

## 1 Gliederung der Vorlesung „Grundlagen der Zellstofftechnologie“

In der Vorlesung werden folgende Themen behandelt:

- ◆ **Struktur der Faser-Rohstoffe**
  - Aufbau von Pflanzenstützgeweben
  - Morphologischer Aufbau des Holzes
  - Chemische Zusammensetzung von Hölzern
  - Andere Pflanzenfasern als Papierrohstoffe
- ◆ **Chemie und Technologie der Aufschluss-Verfahren**
  - Natron- (Soda-)-Aufschluss
  - Sulfit-Aufschluss
  - Sulfat-Aufschluss
  - Neuere Aufschluss-Verfahren
- ◆ **Bleiche**
  - Optische Eigenschaften von Faserstoffen
  - Oxidative Bleich-Verfahren
  - Reduzierende Bleich-Verfahren
- ◆ **Zellstoffcharakterisierung (Stoffanalyse)**

Rohstoffe für Zellstoffe

### 1.1 Faserquellen für Papier

Das Papier ist im Wesentlichen ein Faservlies. Sein tragendes Gerüst wird von den Fasern gebildet, die früher vorwiegend aus textilen Fasernabfällen (Lumpen), heute zum weit überwiegenden Teil aus Holz hergestellt werden.

Dabei müssen wir zwischen Frischfasern (Zellstoff, Holzstoff) und Recyclingfasern unterscheiden. Die überwiegende Menge von Papierfasern stammt aus Holz, daneben spielen noch Fasern aus Einjahrespflanzen eine gewisse Rolle. Zusätzlich enthält Papier einen hohen Anteil an mineralischen Stoffen und einen mengenmäßig geringen Anteil an Chemikalien.

Abbildung 1 vermittelt eine Vorstellung von der Menge an den Hauptrohstoffen, die im Papier enthalten sind.

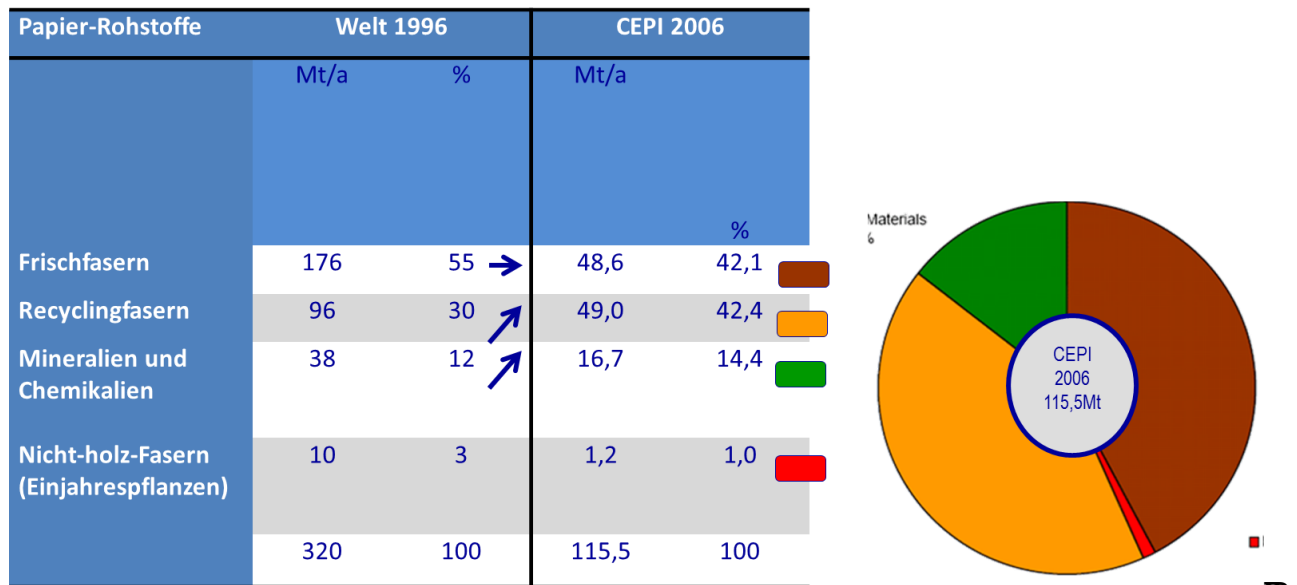


Abbildung 1: Rohstoffanteile im Papier (Quelle Ceperi 2006)

Dabei nehmen der Mineralstoffanteil (Füllstoffe und Pigmente) sowie der Recyclinganteil zu, der Anteil an Zellstoff ist in etwa gleichbleibend (siehe Abbildung 2)

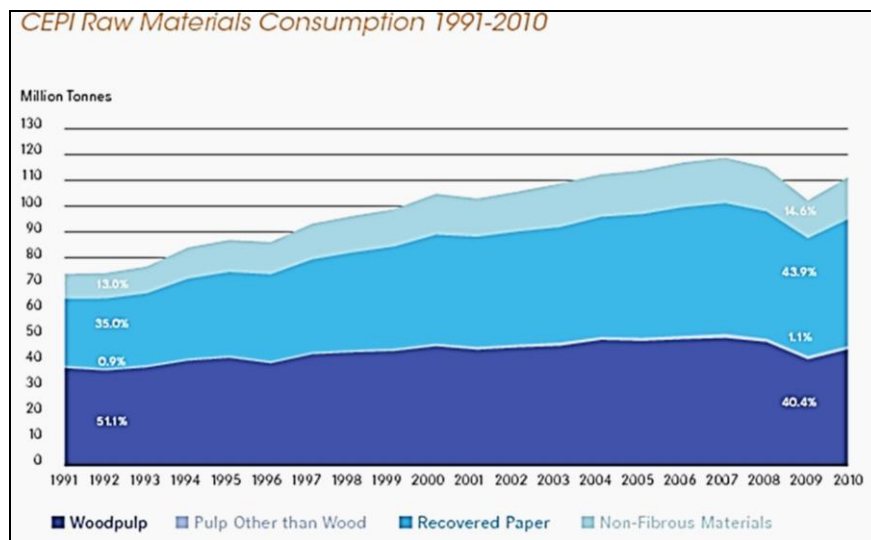


Abbildung 2: Entwicklung der Rohstoffanteile im Papier in Europa

Abbildung 3 zeigt welche Mengen an Rohstoffen in die europäischen Papierprodukte fließen und welche Produkt-Sorten daraus hergestellt werden.

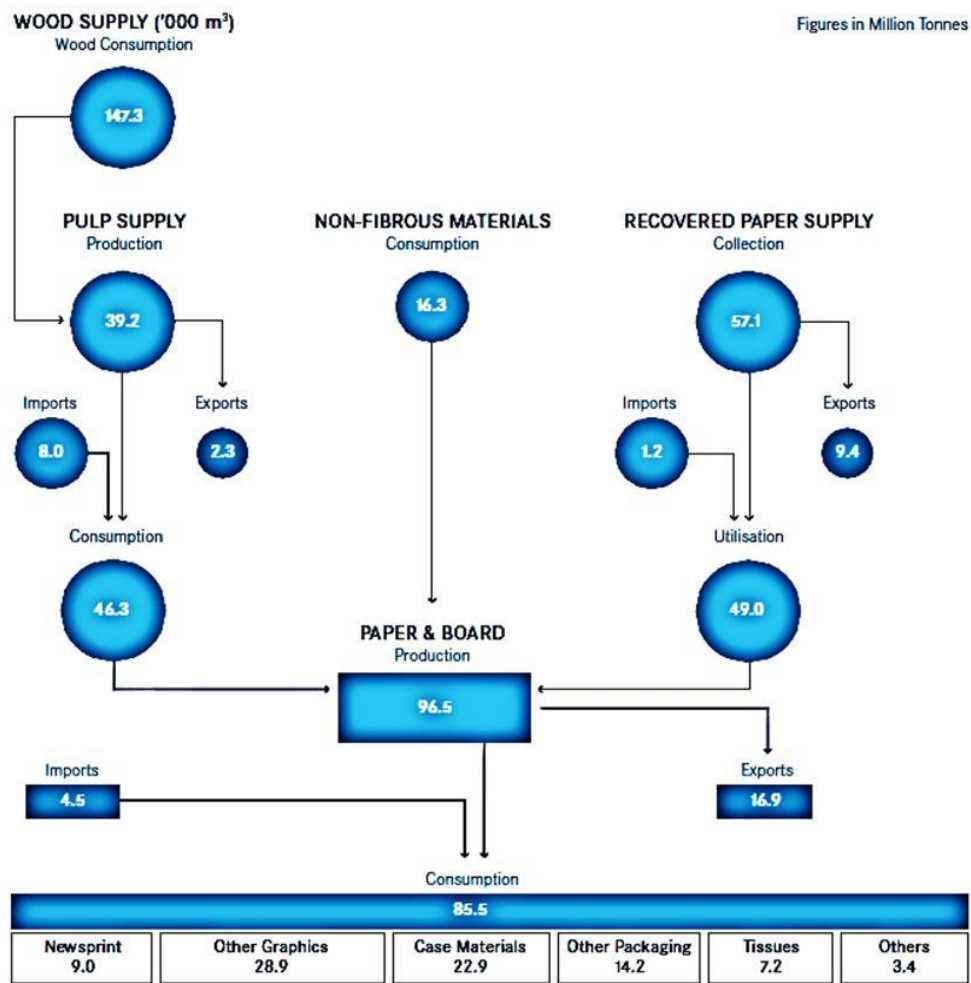


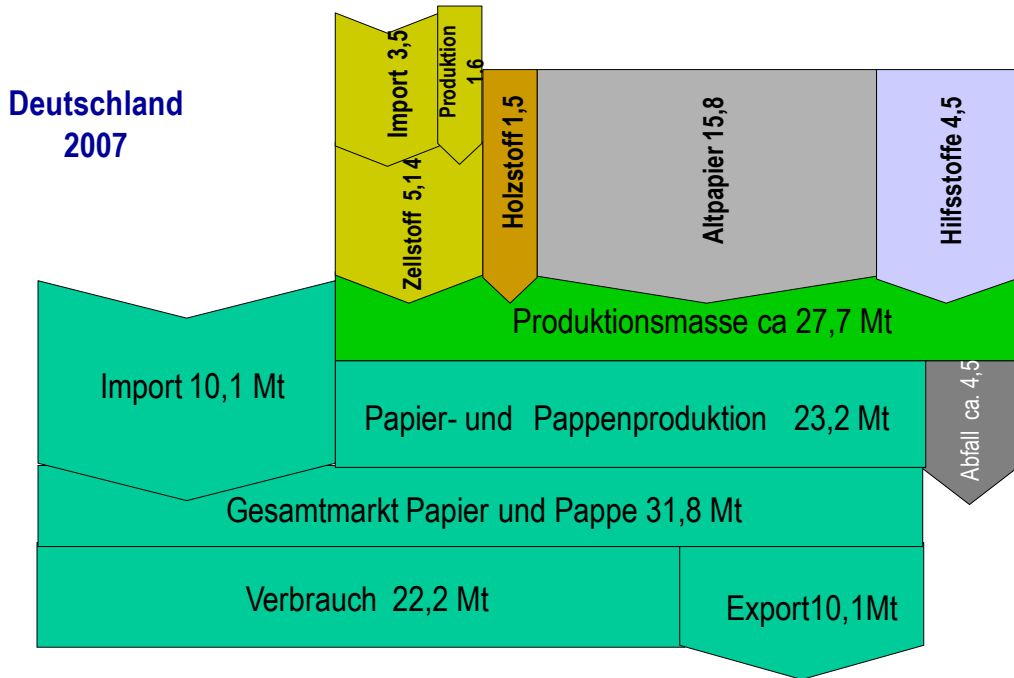
Abbildung 3: Mengenzahlung der europäischen Papierproduktion 2010 (Quelle: CEPI)

### 1.1.1 Primär- und Sekundärfaserrohstoffe

Abbildung 4 zeigt anhand der Stoffflüsse in der deutschen Papierwirtschaft, dass der größte Teil des Faserstoffs durch Altpapier bestritten wird. Daneben sind aber aus Qualitätsgründen die Primärfaserstoffe unverzichtbar. Durch mehrfaches Nutzungs-Recycling sinkt die Faserqualität (wobei gleichzeitig die am stärksten geschädigte Faserfraktion mit dem Abfall ausgeschleust wird). Mit dem importierten Papier werden Qualitäten dem nationalen Papier-Kreislauf zugefügt, die einen relativ hohen Anteil an Frischfasern enthalten, während mit der Exportware ein hoher Anteil an Recyclingfasern aus dem Kreislauf ausgeschleust wird. Dies kommt der Qualität des hier erzeugten Papiers zugute.

Sobald Deutschlands Handelspartner eine vergleichbar hohe Recyclingquote erreicht haben werden, wird diese „Blutaufrischung“ ausbleiben, so dass auch hierzulande wieder etwas mehr Primärfaser eingesetzt werden muss. Zumindest ist hier keine wesentliche Steigerung des Sekundärfaseranteils mehr zu erwarten. Das Verhältnis von Holz- zu Zellstoff wird aber auch wesentlich von ökonomischen Faktoren, vor allem vom Verhältnis des Holzpreises zu den Energiekosten, abhängen. Zellstoff braucht sehr viel weniger Energie (es wird im Gegenteil Energie aus Biomasse erzeugt), aber die Faserstoffausbeute (gemessen am Gewicht) ist hier viel niedriger.

Welche Rolle die Faserstoffe im Papier spielen und woher diese stammen wird deutlich, wenn man die Haupt-Stoffflüsse betrachtet, wie sie am Beispiel Deutschlands in Abbildung 4 dargestellt sind.



Zahlen für Deutschland 2007; Quelle VdP

Abbildung 4: Stoff-Flüsse der deutsche Papierfabrikation

Die weltweite Zellstoffproduktion steigt nur schwach an. Die Produktion in Europa stagniert im Augenblick (Abbildung 5). Im letzten und im laufenden Jahr schlägt zusätzlich die Wirtschaftskrise zu Buche.

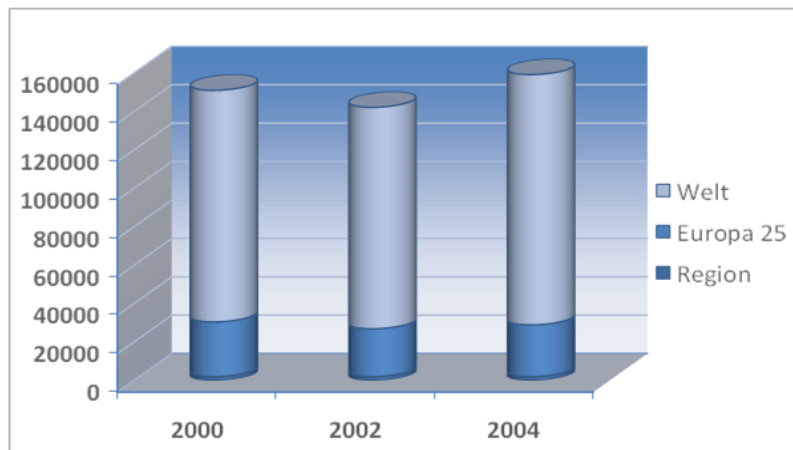


Abbildung 5: Entwicklung der Zellstoffproduktion (Quelle: VdP)

In Deutschland stieg in den letzten Jahren vor der Wirtschaftskrise sowohl der Zellstoff-Verbrauch als auch Produktion und Import. Der verstärkte Handel spiegelt sich darin, dass gleichzeitig auch der Import zunahm. Der Verbrauch an Holzstoff nahm dagegen ab, so dass bei annähernd gleich bleibender Produktion mehr davon exportiert werden konnte (Abbildung 6).

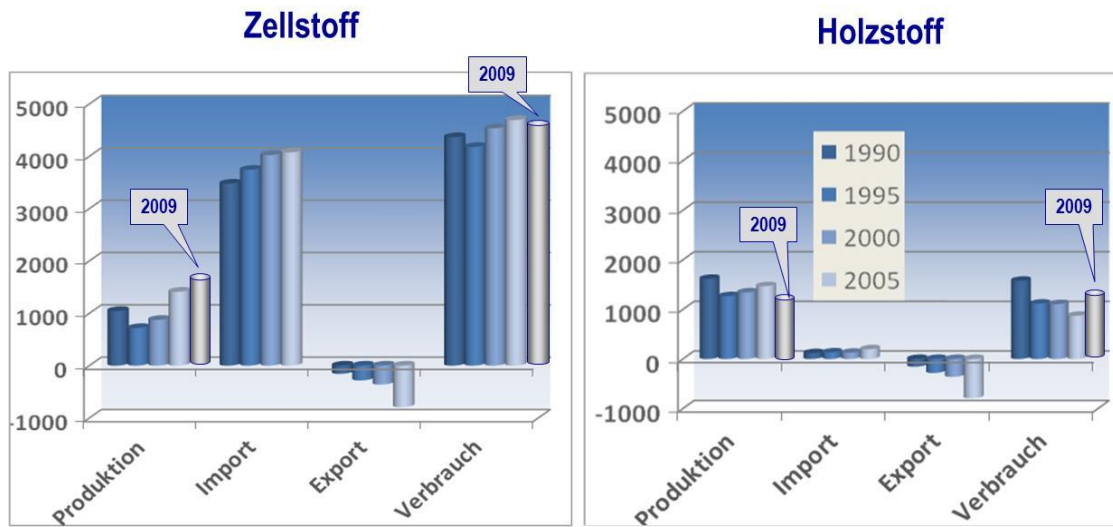


Abbildung 6: Zellstoff- und Holzstoff-Mengenbilanzen für Deutschland (Quelle VdP)

Die Produktion von Nadelholzzellstoff und dem Sulfitprozess überwiegt in Mitteleuropa (Abbildung 7.) Die größte Menge wird integriert für den eigenen Bedarf von Papierfabriken erzeugt. Der Anteil an Marktzellstoff war rückläufig, erhöht sich aber wieder durch Umstellung von Attisholz und Rosenthal (280 kt/a) sowie den Neubau von Stendal (550 kt/a).

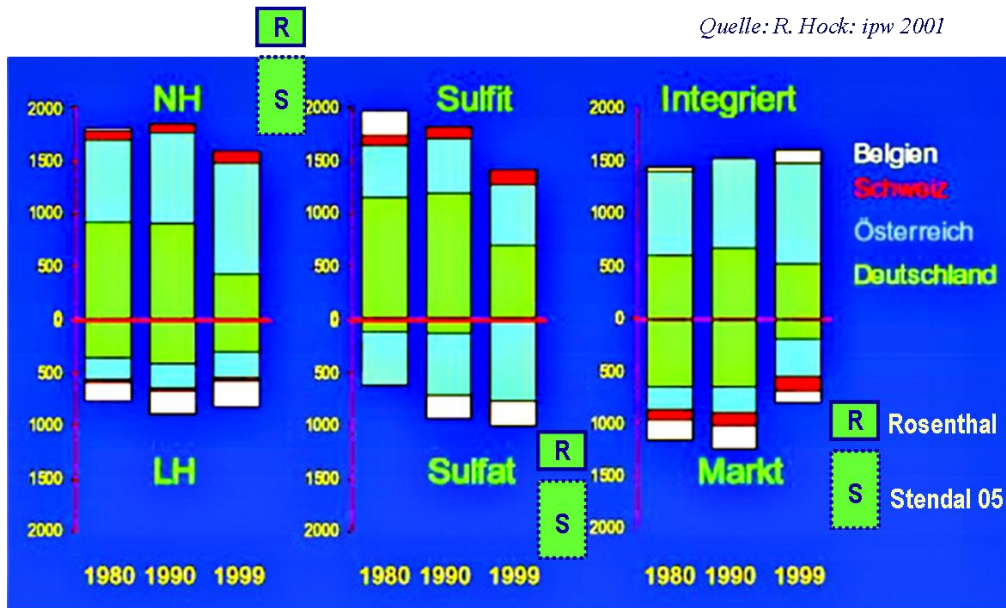


Abbildung 7: Produktionsmengen von Papierzellstoffen in Mitteleuropa

Unter den üblichen Massenfaserstoffen für Papier ist Zellstoff der teuerste. Abbildung 8 zeigt die Preissituation für Deutschland im Jahre 1997. Die Zellstoff-Preise schwanken allerdings traditionellerweise sehr stark, die Relationen zu den anderen Faserstoffen bleiben aber relativ konstant.

Wenn eine Papierfabrik auf demselben Gelände eine Anlage zur Zellstoffherstellung besitzt, die überwiegend dazu dient, den selbst benötigten Zellstoff zu produzieren, spricht man von einer „integrierten Zellstoffproduktion“.

Eine solche Anlage hat viele Vorteile, unter anderem:

- Nutzung der Energieproduktion der Zellstoffanlage zur Strom- und Dampferzeugung (Kraft- Wärme-Kopplung)
- Trocknung entfällt (Energieeinsparung)
- Einfacher Transport: der wässrige Faserbrei kann durch Rohrleitungen direkt in die Maschinenbütte gepumpt werden (Kosteneinsparung)
- Maßgeschneiderte Qualität möglich
- Geringeres Preisschwankungsrisiko (meist verhalten sich Papier- und Zellstoff-Preis antizyklisch, d.h. gerade wenn Papier billig ist, ist der Zellstoff teuer, was den Papiermacher in Schwierigkeiten bringt. Ist er auch gleichzeitig Zellstoffproduzent, kann er die geringen Erlöse beim Papier infolge seiner gegenüber dem Marktpreis günstigeren Zellstoffkosten teilweise kompensieren).

Diesen Vorteilen stehen natürlich auch Nachteile gegenüber (ansonsten würden wir wahrscheinlich nur integrierte Anlagen haben). Zu den Nachteilen gehören:

- Sehr geringe Zwischenlager-Möglichkeit (nasser Zellstoff vergammelt)
- Schlechtere Entwässerung des ungetrockneten Zellstoffs bei der Papierherstellung
- Verunreinigung durch Übernahme von gelösten Bestandteilen („carry over“) aus der Zellstoffproduktion, wenn dieser nicht sehr aufwändig gewaschen wird
- Höherer Kapital-, Platz- und qualifizierter Personalbedarf für das Erstellen und Betreiben der Zellstoffanlage.

Für die Zellstoffproduktion ist der größte Kostenblock die Rohstoffkosten für das Holz (Abbildung 10). Diese sind auch im internationalen Vergleich ein wesentlicher Standortfaktor. Dass TMP und Holzschliff kostengünstiger sind, liegt vor allem an der höheren Ausbeute (Menge an Faserstoff, die man aus einer Tonne Holz gewinnen kann).

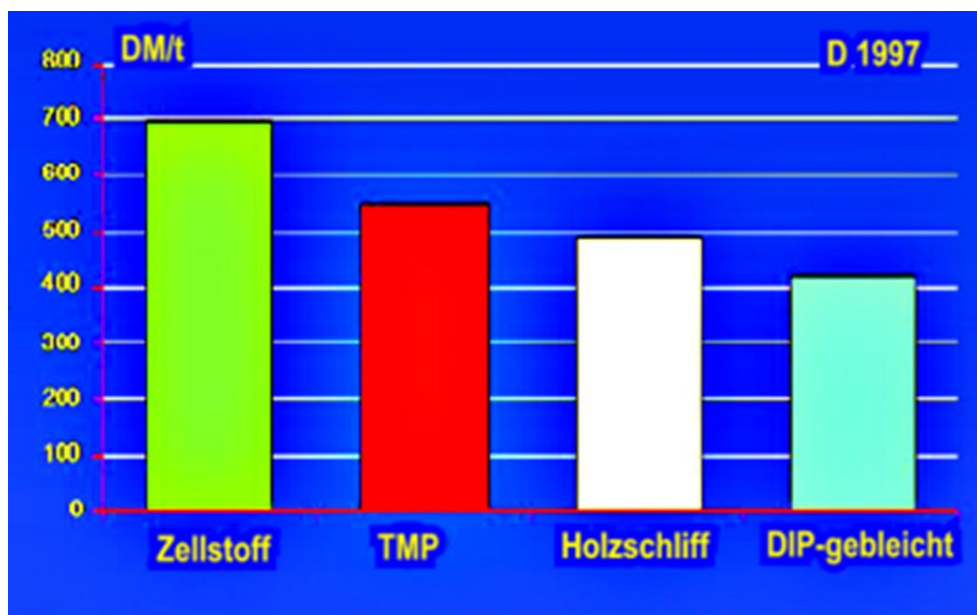


Abbildung 8: Vergleich der Faserstoffkosten für Papier (Zahlen für Deutschland 1997)

Allerdings sind die Rohstoffe insgesamt ein Kostenfaktor, der circa die Hälfte der Herstellkosten von Papier ausmacht (In Abbildung 9 werden hier die Ausgangsmaterialien Holz und Chemikalien berücksichtigt, die auch im Zellstoff stecken).

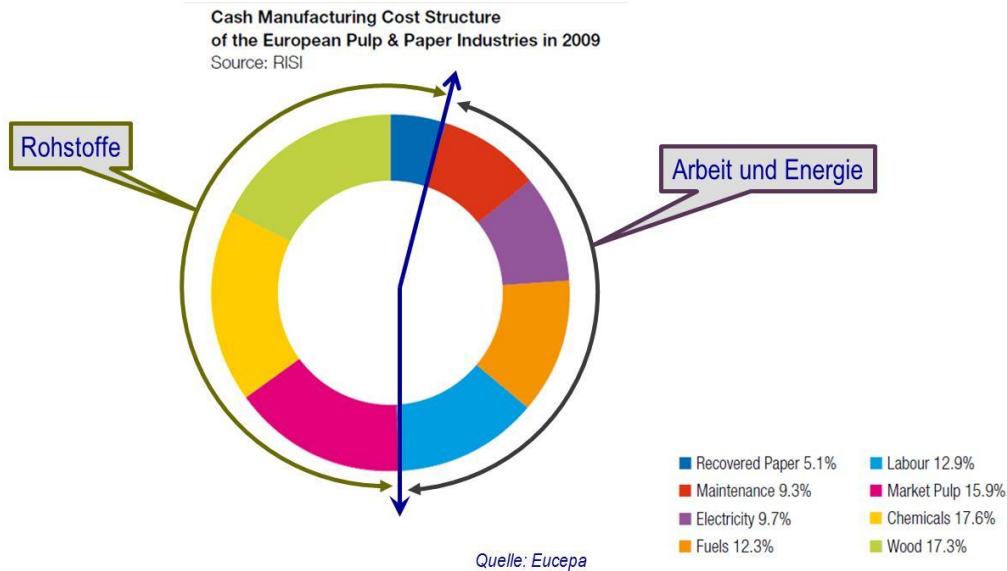


Abbildung 9: Kostenanteil der verschiedenen Kostenfaktoren am Papier

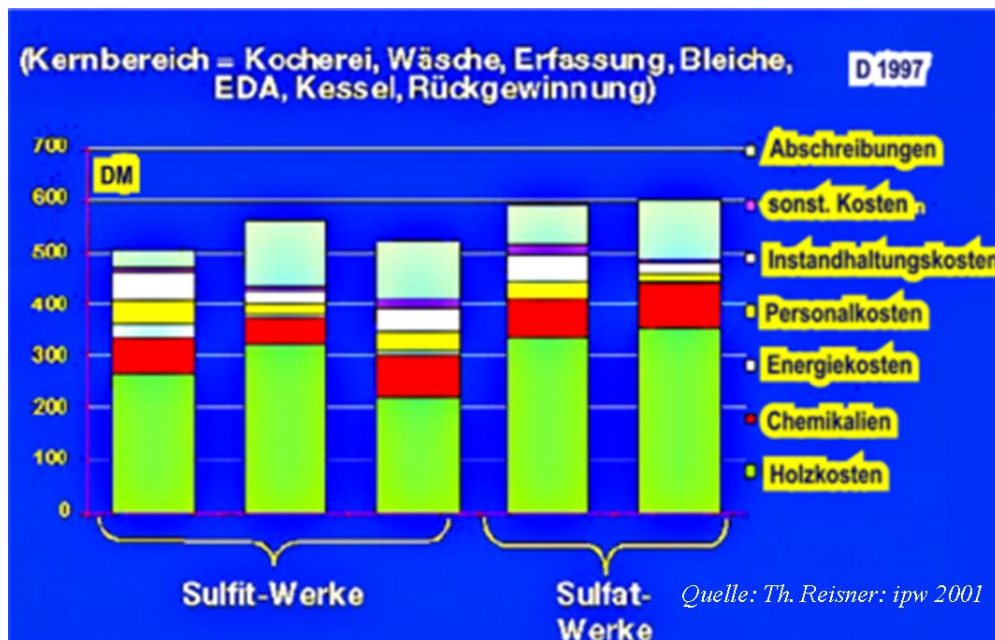


Abbildung 10: Kostenstruktur verschiedener deutscher Zellstoffanlagen (1997)

Neben den Faserstoffen bilden auch mengenmäßig die anorganischen Füllstoffe einen hohen Anteil am Rohstoffeinsatz. Sie werden entweder direkt in die Produktion eingebracht oder indirekt mit dem Altpapier eingeschleust, das neben Fasern auch viel Füllstoff enthält. Quantitativ fallen daneben die chemischen Hilfsmittel (die chemische In-

dustrie spricht lieber von Zusatzstoffen, um nicht so deutlich darauf hinzuweisen, dass sie im Papier nur eine untergeordnete Rolle spielen) kaum ins Gewicht. Als sekundäre Rohstoffquelle spielt in den Industrieländern Altpapier eine erhebliche Rolle (Abbildung 11).

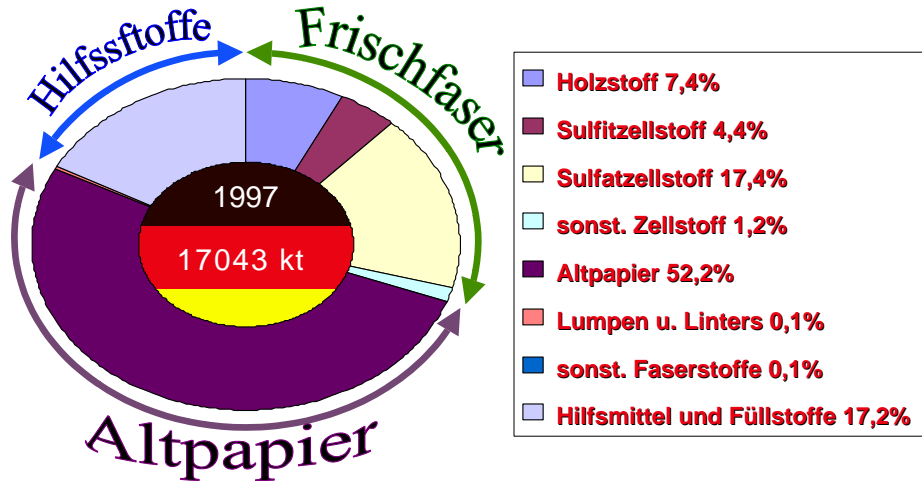


Abbildung 11: Rohstoffaufkommen der deutschen Papierindustrie