Oberbegriff für Faserstoffe, die mechanisch gewonnen wurden. Die Ausbeute liegt bei 90 bis 98 % [Göttsching L, 1990 S.79], da die Fasermasse noch fast vollständig alle Bestandteile des Holzes, wie Harze und Lignin, enthält.

Es gibt verschiedene Sorten Holzstoff, die durch unterschiedliche Verfahren gewonnen werden können. Man unterscheidet hierbei in die Holzschlifferzeugung und die Refiner-Verfahren. Die Ausbeute des Holzaufschlusses hängt von dem jeweiligen Verfahren ab und ist in Tabelle 3.1 für einige Verfahren dargestellt. Die Ausbeute bezeichnet dabei das Mengenverhältnis gewonnener Faserstoff zur eingesetzten Holzmenge. Für den Aufschluss ist es notwendig, dass das Holz zerkleinert, in Form von sogenannten Hackschnitzeln, vorliegt. Diese werden mitunter auch als Chips bezeichnet.

Tabelle 3.1: Ausbeute der verschiedenen Aufschlussverfahren

Aufschlussverfahren	Ausbeute
Holzschliff und TMP	90 – 96 %
CTMP	85 – 90 %
Halbzellstoff	65 – 85 %
Hochausbeutezellstoff	55 – 65 %
Zellstoff	43 – 52 %

(Quelle: [Bos et al, 2006, S.61])

Holzschlifferzeugung (GW - groundwood):

Die Unterteilung des Holzschliffs findet nach [Bos et al, 2006, S.65] in drei Klassen statt:

- Feinschliff: u.a. für Tissue
- Normalschliff: u.a. für Zeitungspapier
- Grobschliff: u.a. für Kartoninnenlage

Zu den Verfahren der Holzschliffgewinnung zählen das Thermoschliff-, das Druckschliff- und das Steinschliffverfahren.

- Steinschliffverfahren (SGW – stone groundwood): Zerfaserung des Holzes unter Wasser bei Temperaturen zwischen 60 und 90 °C durch einen Schleifstein, die Ausbeute beträgt 95 bis 98 % [Möbius CH, 2002, S.71]. Es entsteht ein Holzschliff mit hohem Feststoffanteil und guter Opazität (Undurchsichtigkeit des Papiers), der Ausgangsstoff ist meist Nadelholz, da Laubholz zu kurze Fasern hat und meist zu hart ist [Bos et al., 2006, S.63].

- Thermoschliffverfahren (TGW – thermo groundwood): Erhöhung der Temperaturen auf 100 °C [Möbius CH, 2002, S.71], die erreichten Festigkeitswerte liegen dabei ca. 10 % über den Werten für herkömmlichen Steinschliff [Bos et al., 2006, S.69].
- Druckschliffverfahren (PGW – pressurized groundwood): Überdruck und hohe Temperaturen wirken sich positiv auf die Ligninerverweichung und damit auf den Langfaseranteil aus, welcher sich erhöht [Bos et al., 2006, S.68].

Holzschliff enthält zu wenig lange Fasern und benötigt deshalb die Beimischung anderer Fasern. Holzschliff wird besonders im Druckpapierbereich eingesetzt [Bos et al., 2006, S.61].

Refiner – Verfahren

Anstelle des Schleifsteins werden geriffelte Metallplatten verwendet, welche Refiner genannt werden [Möbius CH, 2002, S.71]. Die Ausbeute fällt etwas geringer aus als beim Steinschliffverfahren, da bei höheren Temperaturen Lignin gelöst wird und ins Abwasser geht [Möbius CH, 2002, S.72].

Das Refiner-Verfahren erfordert etwa eineinhalb mal soviel Energie wie das Steinschliffverfahren. Das Ergebnis ist jedoch ein Holzstoff mit besserer Festigkeit. Dieser Unterschied liegt darin begründet, dass das Messer in Längsrichtung der Holzfasern verläuft [Bos et al., 2006, S.70f]. Unterschieden werden die Verfahren wie folgt [Bos et al., 2006, S.61ff]:

- RMP (refiner mechanical pulp - Refinerholzstoff): Der drucklose Prozess liefert bezüglich der Festigkeit dem Holzschliff ähnlichen Holzstoff, jedoch mit mehr langen Fasern und weniger Feinstoff.
- CRMP (chemi refiner mechanical pulp): Die chemische Vorbehandlung des Holzes führt zu einem besseren Aufschluss.
- TMP (thermo mechanical pulp - Thermomechanisches Verfahren): Verfahren mit thermischer Vorbehandlung. Mit dem TMP-Verfahren kann ein Holzstoff mit hohem Langfaseranteil, hoher Festigkeit und hoher Weiße erzeugt werden. Das Verfahren ist weit verbreitet, führt jedoch zu einer hohen Abwasserbelastung.
- CTMP (thermo mechanical pulp – chemisch vorbehandelter TMP-Stoff): Verfahren mit chemischer und thermischer Vorbehandlung, Vorschaltung einer Imprägnierung der Hackschnitzel mit Na_2SO_3 vor das TMP-Verfahren. Das Ergebnis ist ein Faserstoff mit geschmeidigen Fasern, hoher Festigkeit und Weiße sowie einer hohen Saugfähigkeit [Bos et al., 2006, S.95f].
- BCTMP: gebleichter CTMP-Stoff

Weiterverarbeitung und Eigenschaften

Nach der Gewinnung des Holzstoffs sind die Fasern noch gekrümmt und müssen bei 80 bis 90 °C in einer sogenannten Latenzbütte 20 bis 30 min verweilen, um die Krümmung wieder zu verlieren [Bos et al., 2006, S.79/85]. Der Holzstoff muss anschließend in eine Sortierung, damit unerwünschte Stoffe entfernt werden können (Splitter, ungenügend aufgeschlossene Faserbündel, etc). Splitter können die nachfolgenden Prozesse stören und z.B. zum Abriss an der Papiermaschine führen [Bos et al., 2006, S.85]. Der

abgetrennte Stoffstrom heißt Rejekt und wird nochmals in einer TMP-Anlage gemahlen [Bos et al., 2006, S.90].

Holzschliff hat gegenüber Zellstoff Vorteile bezüglich der Opazität, der Kompressibilität und der Dimensionsstabilität. Nachteile des Holzschliffs gibt es bezüglich der Vergilbung durch den Ligningehalt und bezüglich der Festigkeitseigenschaften [Göttsching L, 1990, S.79].

TMP hat einen geringen Feinstoffgehalt, eine geringe Weiße und eine geringe Opazität, jedoch ein hohes Wasseraufnahmevermögen und eine gute Steifigkeit, die für Tissue interessant ist [Bos et al., 2006, S.95].

Nach der Herstellung des Holzstoffs wird eine Bleiche durchgeführt und der Stoff für die Weiterverarbeitung und Lagerung zum Halbstoff eingedickt [Möbius CH, 2002, S.72].

3.3.2 Primärfaserstoff Zellstoff

Zellstoff ist eine faserige Masse, die aus Cellulose, Hemicellulose und einem sehr geringen Anteil Lignin besteht [Bos et al., 2006, S.104]. Die Gewinnung findet durch den chemischen Aufschluss von pflanzlichen Produkten statt. Zellstoff kann aber auch aus Altpapierstoff hergestellt werden.

Die Ausbeute bei der Herstellung von Zellstoff aus Pflanzenmaterial, vorwiegend aus Holz, beträgt nur etwa 40 bis 55 % [URL – copyshop-tips, 2009], da fast alle anderen Stoffe außer der Cellulose abgetrennt werden. Bezüglich des verbleibenden Lignins spricht man bei einem Anteil von weniger als 5 % von holzfreiem Zellstoff, bei einem Anteil größer 5 % von holzhaltigem Zellstoff. Je höher der Ligninanteil im Papier ist, desto mehr neigt das Papier zur Vergilbung.



Abbildung 3.5: Zellstoff

(Quelle: http://www.lenzing.com/images/top_images/ti_zellstoff.jpg)

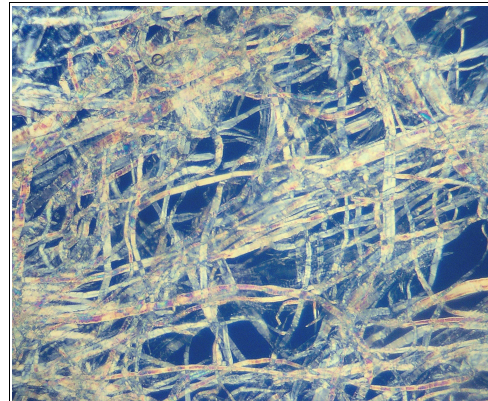


Abbildung 3.6: Zellstoff unterm Mikroskop

(Quelle: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/122/zellstoff_200_fach_polfilter.jpg)

Für die Herstellung des Zellstoffs werden zunächst gleichmäßig geformte Hackschnitzel hergestellt. Diese werden mechanisch zerkleinert, damit die Aufschluss- und Kochlösung besser in das Holz eindringen kann. Die Hackschnitzel besitzen eine

Abmessung von 15 bis 25 mm in der Breite und Länge und eine Dicke von 2 bis 8 mm. Unterschiedliche Verfahren erfordern eine unterschiedliche Qualität der Hackschnitzel. Allgemein sollte das Holz aber eine hohe Feuchtigkeit aufweisen, da dies sehr wichtig für die Qualität des Faserstoffs ist [Bos et al., 2006, S.35]. Beim Einsatz der Chemikalien kann man das alkalische Sulfatverfahren und das saure Sulfidverfahren unterscheiden, die im nächsten Abschnitt kurz erläutert werden. Es gibt weitere Verfahren, die aufgrund der geringen Anwendung hier nicht betrachtet werden sollen.

Bei der Kochung wird Lignin aus dem Pflanzenstoff herausgelöst. Bei Laubhölzern beträgt der Ligninanteil etwa 20 %, bei Nadelhölzern etwa 30 % [Göttsching L, 1990, S.79]. Jedoch geht bei der Kochung etwa die Hälfte der Holzsubstanz in Lösung und so kommt es auch zum Verlust von Cellulose und Hemicellulose. Deshalb ist die Ausbeute bei der Zellstoffherstellung so gering.

Nach dem chemischen Aufschluss schließt sich die Bleiche an, da der gekochte Zellstoff mehr oder weniger dunkel gefärbt ist. Durch die Bleiche wird nicht nur die Farbe des Zellstoffs beeinflusst, sondern auch andere Eigenschaften. Durch die Entfernung von Lignin und Harzen, welche wasserabweisend sind, werden die Saugfähigkeit, die Weiche und die Reißfestigkeit erhöht [URL – IKW, 2009].

Zellstoff wird entweder ungetrocknet in der selben Fabrik integriert zu Papier verarbeitet oder getrocknet am Markt verkauft. Bemessen wird der Zellstoff i.d.R. in kg luro (lufttrocken), mit 90 % Trockengehalt [Bos et al., 2006, S.114].

Sulfatzellstoff (Kraftverfahren)

Das Verfahren der Sulfatzellstoffherstellung existiert seit Ende des 19. Jahrhunderts. Es ist das weltweit dominierende Verfahren mit 95 % der Weltproduktion [URL – wikipedia, 2009 a]. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass mit dem Sulfataufschluss aus allen cellulosehaltigen Rohstoffen ein Fasserstoff mit hohen Festigkeiten hergestellt werden kann [Möbius CH, 2002, S.76 / Bos et al., 2006, S. 109]. Aufgrund der hohen Festigkeiten wird das Verfahren auch Kraftverfahren genannt. In Deutschland gibt es jedoch nur eine Fabrik, die nach diesem Verfahren arbeitet (Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal in Blankenstein (Thüringen)) [URL – ipwonline.de, 2009].

Der Aufschluss findet bei 170 bis 190 °C in 2 bis 6 Stunden statt [Möbius CH, 2002, S.76] unter Verwendung einer Lösung aus Natronlauge (NaOH), Natriumsulfid (Na_2S), teilweise Soda (Na_2CO_3) und Anthrachinon zur Erhöhung der Ausbeute [Göttsching L, 1990, S.76]. Der Name Sulfatzellstoff kommt vom Einsatz von Natriumsulfat (Na_2SO_4) für die Rückgewinnung der eingesetzten Chemikalien.

Bei der anschließenden Bleiche geht das noch vorhandene Lignin durch Oxidationsmittel in Lösung [Möbius CH, 2002, S.77]. Die Ausbeute an Sulfatzellstoff beträgt etwa 40 bis 45 % [URL – wikipedia, 2009, a]. Die stabile Form der Hemicellulose führt zu einem festen Zellstoff, Harzprobleme treten selten auf. Allerdings hat der Zellstoff eine braune Färbung und ist schwieriger zu bleichen als Sulfidzellstoff [Bos et al., 2006, S.112].

Sulfitzellstoff

Sulfitzellstoff wird ebenfalls seit dem Ende des 19. Jahrhunderts hergestellt. Der Anteil an der Weltproduktion ist sehr gering, in Deutschland wird aber fast ausschließlich mit diesem Verfahren gearbeitet. Bevorzugt werden Fichtenholz und einige Laubholzarten verwendet.

Der Aufschluss findet bei 120 bis 145 °C in 7 bis 10 Stunden statt [Möbius CH, 2002, S.76]. Dabei kommen als Chemikalien wässrige Hydrogensulfidlösung („Kochsäure“), welche einen Überschuss an gelöstem Schwefeldioxid (SO₂) enthält, sowie als Base Calcium (Ca), Magnesium (Mg, dominiert), teilweise Natrium (Na) und teilweise Ammonium (NH₄) zum Einsatz. Die Aufschlusschemikalien können nur teilweise rückgewonnen werden.

Die Kochflüssigkeit dringt in Längsrichtung der Fasern in das Holz ein. Das Ergebnis ist eine schlechtere Faserfestigkeit als beim Sulfatzellstoff. Die Ausbeute an Sulfitzellstoff liegt bei ca. 55 %. Die Eigenschaften sind dabei abhängig von der Intensität des Aufschlusses. Wenig aufgeschlossener Zellstoff wird harter Zellstoff genannt, da steife und sperrige Fasern entstehen. Der Ligningehalt liegt unter ca. 9 %. Intensiv aufgeschlossener Zellstoff hat geschmeidige, biegsame Fasern und wird weicher Zellstoff genannt. Bei diesem Zellstoff ist ein Teil der Hemicellulose entfernt, der Ligningehalt ist auf 0,5 bis 2 % begrenzt [Bos et al., 2006, S.106ff].

Bleiche

Die Bleiche ist notwendig, um Lignin aus dem Zellstoff zu entfernen. Da reine Cellulose weiß ist, führt dieser Prozess zu der gewünschten Weiße. Allerdings wird bei dem Bleicheprozess auch die Hemicellulose angegriffen und abgebaut, was zu einem Festigkeitsverlust der Fasern führt. Die Reinigung der Cellulosefasern erhöht die Fähigkeit der Flüssigkeitsaufnahme, die Weichheit und die Reißfestigkeit [URL - IKW, 2009]. Die Abbildungen 3.7 und 3.8 zeigen gebleichten und ungebleichten Zellstoff im Vergleich.



Abbildung 3.7: Ungebleichter Zellstoff

(Quelle: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/pulper.jpg>)



Abbildung 3.8: Gebleichter Zellstoff

(Quelle: http://www.vdp-online.de/bildergalerie/rohstoffe/zellstoff_gebl.jpg)

Der Prozess besteht aus dem Mischen der Chemikalien, der Bleiche und dem Auswaschen von Abbauprodukten und der eingesetzten Chemikalien [Bos et al, 2006, S.114ff]. Bei der Bleiche kann man in elementar chlorfreie Bleiche (ECF) und total chlorfreie Bleiche (TCF) unterscheiden, wobei ECF-Zellstoffe zwei Drittel des Marktzellstoffs ausmachen [Möbius CH, 2002, S.77]. Bei der ECF-Bleiche kommen z.B. Hypochlorit oder Chlordioxid zum Einsatz. TCF-Verfahren arbeiten z.B. mit Sauerstoff, Wasserstoffperoxid oder Ozon. Der Einsatz von Sauerstoff an Stelle von Chlor ist im Hinblick auf die Umwelt sinnvoll. Der Einsatz der Sauerstoffbleiche reduziert den abwasseranfall um 40 % und produziert 50 % weniger BSB und CSB [Bos et al., 2006, S.117].

3.3.3 Sekundärfaserstoff aus Altpapier

Aus Altpapier gewonnener Faserstoff wird als Sekundärfaserstoff bezeichnet und besteht letztendlich aus Zellstoff und Holzstoff. Die Aufbereitung besteht aus der Zerkleinerung des Altpapiers, der Befreiung von Fremdstoffen und dem Deinking. Deinking ist die Befreiung des Papiers von Druckfarbe.

Die Zerfaserung des Altpapiers findet in einer Auflösetrommel (siehe Abbildung 3.10) unter Einsatz von Wasser und gegebenenfalls Chemikalien für den Deinking-Prozess statt. Das Ergebnis ist ein pumpfähiger Stoff. Bei der anschließenden Grobsortierung werden Verunreinigungen und Fremdkörper herausgefiltert, dann wird die Druckfarbe beim Deinking von den Fasern gelöst. Für die Herstellung von Sanitärpapieren ist die Abscheidung von Füllstoffen wichtig, da diese im Papier unerwünscht sind. Falls notwendig, schließt sich eine Bleiche an diese Prozesse an, zum Schluss wird der Stoff eingedickt [Bos et al., 2006, S.123f].



Abbildung 3.9: Lagerung von Altpapier

(Quelle: http://vdp-online.de/bildergalerie/rohstoffe/ap_stapel.jpg)



Abbildung 3.10: Aufbereitung im Pulper

(Quelle: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/pulper.jpg>)

Die Zerfaserung dient der Fibrillierung der Fasern, also der Aufteilung der Fasern an den Enden [Möbius CH, 2002, S.74]. Da Papierfasern bei der Bearbeitung brechen und bei jedem Recyceln kürzer werden, können sie nur 4 bis 8 mal wiederverwendet werden. Deshalb ist eine Zufuhr von frischen Fasern bzw. Fasern aus höherwertigem Papier notwendig.

Die Aufbereitung von Altpapier verursacht geringere Kosten und ist weniger aufwändig als die Herstellung von Frischfasern. Das Recycling der Fasern wirkt sich auf die verschiedenen Fasern allerdings unterschiedlich aus. Zellstofffasern werden dabei weniger flexibel, TMP-Fasern werden flacher und flexibler. Dies führt laut [Bos et al., 2006, S.122] zu dünnerem und lappigerem Papier, dessen Fasern mehr Bindungen liefern. Diese gleichen die weniger gewordenen Faserbindungen des Zellstoffs im Gesamtstoff wieder aus.

Neben den geringeren Kosten ist festzustellen, dass die Aufbereitung von Altpapierfasern im Vergleich zur Zellstoffgewinnung wesentlich geringere Umweltbelastungen nach sich zieht. Es gibt Unterschiede bei der benötigten Rohstoffmenge, der Abwasserbelastung sowie dem Wasser- und Energieverbrauch [URL - Greenpeace Aachen, 2009].

3.4. Die Papierherstellung

Auf die Aufbereitung der Halbstoffe zum Ganzstoff folgt der eigentliche Prozess der Papierherstellung. Dazu gehören die Blattbildung, die Pressung und die anschließende Trocknung der Papierbahnen. Wichtig für die Herstellung eines Papiers ist die Ausbildung von Wasserstoffbrücken, welche nachfolgend ebenfalls kurz erläutert werden.

3.4.1 Aufbereitung von Halbstoffen

Halbstoffe werden entweder eingekauft oder am Ort der Papierherstellung direkt produziert. Man spricht dann von einer integrierten Fabrik. Der eingedickte Halbstoff wird mittels Wasser und kräftigem Rühren aufgelöst. Danach wird der Stoff gemahlen und sortiert, um die gewünschten Stoffeigenschaften zu optimieren. Bei der Mahlung wird „die Primärwand [...] abgelöst und dadurch kann die S2-Wand (siehe Abbildung 3.3, S.16) quellen und über die freigelegten Hemicellulosen zusätzliche Wasserstoffbrücken bilden“. Da Hemicellulose ins Abwasser geht, erhöht sich der BSB-Gehalt im Abwasser [Bos et al., 2006, S.172].

Die Mahlung dient der Entwicklung von Eigenschaften wie Festigkeit, Porosität oder Opazität, außerdem wird die Entwässerbarkeit verändert. Stark aufgemahlener Stoff quillt und ist daher schlecht entwässerbar und wird „fetter Stoff“ genannt. Nicht so gut aufgemahlen wird der Stoff „rösch“ oder „trocken“ genannt und lässt sich besser entwässern [Bos et al., 2006, S.180].

Danach wird der Stoff gelagert und gemischt. Beim Mischen werden Fasern, Füll- und Hilfsstoffe miteinander vermengt, um die Eigenschaften des späteren Papiers wie gewünscht zu beeinflussen. Das Ergebnis ist der fertige Papierrohstoff, der sogenannte Ganzstoff, auch Ganzzeug genannt. Füllstoffe sollen Poren schließen und damit die Blattoberfläche glatt machen. Diese Eigenschaften sind bei Hygienepapieren nicht erwünscht, deshalb kommen diese Stoffe nicht zum Einsatz.

3.4.2 Der Prozess der Papierherstellung

Blattbildung

Für die Blattbildung muss der Ganzstoff, das eingedickte Fasermaterial, sehr stark verdünnt werden und danach auf ein Sieb aufgetragen werden (siehe Abbildung 3.11, S.27). Ablaufendes Siebwasser enthält Material, das nicht auf dem Sieb zurückgehalten werden konnte, und wird größtenteils zur Verdünnung des Ganzstoffs zurückgeführt [Bos et al., 2006, S.220].

Damit die Suspension aus Fasern und Hilfsstoffen keine Flocken bei der Aufbringung auf das Sieb aufweist und ein gleichmäßiger Auftrag möglich ist, muss kurz davor Turbulenzenergie in die Suspension eingebracht werden. Dies ist wichtig, da die Flockenbildung negative Auswirkungen auf die Papierqualität hat, wie z.B. eine grobe Struktur und geringe Festigkeiten [Bos et al., 2006, S.234]. Außerdem können Schaum und Luft die Blattbildung negativ beeinflussen und müssen daher vermieden bzw. vor dem Auftrag auf das Sieb abgeführt werden [Bos et al., 2006, S.238].

Bei der Aufbringung auf das Sieb ist das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen Sieb und Suspensionsstrahl wichtig, da dies die Faserorientierung beeinflusst. Ist das Sieb schneller als der Strahl, orientieren sich die Fasern in Längsrichtung. Ist das Sieb langsamer als der Strahl, kommt es zu einer verstärkten Querausrichtung der Fasern [Bos et al., 2006, S.242]. Fasern können mehr Kräfte in ihrer Längs- als in ihrer Querrichtung aufnehmen. Da bei Toilettenpapier eine höhere Belastung in Laufrichtung des Papiers auftritt, läuft das Sieb daher bei der Herstellung von diesen Papieren schneller als der Strahl und es kommt überwiegend zu einer Längsausrichtung der Fasern. Das fertige Papier kann damit mehr Zugkraft in Laufrichtung aufnehmen.

Da Fasern eine negativ geladene Oberfläche haben und sich gegenseitig abstoßen, müssen chemische Hilfsmittel zur Entwässerung eingesetzt werden. Allerdings wird die Entwässerung möglichst verzögert, damit sich die Fasern in der Suspension ausrichten können, bevor das Wasser abgeführt wird. Auf dem Sieb bleiben eher lange Fasern liegen, nach oben hin nimmt der Anteil kurzer Fasern, Fein- und Füllstoffe zu. Die Siebseite wird gleichmäßiger, an der Oberseite tritt verstärkt Flockung auf [Bos et al., 2006, S.256f]. Das Rückhaltevermögen auf dem Sieb wird durch Zugabe von Retentionsmitteln verbessert.



Abbildung 3.11: Stoffauflauf auf einer Papiermaschine

(Quelle: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/produktion/stoffauflauf.jpg>)

Auf dem Sieb stellt sich ein Trockengehalt von 16 bis 25 % ein. Da das Papier noch nicht fest ist, muss es direkt in die Presse geleitet werden. Eine Flockenbildung findet bis zum Ende der Entwässerung statt, die Flockenstruktur bleibt im Blatt fixiert [Bos et al., 2006, S.244f].

Pressen

Nach der Blattbildung findet eine Entwässerung und Verdichtung des Stoffs mittels mechanischen Drucks statt. Bei der Pressung werden Filze, auf denen der Papierstoff aufliegt, zur Ableitung des Wassers verwendet, der Prozess läuft in vier Stufen ab. Zuerst läuft die nasse Papierbahn in den Pressnip ein, es findet eine erste Verdichtung und Entwässerung statt. Der Pressnip ist dabei „die Berührungsfläche zwischen zwei gegeneinander gepressten, achsparallelen Walzen“ [Göttsching L, 1990, S.279]. Die zweite Stufe bringt ein weiteres Zusammenpressen. Die Anlage besteht dabei aus mehreren Nips, der Druck wird von Nip zu Nip gesteigert. Danach läuft die Bahn aus dem Nip aus. Solange Kontakt zum Filz besteht, findet eine Rückbefeuchtung statt [Bos et al., 2006, S.273f]. Eine schematische Darstellung der Pressen und des Papierverlaufs zwischen den Pressen bietet Abbildung 3.12 (S.28).

Das Wasser, das bei diesem Prozess herausgepresst wird, kommt von den Kapillaren zwischen den Fasern, den Kapillaren in den Fasern und von den Wasserstoffbrückenbindungen. Das Wasser aus dem Lumen kann dagegen nicht entfernt werden. [Bos et al., 2006, S.275]. Als Lumen wird der „zentrale Hohlraum der Zelle“ bezeichnet [URL – Zellstoffscript, 2009].

Eine schnelle Entwässerung führt dazu, dass das Blatt porös und damit besser auspressbar wird [Bos et al., 2006, S.276]. Das Pressen hat Auswirkungen auf die Eigenschaften. Die mechanische Festigkeit, z.B. Reißlänge und Berstdruck, nimmt zu,

dickeabhängige Eigenschaften, z.B. Opazität und Biegefestigkeit, nehmen ab. Die Oberfläche der Filzseite wird durch das Pressen auf der Filzbahn verbessert [Bos et al., 2006, S.278]. Das Pressen der Papierbahn führt zu einem Trockengehalt von max. 50 bis 55 Masse-% [Bos et al., 2006, S.291].

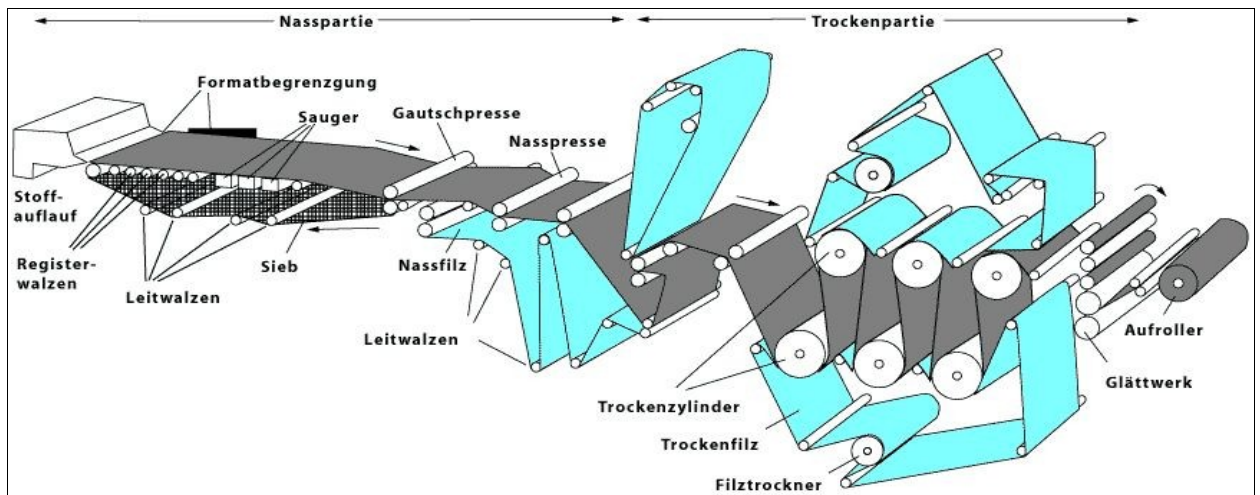


Abbildung 3.12: Langsiebpartie mit Pressen und Trockenzylindern

(Quelle: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/76/Langsieb_masch1_sw.gif)

Trocknung

Wie im vorigen Abschnitt bereits erwähnt, verbleibt in der gepressten Papierbahn Wasser, das durch die Trocknung entfernt werden muss. Dabei kann ein Papier mit einer Restfeuchte von 2 bis 10 % erzeugt werden. Die Trocknung kann in die drei Phasen Aufwärmung, Hauptverdampfung und Wärmeübergang über die bereits trockenen äußeren Papierschichten eingeteilt werden [Bos et al, 2006, S.291].

Die Trocknung kann über direkten Kontakt durch Trockenzylinder (siehe Abbildung 3.12 und Abbildung 3.13, S.29) oder durch Konvektion mittels aufgewärmter Luft stattfinden. Außerdem kann Strahlungswärme von Infrarotstrahlern verwendet werden.

- *Trockenzylinder*: Papier verträgt nur begrenzte Trockenleistung pro m², deshalb wird Trocknung auf mehrere Zylinder verteilt, um Zerreißen zu vermeiden [Bos et al, 2006, S.293]
- *Lufttrocknung*: trockene warme Luft kann große Mengen Feuchtigkeit aufnehmen, oft Kombination mit Zylindertrocknung (auf der Gegenseite) [Bos et al, 2006, S.297]
- *Infrarottrocknung*: Energiezufuhr auf kurzer Strecke, aber hoher Energieverlust

Festigkeit erhält das Papier dabei erst durch die Ausbildung von stabilen Wasserstoffbrücken ab einem Wassergehalt unter 20 % [Bos et al, 2006, S.309].

Die Trocknung von dünnen Papieren und Tissue, welche für die Hygienepapierproduktion Verwendung finden, geschieht auf großen Zylindern mit einem Durchmesser von bis zu 6 m, welche Yankee-Zylinder genannt werden. Dort wird der

Effekt des Anbackens durch Andrücken mittels Presswalzen für die intensive Trocknung genutzt. Dies hat hohe Festigkeiten zur Folge, es gibt keine Längs- oder Querschrumpfung. Bei diesem Prozess kann das Wasser im Lumen entweichen, die Faser wird platt und es entsteht ein Glanzeffekt auf der Zylinderseite, was ein einseitig glattes Papier zur Folge hat.

Bei einem Trockengehalt über 94 % springt die Bahn selbst vom Zylinder ab. Tissue wird allerdings, bevor es selbst abspringt, mit einem Kreppschaber vom Zylinder abgenommen und dabei leicht zusammengestaucht, die Kreppung beträgt etwa 25 %. Das Ergebnis ist eine Tissuebahn mit einer Grammaturn von ca. 21 g/m², das Volumen nimmt bei dem Prozess zu. Dies führt zu einem hohen Wasseraufnahmevermögen des fertigen Papiers [Bos et al, 2006, S.311].



Abbildung 3.13:
Trockenzylinder

(Quelle: <http://www.gericks.de/gfx/firmeninfos/wumag.jpg>)

Manches Papier wird zum Schluss zwischen Walzen geglättet und rückgefeuchtet, danach wird die Qualität gemessen. Die fertige Papierbahn wird auf großen Stahlkernen, welche Tamboures genannt werden, aufgewickelt.

3.4.3 Wasserstoffbrückenbindung

Der Zusammenhalt der Fasern im Papier wird überwiegend durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken gewährleistet. Dabei geben Wasserstoffatome bei der Bindung mit anderen Elementen ein Elektron ab und werden zu H⁺-Ionen. Da Sauerstoffatome im Verhältnis zu Wasserstoffatomen relativ groß sind, erzeugt der Wasserstoff nur sehr kleine positive Flecken auf der Oberfläche des negativ geladenen Sauerstoffatoms. Dadurch wird das Sauerstoffatom zu einem bipolaren Magneten und es kommt zu „magnetischen“ Bindungen zwischen den einzelnen Atomen, welche man Wasserstoffbrücken nennt. Diese sind in Abblidung 3.14 (S.30) dargestellt. Weiterhin bilden sich Wasserstoffbrücken zwischen den Hydroxylgruppen (OH-Gruppen) aus, aus

denen die Celluloseketten der Papierfasern bestehen (siehe Abbildung 3.15) [Bos et al., 2006, S.204f].

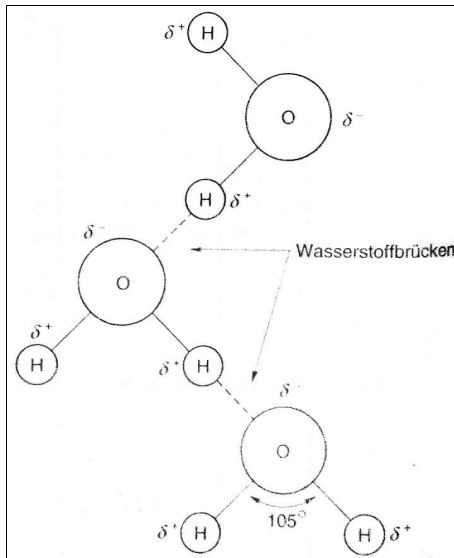


Abbildung 3.14:
Wasserstoffbrückenbindung

(Quelle: Bos et al., 2006)

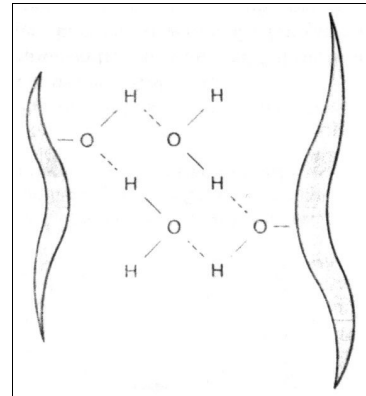


Abbildung 3.15:
Wasserstoffbrücken
zwischen den
Hydroxylgruppen der
Papierfasern

(Quelle: Bos et al., 2006)

Die Anzahl der Wasserstoffbrückenbindungen kann durch das Pressen oder die Streckung der Fasern im Blatt erhöht werden. Bei hohem Wassergehalt bilden sich Wasserstoffbrücken, lösen sich aber sehr leicht auch wieder auf. Erst bei einem Wassergehalt von unter 20 % vergrößert sich die Festigkeit des Papiers durch die Wasserstoffbrücken [Bos et al, 2006, S.309].

4 Eigenschaften der Papiere und deren Bewertung

Die Eigenschaften des fertigen Toilettenpapiers sind von verschiedenen Faktoren abhängig, die sich zum Teil auch untereinander beeinflussen oder ausgleichen. Dabei kann man die Faktoren in die verwendeten Ausgangsstoffe und die Prozesse der Herstellung unterscheiden. Die Eigenschaften der Papiere sind vorwiegend durch die Auswahl des Ausgangsstoffes gegeben [Bos et al, S.491 / Müller G, 2009], die Wahl der Stoffe ist sehr bedeutend für die Qualität des Papiers, aber auch die Abhängigkeit von den Herstellungsprozessen muss berücksichtigt werden für die späteren Eigenschaften des Papiers. Im folgenden wird versucht, die Fülle an Einflüssen auf die Eigenschaften, insbesondere auf das Auflösevermögen und die organische Fracht, zu untersuchen.

4.1. Festigkeit, Weichheit und Saugvermögen

Weichheit und Festigkeit stehen in Konkurrenz zueinander. Je weicher ein Papier ist, desto schlechter ist seine Festigkeit. Dagegen ist das Saugvermögen höher, wenn das Papier möglichst weich ist und ein großes Volumen hat.

Die Weichheit der Papiere sowie die Festigkeit des Faserverbundes im Papier werden vor allem durch die Stoffzusammensetzung und die Auswahl der Fasern bestimmt [Meyer A, 2007, S.982]. Nadelholz liefert lange und dickere Fasern, was zu einer höheren Festigkeit des Papiers führt. Laubholz dagegen hat kürzere und dünnere Fasern und führt zu einem etwas weicheren Papier. Altpapierstoff hat im allgemeinen bereits verkürzte Fasern. Moderne Tissuefabriken bereiten Kurz- und Langfaseranteile separat auf. Der Stoffauflauf wird als Doppellage durchgeführt. Dies führt zu einem zweiseitigen Blatt mit einer weichen und einer festen Seite [Meyer A, 2007, S.986].

Holzige Fasern im Holzstoff haben eine höhere Steifigkeit, eine größere Opazität und eine höhere Dicke [Bos et al., 2006, S.491]. Das im Holzstoff enthaltene Lignin führt zu einer schnellen Vergilbung, das Papier ist für einen langwährenden Einsatz ungeeignet. Holzhaltiges Papier hat ein hohes Blattvolumen und damit ein gutes Wasseraufnahmevermögen (bzw. Saugvermögen) [Bos et al., 2006, S.268]. Durch den höheren Ligningehalt binden jedoch Holzstofffasern weniger Wasser [Bos et al., 2006, S.276]. Lignine und Harze sind wasserabweisend, erst ihre Entfernung erhöht die Saugfähigkeit, Weichheit und Reißfestigkeit wieder [URL – IKW, 2009].

Zellstoff ist frei von Harzen und Ligninen. Die Festigkeit ist abhängig von den eingesetzten Ausgangsstoffen, den Herstellungsprozessen und der Bleiche. Dabei verliert das Papier an Festigkeit, je stärker die Fasern zerstört werden, und gewinnt gleichzeitig an Weichheit.

Unabhängig vom Ausgangsstoff können Zusatzstoffe die Eigenschaften Weichheit und Saugvermögen beeinflussen [Göttsching L, 1990, S.85]. Es kommen dabei Debonder und Softener zum Einsatz, die die Reißfestigkeit etwas reduzieren, jedoch die Blattflexibilität, das Blattvolumen und die Oberflächenweichheit verbessern [Meyer A, 2007, S.982].

Die Weichheit kann laut [Meyer A, 2007, S.982] auch durch die Technologie beeinflusst werden, wie z.B. durch die Optimierung der Mahlung und die Technologie des Yankee-Zylinders, die sogenannte Yankee-Coating-Technologie. Dabei sind Faktoren

wie die Kreppeuchte, die Wahl des Schabermaterials oder die Schabereinstellung ausschlaggebend für die Kreppestruktur. Die Weichheit ist nicht direkt messbar, eine indirekte Messung ist durch die Entwicklung verschiedener Test möglich. Dabei gehen Blattflexibilität, Rutschwinkel und Grifftest in die Bewertung ein [Meyer A, 2007, S.982] kommen [Schramm St, 2005].

Das Pressen des Papiers wirkt sich positiv auf die mechanischen Festigkeiten aus, z.B. nehmen die Reißlänge und der Berstdruck zu. Bei hohem Wassergehalt bilden sich Wasserstoffbrücken, lösen sich aber sehr leicht auch wieder auf. Erst bei einem Wassergehalt von unter 20 % vergrößert sich die Festigkeit des Papiers durch Wasserstoffbrücken [Bos et al., 2006, S.309]. Mehr Wasserstoffbrücken bedeuten eine höhere Festigkeit des Papiers, denn diese Kraft ist bedeutend höher als die durch die mechanische Verfilzung der Fasern [Bos et al., 2006, S.205].

Kann ein Blatt bei der Trocknung frei schrumpfen, so erhält es eine hohe Dehnung und eine geringe Reißlänge. Steht die Bahn während der Trocknung unter Spannung, so steigt die Zugfestigkeit [Bos et al., 2006, S.309]. Bei der Nutzung des Yankee-Zylinders wird der Effekt des Anbackens genutzt, es gibt dabei keine Längs- oder Querschrumpfung, und eine hohe Festigkeit wird erreicht. Wird dazu noch Haftmittel verwendet, kann beim Abschaben des Papiers die Struktur der Fasern stärker zerstört werden, das Papier wird weicher und flexibler. Dadurch löst sich das Papier später besser im Abwasser [Vogel U, 2009].

4.2. Auflösevermögen

Das Auflöseverhalten wird von der Papierart und den mechanischen und chemischen Beanspruchungen beeinflusst. Die Auswahl der Rohstoffe hat dabei eine größere Wirkung als die Prozesse der Papierherstellung. Laut Auskunft der Firma „Werra Papier“ [Müller G, 2009] wird das Auflösevermögen durch einen in der Papierindustrie allgemein bekannten Test bestimmt. Dabei wird ein Stück Papier, so groß wie ein Euro, in destilliertes Wasser gelegt und mit einem Magnetrührer umgerührt. Die Auflösung des Papiers findet dabei vom Rand zur Mitte hin statt, einzelne Fasern werden allmählich losgelöst und das Probestück verkleinert sich so, bis es sich ganz aufgelöst hat. Es wird die Zeit gestoppt, wenn sich die Hälfte des Papiers bzw. das ganze Papier aufgelöst hat. Diese Zeiten gelten als Maß für das Auflösevermögen.

Laut [Müller G, 2009] zersetzt sich Papier am einfachsten, wenn die Fasern kurz sind. Es empfiehlt sich deshalb besonders Recyclingpapier, das aus unteren Sorten Altpapier hergestellt wurde. Denn je häufiger der Stoff recycelt wird, desto stärker sind die Fasern verkürzt und desto leichter lässt sich das Papier zerreißen. Im Widerspruch dazu steht die Aussage der Firma „Metsä Tissue“, die darauf hinweist, dass sich ihre EasyFlush-Produkte mit 100 % Zellstoffanteil sehr leicht und vollständig auflösen [Vogel U, 2009]. Zellstoffprodukte sind gebleichte, weiche und daher sehr saugfähige Papiere aus Frischfasern. Laut [Müller G., 2009] quellen sie erst, bevor sie sich zersetzen und können sogar zum Verstopfen von Rohren führen.

[Bridle und Kirkpatrick, 2005] haben in einer Studie die Zersetzung von Toilettenpapier nach dem Vergraben in der natürlichen Umwelt erforscht. Dabei wurden Proben mit und ohne Zusatz von Nährstoffen an verschiedenen Orten vergraben. Die Nährstoffe sollten dabei den Nährstoffen aus Urin und Fäkalien entsprechen. Als Ergebnis der Studie

wurde aufgezeigt, dass sich die Zugabe von Nährstoffen und Wärme positiv auf die Zersetzung von Toilettenpapier auswirkt. Dafür war die Zugabe von Stickstoff (N) und Phosphor (P) wichtig, zwischen dem Papierabbau und dem Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C:N) wurde jedoch keine Beziehung festgestellt. Des Weiteren wird angemerkt, dass sich ungebleichtes Papier besser zersetzt als gebleichtes, allerdings war die Masse der Probemenge des gebleichten Papiers (2,5 g) etwas höher als die des ungebleichten Papiers (1,7 g). Damit ist unklar, ob der schnellere Abbau auf ein geringeres Flächengewicht oder tatsächlich auf die Unterschiede zwischen gebleichtem und ungebleichtem Papier zurückzuführen ist. Ungebleichtes Papier enthält Harze und Lignine, die wasserabweisend sind, das Papier ist nicht so saugfähig wie ungebleichtes. Damit liegt die Vermutung nahe, dass Papier tatsächlich leichter abbaubar ist, wenn es nicht so stark quellen kann. Laut [Müller G, 2009] spielt der Gehalt an Harzen und Ligninen keine Rolle für das Auflösungsverhalten, die Studie von [Bridle und Kirkpatrick, 2005] lässt allerdings die Schlussfolgerung zu, dass sich wasserabweisende Stoffe positiv auf das Auflösungsverhalten auswirken könnten, während Angaben von [Vogel U, 2009] eher eine gute Zersetzung bei Abwesenheit von Lignin darstellen.

Neben den Ausgangsstoffen des Toilettenpapiers spielt das Flächengewicht eine wichtige Rolle für das Auflösungsvermögen. Das Papier löst sich umso besser auf, je dünner und leichter es ist. Daher sollten einlagige Krepppapiere oder dünne, zweilagige Recyclingpapiere verwendet werden. Je mehr Lagen ein Papier hat und je höher die Grammatik ist, desto schlechter löst es sich auf. Allerdings ist bei gleicher Grammatik ein zweilagiges Papier dem Krepppapier vorzuziehen, da die einzelnen Lagen nicht sehr fest miteinander verbunden sind und sich sehr leicht voneinander lösen können. Damit gibt es eine größere Angriffsfläche für das Wasser beim Prozess der Auflösung.

Neben dem Recycling von Fasern können auch Herstellungsprozesse die Struktur der Fasern beschädigen. Das Anbacken und Abschaben des Tissuepapiers vom Yankee-Zylinder zerstört die Struktur und erhöht damit das Auflösungsvermögen des Papiers. Auch die Bleichung zerstört die Fasern. Die Viskosität ist dabei ein „Maß für die Kettenlänge der Cellulosemoleküle und gibt eine Information über die Schädigung der Cellulose durch die Bleiche“ [Bos et al., 2006, S.493].

Da der Fließweg bei PWC-Anlagen meist nur wenige Meter beträgt, kann sich das Papier fast gar nicht durch mechanische Einwirkungen zersetzen. Aus diesem Grund müssen Überlegungen verfolgt werden, ob das Papier durch Enzyme oder Bakterien zersetzt werden kann. Als Beispiel dient das bio-aktive Toilettenpapier der Firma Cartiera Lucchese spa. Unklar ist jedoch, ob die Bakterien, die die Cellulose aus dem Toilettenpapier abbauen, diese so umwandeln, dass sie zur Nahrungsquelle der Denitrifikanten wird.

Einsatz von Bakterien

Einige neue Produkte setzen auf den Einsatz von Bakteriensporen. Diese werden auf das trockene Toilettenpapier aufgesprüht und beginnen durch den Kontakt mit Wasser aktiv zu werden. Dabei ernährt sich die eine Sorte der Bakterien von Cellulose aus dem Papier, die andere Sorte von den Fäkalien im Abwasser. Somit werden die Feststoffe von den Bakterien zersetzt und Gerüche beseitigt. Allerdings arbeiten diese Bakterien

erst ab einer bestimmten Temperatur, weshalb diese Produkte eher in Südeuropa verbreitet sind. Hinzu kommt der hohe Preis der Papiere. Mehr Informationen finden sich im Netz unter <http://www.bioactive.it/en/home.php>. Hersteller ist die Firma Cartiera Lucchese spa.

Nassfeste Papiere

Damit Toilettenpapier nicht sofort zerreißt, wenn es bei der Benutzung na wird, ist die Nassfestigkeit eine wichtige Eigenschaft. Die natürliche Festigkeit von Papieren im nassen Zustand im Vergleich zum trockenen Zustand beträgt 3 bis 10 %, was durch die Verfilzung der möglichst langen Fasern und den Anteil an Hemicellulose begründet ist. Diese natürliche Nassfestigkeit beruht auf Faser-zu-Faser-Bindungen. Die Wasserstoffbrücken lösen sich im nassen Zustand. Um dies zu verhindern, werden Nassfestmittel verwendet. Diese legen „durch Polymerisation ein dreidimensionales Netzwerk um die Kontaktpunkte zwischen den Fasern im Blatt und verhindern so die Desintegration“ [Bos et al., 2006, S.210f]. Der Vorgang der Polymerisation ist in Abbildung 4.1 schematisch abgebildet.

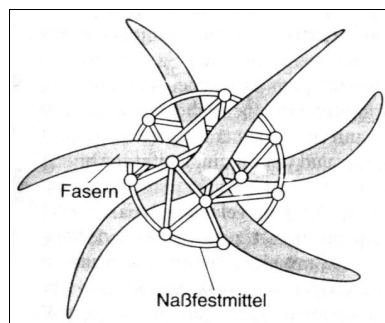


Abbildung 4.1:
Dreidimensionales
Netzwerk um die
Faserkontaktpunkte durch
Nassfestmittel

(Quelle: [Bos et al., 2006])

Da sauer nassfest gemachtes Papier ein geringeres Wasseraufnahmevermögen besitzt, wird Hygienepapier neutral mit PPE-Harzen (Polyamid-Polyamin-Epichlorhydrin) nassfest gemacht (Bos et al., 2006, S.211). Allerdings stellen nassfeste Papiere ein Problem für die Abwasserbehandlung dar. Procter & Gamble hat daher an einem Toilettenpapier geforscht, das bei Wasserkontakt möglichst fest ist, sich trotzdem nach ca. 30 min. im Abwasser auflöst. Die Lösung dafür liegt bei kationischen, wasserlöslichen Polymeren. „Diese Stoffe können reversible Bindungen mit Cellulose eingehen, man erhält also temporäre Nassreifestigkeit“ [Schramm St, 2005]. Weitere Details konnten dazu nicht in Erfahrung gebracht werden.

4.3. Organische Fracht

Der Beitrag von Toilettenpapier zum BSB-Gehalt im Abwasser wird bisher meist vernachlässigt, es sind nur wenige Angaben dazu in der Literatur zu finden. Unterscheidungen zwischen den einzelnen Toilettenpapiersorten gibt es nicht.

[Neuartige Sanitärsysteme, 2009] geht von einem BSB₇-Wert durch Toilettenpapier von 11,5 g pro Person und Tag aus. [Koppe und Stozek, 1999] berechnen 5 g ungelösten Kohlenstoff für das Toilettenpapier im kommunalen Abwasser, wobei 1 g Kohlenstoff etwa 1 g CSB entspricht. Mit dieser Entsprechung könnten neue Erhebungen für den Toilettenpapierverbrauch an PWC-Anlagen in CSB-Frachten umgerechnet werden.

Laut Informationen von [Waschina W, 2009] ist an die Jenaer Kläranlage die Papier- und Kartonfabrik Porstendorf angeschlossen, die nur Recyclingmaterial herstellt. Ein klarer Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Fabrikabwassers und der Nitrifikationsleistung der kommunalen Kläranlage kann beobachtet werden. Wenn die Papierfabrik keine Abwässer einleitet, steigen die Nitratwerte in der Jenaer Kläranlage. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass im Papierabwasser frei verfügbare Kohlenstoffverbindungen enthalten sind. Da es sich um die Aufbereitung von Altpapier handelt, müssen die ausgespülte Frachten auch tatsächlich aus dem Papier stammen. Eine Prüfung im Labor wäre möglich, Proben dafür werden von der Kläranlage angeboten.

Eine andere Möglichkeit wäre, den Kohlenstoffgehalt von ausgewählten Toilettenpapieren im Labor zu ermitteln.

4.4. Sonstige Eigenschaften

Unter diesem Abschnitt sollen kurz die Kriterien Umweltverträglichkeit und Format des Papiers, die Hygiene sowie die Kosten erläutert werden.

Umweltverträglichkeit

Die allgemeine Umweltverträglichkeit sollte bei der Wahl des Toilettenpapiers berücksichtigt werden. Dabei spielen die Herstellung und der Transport eine Rolle. Bei der Herstellung sollten Recyclingfasern zum Einsatz kommen, da der Energie- und Wasserverbrauch wesentlich geringer sind als bei der Herstellung von Frischfasern. Außerdem ist die Abwasserbelastung bei der Herstellung viel niedriger. Die Umweltverträglichkeit der im Papier vorhandenen Stoffe muss berücksichtigt werden. Vermehrt werden erhöhte Mengen von endokrinen Stoffen in Papieren besonders aus Osteuropa gefunden [Möller F-W, 2009] Für weitere Informationen zu diesem Thema verweist [Möller F-W, 2009] auf das 4. Dresdner Symposium an der TU Dresden vom 25.03.2009 (Gehring MJ, Vogel D, Bilitewski B: 4. Dresdner Symposium an der TU Dresden. Reihe: Beiträge zur Abfallwirtschaft und Altlasten, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden, Band 61, S.91-106. 25.03.2009). Als endokrin werden Stoffe bezeichnet, die störend in das Hormonsystem von Mensch oder Tier eingreifen.

Format

Für Raststätten kommen kleine Rollen, Großrollen und Einzelblatttissue in Frage. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Formate sollen an dieser Stelle kurz dargestellt werden.

Kleine Rollen, wie sie für den Haushalt zu bekommen sind, werden aus verschiedenen Papierarten hergestellt. Für PWC-Anlagen sind sie nicht geeignet, da sie einfach zu entwenden sind und sehr häufig nachgefüllt werden müssten.

Großrollen erfordern ein selteneres Nachfüllen. Durch die Halterung wird die Rolle vor Verschmutzung, Vandalismus und Diebstahl geschützt. Außerdem scheint das Format zum Entwenden ungeeignet zu sein. Oft reißt jedoch das Papier innerhalb der Halterung. Der Benutzer muss nach dem Ende in der Halterung suchen, was recht unhygienisch ist. Wird an der Rolle zu schwungvoll gezogen, passiert es häufig, dass sich das Papier von selbst abrollt und unbenutzt auf den Boden hängt und später weggeschmissen werden muss.

Einzelblatttissue muss zwar je nach der Größe des Blattspenders häufiger nachgefüllt werden, hat aber sehr viele Vorteile. Die Menge des benutzten Papiers ist im Gegenteil zu Großrollen erheblich geringer durch den Mehraufwand, sich jedes Blatt einzeln aus der Halterung ziehen zu müssen. Die Abdeckung der Toilettenbrille geht einfacher. Dies wird sehr häufig besonders von Frauen an Raststätten durchgeführt und sollte mit berücksichtigt werden. Außerdem ist das Papier bis zur Benutzung durch den Blattspender geschützt. Nur ein kleines Ende des Blattes schaut aus der Halterung. Wird dieses Stück als unhygienisch empfunden, muss nur das erste Blatt weggeschmissen werden. Einzelblatttissue wird kompakt im Paket transportiert, es gibt keine Raumverluste durch die luftgefüllten Kerne wie bei den Toilettenpapierrollen. Aus diesen Gründen erscheint Einzelblatttissue als die empfehlenswerteste Variante des Papierformates. Es gilt zu prüfen, ob es Einzelblatttissue aus Recyclingpapier gibt.

Kosten

Die Kosten für das Toilettenpapier an PWC-Anlagen sollten so gering wie möglich sein. Da Recyclingpapier von den Rohstoffen und den Prozessen her das kostengünstigste Produkt ist, entspricht es diesem Kriterium. Sollten sich Papiere mit einem höheren Preis, aber besserem Auflösungsvermögen finden lassen, sollte ihr Beitrag zur Denitrifikation geprüft und diese gegebenenfalls empfohlen werden.

Hygiene

Die Hygiene bei der Benutzung von Toilettenpapieren sollte beachtet werden. Um Verschmutzung und Verkeimung des Papiers zu verhindern, werden Papiere in Spendern angebracht. Bei Jumborollen kann das Papier sehr leicht im Spender abreißen und der Benutzer sucht nach dem Ende in der Halterung. Außerdem passiert es häufig, dass abgerolltes Papier, das nicht mehr benötigt wird, bis auf den Boden hängt. Im Vergleich dazu bieten Einzelblattpapiere in ihren Spendern eine bessere Hygiene.



Abbildung 4.2: Mangelnde Hygiene durch fehlende Umhüllung des Toilettenpapiers

(Quelle: www.cucina-casalinga.blogspot.com)

4.5. Bewertung der wichtigsten Eigenschaften

Tabelle 4.1 gibt einen kurzen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften der Papiere und bewertet diese. Die Anzahl der Lagen, die Grammaturn des Papiers und die Art der Fasern spielen eine Rolle für das Auflösungsvermögen. Angaben zum Kohlenstoffgehalt fehlen, da es in der Literatur, falls überhaupt Angaben vorhanden sind, keine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Papieren gibt.

Tabelle 4.1: Bewertung von Toilettenpapier

Papier / Kriterium	Anzahl der Lagen/ Grammaturn [Müller G, 2009]	Fasern	Zersetzbarkeit	Umweltver- träglichkeit (bezogen auf die Herstellung)
Krepppapier	1 Lage, ca. 32 – 35 g/m ²	Sehr kurze Recyclingfasern, schlechte Reißfestigkeit	Sehr gut	Gut
Recycling-Tissue	2 – 3 Lagen, ca 15 g/m ² / Lage	Kurze Recyclingfasern, etwas bessere Reißfestigkeit	gut	Gut
Frischfaser- zellstoff	2 – 5 Lagen, ca.15 g/m ² / Lage	Frische Fasern, lang, hohe Reißfestigkeit	Schlecht; quillt, bevor es sich zersetzt; bessere Faserbindungen	Schlecht

Tabelle 4.2 (S.38) zeigt die Abhängigkeit der verschiedenen Merkmale des Papiers bezüglich des Auflösungsvermögens. Über die Abhängigkeit zum Kohlenstoffgehalt kann an dieser Stelle keine Angabe gemacht werden.

Tabelle 4.2: Einfluss der Eigenschaften auf das Auflösungsvermögen

Kriterium / Eigenschaft	möglich	stark	ungewiss
Festigkeit		X	
Weichheit		X	
Saugfähigkeit	X		
Grammatur		X	
Anzahl der Lagen		X	
Umweltverträglichkeit			X
Format			X
Hygiene			X
Kosten			X

Die Eigenschaften Festigkeit und Weichheit stehen im unmittelbaren Zusammenhang miteinander und sind ebenfalls durch die Grammatur und die Anzahl der Lagen beeinflusst. Diese Eigenschaften spielen eine wichtige Rolle für das Auflösungsvermögen. In wieweit sich die Saugfähigkeit, verstärkt durch die Bleiche, positiv oder eher negativ auf das Auflösungsvermögen auswirkt, ist nicht eindeutig, wird aber als mögliche Einflussgröße angenommen.

4.6. Empfehlung

In diesem Abschnitt sollen kurz und den wichtigsten Kriterien entsprechend eine zu empfehlende Toilettenpapiersorte und ein Format festgelegt werden. Dieser Empfehlung entsprechend werden die Produkte der einzelnen Hersteller aufgelistet.

Papiersorte: Recyclingpapier

Krepppapier oder zweilagiges Tissue, da recyceltes Papier umweltfreundlicher und kostensparender in der Produktion ist als Frischfaserpapier und sich außerdem sehr wahrscheinlich leichter auflöst.

Papierformat: Großrollen oder Einzelblatttissue

Großrollen müssen seltener aufgefüllt werden, können nicht so leicht entwendet werden und sparen beim Transport Platz. Einzelblatttissue reduziert den Verbrauch und kann platzsparend transportiert werden.

Grammatur und Anzahl der Lagen: möglichst leichtes Papier

Da das Auflösungsvermögen des Papiers von der Grammatur und teilweise auch von der Anzahl der Lagen abhängt, sollte dieses Kriterium ebenfalls beachtet werden. Bei gleichem Flächengewicht ist ein zweilagiges Papier einem einlagigem vorzuziehen, da sich die einzelnen Lagen sehr leicht voneinander lösen. Beträgt aber die Summe des

Gewichts der einzelnen Lagen wesentlich mehr als bei einem einlagigem Krepppapier, ist ein mehrlagiges Produkt nicht zu empfehlen.

Bleichung: ungebleicht

Zum einen ist ein ungebleichtes Papier in der Herstellung umweltfreundlicher, da es mit weniger Chemikalien hergestellt werden kann. Zum anderen gibt es Hinweise darauf, dass ungebleichtes Papier leichter zersetzbar ist als gebleichtes.

Hersteller und Produkte

In Tabelle 4.3 sind Hersteller und die von ihnen produzierten Toilettenpapiere, die nach den eben genannten Kriterien für den Einsatz an PWC-Anlagen in Frage kommen, aufgelistet. Da es aber nur allgemeine Angaben zu dem Beitrag an frei verfügbaren Kohlenstoffen durch die Toilettenpapiere gibt, sollten diese Papiere, bevor eine konkrete Empfehlung ausgesprochen wird, im Labor darauf und auf ihre tatsächliche Zersetzbarkeit geprüft werden.

Tabelle 4.3: Ausgewählte Hygienepapiere für den möglichen Einsatz an PWC-Anlagen

Hersteller	Jumborolle (Keinrolle bei Metsä Tissue)	Einzelblattpapiere
fripa Papierfabrik Albert Friedrich KG	„Fripa MAXI“: 1 lagig, RC, Krepp, natur 1 lagig, RC, weich, natur 2 lagig, RC, weich, weiß	
Hakle-Kimberly Deutschland GmbH Werk Reisholz / Koblenz		„KLEENEX“: 2 lagig, 100 % RC
Metsä Tissue GmbH	„Katrin“: Easy Flush-Produkte: Katrin Non Stop 2/ C-fold 2/ Toilet 300 Easy Flush	
Omega Papier GmbH / Werra Papier Wernshausen GmbH	„Uniply“ 1 lagig, RC, natur	
SCA Hygiene Products GmbH	„TORK“: 1 lagig, RC, natur	„TORK“: 2 lagig, RC, weiß
WEPA Papierfabrik P. Krengel GmbH & Co. KG	„NEUTRAL“: 1 lagig, Krepp, RC, natur „Clou Prestige“ / „Clou Comfort“: 2-3 lagig, RC, weiß	

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Optimierung der Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen, die mit einem starken Überangebot an Stickstoff kämpfen, ist nach Quellen für frei verfügbare Kohlenstoffe gesucht worden. Als eine Möglichkeit kommt der gezielte Einsatz von Toilettenpapier in Frage. Toilettenpapier enthält vorwiegend Cellulose, die nicht wasserlöslich und schlecht aufschließbar ist. Der Beitrag von Toilettenpapier zum Anteil an frei verfügbaren Kohlenstoffen im Abwasser wird in der Literatur zumeist vernachlässigt, nur einige Andeutungen und Hinweise sowie zwei konkrete Zahlen konnten gefunden werden. Diese sollten im Labor geprüft werden. Es gibt Hinweise aus einer Kläranlage, dass die Einleitung von Abwasser aus einer altpapierverarbeitenden Papierfabrik in direktem Zusammenhang mit der Denitrifizierungsleistung der Kläranlage steht. Für weitere Aussagen könnten die Abwässer der Papierfabrik beprobt und ausgewertet werden. Angaben zu den Unterschieden der Kohlenstofffrachten in den unterschiedlichen Papieren konnten nicht gefunden werden. Deshalb kann im Moment eine Entscheidung für ein bestimmtes Papier nur auf der Basis des Auflösungsvermögens gemacht werden.

Aus diesem Grund wurde die Papierherstellung in dieser Arbeit genauer betrachtet, um Hinweise auf die Abhängigkeit der Wahl der Ausgangsstoffe und der Herstellungsprozesse in Bezug auf das Auflösungsvermögen zu erhalten. Beides sind Faktoren, die die Papiereigenschaften beeinflussen, wobei die Wahl des Ausgangsstoffes etwas stärker wiegt. Als am besten abbaubar werden ungebleichte, sehr dünne Toilettenpapiere eingeschätzt, die nach Möglichkeit aus Altpapier hergestellt sind, dabei eine niedrige Grammatik besitzen und aus nur ein bis zwei Lagen bestehen. Dabei sind jedoch auch einige Widersprüche aufgetreten, die weiterverfolgt werden sollten. An PWC-Anlagen werden erfahrungsgemäß bereits überwiegend solche dünnen RC-Papiere, die teilweise an ihrer grauen Färbung erkannt werden können, verwendet. Eine Steigerung der Denitrifikation ist durch die Wahl der Papierart daher momentan nicht zu erwarten.

Außerdem wurden weitere Kriterien wie Umweltverträglichkeit, Hygiene das Format des Papiers und die Kosten in die Bewertung einbezogen. Daraus resultiert die Empfehlung verschiedener Papiersorten unterschiedlicher Hersteller für eine weitergehende Prüfung im Labor auf die Tauglichkeit für den Einsatz an PWC-Anlagen.

Dezentrale Anlagen, wie PWC-Anlagen, haben oft nur sehr kurze Fließwege, es kommt zu keiner mechanischen Zersetzung des Papiers. Eine Zerkleinerung durch Zuführung von Energie erscheint nicht zweckmäßig. An dieser Stelle muss der Ansatz von leicht zersetzbaren Produkten, die zum Teil mit speziellen Bakterienstämmen besprüht werden, weiterverfolgt werden. Die Bakterien arbeiten, sobald sie über einen längeren Zeitraum mit Wasser in Verbindung kommen, und bauen Cellulose ab. Weitere Untersuchungen sollten prüfen, inwieweit die Abbauprodukte dieser Bakterien von Denitrifikanten als Nahrungsquelle genutzt werden können.

6 Quellenverzeichnis

[Bos et al, 2006]

Bos JH, Veenstra P, Verhoeven H, de Vos PD
Das Papierbuch – Handbuch der Papierherstellung
ECA Pulp & Paper b.v., 2. Auflage, 2006
ISBN 10: 90-01-40258-5
ISBN 13: 978-90-01-40258-7

[Bridle und Kirkpatrick, 2005]

Bridle KL, Kirkpatrick JB
An Analysis of the breakdown of paper products (toilet paper, tissues and tampons) in natural environments, Tasmania, Australia. In: Journal of Environmental Management. Vol. 74, 2005, p.21-30.

[DIN EN ISO 12625-1]

Deutsche Norm
Tissue-Papier und Tissue-Produkte – Teil 1: Allgemeine Einführung in die Begriffe (ISO 12625-1:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 12625-1:2005

[Goedvriend GJM, 1988]

Goedvriend GJM
Papermaking past and present. In: Elsevier Science (Hrsg.): Endeavour, Great Britain 1988, vol.12, no.1, 38.43
ISSN 0160-9327

[Göttsching L, 1990]

Göttsching L (Hrsg.)
Papier in unserer Welt – Ein Handbuch
ECON Verlag, Düsseldorf, Wien New York, 1990.
gefördert durch Verband Deutscher Papierfabriken, vdp, Bonn.
ISBN 3-430-13252-5

[Imhoff K und Imhoff KR, 2007]

Taschenbuch der Stadtentwässerung.
Oldenbourg Industrieverlag München, 30. Auflage, 2007.
ISBN-10: 3-8356-3094-6
ISBN-13: 978-3-8356-3094-6

[Kimberly-Clark, 2009]

Informationsblatt Kimberly-Clark Professional: Effiziente Lösungen für Ihren Waschraum – Einzelblatt Toilet Tissue

[Kondej M, 2009]

Kondej, M
Country Report: Germany – Hope for tissue products. In: Tissue World Magazin.

June / July 2009

<http://www.tissueworldmagazine.com/09JunJul/fatures1.php> [12.10.2009]

[Koppe P und Stozek A, 1999]

Koppe P, Stozek A

Kommunales Abwasser – Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktion im Reinigungsprozeß einschließlich Klärschlämme.

4. Auflage, Vulkan-Verlag Essen, 1999.

ISBN 3-8027-2833-5

(Loeffen H, 2009)

Gespräch mit Herrn Loeffen

Verkaufsleiter AFH, Werra Papier Wernshausen GmbH - Sofidel

17.12.2009

[Meyer A, 2007]

Meyer, A

Qualitätsanforderungen an Hygienepapiere und ihre Umsetzung. In: Wochenblatt für Papierfabrikation, Band 135, Heft 18, 2007, S. 980-987

[Möbius CH, 2002]

Möbius, CH

Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie – Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff. 3. Auflage November 2002, Revision Dezember 2007. Augsburg

[Möller FW, 2009]

Telefonat mit Herrn Dipl.-Ing. F-W Möller

ehemals Nordthüringer Wasserversorgung und Abwasserbehandlung GmbH

23./24.12.2009

[Müller G, 2009]

Gespräch mit Frau Gudrun Müller

Dipl.-Ing. für Chemiefasertechnologie

Qualitätsmanagementbeauftragte der Werra Papier Wernshausen GmbH

17.12.2009

[Neuartige Sanitärsysteme, 2009]

Neuartige Sanitärsysteme – Begriffe, Stoffströme, Behandlungen von Schwarz-, Braun-, Gelb-, Grau- und Regenwasser, Stoffliche Nutzung.

Lehrmaterial der Bauhausuniversität mit freundlicher Genehmigung der DWA.

1. Auflage, Februar 2009

[P.M., 2007]

P.M.

Fragen & Antworten - Was machen Toilettenpapier-Forscher?

06/2007

http://www.pm-magazin.de/de/heftartikel/artikel_id2134.htm [29.11.2009]

[Schramm St, 2005]

Schramm St, 2005

Innovation von der Rolle. DIE ZEIT. 15.12.2005. Nr.51

(<http://www.zeit.de/2005/51/T-Klopapier> [Stand 10.11.2009])

[So wächst das Klopapier, 2007]

So wächst das Klopapier – Wie Dinge aus Papier entstehen. Schauen und Staunen
Band 9

Velber Verlag, 2007

ISBN 978-3-86613-538-3

[URL – alpa-rohstoffhandel, 2009]

http://www.alpa-rohstoffhandel.de/downloads/Altpapier_Standardsorten.pdf [02.11.2009]

[URL – copyshop-tips, 2009]

Betreiber Dipl.-Ing. (FH) Druckereitechnik Stephan H. Hartl

<http://www.copyshop-tips.de/pap01.php> [20.10.2009]

[URL - greenpeace, 2004]

http://www.greenpeace.de/themen/waelder/papier/artikel/recycling_hygienepapiere/

bzw.:

http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/waelder/Hygienepapiere_6-04_js_neues_LAYOUT.pdf [23.11.2009]

[URL - greenpeace Aachen, 2009]

<http://gruppen.greenpeace.de/aachen/recyclingpapier.html> [24.11.2009]

[URL - greenpeace, Frankfurt]

Greenpeace Gruppe Frankfurt am Main: „Wussten Sie, dass“

[URL - Handelsblatt.com, 2005]

Toilettenpapierforschung bei Procter & Gamble – Klopapier: sind Sie Knüller oder Falter?

15.02.2005

<http://www.handelsblatt.com/magazin/nachrichten/klopapier-sind-sie-knueller-oder-falter;859697> [20.10.2009]

[URL - IKW, 2009]

Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V.

http://www.ikw.org/pdf/broschueren/E_Infodienst_Tissues.pdf [21.09.2009]

URL – ipwonline.de, 2009]

<http://www.ipwonline.de/web/download/zellchem/2008/dp030801.pdf> [09.01.2010]

[URL – SIEMENS, 2009]

http://www.industry.siemens.de/paper/de/mechanical_pulp/default.htm [20.10.2009]

[URL - Stern.de, 2005]

<http://www.stern.de/wirtschaft/news/toilettenpapierforschung-knueller-oder-falter-536561.html> [20.10.2009]

[URL – Umweltbundesamt, 2009]

http://www.umweltbundesamt.de/produkte/beschaffung/reinigung_hygiene/hygienepapierre.htm [20.10.2009]

[URL – vdp, 2009]

<http://www.vdp-online.de/> [2009]

[URL - Welt der Wunder, 2006]

Toilettenpapier – Hightech von der Rolle, TVThema vom 06.08.2006

<http://www.toilettenpapier-sammlung.de/pdf/123-topa-wdw.pdf> [20.10.2009]

[URL – wikipedia, 2009,a]

<http://de.wikipedia.org/wiki/Zellstoff> [20.10.2009]

[URL – wikipedia, 2009,b]

<http://de.wikipedia.org/wiki/Papier> [20.10.2009]

[URL – Zellstoffscript, 2009]

<http://gruberscript.net/Zellstoffscript/03Pflanzenfasern.pdf> [14.01.2010]

[Vogel U, 2009]

E-Mail von Herrn Udo Vogel

Sales Support AFH, Metsä Tissue GmbH

22.12.2009

[Waschina W, 2009]

Telefonat mit Herrn Werner Waschina

Bereichsleiter Abwasser, Stadtwerke Jena

04.01.2010

Bildnachweis

Abbildung 2.1: http://www.artlex.com/ArtLex/p/images/papyrus_specimen.gif
[27.12.2007]

Abbildung 2.2: <http://www.fahrrad-info.com/img/news/large/papierherstellung.jpg>
[28.12.2009]

Abbildung 2.3: [Goedvriend GJM, 1988]

Abbildung 2.4: <http://www.nicilon.de/images/produkte/349080.jpg> [27.12.2009]

Abbildung 2.5: <http://www.josef-hufsky.de/wcpapier.jpg> [27.12.2009]

Abbildung 2.6: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/produkte/hygiene.jpg> [27.12.2009]

Abbildung 3.3: [Goedvriend GJM, 1988]

Abbildung 3.4: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/holzstoff.jpg> [29.12.2009]

Abbildung 3.5: http://www.lenzing.com/images/top_images/ti_zellstoff.jpg [29.12.2009]

Abbildung 3.6: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/122/zellstoff_200_fach_polfilter.jpg
[29.12.2009]

Abbildung 3.7: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/pulper.jpg> [29.12.2009]

Abbildung 3.8: http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/zellstoff_gebl.jpg
[29.12.2009]

Abbildung 3.9: http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/ap_stapel.jpg [29.12.2009]

Abbildung 3.10: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/pulper.jpg> [29.12.2009]

Abbildung 3.11: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/produktion/stoffauflauf.jpg>
[27.12.2009]

Abbildung 3.12: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/76/Langsieb_masch1_sw.gif
[06.01.10]

Abbildung 3.13: <http://www.gericks.de/gfx/firmeninfos/wumag.jpg> [09.01.2010]

Abbildung 3.14: [Bos et al., 2006, S.204]

Abbildung 3.15: [Bos et al., 2006, S.205]

Abbildung 4.1: [Bos et al., 2006, S.212]

Abbildung 4.2: www.cucina-casalinga.blogspot.com 2009 [27.12.2009]

Tabellennachweis

Tabelle 2.1: [wikipedia, 2009, b]

Tabelle 3.1: [Bos et al, 2006, S.61]

7 Anhang

- A Erläuterungen der Begriffe
- B Übersicht Papiersorten

A Erläuterungen der Begriffe

Begriffe und Definitionen – Papierherstellung

Diese Übersicht über relevante Begriffe in Bezug auf die Herstellung von Toilettenpapier ist ein Zusammentrag aus folgenden Quellen:

- URL - <http://www.bvdm-online.de/uwlexikon/>
- URL - <http://www.zellstoff-stendal.de>
- URL - <http://artemis.igepa.com/papierlexikon/>
- URL - <http://www.bildungscnt.de/2398.html>
- [DIN EN ISO 12625-1]
- [Göttsching L, 1990]
- [URL – SIEMENS, 2009]
- [URL – wikipedia, 2009,a,b]

Altpapier	<ul style="list-style-type: none"> - Aufbereitung: Auflösen, Zerfasern, Deinken - eine Faser kann 4 bis 8 mal recycelt werden (Faser bei jedem Recyclen verkürzt)
Blattbildung	<ul style="list-style-type: none"> - „Zustand, in welchem die Fasern verteilt, gemischt und zur Bildung der Blattstruktur angeordnet werden“ (DIN EN ISO 12625-1)
Cellulose	<ul style="list-style-type: none"> - Faserstoff, aus dem die Zellwände bestehen - verbunden mit Lignin und anderen Bestandteilen
Faserstoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Primärfaserstoffe: Zellstoff, Holzstoff aus Holz - Sekundärfaserstoffe: aus Altpapier
Ganzzeug (Ganzstoff)	<ul style="list-style-type: none"> - Ist der fertige Papierrohstoff - Gewinnung durch Bearbeitung des Halbstoffes (Zellstoff, Holzschliff, Altpapier): Auflösen, Mahlen, Mischen - Beimischung von: Leim, Füllstoffen, evtl. Farbe
Halbstoff	<ul style="list-style-type: none"> - aus Rohstoff (Holz, Stroh, Hadern) gewonnenes Fasermaterial (Zellstoff, Holzstoff) - wird weiterverarbeitet zu Ganzzeug
Holzhaltiges Papier	<ul style="list-style-type: none"> - mehr als 5 % Masseanteil verholzte Fasern (Holzschliff) - enthält Holzstoff - leichtes Vergilben, geringe Festigkeit (Papierportal)
Holzfreies Papier	<ul style="list-style-type: none"> - aus Zellstofffasern - bis zu 5 % Masseanteil verholzte Fasern (Holzschliff)
Holzstoff	<ul style="list-style-type: none"> - Oberbegriff für mit mechanischen Mitteln hergestellten Faserhalbstoff - hohe Faserausbeute: 90 - 98 % - Fasermasse aus Zellstofffasern, Lignin und Harz - Holzstoff wirkt sich positiv auf Opazität aus (Reduzierung des

	<ul style="list-style-type: none"> – Durchscheinvermögens), jedoch geringe Festigkeit und nicht lichtbeständig – 2 Zweige: Holzschlifferzeugung (GW) und Refiner Verfahren (RP) – Arten: <ul style="list-style-type: none"> – Holzschliff (Steinschliff) – Druckschliff – Thermomechanische Holzstoff (Thermo Mechanical Pulp - TMP) – Chemo-Thermomechanischer Holzstoff (CTMP)
Holzschliff (Steinschliff)	<ul style="list-style-type: none"> – mechanischen hergestellte Faserstoffe (unter Zusatz von Wasser auf Schleifsteinen) – hauptsächlich Verwendung von Nadelhölzern – Zellstofffasern, Lignin und Harz – Weißschliff, Braunschliff, Chemieschliff – Ausbeute 95% (SIEMENS)
Hygienepapiere	<ul style="list-style-type: none"> – umfasst Zellstoffwatte, Tissue und Krepppapier – hergestellt aus Altpapier und/oder Zellstoff – auch mit Holzstoffbeimischung (Papier live: Lexikon) – internationale Bezeichnung für Toilettenpapier und andere Hygieneprodukte (z.B. Taschentücher, Küchenpapier, Kosmetiktücher)
Kreppung	<ul style="list-style-type: none"> – Vorgang bei dem das Papier gekräuselt wird, um seine Dehnung und Weichheit zu erhöhen“ (DIN EN ISO 12625-1)
Krepppapier	<ul style="list-style-type: none"> – gekrepptes Papier – Kreppen bewirkt Verkürzung der Papierbahn und damit erhöhte Dehnbarkeit des Papiers in Laufrichtung – „Krepppapier (Nasskrepp): grobes, dünnes leichtgewichtiges Papier, welches für einen Kreppvorgang auf einer veränderten Papiermaschine unter feuchten Bedingungen (50 % – 70 %) ausgewählt wurde“ (DIN EN ISO 12625-1) – Gegensatz zum Nasskrepp ist Trockenkrepp: Kreppen mit Hilfe eines Trockenkrepp-Verfahrens, Trockengehalt zw. 85 % und 98 % (DIN EN ISO 12625-1) – Ausgangsstoff: Holzschliff und/oder Sekundärfasern aus Altpapier (Göttsching L, 1990, S.35) – einlagig (Göttsching L, 1990, S.35)
Lignin	<ul style="list-style-type: none"> – Gerüstbaustoff des Holzes – in Cellulose eingelagert – bewirkt Vergilbung des Papiers
Rohtissue (Rohtissue-Papier)	<ul style="list-style-type: none"> – „einlagiges, trocken oder nass gekrepptes Papier mit einer niedrigen flächenbezogenen Masse (üblicherweise zwischen 10 g/m² und 50 g/m²) (DIN EN ISO 12625-1)
Schicht (Tissue)	<ul style="list-style-type: none"> – „einzelne Schicht eines einlagigen Tissue-Papierblattes, gekennzeichnet durch eine einheitliche Stoffzusammensetzung“ (DIN EN ISO 12625-1)
Tissue	<ul style="list-style-type: none"> – saugfähiges, feingekrepptes Hygienepapier aus Zellstoff, meist mehrlagig aus Zellstoff oder Altpapierstoff, teils mit Beimischung von Holzstoff (Göttsching L, 1990, S.35) – Kreppung erfolgt bei Trockengehalt von über 90 % – trockenes Kreppen und niedrige flächenbezogene Masse führen zu einer hohen Weichheit – „leichtgewichtiges, dünnes, weiches, üblicherweise gekrepptes, häufig geprägtes ein- oder mehrlagiges Material“ (DIN EN ISO 12625-1) – meist mehrlagig, da sehr dünn (Göttsching L, 1990, S.35)
„Ungekrepptes“ Tissue-Papier	<ul style="list-style-type: none"> – „Rohtissue, hergestellt durch einen Prozess, der ein in sich gekrepptes Produkt mit einem hohen Arbeitsaufnahmevermögen erzeugt“ (DIN EN ISO 12625-1)

Weichheit	<ul style="list-style-type: none"> - „Eigenschaft, die bei Berührung eines Produktes oder einer Oberfläche eines Materials empfunden wird“, unterschieden wird zwischen Knüllweichheit und Oberflächenweichheit, Bestimmung durch Testpersonen nach genormten Verfahren (DIN EN ISO 12625-1) - <u>Oberflächenweichheit</u>: Weichheitsempfindung bei leichtem Streifen der Materialoberfläche mit der Fingerspitze - <u>Knüllweichheit</u>: Gefühl einer Weichheit beim Zusammenknüllen des Tissues in der Hand
Zellstoff	<ul style="list-style-type: none"> - faserige Masse, durch chemischen Aufschluss von Pflanzenfasern, meist Holz, gewonnen - frei von Lignin und Harzen - Sulfit- und Sulfatzellstoff - Rohstoffausbeute: ca. 40 - 50 %

B Übersicht Papiersorten

(Quelle: http://www.alpa-rohstoffhandel.de/downloads/Altpapier_Standardsorten.pdf)

Altpapier ist in folgende Sorten eingeteilt:

- Gruppe 1: Untere Sorten
- Gruppe 2: Mittlere Sorten
- Gruppe 3: Bessere Sorten
- Gruppe 4: Krafthaltige Sorten
- Gruppe 5: Sondersorten

Gruppe 1: Untere Sorten

1.01	Unsortiertes gemischtes Altpapier, unerwünschte Stoffe entfernt Eine Mischung verschiedener Papier- und Pappesorten ohne Begrenzung der Anteile an kurzfaserigem Material.
1.02	Sortiertes gemischtes Altpapier Eine Mischung verschiedener Papier- und Pappenqualitäten, die maximal 40 % an Zeitungen und Illustrierten enthält.
1.03	Graukarton Bedruckter und unbedruckter, weiß gedeckter und ungedeckter grauer Karton oder gemischter Karton, frei von Wellpappe.
1.04	Kaufhausaltpapier Gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70 % Wellpappe enthalten, Rest Vollpappe und Packpapier.
1.05	Alte Wellpappe-Verpackungen Gebrauchte Verpackungen und Bogen aus Wellpappe verschiedener Qualitäten.
1.06	Unverkaufte Illustrierte Unverkaufte Illustrierte, mit oder ohne Kleberücken.
1.06.01	Unverkaufte Illustrierte ohne Kleberücken Unverkaufte Illustrierte ohne Kleberücken.
1.07	Telefonbücher Neue und gebrauchte Telefonbücher, ohne Begrenzung des Anteils von durchgefärbten Seiten, mit und ohne Kleberücken. Späne erlaubt.
1.08	Zeitungen und Illustrierte 1, gemischt Eine Mischung aus Zeitungen und Illustrierten, die mindestens 50 % Zeitungen enthält, mit oder ohne Kleberücken.
1.09	Zeitungen und Illustrierte 2, gemischt Eine Mischung aus Zeitungen und Illustrierten, die mindestens 60 % Zeitungen enthält, mit oder ohne Kleberücken.
1.10	Illustrierte und Zeitungen, gemischt Eine Mischung aus Illustrierten und Zeitungen, die mindestens 60 % Illustrierte enthält, mit oder ohne Kleberücken.
1.11	Deinkingware* Sortiertes grafisches Papier aus haushaltsnaher Erfassung, Zeitungen und Illustrierte mit einem Mindestanteil von jeweils 40 %. Der prozentuale Anteil von nicht deinkbarem Papier sollte im Laufe der Zeit auf 1,5 % reduziert werden. Der jeweilige prozentuale Anteil ist zwischen Käufer und Verkäufer zu vereinbaren. * Die aktuelle Sondervereinbarung zum Störstoffgehalt entnehmen Sie bitte dem beigefügten Einlegeblatt.

Gruppe 2: Mittlere Sorten

2.01	Zeitungen Zeitungen, die maximal 5 % durchgefärbte Zeitungen oder durchgefärbte Beilagen enthalten.
2.02	Unverkaufte Zeitungen Unverkaufte Zeitungen, frei von nachträglich hinzugefügten durchgefärbten Beilagen oder durchgefärbten Werbeprospekten.
2.02.01	Unverkaufte Zeitungen, Flexodruck unzulässig Unverkaufte Tageszeitungen, frei von nachträglich hinzugefügten durchgefärbten Beilagen oder durchgefärbten Werbeprospekten, Schnüre zugelassen. Flexobedrucktes Material unzulässig.
2.03	Weiße Späne mit leichtem Andruck Weiße Späne mit leichtem Andruck, überwiegend aus holzhaltigem Papier.
2.03.01	Weiße Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleberücken Weiße Späne mit leichtem Andruck, überwiegend aus holzhaltigem Papier, ohne Kleberücken.
2.04	Weiße Späne, stark bedruckt Weiße Späne, stark bedruckt, überwiegend aus holzhaltigem Papier.
2.04.01	Weiße Späne, stark bedruckt Weiße Späne, stark bedruckt, überwiegend aus holzhaltigem Papier, ohne Kleberücken.
2.05	Sortiertes Büroaltpapier Sortiertes Büroaltpapier.
2.06	Bunte Akten Schriftwechsel auf Druck- und Schreibpapier, gemischt durchgefärbte Papiere, bedrucktes oder unbedrucktes Druck- oder Schreibpapier. Frei von Kohlepapier und Aktenordnern.
2.07	Weiße Bücher, holzfrei Bücher, einschließlich Buchfehldrucken, ohne harte Buchdeckel, überwiegend aus holzfreiem weißem Papier, ausschließlich schwarz bedruckt. Der Anteil an gestrichenem Papier beträgt maximal 10 %.
2.08	Bunte Illustrierte, holzfrei Gestrichene oder ungestrichene Illustrierte, weiß oder durchgefärbt, frei von harten Deckeln, Kleberücken, nicht dispergierbaren Druckfarben und Klebstoffen, Posterpapieren oder Etiketten. Stark bedruckte Beilagen und durchgefärbte Späne sind zugelassen. Der Anteil an holzhaltigen Papieren beträgt maximal 10 %.
2.09	Selbstdurchschreibepapiere Selbstdurchschreibende Papiere.
2.10	Gebleichter, PE-beschichteter Karton, holzfrei PE-beschichteter Karton, gebleicht, holzfrei, von Kartonherstellern und –verarbeitern.
2.11	Anderer PE-beschichteter Karton Ungebleichter Karton und ungebleichtes Papier von Kartonherstellern und –verarbeitern ist zugelassen.
2.12	Endlosformulare, holzhaltig Endlosformulare, holzhaltig nach Farben sortiert, darf rezyklierte Fasern enthalten.

Gruppe 3: Bessere Sorten

3.01	Gemischte hellbunte Druckspäne Gemischte hellbunte Druckspäne aus Druck- und Schreibpapier, hellbunt durchgefärbt, die mindestens 50 % holzfreies Papier enthalten.
3.02	Gemischte hellbunte Druckspäne, holzfrei Gemischte hellbunte Druckspäne, holzfrei, aus Druck- und Schreibpapier, hellbunt gefärbt, die mindestens 90 % holzfreies Papier enthalten.
3.03	Buchbinderspäne, holzfrei Weiße holzfreie Späne mit Kleberücken mit leichtem Andruck, frei von durchgefärbten Papieren. Sie dürfen maximal 10 % holzhaltiges Papier enthalten.
3.04	Weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei Weiße, holzfreie Späne ohne Kleberücken, mit leichtem Andruck, frei von nassfestem Papier und durchgefärbtem Papier.
3.05	Weiße Akten, holzfrei Weißes Schreib- und Druckpapier, sortiert, holzfrei, aus Büro-Archiven, frei von Kassenblocks, Kohlepapier und nicht wasserlöslich Kleberücken.
3.06	Weiße Geschäftsformulare Weiße, holzfreie, bedruckte Geschäftsformulare.
3.07	Weiße Endlosformulare, holzfrei Weiße Endlosformulare, holzfrei, frei von Selbstdurchschreibepapier und Kleberücken.
3.08	Gebleichter Sulfatkarton, bedruckt Stark bedruckter Sulfatkarton, gebleicht, ohne Kleberücken, sowie ohne Kunststoffbeschichtete oder gewachste Materialien.
3.09	Gebleichter Sulfatkarton mit leichtem Andruck Ohne Kleberücken, sowie ohne Kunststoffbeschichtete oder gewachste Materialien.
3.10	Multidruck Holzfreies, gestrichenes Papier, frei von nassfestem oder durchgefärbtem Papier, mit leichtem Andruck.
3.11	Weißer mehrlagiger Karton, stark bedruckt (Chromoersatzkarton) Abschnitte von stark bedrucktem, weißem, mehrlagigem Karton. Bestehend aus Zellstoff, Holzschliff- oder TMP-Lagen, jedoch keine grauen Lagen.
3.12	Weißer mehrlagiger Karton, mit leichtem Andruck (Chromoersatzkarton) Abschnitte von weißem, mehrlagigem Karton, mit leichtem Andruck. Bestehend aus Zellstoff, Holzschliff- oder TMP-Lagen, jedoch keine grauen Lagen.
3.13	Weißer mehrlagiger Karton, unbedruckt (Chromoersatzkarton) Abschnitte von unbedrucktem, weißem, mehrlagigem Karton. Bestehend aus Zellstoff, Holzschliff- oder TMP-Lagen, jedoch keine grauen Lagen.
3.14	Weißes Zeitungsdruckpapier Späne und Zeitungsrotationsabrisse unbedruckt, weiß, frei von Illu-Druckpapier.
3.15	Weißes gestrichenes und ungestrichenes Papier, holzhaltig Späne und Rotationsabrisse von unbedrucktem, gestrichenem und ungestrichenem Papier, holzhaltig, weiß.
3.15.01	Weißes gestrichenes Papier, holzhaltig Weißes gestrichenes Papier, holzhaltig, Späne und Rotationsabrisse von gestrichenem Papier, holzhaltig, weiß.
3.16	Weißes, gestrichenes Papier, holzfrei, ohne Kleberücken Späne und Abrisse von gestrichenem Papier, holzfrei, weiß, unbedruckt, ohne Kleberücken.

3.17	Weiße Späne Späne und Abrisse von unbedrucktem Papier, weiß, frei von Zeitungs- und Illu-Druckpapier, die mindestens 60 % holzfreies Papier enthalten, maximal 10 % gestrichenes Papier sind zugelassen, ohne Kleberücken.
3.18	Weiße Späne, holzfrei Späne und Abrisse von unbedrucktem Papier, holzfrei, weiß, maximal 5 % gestrichenes Papier ist zugelassen, ohne Kleberücken.
3.18.01	Weiße ungestrichene Späne, holzfrei Weiße ungestrichene Späne, holzfrei, Späne und Abrisse von unbedrucktem Papier, holzfrei, weiß, frei von gestrichenen Papieren, ohne Kleberücken.
3.19	Gebleichter Sulfatkarton, unbedruckt Unbedruckter Bogen von gebleichtem Sulfatkarton, ohne Kleberücken, sowie ohne Kunststoffbeschichtete oder gewachste Materialien.

Gruppe 4: Krafhaltige Sorten

4.01	Neue Späne aus Wellpappe Neue Späne aus Wellpappe mit Decken aus Kraft- oder Testlinern.
4.01.0 1	Unbenutzte Kraftwellpappe Unbenutzte Verpackungen, Bogen und Späne aus Wellpappe, ausschließlich mit Kraftlinern. Welle aus Zellstoff oder Halbzellstoff.
4.01.0 2	Unbenutzte Wellpappe Unbenutzte Verpackungen, Bogen und Späne aus Wellpappe mit Decken aus Kraft- oder Testlinern.
4.02	Gebrauchte Kraftwellpappe 1 Gebrauchte Verpackungen aus Wellpappe, Decken ausschließlich mit Kraftlinern, Welle aus Zellstoff oder Halbzellstoff.
4.03	Gebrauchte Kraftwellpappe 2 Gebrauchte Verpackungen aus Wellpappe, mit Decken aus Kraftlinern oder Testlinern, wobei jedoch mindestens eine Decke aus Kraftlinern hergestellt ist.
4.04	Gebrauchte Kraftpapiersäcke Saubere, gebrauchte Kraftpapiersäcke, nassfest und nicht nassfest.
4.04.0 1	Gebrauchte Kraftpapiersäcke mit kunststoffbeschichteten Papieren Saubere, gebrauchte Kraftpapiersäcke, nassfest und nicht nassfest, Kunststoffbeschichtete Papiere sind zugelassen.
4.05	Unbenutzte Kraftpapiersäcke Unbenutzte Kraftpapiersäcke, nassfest oder nicht nassfest.
4.05.0 1	Unbenutzte Kraftpapiersäcke mit kunststoffbeschichteten Papieren Unbenutzte Kraftpapiersäcke, nassfest oder nicht nassfest, Kunststoff-beschichtete Papiere sind zugelassen.
4.06	Gebrauchtes Kraftpapier Kraftpapier und –pappe, gebraucht, naturfarbig oder hell.
4.07	Unbenutztes Kraftpapier Späne und andere Kraftpapiere und –pappen, unbenutzt, naturfarbig.
4.08	Unbenutzter Krafttragekarton Unbenutzter Krafttragekarton, nassfestes Papier zugelassen.

Gruppe 5: Sondersorten

5.01	Altpapier, gemischt Unsortiertes Altpapier, getrennt von anderen Materialien gesammelt.
5.02	Verpackungen, gemischt Eine Mischung von unterschiedlichen Arten von gebrauchten Papier- und Pappenverpackungen, frei von Zeitungen und Illustrierten.
5.03	Getränkekartonverpackungen Gebrauchte Getränkekartonverpackungen, einschließlich Kunststoff-beschichtete Getränkekartonverpackungen (mit oder ohne Aluminium-Anteil), die mindestens 50 % Gewichtsanteile an Fasern beinhalten, Rest Aluminium oder Beschichtungen.
5.04	Kraftpackpapier Gebrauchtes Kraftpackpapier mit Kunststoff-Einlagen, -besprüht oder -beschichtet. Ohne Bitumen- oder Wachsbeschichtungen.
5.05	Nassetiketten Gebrauchte, feuchte Etiketten aus nassfestem Papier, maximal 1 % Glas zugelassen und höchstens 50 % Feuchtegehalt, ohne andere unerwünschte Stoffe.
5.06	Nassfeste weiße holzfreie Papiere, unbedruckt Unbedruckte, weiße, nassfeste, holzfreie Papiere.
5.07	Nassfeste weiße holzfreie Papiere, bedruckt Bedruckte, weiße, nassfeste, holzfreie Papiere.