

## **Einführung in die Umwelttechnik**

### **Thema: „Papierherstellung und Umweltbelastung“**

#### **Inhalt**

- 1 Einführung
- 2 Übersicht über die Papierherstellung
- 3 Die verschiedenen Stufen der Papierherstellung
  - 3.1 Chemie
  - 3.2 Auswahl des Holzes
  - 3.3 Holzaufbereitung
  - 3.4 Cellulosegewinnung
    - 3.4.1 Holzstofferzeugung
    - 3.4.2 Holzaufschlussverfahren
    - 3.4.3 Bleichung
  - 3.5 Pulpe
  - 3.6 Blattbildung
    - 3.6.1 Stoffauflauf
    - 3.6.2 Siebpartie
    - 3.6.3 Pressenpartie
    - 3.6.4 Trockenpartie
    - 3.6.5 Glättwerk
    - 3.6.6 Aufrollung
  - 3.7 Oberflächenveredelung
  - 3.8 Unterschiedliche Papier
- 4 Weg des Recyclingpapiers
  - 4.1 Sammlung, Trennung, Transport
  - 4.2 Reinigung von Altpapier
  - 4.3 Probleme beim Recycling
  - 4.4 Zahlen
- 5 Umweltbilanz
- 6 Quellenverzeichnis

## 1 Einführung

Bei der Herstellung und Verwendung von Papier kommt es auf vielfältige Art und Weise zur Umweltbelastung:

- Bei der Gewinnung des Rohstoffes Holz werden Wälder abgeholzt. Eine gezielte wirtschaftliche Aufforstung schränkt die Artenvielfalt im Wald ein.
- Bei der Herstellung des Papiers wird Energie verbraucht. Es kommt zu umweltbelastenden Emissionen in Wasser und Atmosphäre.
- Altpapier ist auch mengenmäßig ein bedeutender Abfall. Es hat in der Vergangenheit die Deponien zu einem großen Anteil aufgefüllt und damit zu einer Belastung des Bodens beigetragen.

Die Wiederverwendung von Altpapier(Recycling)

- verringert den Rohstoffbedarf
- vermindert den Energieverbrauch
- vermindert die Emissionen

Das Sammeln und Wiederverwerten des Altpapiers ist ein wichtiges Element einer umweltgerechten Wirtschaft. Das Recycling ist vom Gesetzgeber gefordert, hat sich aber auch als wirtschaftlich interessant erwiesen.

Um die Einbindung des Altpapiers in den Herstellungsprozess zu diskutieren und die Einsparungen und Verminderungen der Umweltbelastung zu verstehen, wird nachfolgend zunächst die Papierherstellung beschrieben.

## 2 Übersicht über die Papierherstellung

Abb. 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Stufen der Papierherstellung:

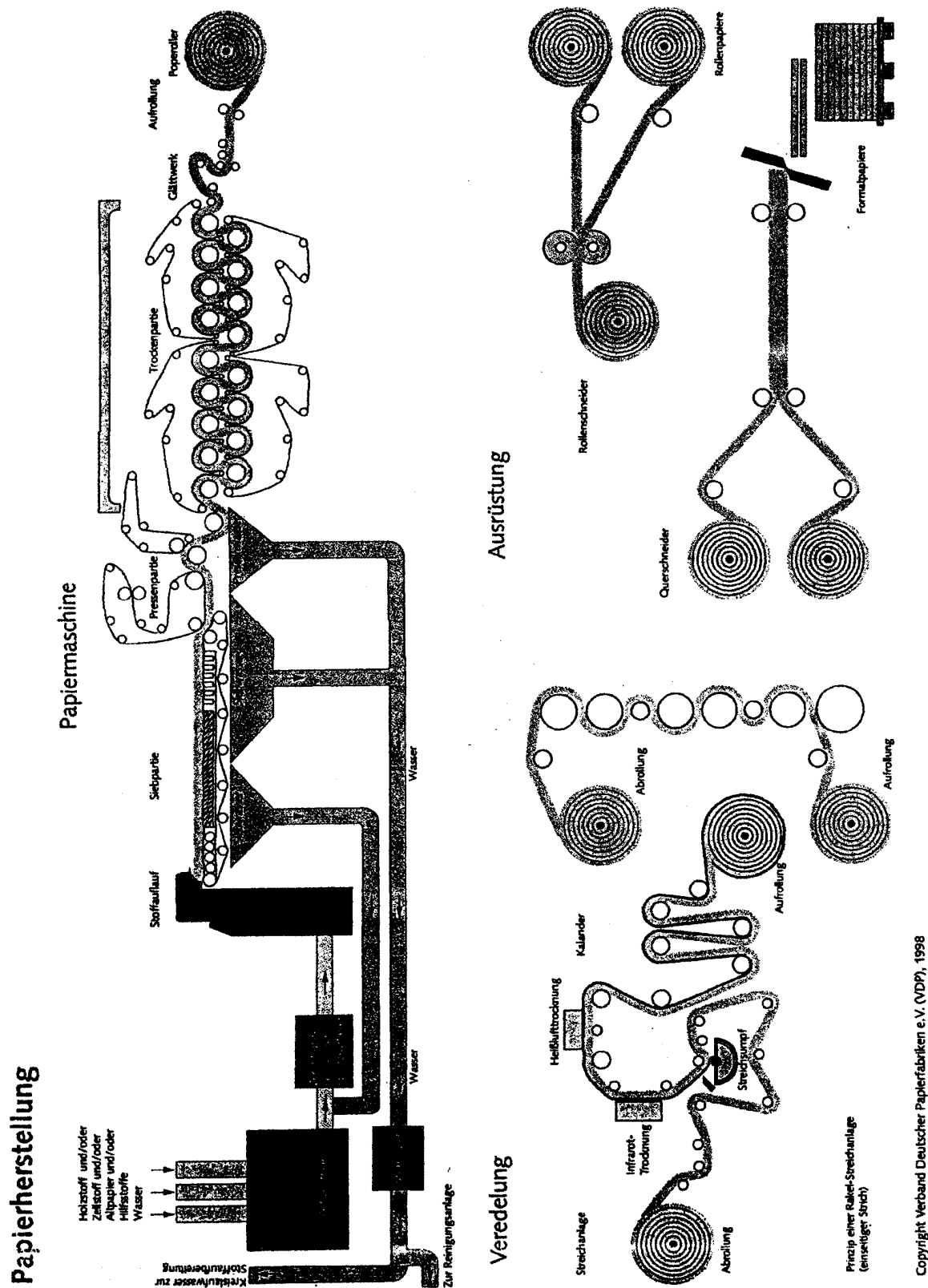


Abb.1:Übersicht über die verschiedenen Stufen der Papierherstellung

Nachfolgend werden die einzelnen Stufen der Papierherstellung ausführlich vorgestellt.

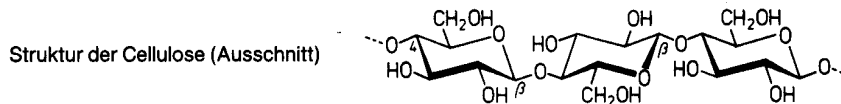
### 3 Die verschiedenen Stufen der Papierherstellung

#### 3.1 Chemie

Die **Cellulose** bildet als Gerüstsubstanz den Hauptbestandteil in pflanzlichen Zellstoffwände und ist das am häufigsten vorkommende Kohlenhydrat.

Es handelt sich hierbei um ein Polysaccharid, das sich aus **Glucoseeinheiten** aufbaut.

Glucoseeinheiten sind bei der Cellulose so miteinander verknüpft, dass lange, flache Bänder entstehen, die durch Wasserstoffbrückenbindungen ein faseriges Material bilden.



**Abb.2: Struktur der Cellulose**

Baumwolle enthält 98% Cellulose, während man aus Holz 50% und aus Stroh 30% Cellulose gewinnen kann.

Das Holz der Nadel- und Laubbäume bildet einen natürlichen Verbundwerkstoff, es besteht zu 40-50% aus Cellulose neben je 25-30% an Hemicellulose und Lignin.

Cellulose ist eine farblose, in Wasser und in den meisten organischen Lösungsmitteln unlösliche Substanz. In hochprozentiger Salzsäure ist sie löslich. Sie wird aus dem pflanzlichen Material durch Herauslösen der alkalilöslichen Pektine, Wachse und Öle und durch Bleichen mit Natriumhypochlorit-Lösung erhalten.

Die Cellulose besitzt technisch große Bedeutung. Sie wird vorwiegend aus Holz oder Stroh gewonnen und kommt als **Zellstoff** in den Handel.

#### 3.2 Auswahl des Holzes

##### Aufbau von Papier und Karton

Papier und Karton sind aus Einzelfasern aufgebaut, die statistisch willkürlich verteilt neu zu einem Blatt zusammengefügt sind. Bis zur Mitte des vorigen Jahrhundert wurden hauptsächlich Lumpen zu Herstellung von Papier verwendet. Doch der rasant gestiegene Bedarf machte die Suche nach neuen Rohstoffquellen erforderlich: Holz - speziell die Baumstämme.

Als neuer, sehr verbreiteter Rohstoff ist das Altpapier hinzugekommen.

##### Auswahlkriterien

Nicht alle Holzarten sind für die Papierherstellung geeignet, was mit den Unterschieden im Aufbau und der chemischen Zusammensetzung zusammenhängt. So sind z.B. tropische Harthölzer für die Papierherstellung nicht geeignet.

Nadelholz wird bevorzugt, weil die Fasern länger sind als z.B. beim Laubholz. Längere Fasern bilden auf der Papiermaschine ein festeres Netzwerk und damit ein festeres Papier.

## Holzsorten

- Fichte:** Fichtenholz wird für die Herstellung von Papier wegen der günstigen Faserlänge und des geringen Harzgehalts bevorzugt. Für die Papierindustrie kommt in der Regel Durchforstungsholz mit einem Alter von 15-30 Jahren zum Einsatz.
- Kiefer:** Eigenschaften ähnlich wie bei der Fichte, allerdings verursacht der höhere Harzgehalt beim mechanischen Aufschluss erhebliche Probleme. Deshalb verwendet man jüngere Bäume (bis 15 Jahre), da sie einen geringeren Harzgehalt aufweisen.
- Buche:** Die Buchenfaser hat eine sehr dicke Wand und ein kleines Lumen. Dadurch ist sie für Papiere, bei denen ein höheres Volumen gefragt ist, besonders geeignet.
- Pappel:** Die Pappel ist ein schnell wachsender Baum und wurde zum Teil gezielt für den Einsatz in der Papierindustrie angepflanzt.
- Eukalyptus:** Eukalyptus ist als Rohstoff für Zellstoff stark im Kommen. Die Eukalyptusfaser gibt ein Papier mit sehr hohem Volumen und guter Porosität. Daher wird Eukalyptuszellstoff für Tissue und in voluminösen Druckpapieren, z.T. auch in Milchbecherkartons, eingesetzt.

## 3.3 Holzaufbereitung

Zwischen dem Fällen der Bäume im Wald und dem Aufschluss der Fasern liegt die Phase der Holzaufbereitung.

Sie besteht im Einzelnen aus folgenden Punkten:

### Anlieferung und Lagerung

Für die Qualität des späteren Faserstoffs ist eine hohe Holzfeuchtigkeit von größter Bedeutung. Deshalb wird möglichst waldfrisches Holz, das nur bis zu 2-3 Wochen im Wald gelagert hat, gefordert. Die Anfuhr von Rundholz erfolgt meist per LKW, Waggon oder Schiffen. Die Stämme werden in einer Länge von 2-3 Metern mit einem Durchmesser von 10-35 cm innerhalb der Rinde angeliefert. Früher wurde das Holz oft über die Flüsse zu den Fabriken geflößt. Dieser Weg wurde aufgegeben, weil die Holzverluste durch absinkendes Holz zu groß waren und der Vorgang zu personalaufwendig war.

Die Bestimmung der Holzmenge erfolgt meist in Raummeter oder Ster, d.h. in Kubikmetern. Vielfach wird das Holz in Wasser gelagert, dadurch ist eine dauerhafte Durchtränkung gegeben und der Qualitätsverlust durch Lagerung am geringsten.

### Sägen der Rundholzstämm

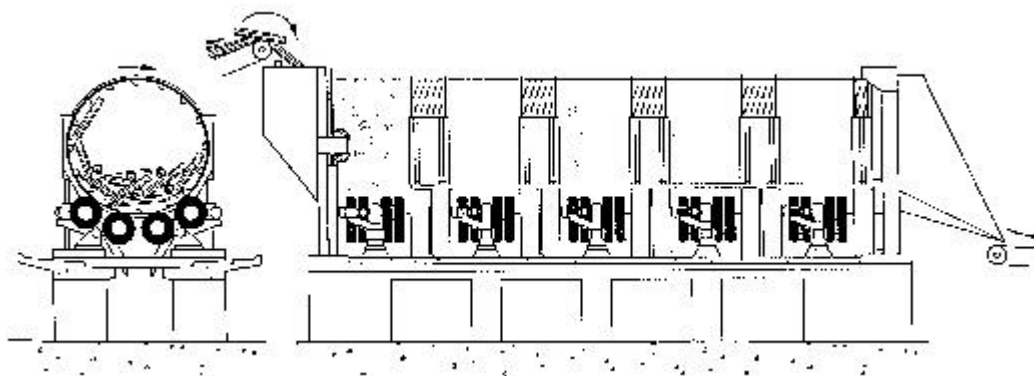
Die Holzstämm, die der Entrindung zugeführt werden, werden vom Greifer auf eine Pritsche oder in einen Vorratsbunker aufgelegt, über Kettenförderer vereinzelt, einseitig gegen einen Anschlag gefahren und einer Kreissägen zugeführt.

## Entrindung

Die effektivste und gängigste Methode ist die in der Entrindungstrommel (**Abb.3**). Hierbei wird bei einer Durchlaufzeit von 15-30 Minuten bei einer Umdrehung von 3,5-5,5 U/min. die Reibung der einzelnen Stämme untereinander für die Entrindung ausgenutzt. Das Verfahren benötigt wenig Energie, 7-11 kWh/t ofentrockenes Holz.

Eine Trommel für 160-240 Ster/h ungeschältes Holz ist z.B. ca. 22,5 m lang und hat einen Durchmesser von 5 m.

Über eine visuelle Sortierstation wird schlecht entrindetes Holz wieder in die Trommel zurückgeführt.



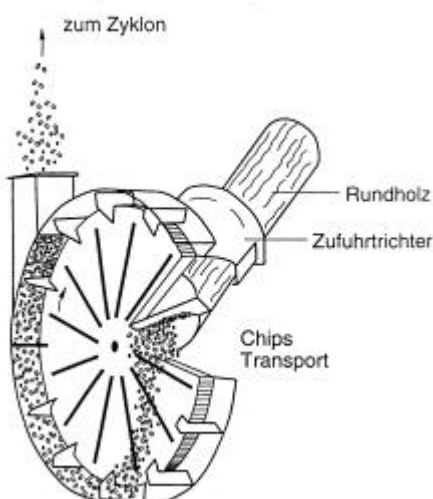
**Abb.3: Entrindungstrommel**

Ein anderes, nicht so gängiges Verfahren ist die Cambio-Schälmaschine. Geriffelte Walzen drücken den Baumstamm durch einen Kranz von Messern, die die Rinde vom Stamm schaben, während sie um den Stamm drehen.

## Rundholzaufbereitung

Die Effizienz der Zerspannung hängt von der Zufuhr nicht verunreinigter Stämme ab. Die vorherige Entfernung von Sand, Steinen und Metall ist Voraussetzung für einen einwandfreien Betrieb der Hackanlage. Das geschieht durch Waschen mit Wasser. Ein Metalldetektor schützt die Hackmaschine gegen Beschädigung durch Eisen.

## Erzeugung von Hackschnitzel

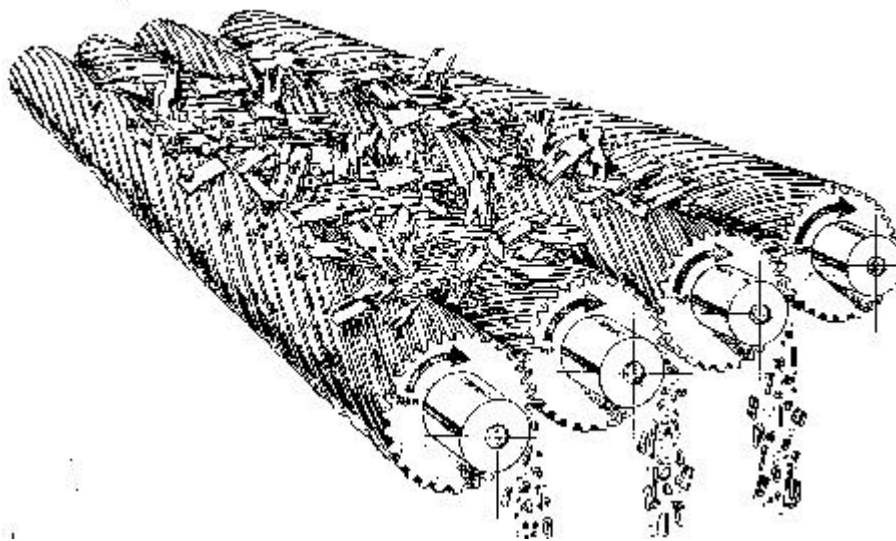


**Abb. 4: Hackmaschine**

In einer Hackmaschine (**Abb. 4**) hacken Messer, die auf eine rotierende Scheibe montiert sind, scheibenförmige Stücke aus dem zugeführten Holzstamm. Während der Bearbeitung brechen ständig Stücke von dem geschnittenen Holz ab. Die Länge und Breite der Hackschnitzel betragen gewöhnlich 15-25 mm, die Dicke beträgt 2-8 mm.

Die Hackschnitzel laufen anschließend über eine Hackschnitzelsortierung (**Abb.5**), die zu grobe Stücke wieder in die Hackmaschine befördert, wo sie weiter zerkleinert werden, bis die gewünschten Größe erreicht wurde.

In vielen Fabriken werden auch Hackschnitzel aus Sägewerksabfällen eingekauft und verarbeitet. Wichtig: Der Rindeanteil in den Hackschnitzel sollte nur bis 0,6% betragen, da jedes Prozent Rinde mehr Bleichchemikalien kostet.



**Abb.5: Hackschnitzelsortierung**

Der Trockengehalt der Hackschnitzel ist abhängig von der Jahreszeit. Sie beträgt in den Sommermonaten ca. 55%, in den übrigen Monaten zwischen 40-50%.

### Lagerung und der Transport der Hackschnitzel

Die Lagerung der Hackschnitzel erfolgt entweder in offenen Haufen oder in Silos. Bei langer Lagerung steigt die Temperatur in der Hackschnitzelmenge durch exotherme Reaktion an. Deshalb müssen Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden (ausreichende Belüftung etc.)

### Rindenverwertung

Beim Entrinden in einer Trommelbeladung entsteht eine beachtliche Menge von nasser Rinde, ca. 1 Kubikmeter pro 5-8 Ster Holz. Die Rinde wird als Rindenmulch, in der Kompostierung und als Brennstoff in der Abfallverbrennung verwendet.

### 3.4 Cellulosegewinnung

#### 3.4.1 Holzstofferzeugung

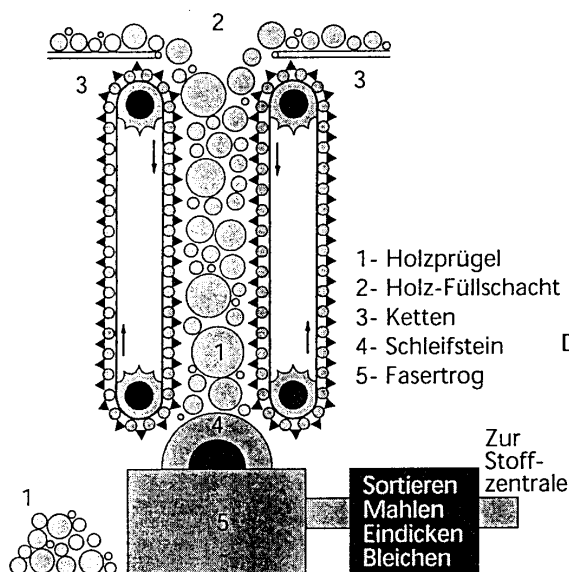


Abb.6: Holzschliffverfahren

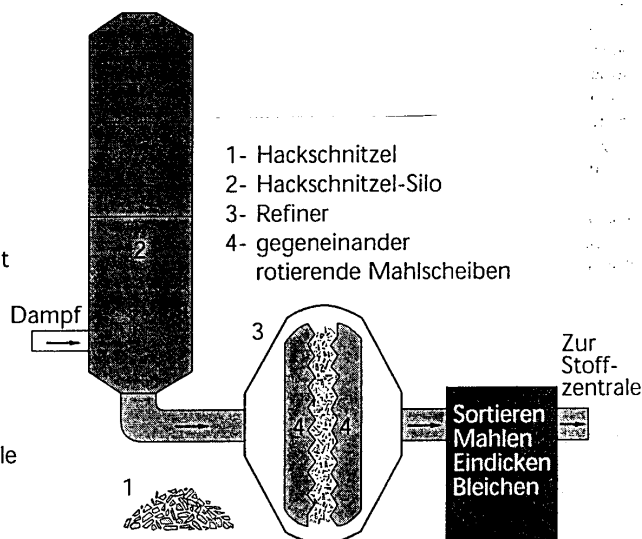


Abb.7: Refinerverfahren

#### Holzschliffverfahren (mechanische Holzstofferzeugung, Abb.6)

Holzprügel werden unter Zugabe von heißem Wasser an die Oberfläche eines rotierenden Schleifsteins gepresst. Man erhält ein Gemisch aus **unversehrten Fasern**, **Faserbruchstücken** und feinsten **Faserpartikeln**. Die Qualität des Holzschliffes wird vom Verhältnis von kurzen und langen Fasern bestimmt. Danach erfolgt die Sortierung, Mahlung und Eindickung und gegebenenfalls die Bleichung des Holzschliffes.

#### Refinerverfahren (thermomechanische Holzstoffherstellung, Abb.7)

Das Holzschliffverfahren wurde mit dem Ziel einer schonenderen Holzbearbeitung zum **Thermomechanischen-Refiner-Verfahren (TMP-Verfahren)** weiterentwickelt. Ausgangsmaterialien hierbei sind Resthölzer aus Sägereien und kleingeschnitzeltes Holz. Beim TMP-Verfahren ist bemerkenswert, dass ein höherer Anteil unzerstörter Einzelfasern sichergestellt ist. Es erfolgt eine Vordampfung bei 130°C, wobei das zwischen den Fasern befindliche Lignin aufweicht. Es erfolgt anschließend eine Zerlegung durch gegeneinander rotierende Schleifscheiben. Aus 100 kg trockener Holzsubstanz gewinnt man ca. 50 kg Zellstoff. Anschließend erfolgt die Entfernung des Lignins durch Kochen und beim **CTMP-Verfahren (Chemothermomechanischer Holzschliff)** durch zusätzliche Beigabe von Chemikalien (siehe Holzaufschlußverfahren).

#### Verfahrensunterschiede

Wegen seiner größeren Faserstruktur ist der Thermomechanische **Holzstoff** nicht so universell einsetzbar wie der mit Steinschleifern hergestellte **Holzschliff**. Für den Energieaufwand pro Kilogramm rechnet man je nach Verfahren und Faserqualität ca. ein bis zwei Kilowattstunden.

Einen höherwertigen Faserstoff, den **Zellstoff**, erhält man, wenn aus dem Holz diejenigen Stoffe herausgelöst werden, die im Papier nachteilig sind. Das sind vor allem Lignin und Harze. Zellstoff

enthält einen größeren Anteil an Fasern in natürlicher Länge als Holzschliff und zeichnet sich deshalb durch hohe Festigkeit aus und ist zudem sehr geschmeidig und vergilbt kaum. Während zur Herstellung von Holzschliff vorwiegend Fichtenholz verwendet wird, sind zur Erzeugung von Zellstoff sowohl Nadel- als auch Laubbölder geeignet. Einjahrespflanzen wie Stroh, Zuckerrohr und Alfagras dienen ebenfalls zur Herstellung. Bei der Produktion von Halbzellstoffen verbleibt ein größerer Teil an Lignin im Faserstoff.

### 3.4.2 Holzaufschlußverfahren

Ziel der Holzaufschlußverfahren ist stets, die **Cellulosebegleitstoffe unter Erhalt der Cellulosestruktur abzubauen oder abzutrennen**. Die Inhaltsstoffe des Holzes sind untereinander chemisch vor allem durch Wasserstoffbrücken oder Etherbrücken verbunden. Diese können gespalten werden. Dadurch wird das Holz aufgeschlossen.

Aufschlußmittel sind je nach Verfahren Hydrogensulfitionen  $\text{HSO}_3^-$ , Sulfidionen  $\text{S}^{2-}$  oder Wasser. Protonen wirken katalytisch. Es entsteht Ligninsulfonsäure, die mit Wasser ausspülbar ist.

Die etherartigen Bindungen und Wasserstoffbrücken werden durch Säuren und Laugen geöffnet. Dies gilt allerdings auch für die Cellulose selbst, die ja ein empfindliches Acetal ist. Deshalb ist die so gewonnene Cellulose schon von vornherein geschädigt. Die im folgenden beschriebenen Verfahren sind deshalb Kompromisse.

Zum Holzaufschließen kocht man zerkleinerte Holzstückchen unter Druck mit bestimmten Chemikalienlösungen. Dabei gehen Harze, Lignin und andere Holzbestandteile in Lösung, der Zellstoff bleibt zurück. Er wird gewaschen und gebleicht. Hier einige Verfahren genauer:

#### Sulfitverfahren (Kalksteinverfahren)

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <i>Verfahren:</i>          | Saures Verfahren, 10 Stunden bei 5 atü und 145 °C.  |
| <i>Aufschlußmittel:</i>    | Ca-hydrogensulfit <b>Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b> bzw. in mit SO <sub>2</sub> gesättigtem Wasser suspendierter Kalkstein <b>CaCO<sub>3</sub></b> .   |
| <i>Chemischer Vorgang:</i> | Elektrophile Substitution durch HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Ionen sowie Wasserstoffbrückenspaltung.<br>Die Verluste an Sulfitionen werden durch Einleiten von SO <sub>2</sub> ausgeglichen.  |
| <i>Produkt</i>             | Die Cellulose ist weiß, aber durch partiellen Abbau nicht besonders hochwertig.   |
| <i>Umweltbelastung:</i>    | 1.)Das Nebenprodukt Ligninsulfonsäure kann zum größten Teil nicht weiter verwendet werden und wird heute im allgemeinen zur Gewinnung von Prozesswärme verbrannt (Energierectycling). Alternativ kann sie in das Abwasser gegeben werden.<br>2.)Abluft und Abwasser sind belastet durch SO <sub>2</sub> bzw. Sulfit, durch Ligninsulfonsäure und Hemicellulosen. Die Folgen sind hoher chemischer Sauerstoffbedarf (COD) und biologischer Sauerstoffbedarf (BOD) in der Abwasseraufbereitung. |

## Sulfatverfahren (Kraftaufschluss)

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <i>Verfahren:</i>          | Basisches Verfahren, 4 Stunden bei 4 atü und 170 °C.  |
| <i>Aufschlussmittel:</i>   | NaOH, Na <sub>2</sub> S, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> und Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .  |
| <i>Chemischer Vorgang:</i> | Wie beim Sulfitverfahren. Die Verluste an Sulfit werden durch Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Zugabe ausgeglichen. Daraus entsteht während des Aufschlußprozesses reduktiv neues Sulfit.   |
| <i>Produkt</i>             | Die Cellulose ist braun wie Packpapier, aber hochwertig. Eine Bleichung ist daher notwendig.  |
| <i>Umweltbelastung:</i>    | 1.) Ligninsulfonsäuren werden verbrannt, um die Mengen zu bewältigen und um Prozesswärme zu erhalten. (-> Belastung der Abluft mit SO <sub>2</sub> ). Die Abwässer sind mit Sulfit, Sulfid, Mercaptanen und Ligninverbindungen belastet<br>2.) Die Kochlauge wird oft eingedampft. Dabei tritt Geruchsbelästigung durch Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S, durch organische, gasförmige Sulfide R-SH (Mercaptane) und durch SO <sub>2</sub> auf.<br><br>Mit dem Sulfatverfahren werden 80 % der Cellulose hergestellt, wird aber aufgrund von Umweltaspekten in Deutschland nicht verwendet. |

## ASAM-Verfahren

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <i>Verfahren:</i>         | Basisches, katalysiertes Verfahren mit organischem Lösemittel ("Organosolv-Verfahren"); 180 °C, hoher Druck und 2 - 3 h. Dieses Verfahren entspricht dem Kraftausschluss, allerdings setzt man 15 - 30 % Methanol als Lösemittel und etwas NaHSO <sub>3</sub> zu. Katalysator ist Anthrachinon. |
| <i>Produkt</i>            | Die Cellulose ist sehr hochwertig und durch Peroxide bleichbar.   |
| <i>Umweltbelastungen:</i> | entfallen weitgehend. Es bilden sich kaum Ligninsulfonsäuren, sondern vorrangig reines Lignin.  |

## Acetosolv-Verfahren

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <i>Verfahren:</i>          | Saures Verfahren in organischem Lösemittel (konzentrierte Essigsäure), 1 Stunde bei 110 °C und Luftdruck.  |
| <i>Aufschlussmittel:</i>   | 1%ige HCl als Katalysator.   |
| <i>Chemischer Vorgang:</i> | Durch Protonen katalysierte Hydrolyse von Ether- und Wasserstoffbrücken. Der Prozess wird im geschlossenen System durchgeführt. Das Lösemittel wird quantitativ zurückgewonnen. Es fällt reines Lignin an, ein sehr wichtiger nachwachsender Rohstoff, aus dem man hofft, biologisch abbaubare Kunststoff-Folien herstellen zu können. |
| <i>Produkt</i>             | Die Cellulose ist sehr hochwertig.   |
| <i>Umweltbelastungen:</i>  | Trotz der umweltschonenden Bedingungen ist das Acetosolv-Verfahren wegen Korrosionsproblemen aus recht undurchsichtigen Gründen noch nicht über das Pilotverfahren hinausgekommen.   |

### 3.4.3 Bleichung

Die durch die oben beschriebenen Verfahren erhaltene Cellulose ist aufgrund von Lignin- und Harzsäureresten **braun** gefärbt.

Die **Cellulosebleiche** erfolgt durch den **oxidativen Abbau** dieser Reste mit *Chlorkalk*  $\text{CaClOCl}$ , *Chlordioxid*  $\text{ClO}_2$ , *Ozon* oder *Wasserstoffperoxid*. Die Verwendung von ammoniakalischem Wasserstoffperoxid hat den Vorteil, dass keine festen Salze entstehen, die die Abwässer belasten. Man sagt auch: Die Abwässer werden nicht „aufgesalzen“.

### 3.5 Pulpe

Der auf unterschiedliche Weise gewonnene Zellstoff wird mit Wasser zu einem Brei verrührt. Die Auflösung des Zellstoffs im Pulper erfordert eine Energie von 38 – 50 kWh/t.

Wird diese „einfache Pulpe“ **ohne Zusätze** geformt und getrocknet erhält man ein poröses, aus reinen Zellstoff bestehendes Papier. Solches Papier wird zur Herstellung von Filtern verwendet. Man spricht hier auch von **ungeleimtem Papier**.

Zur Herstellung **hochwertiger Papiere** fügt man dem Faserbrei verschiedene Zusätze (**Hilfsstoffe**) bei. Auf diese Weise kommt man zu geleimtem Papier.

Die größte Gruppe der dem Papier zugesetzten Hilfsstoffen sind die **Füllstoffe**. Sie sind anorganischen, mineralischen Ursprungs und verändern die Eigenschaft des Papiers ganz wesentlich. Die Füllstoffe füllen die Zwischenräume des Papiers, so dass sich eine geschlossene Oberfläche ergibt. Das erhöht die Weiße und verbessert die Opazität ( Undurchsichtigkeit) des Papiers und damit auch die Bedruckbarkeit.

Die wichtigsten Füllstoffe sind:

- die **Silikate**:

- Kaolin, ein Aluminiumsilikat (für die Weiße und die Opazität des Papiers)
- Talkum, ein Magnesiumsilikat (für glattes geschlossenes Papier → Tiefdruckpapier)
- Bentonit, ein Aluminiumsilikat (für Harz- und Störstoffbeseitigung)

- die **Carbonate**:

- Kreide

- die **Sulfate**:

- Gips
- Satinweiß, Calcium-Aluminiumsulfat
- Bariumsulfat

- die **Oxide**:

- Titanoxid

Im übrigen kann man sagen, dass alle weiteren Füllstoffe ebenfalls zur **Weiße** und zur **Opazität** beitragen.

Weitere **Hilfsstoffe** sind:

- Tierleim
- Harzleim
- Stärke

Sie sind in erster Linie für die **Festigkeit** und die **Beschreibbarkeit** des Papiers von großer Bedeutung.

### Einige Beispiele:

- Zeitungspapier:** billiges Papier, bei dem man zur Rohcellulose bis zu 90 % feingemahlene Holz (Holzschliff) zufügt. Durch den dadurch erhöhten Ligningehalts vergilbt das Papier relativ schnell.
- Pergamentpapier:** ungeleimtes Papier (Filterpapier) wird kurz in 75 %ige Schwefelsäure getaucht und danach sofort mit Wasser gewaschen.
- Wellpappe:** die Wellpappenindustrie arbeitet sehr viel Stärke zur Herstellung mit ein.

## 3.6 Blattbildung

Die verschiedenen Stufen der Blattbildung werden im Folgenden beschrieben (siehe auch **Abb. 1**):

### 3.6.1 Stoffauflauf

Der Stoffauflauf hat die Aufgabe, die hochverdünnte Fasermischung gleichmäßig auf die Breite der Maschine zu verteilen. Diese Mischung läuft bei der Langsiebmaschine durch einen Schlitz auf das flache, ständig umlaufende Sieb. Auf dem Sieb lagern sich die Fasern neben- und aufeinander ab. Gleichzeitig läuft das Wasser durch das Sieb hindurch oder wird nach unten abgesaugt. Dadurch bildet sich das Blatt. Am Ende der Siebpartie enthält die Papierbahn jedoch immer noch 80 % Wasser.

### 3.6.2 Siebpartie

#### Blattbildungssysteme

Es gibt verschiedene Arten von Blattbildungssystemen:

- Langsiebe
- Doppelsiebformer
- Hybridformer: Doppelsiebformer mit Langsiebanteil
- Gapformer
- Rundsiebe oder Rundsiebformer
- Wickelpappenrundsiebe für Handpappe
- Mehrlagenblattbildung

Die Wahl des Systems hängt von folgenden Parametern ab:

- dem Flächengewicht
- der gewünschten Blatteigenschaften
- der Produktionskapazität

Das **Langsieb-Blattbildungskonzept** ist das universellste System, mit dem eine hohe Flexibilität in bezug auf Flächengewicht und Blatteigenschaften erreicht werden kann.

**Doppelsiebsysteme** werden für die Produktion von dünnen Massenpapieren mit hohen Maschinengeschwindigkeiten und zur Erzielung gleichseitiger Oberflächeneigenschaften angewandt.

Für mehrlagige Blattbildung werden **Rundsiebe** oder mehrere **Langsiebe** oder eine Kombination von beiden eingesetzt.

Die Bildung von dünneren mehrlagigen Produktion ist auch mit **Doppelsiebformer** und einem **Mehrkanalstoffauflauf** möglich, wobei die verschiedenen Lagen gleichzeitig gebildet werden.

### Verlauf der Entwässerung:

Nachdem das Faser/Wasser-Gemisch die Blende des Stoffauflaufs verlassen hat, beginnt die Entwässerung. Die Art, wie die Entwässerung abläuft, trägt stark zu den Eigenschaften des Papiers bei. Es ist üblich, die Entwässerung direkt, nachdem die Suspension den Stoffauflauf verlassen hat, zu verzögern. Die Fasern können sich so erst ausrichten, bevor sie durch die beginnende Entwässerung fixiert werden.

Auf dem Sieb bildet sich ein **Vlies**. Während des Transports der Fasermasse wächst das feste Faservlies von der Siebseite zur Oberseite, bis das freie Wasser an der Oberseite völlig verschwindet. Die Struktur des Papierblattes liegt dann fest, weil von da ab keine Veränderung der Fasern zueinander möglich ist.

Es treten Unterschiede in den Blatteigenschaften zwischen Sieb- und Oberseite auf. An der Siebseite werden zu Beginn der Entwässerung die längeren Fasern auf dem Sieb zurückgehalten. Sobald aber eine Filtermatte gebildet ist, werden auch kurze Fasern und Füllstoffe im Blatt festgehalten. Das führt zu einem asymmetrischen Aufbau des Papiers. Die Zweiseitigkeit kann durch den Einsatz eines Egotteurs(siebgespannte Walze, die die Faserflocken in das Blatt hineingedrückt) oder durch die Obersiebentwässerungseinheit vermindert werden.

Auf dem umlaufenden Sieb wird das Papierblatt gebildet und wird nach der Siebsaugwalze vom Sieb abgenommen und in die nachfolgende Presspartie überführt.

### Siebreinigung:

Bei der Entwässerung der Fasermasse auf dem Sieb bleiben kleine Fasern und Füllstoffe, bei der Altpapierverarbeitung daneben auch andere Verunreinigungen in der Siebstruktur zurück. Die Reinigung des Siebs geschieht durch Hochdruckspritzrohre(20-40 bar) mit Nadelstrahldüsen.

### **3.6.3 Pressenpartie**

Nach der Blattbildung, bei der die wichtigsten Blatteigenschaften festgelegt wurden, muss die Papierbahn weiter entwässert und verdichtet werden.

Dies geschieht in der **Pressenpartie**, wo die Papierbahn zwischen zwei Walzen mit einem Druck von bis zu 120 kPa gepresst wird.

Da das Papier nach Verlassen der Siebpartie noch viel Wasser enthält, ist es nicht möglich, direkt hohe Pressdrücke anzuwenden. Die Pressenpartie einer Papiermaschine besteht deshalb aus mehreren Walzensystemen, wobei der Druck stetig von System zu System zunimmt.

Das Wasser, das aus dem Papier gepresst wird, wird durch ein oder zwei mit durch die Walzen laufende **Filzbänder** abgeführt. Bedingt durch die begrenzte Lebensdauer der Filzbänder müssen die Bänder allerdings regelmäßig gewechselt werden. Dies kann je nach Filz und Einsatzgebiet 2 – 6 Stunden, in modernen Anlagen mit entsprechenden Vorrichtungen auch nur 20 – 30 min, dauern. Für diesen Wechsel muss die Papiermaschine gestoppt werden.

Das aus dem Papier gepresste Wasser wird weiter über Saugwalzen oder Rohrsauger entfernt. Diese Rohrsauger bestehen aus feststehenden Rohren mit einem Schlitz von 6 – 10 mm., welche an Vakuumpumpen angeschlossen sind, die so das Wasser aus dem Filz saugen können.

Da der Filz schmutzanfällig ist, muss er ständig gereinigt (revitalisiert) werden. Dies geschieht durch feine Nadeldüsen die den Filz mit Wasser reinigen. Der Spritzwasserdruck beträgt 15 – 30 bar.

Um die Wirkung einer Pressenpartie noch zu steigern, kann man die **Temperatur** der Papierbahn erhöhen. Dies hat eine Erhöhung des Trockengehalts um 1 % zur Folge, was wiederum eine Produktionserhöhung von 5 % bringt. Die Temperaturerhöhung erfolgt über einen Dampfblaskasten.

### 3.6.4 Trockenpartie

#### Aufbau einer Trockenpartie

Das Papier wird nach der Pressenpartie, wo es einen maximalen Trockengehalt von 50-55 % erreicht, in die Trockenpartie überführt. Hier muss das restliche Wasser durch **Verdampfen** entfernt werden. Ein Problem dabei ist, dass es sich bei Papier um Material mit Schrumpfungsvorgängen handelt. Die endgültige Feste des Papiers stellt sich erst bei einer Restfeuchte von 6-10 % ein. Als Transportmedium für den durch Wärme freigesetzten Wasserdampf dient die Luft. Die Zufuhr der Wärmeenergie erfolgt entweder über den **direkten Kontakt** über Trockenzylinder oder über **Konvektion**. Hierbei ist aufgewärmte Luft der Energieträger. Einen Sonderfall stellt die Trocknung durch **Strahlungswärme** durch Infrarotstrahler dar, bei der die Energie erst im Blattinneren in Wärme umgewandelt wird. Die Trocknung des Papiers spielt sich in verschiedenen Phasen ab.

- 1. Phase:** kurze Aufwärmphase, bei der noch kein Wasser verdampft wird.
- 2. Phase:** Hauptverdampfung, bei der das Papier sein Wasser über die Oberfläche abgibt.
- 3. Phase:** Oberfläche ist weitgehend abgetrocknet, der Wärmeübergang muss nun über trockenes Papier erfolgen. Die Verdampfung erfolgt weiter aus dem Inneren des Papiers.
- 4. Phase:** Auswirkung des hygroskopischen Verhalten des Papiers, es werden Wassermoleküle an die Faser gebunden.

#### Die Kontaktrocknung:

Die Kontaktrocknung ist die verbreitetste Art der Papiertrocknung. Hierbei erfolgt eine Trocknung durch einen **direkten Kontakt von beheizten Zylindern und dem Papier**. Die Zylinder werden mit Wasserdampf beheizt, der in den Zylindern kondensiert und dabei Wärme an den Zylinder abgibt. Diese Wärme wandert durch die Zylinderwand und wirkt so auf das Papier, welches durch **Trockensiebe** auf die Zylinderoberseite gedrückt wird. Diese Trockensiebe sind luftdurchlässig und lassen somit ein Verdampfen des Wassers zu. Um ein Reißen des Papiers zu verhindern, erfolgt die Trocknung nicht über einen einzigen sondern über eine Reihe von Zylindern. So wird eine zu starke, plötzliche Trocknung verhindert.

#### Konvektionstrocknung:

Bei der Konvektionstrocknung dient ein **heißer Luftstrom als Wärmelieferant** und gleichzeitig als **Träger für die Feuchtigkeit**, die vom Papier freigesetzt wird. Der große Vorteil der Konvektionstrocknung ist, dass heiße Luft große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen kann. Bei der Abgabe von Wärme an das Papier sinkt der Wärmeinhalt der Luft, gleichzeitig steigt dieser aber wieder durch die Aufnahme des heißen Wasserdampfes. Alles in allem wird der Wärmeinhalt der Luft etwas sinken. Oft wird eine Konvektionstrocknung an der Gegenseite eines Trockenzylinders durchgeführt, dabei ist allerdings die Wärmeabgabe von der Luft auf das Papier geringer.

#### Infrarottrocknung:

Die Infrarotstrahlung zeichnet sich durch eine hohe Energiedichte aus, da sie erst im Papier in Wärme umgesetzt wird. Bei der Infrarottrocknung werden Temperaturen von 1000 – 1200 °C erreicht, die auf kürzeste Entfernung zugeführt werden können. Durch diese hohen Temperaturen ist aber auch der Energieverlust größer als bei den anderen Trocknungsverfahren. Außerdem besteht immer eine erhöhte Brandgefahr, die den Einsatz von Infrarotstrahlern begrenzt.

### 3.6.5 Glättwerk

Nach Beendigung der Trocknung wird das Papier einer **Glättung** im Glättwerk unterzogen. Dabei durchläuft das Papier zwei Stahlwalzen die das Papier zusammendrücken. Das Papier soll so die glatte Oberfläche der Stahlwalzen übernehmen.

Neuerdings findet man oft einen **Softkalender** anstelle eines Stahlglättwerks. Auch hierbei erfolgt die Glättung durch zwei Walzen, wobei eine Walze mit einem weichen Kunststoffbezug überzogen ist, während es sich bei der anderen um eine Stahlwalze handelt. Die bei diesen Walzen erzielte Glättung ist wesentlich besser als bei der Behandlung mit zwei Stahlwalzen.

### 3.6.6 Aufrollung

Vor der Aufrollung durchläuft das Papier zunächst noch eine **Qualitätskontrolle** und einen **Lochdetektor**.

Am Ende der Papiermaschine wird das Papier dann auf Stahlkerne, den sogenannten **Tambouren**, bis zu einem Durchmesser von 3,5 m aufgerollt. Die Auswechslung der Tambouren erfolgt heutzutage vollautomatisch.

## 3.7 Oberflächenveredelung

Es werden verschiedene **Anforderungen** an Papier gestellt:

- Das Papier muss
- stets schöne und klare Druckresultate ergeben.
  - Kontrast, Gleichmäßigkeit und Brillanz aufzeigen.
  - preiswert in Herstellung und Entwicklung sein.
  - dimensionsstabil bleiben und auf Feuchtigkeitseinflüsse möglichst wenig und gleichmäßig reagieren
  - recyclingfähig bleiben
  - eine gleichmäßige Oberfläche und Faserverteilung besitzen

### Kunststoffe bei der Papierherstellung

Die Bedeutung der Kunststoffe bei der Papierherstellung nimmt immer mehr zu. Durch Wahl des Rohpapiers und der Kunststoffe lassen sich bestimmte Eigenschaften, wie wasserdampfdicht, aromadicht und fettdicht, erzielen. Diese spielen besonders im Gebiet der Verpackungsherstellung eine große Rolle.

Das Aufbringen der Kunststoffe geschieht nach dem **Dispersionsstreich-** oder nach dem **Beschichtungsverfahren**. Bei ersterem wird eine Kunststoffdispersion als dünner Strich auf die Papieroberfläche gebracht. Die einzelnen Teilchen der Dispersion verdichten sich unter den thermischen Bedingungen des Verfahrens zu einem zusammenhängenden, dichten und weitgehend porenfreien Film. Beim Beschichtungsverfahren, welches allerdings nicht bei allen Kunststoffen angewendet werden kann, wird eine dünne Kunststoffolie auf die Papieroberfläche aufgewalzt.

## Anorganische Füllstoffe bei der Papierherstellung

Anorganische Füllstoffe verleihen der Papieroberfläche bestimmte Eigenschaften, wie Porosität (Durchlässigkeit, Porigkeit) und Durchsicht. Die anorganischen Füllstoffe werden feinverteilt im Holländer dem Faserstoff zugemischt. Bei der Blattbindung gehen 20 – 50 % der Füllstoffe in der Papiermaschine ins Abwasser verloren.

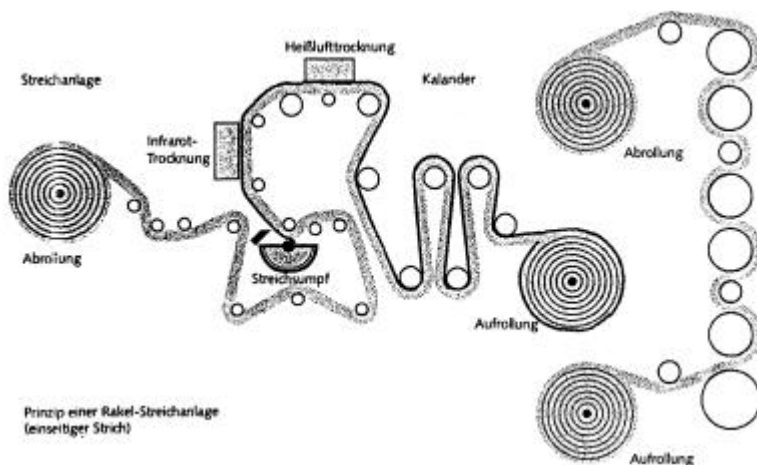
### **Anorganische Füllstoffe:**

- Blanc fixe ( $\text{BaSO}_4$ , geeignet für Kunstdruck und Photopapier, da gut glättbar)
- Chinaclay (Kaolin)
- Zinkweiß (Zinkoxid, weißes, kaum wasserlösliches, giftiges Pulver)
- Glanzweiß

## Streichen von Papier

Will man die Qualität des Rohpapiers steigern, sind zusätzliche Veredelungsverfahren notwendig. Die gängigste Variante ist das Streichen. Die Hauptsubstanzen sind Kaolin (Porzellanerde) und  $\text{CaCO}_3$  (Kreide). Die Verwendung von  $\text{CaCO}_3$  ist eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Herstellung alterungsbeständiger Papiere. In den Streichmaschinen werden täglich ca. 750 t Streichmasse für Vor- und Deckstrich verarbeitet.

### **Die Streichmaschine (Abb.8)**



**Abb.8: Streichmaschine**

1. Aufnahme der Rohpapierrolle durch eine Vorrichtung
2. Der Strich wird durch einen Walzenauftrag oder nach dem Bürstenstreichverfahren hergestellt
3. Messerstreichverfahren: Die Streichmasse wird durch ein in einer Wanne laufende Walze auf das Papier aufgetragen. Der Überschuss wird durch ein schabendes Messer entfernt. Statt des Messers kann auch ein scharfer Luftstrahl (Luftbürste) verwendet werden. Es gibt ein- und zweiseitig, einfach und doppelt gestrichene Papiere.
4. Nach Aufbringen des Striches gelangt das Papier durch den Trockenkanal.
5. Fertigtrocknung in Hängeanlage, in einigen Fällen auch über Trockenzylinder.
6. Das Papier wird kalandriert, (d.h. das Papier läuft durch den Kalandrierer, der das Papier satiniert, also unter Druck und Hitze mit mehreren Walzen verdichtet) um Satinageeffekt zu erzielen
7. Der Rollenschneider bringt das Papier auf die richtige Rollenbreite (je nach Kundenwunsch)

### 3.8 Unterschiedliche Papiere

Je nach der Oberflächenbeschaffenheit unterscheidet man:

#### maschinenglattes Papier

Papier, das aus der Papiermaschine kommt. Es wird beim Zeitungsdruck und für die Buchherstellung verwendet.

#### satiniertes Papier

Das Papier kann nachträglich geglättet werden, indem man die Papierbahn durch ein umfangreiches Walzensystem, einen sog. Kalandrier, laufen lässt. Man spricht dann von einem satinierten oder auch kalandrierten Papier. Dieses glänzende, satinierte Papier nennt man auch Naturdruck. Durch die Satinage verringert sich allerdings die Reißfestigkeit und das Durchscheinen nimmt zu, d.h. also die Opazität (Undurchsichtigkeit) nimmt ab. Anwendungsgebiete sind vorwiegend illustrierte und die sonstigen Regenbogen-Presserzeugnisse.

#### gestrichenes Papier

Durch nachträgliches Auftragen einer Streichmasse (Kaolin, Kreide, Leim, Titandioxyd, Kunststoffe) mit sog. Streichmaschine auf beiden Seiten der Papierbahn kann die porige Oberfläche geschlossen werden. Die Papierflächen sind dann gleichmäßig glatt. Damit ist der höchste Grad der Opazität erreicht. Für den Vorgang des Streichens gibt es verschiedenartige Streichanlagen. Gestrichene Druckerzeugnisse sind z.B. „Der Spiegel“.

#### Kunstdruckpapier

Diese sind besonders hochwertig gestrichene Papiere, d.h. die Oberfläche wird durch einen Aufstrich von Kreidemassen oder der Porzellanerde Kaolin völlig geschlossen. Durch zusätzliche starke Satinage erhält es eine hohe Oberflächenglätte. Kunstdruckpapier wird hauptsächlich zur feinen Bildwiedergabe mit hohen Rasterzahlen (60 – 120) verwendet.

#### metallhaltiges Papier (Chromopapier)

Papier in höchster Vollendung. Chromopapier ist nur einseitig gestrichen.

#### genarbttes bzw. geprägtes Papier

Es hat eine geriffelte Oberfläche. Es wird erstens für Akzidenzdrucksachen wie z.B. Visitenkarten und Briefpapier verwendet. Zweitens spielt ein derart haptisch auffälliges Papier häufig bei der Buchherstellung eine Rolle und zwar beim sog. Vorsatzpapier. Das Vor- und Nachsatzpapier erfüllt die technische Funktion Buchdeckel und Buchblock zusammenzuhalten.

## **4 Weg des Recyclingpapiers**

### **4.1 Sammlung, Trennung, Transport**

Sorgfältiges Sammeln und Sortieren macht das Papier zu einem wertvollen Rohstoff. In der BRD werden jährlich 5 Millionen t gesammelt. Aus 130 t Altpapier können ca. 100 t Neupapier gewonnen werden.

#### **Altpapieranteil bei einzelnen Papiersorten:**

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| - Zeitungspapier          | 60 – 70 %  |
| - Hygienepapier           | 50 %       |
| - Verpackung              | 90 %       |
| - Hochglanzwerbeproschüre | fast 100 % |

#### **unterschiedliche Systeme der Altpapierfassung:**

##### ***Bring-System***

- Depotcontainer (Einkammer- oder Mehrkammersysteme)
  - gering verschmutzt
  - hohe Anzahl von Tonnen/Containern
- kurzer Anfahrtsweg  
→ besser in Städten mit hoher Siedlungsdichte

##### ***Hol-System***

- Bündelsammlung (Straßensammlung)  
Nachteil: Kann durchnässt sein  
→ witterungsabhängig
- Monotonnen in privat Haushalten  
→ qualitativ besseres Papier

Das Duale System erfasst Altpapier und Pappe zusammen in einen Container. Es kommt zu einer Mischung der verschiedenen Sorten. Das Sortieren kostet ca. 70 DM/t. Je sortenreiner die Sammlung ist, desto geringer sind die Kosten bei der Wiederverwertung.

Seit der Einführung des Dualen Systems steigt die gesammelte Menge an Altpapier, aber die Qualität wird immer schlechter, da nicht immer nur wirkliches Altpapier in den vorgesehenen Behältern entsorgt wird.

#### **Qualitätsmerkmale:**

- **Sortenreinheit**
- **Verschmutzungsgrad**

Von den Qualitätsmerkmalen hängt das Einsatzgebiet des Altpapiers ab. Für sortiertes Altpapier gibt es Sortenbezeichnungen. Die Sortenliste dient als Verhandlungsbasis zwischen den Altpapieranbietern und Papierfabriken, je nach Qualität und Sortenreinheit werden höchst unterschiedliche Preise verlangt.

## Sortierung

Die Sortierung der Papierfraktion lässt sich noch nicht vollständig automatisieren. Bei Sortiertechniken für Papier geht es vielmehr um innovative Techniken, die gesammelte Altpapiermenge optimal für die manuelle Auftrennung in grafische Papiere und Verpackungspapiere vorzusortieren. Für den Zweck der mechanischen Vorsortierung hat sich eine Technik bewährt, die eine Weiterentwicklung der **Sternsieb-Technologie** darstellt. Dabei besteht die Siebfläche nicht aus einem Metallgeflecht, sondern aus mehreren nebeneinander angeordneten rotierenden Walzen, auf denen sich dicke sternförmige Scheiben befinden. Das Sortiergut wird an einem Ende der Fläche aufgegeben und von den drehenden „Sternen“ weitertransportiert. Je nach Spezifikation kann der Abstand zwischen den sternförmigen Scheiben verändert werden.

Ähnlich arbeitet der neu **Papersort Vario**. Er ermöglicht eine zuverlässige Absiebung von Störstoffen im Altpapier. Zwei synchron zueinander laufende Kurbelwellen ergeben die zur Absiebung notwendige Hoch-Tief-Bewegung. Die aufgesetzten Siebrechen erbringen eine kontinuierliche Vorwärtsbewegung des aufgegebenen Papiermaterials und die hierauf montierten, variabel einstellbaren Stahllamellen erlauben eine exakte Definition der gewünschten Blattgrößen und Sortierqualitäten.

## 4.2 Reinigung von Altpapier

### Grobreinigung

Der erste Schritt beim Papierrecycling ist das **Suspendieren**. Hierbei lösen sich die zusammenhaftenden Papierfasern voneinander. In den meisten der 213 Papierfabriken wird das Altpapier dabei in **Pulper** gegeben –große Bottiche mit einem Fassungsvermögen zwischen 4.000 und 80.000 Litern, in denen das Papier in Wasser eingerührt wird. Durch das Aufweichen und Durchrühren lösen sich die Fasern. Die entstehende Masse wird am Boden des Bottichs abgesaugt und durch Pressen grob entwässert.

Moderne **Trommelpulper** leisten im Prinzip dieselbe Arbeit, weisen aber eine erheblich größere Durchsatzleistung auf.

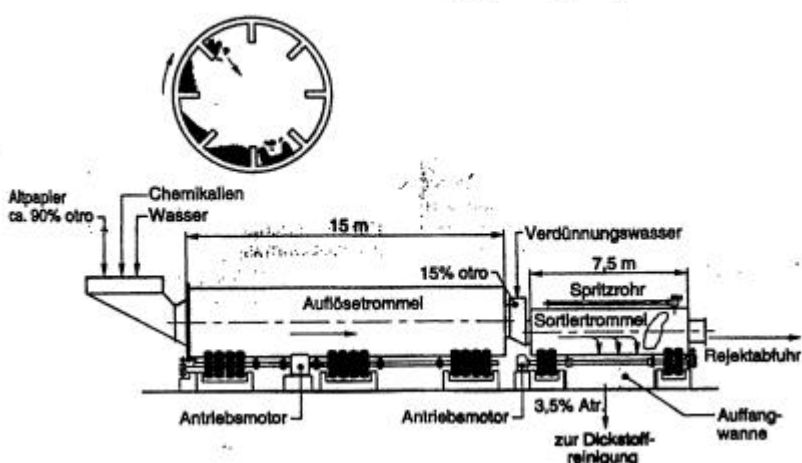


Abb.9: Auflösetrommel für Altpapier

## Dickstoffreinigung

Im zweiten Schritt wird die Fasermasse gereinigt. Diese Stufe entfernt anhaftenden Schmutz sowie Störstoffe wie Heftklammern, Rückenleimungen und Kunststoffklebestreifen. Auch Fehlwürfe wie Holz, Kork, Polystyrol und andere Kunststoffe werden aussortiert. Bei diesen Verunreinigungen setzen die Betriebe **Tangentialreiniger** und **Leichtschmutz-Cleaner** ein. In einem konisch zulaufenden Zylinder wird der verschmutzte Faserbrei in einem Wirbel beschleunigt. Stoffe, die leichter als die Papiersuspension sind, transportiert der Wirbelstrom nach oben, wo sie abgeschöpft werden. Schwere Materialien werden unten abgesaugt. Eine Reihe nachgeschalteter Siebe und Schlitze entfernt die gleich schweren Stoffe wie Kleb- und Kunststoffreste.

## Druckfarbentfernung – Deinking

Je nach Papier- oder Kartonsorte, die hergestellt werden soll, folgt anschließend ein **Entfärbungsvorgang**, das Deinking (ink = engl. für Tinte). Druckfarben bestehen aus den farbgebenden Pigmenten (bei schwarzer Farbe handelt es sich meist um Ruß), einem Lösemittel auf Öl-, Wasser- oder Alkoholbasis und einem Bindemittel aus Ölen oder Harzen, die Pigmente und Papieroberfläche miteinander verbinden. Diese Stoffe müssen gelöst und entfernt werden.

Zwei Deinking-Verfahren haben sich in den vergangenen Jahren etabliert:

- Beim **Flotations-Deinking** wird in einer Flotationszelle der Papiermasse Wasser, Natronlauge und Seife zugesetzt. Luftdüsen erzeugen einen Schaum, an dessen Bläschen sich die Farbbestandteile anhängen und an die Oberfläche treiben, wo sie abgeschöpft werden.
- Das **Wasch-Deinking** befreit die Fasern auf mechanischem Weg von den Farben, wobei eine mehrfache Entwässerung der Behälter und erneute Wasserzugabe erforderlich sind.

In Deutschland arbeiten derzeit 29 Deinking-Anlagen mit einer Gesamtkapazität von rund 4,2 Millionen Tonnen pro Jahr.

War Papier früher nur mit auf Ruß beruhendem Schwarz bedruckt, so enthält das moderne Papier viele komplizierte Farbstoffe. Aufgrund teilweise sehr hoher Stabilität und Haftung ist ein Deinking nicht problemlos und man erhält nach einfachem Recyceln graues bis grünstichiges Papier (Umweltpapier für Kopierer, Papierhandtücher). Manche Lackschichten sind bereits durch mechanische Behandlung und Kochen abtrennbar (z.B. Hochglanzpapier).

Sollte das Papier zu hell geworden sein, kann man es ja wieder einfärben. Denn das Problem beim Deinking ist, dass durch die moderne Technologie das Verfahren so verfeinert worden ist, dass man eigentlich ohne besonderen Aufwand auch gleich rein weißes Papier herstellen könnte. Nur ist es dann nicht mehr als Umweltpapier verkäuflich. Manche Hersteller färben es deswegen grau

## **4.3 Probleme beim Recycling**

- Braune Fasern, z.B. Kartons, lassen sich nicht in weiße Fasern umwandeln. Daher müssten die **Kartons** eigentlich getrennt gesammelt werden. Die Verbraucher zerkleinern diese aber und vermengen sie mit dem restlichen Altpapier. Diese Bruchstücke werden am Fließband per Hand aussortiert.  
Immer öfter enthält sortiertes Altpapier zuviel Karton und Verunreinigungen. Daher haben die Papierfabriken Probleme Papiere mit gleichbleibender Qualität herzustellen. Die Papierfabriken müssen die Kosten für die Entsorgung tragen, die bei guter Vorsortierung nicht notwendig gewesen wäre.
- Nach 8 – 10 Recyclingschritten sind die **Fasern zerstört**, weil bei jedem Verwertungsvorgang sich die Fasern zerkleinern, die das Papier zusammenhalten. Wenn sie zu kurz sind, haften sie nicht mehr aneinander.
- Ein weiteres Problem für das Recycling sind die **Durchschreibepapiere**, da sie Kohlepapiere enthalten, die nicht ins Altpapier gehören.
- Durch Zunahme des Altpapierrecyclings sinkt der **Anteil an frischem Altpapier**.

## 4.4 Zahlen

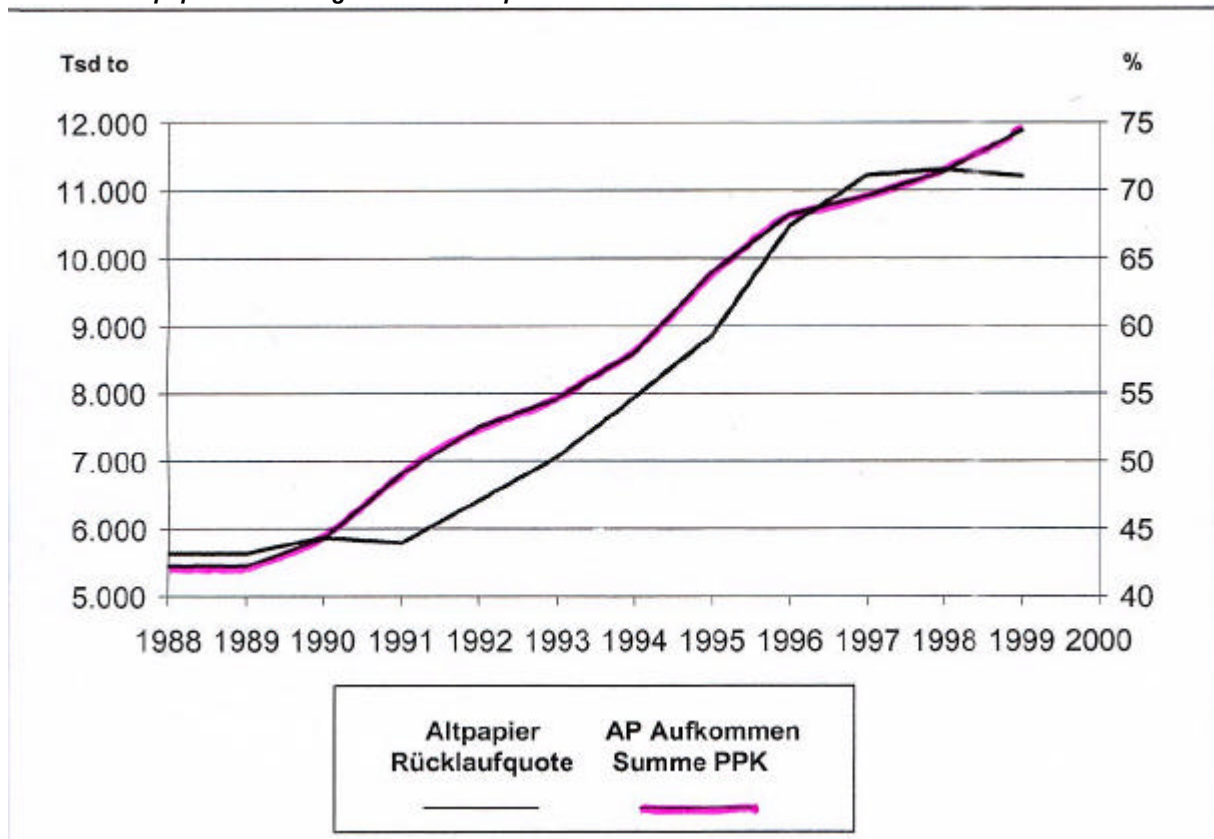
**Tabelle 1: Altpapierquoten (in %)**

### Altpapierquoten (in %)

|                  | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Einsatzquote     | 49   | 50   | 52   | 54   | 56   | 58   | 60   | 61   | 61   | 61   |
| Rücklaufquote    | 44   | 47   | 50   | 56   | 59   | 67   | 71   | 71   | 71   | 73   |
| Verwertungsquote | 40   | 40   | 43   | 45   | 50   | 54   | 58   | 59   | 59   | 58   |

|                  |   |
|------------------|---|
| Einsatzquote     | $\frac{\text{AP-Verbrauch}}{\text{Papierproduktion}}$ |
| Rücklaufquote    | $\frac{\text{AP-Aufkommen}}{\text{Papier-Verbrauch}}$ |
| Verwertungsquote | $\frac{\text{AP-Verbrauch}}{\text{Papier-Verbrauch}}$ |

**Tabelle 2: Altpapier-Erfassung und Rücklaufquote**



**Tabelle 3: Papierindustrie: Produktion, Import, Export und Verbrauch**

**Papierindustrie: Produktion, Import, Export und Verbrauch**  
(in 1.000 t)

|                   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | Veränderungen<br>1990/1999 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| <b>Produktion</b> | 12.773 | 12.762 | 12.941 | 13.034 | 14.457 | 14.827 | 14.733 | 15.930 | 16.311 | 16.742 | 31,1 %                     |
| <b>Import</b>     | 6.931  | 7.375  | 7.438  | 7.190  | 7.593  | 7.168  | 7.267  | 7.858  | 8.423  | 8.700  | 25,5 %                     |
| <b>Export</b>     | 4.243  | 4.200  | 4.640  | 4.575  | 5.715  | 6.172  | 6.447  | 7.661  | 7.661  | 7.800  | 83,3 %                     |
| <b>Verbrauch</b>  | 15.461 | 15.937 | 15.739 | 15.649 | 16.335 | 15.823 | 15.553 | 16.127 | 17.073 | 17.642 | 10,4 %                     |



Quelle: VDP

## 5 Umweltbilanz

- Für die Herstellung von 1 t Papier sind ca. 1,8 t Altpapier erforderlich
- Die Herstellung von Altpapierrohstoff ist bedeutend umweltverträglicher als die Produktion des Zellstoffs aus Primärfasern:  
für 1 t frischen Zellstoff werden 115 m<sup>3</sup> Wasser und 3.300 kWh Strom benötigt,  
für 1 t Altpapierrohstoff nur 16 m<sup>3</sup> Wasser und 1.300 kWh Strom.
- Altpapier ist mit einem Anteil von etwa 44 % mit Abstand der wichtigste Sekundärrohstoff der Papierherstellung.
- Im Bereich der Verpackungspapiere/-kartons ist mit 92 % die Obergrenze für den Altpapiereinsatz erreicht.
- Es wird in Deutschland mehr Altpapier gesammelt, als in der Papierproduktion zurückfließt.
- Unter Umweltaspekten ist eine möglichst hohe werkstoffliche Verwertung grafischer Altpapiere (Recycling) grundsätzlich erheblich günstiger, als die Energiegewinnung aus Altpapier oder als die Altpapierbeseitigung auf Deponien.

## 6 Quellenverzeichnis

### Literatur:

- Das Papierbuch: Handbuch der Papierherstellung, EPN Verlag
- Lehrbuch der Organischen Chemie, Beyer-Walter, Hirzel Verlag
- P.W. Atkins, J.A. Beran: Chemie-einfach alles, S. 908
- Chemische Technologie, Winacker+Kückler, Carl-Hanser-Verlag München, 1972

### Internetseiten:

- [www.vdp-online.de](http://www.vdp-online.de)
- [www.papiertechnologie.de](http://www.papiertechnologie.de)
- [www.tu.berlin.de](http://www.tu.berlin.de)
- [pix.ifp.maschinenbau.tu-darmstadt.de/ifp.html](http://pix.ifp.maschinenbau.tu-darmstadt.de/ifp.html)
- [www.dc2.uni-bielefeld.de](http://www.dc2.uni-bielefeld.de)
- Ingede Faktensammlung Papierrecycling
- Die Welt online vom 22.06.1996

### Sonstiges:

- Der Grüne Punkt –  
Duales System Deutschland; Umweltbundesamt, Ökobilanzen für graphische Papiere