

# Energiewende in der Industrie

Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor

## Branchensteckbrief der Papierindustrie

**Bericht an:**

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**

**von:**

Hélène Godin, IER

**in Zusammenarbeit mit:**

Navigant Energy Germany GmbH  
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft  
BBG und Partner

Vorhaben: I C 4 – 80 14 38/42; Projekt-Nr. 42/17  
Projektnummer: SISDE17915  
27.08.2019

*Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.*

## INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Papierindustrie</b> .....                                | <b>1</b>  |
| 1.1 Übersicht über die Papierindustrie .....                   | 1         |
| 1.2 Produktionsprozesse in der Papierindustrie .....           | 6         |
| 1.2.1 Zellstoffherstellung .....                               | 7         |
| 1.2.2 Holzstoffherstellung .....                               | 9         |
| 1.2.3 Altpapierstoffherstellung .....                          | 10        |
| 1.2.4 Papierherstellung .....                                  | 12        |
| 1.3 Chancen und Herausforderungen durch die Energiewende ..... | 14        |
| <b>2. Literaturverzeichnis</b> .....                           | <b>16</b> |
| <b>3. Anhang</b> .....   | <b>17</b> |

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| BAT                             | Best Available Techniques   |
| B2B                             | Business-to-Business  |
| BWS                             | Bruttowertschöpfung   |
| CAGR                            | Jährliche Wachstumsrate (engl. compound annual growth rate)   |
| CCS                             | Carbon Capture and Storage  |
| Cl <sub>2</sub>                 | Chlor   |
| ClO <sub>2</sub>                | Chlordioxid   |
| CO <sub>2</sub>                 | Kohlenstoffdioxid   |
| EEG                             | Erneuerbare-Energien-GEsetz   |
| kWh                             | Kilowattstunde  |
| KWK                             | Kraft-Wärme-Kopplung  |
| MgO                             | Magnesiumoxid   |
| NACE                            | System zur Klassifizierung von Wirtschaftszweigen (frz. Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne) |
| NaClO <sub>3</sub>              | Natriumchlorat  |
| NaOH                            | Natriumhydroxid   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Natriumcarbonat   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Natriumsulfat   |
| Na <sub>2</sub> S               | Natriumsulfid   |
| TMP                             | Thermomechanischer Holzstoff (engl. thermomechanical pulp)  |
| SGW                             | Steinholzschliff (engl. Stone ground wood)  |

## 1. PAPIERINDUSTRIE

Die Papierindustrie beschäftigt sich mit der Herstellung von Zellstoff, Holzstoff, Papier, Karton und Pappe (NACE 17.1) sowie mit der Verarbeitung von Papier-, Karton- und Pappe (NACE 17.2). Der Fokus dieser Studie liegt wegen der größeren Energieintensität auf der Herstellung von Papier und der Produktion der dafür notwendigen Faserrohstoffe (Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe).

### 1.1 Übersicht über die Papierindustrie

**Branche.** Die deutsche Zellstoff- und Papierindustrie hatte in 2015 einen Umsatz von 14,47 Mrd. Euro und erzeugte 22,6 Mio. Tonnen Papier, wobei sie mit einem Anteil von knapp 25 Prozent an der gesamten europäischen Papierproduktion (EU 28) der größte Papierhersteller in Europa ist<sup>4</sup>. Weltweit ist Deutschland nach China, den USA und Japan das viergrößte Erzeugerland von Papier, Karton und Pappe.<sup>5</sup>

**Energiebilanz.** Der Gesamtenergieverbrauch der Papierindustrie betrug im Jahr 2015 etwa 65,7 TWh/a<sup>6</sup>. Während ein Großteil des Wärmebedarfs mit Eigenproduktionsanlagen gedeckt wird, werden 18 Prozent der gesamten eingesetzten Wärme fremdbezogen. Der Anteil der Eigenerzeugung am Stromverbrauch liegt in der Papierindustrie bei insgesamt 46,0 Prozent. Zurzeit liegt der Anteil des in KWK-Anlagen erzeugten Stroms an der gesamten Eigenerzeugung bei 93,0 Prozent<sup>7</sup>.

Wie in **Error! Reference source not found.** dargestellt, werden zur Strom- und Wärmeerzeugung hauptsächlich die Brennstoffe Erdgas, Biomasse (insbesondere Ablauge, Rinde, Produktions-Rückstände, Biogas und zugekaufte Biomasse) und Kohle eingesetzt.

Tabelle 1-1. Kennzahlen der Zellstoff- und Papierindustrie, WZ 17.1 (2015)



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Produktionsstandorte                     | 162 <sup>1</sup>              |
| Arbeitsplätze                            | 40.600                        |
| Bruttowertschöpfung (BWS)                | 10,3 Mrd. € <sup>2</sup>      |
| CAGR BWS (2011-2016)                     | +2,4 % <sup>3</sup>           |
| Jährliche Produktionsmenge               | 22,6 Mio. t Papier            |
| Gesamtenergieverbrauch                   | 65,7 TWh/a                    |
| Stromverbrauch                           | 18,8 TWh/a                    |
| Gasverbrauch                             | 27,7 TWh/a                    |
| Mineralölverbrauch                       | 0,176 TWh/a                   |
| Biomasseverbrauch                        | 13,7 TWh/a                    |
| Kohleverbrauch                           | 4,8 TWh/a                     |
| Gesamte direkte Emissionen               | 7,2 Mio. t CO <sub>2</sub> /a |
| Anteil Strom Eigenerzeugung & KWK-Anteil | 46,0 %<br>93,0 %              |

<sup>1</sup> Außer den Kennzahlen für BWS und CAGR BWS wurden die Daten in dieser Tabelle von dem *Verband Deutscher Papierfabriken* vermittelt.

<sup>2</sup> *Destatis (2017)*. Hier angegeben ist die Bruttowertschöpfung zu Faktorkosten. Dieser Parameter ist ein Maß für die Beurteilung der wirtschaftlichen Leistung und beinhaltet die Bruttoerträge durch betriebliche Aktivitäten nach Abzug der Waren- und Dienstleistungskäufe und nach Anpassung bezüglich der betrieblichen Subventionen und indirekten Steuern.

<sup>3</sup> Berechnet aus den Werten der BWS für 2011 und 2014 mit den Werten aus *Destatis (2013, 2017)*.

<sup>4</sup> *VDP (2018)*.

<sup>5</sup> *VDP (2018)*.

<sup>6</sup> *VDP (2018)*.

<sup>7</sup> *VDP (2018)*.

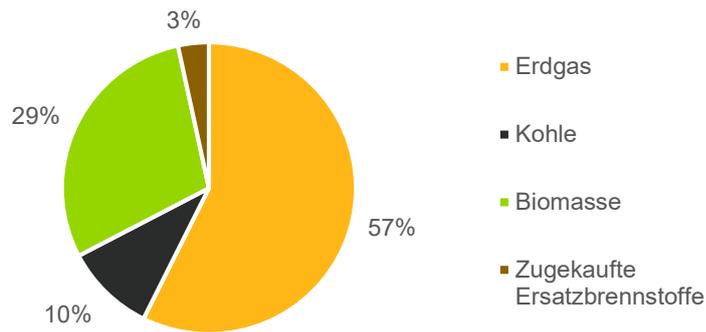


Abbildung 1-1. Eingesetzte Brennstoffe in der Faserstoff- und Papierherstellung (2015)

**Zuordnung zu amtlicher Statistik.** In der amtlichen Statistik ist die Papierindustrie durch den NACE Code 17 gekennzeichnet. Diese Hauptgruppe wird weiter unterteilt in die Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe (NACE Code 17.1) und in die nachfolgenden Schritte der Kette hin bis zum Endprodukt, d. h. die Herstellung von Waren aus Papier, Karton und Pappe (NACE Code 17.2). Da der Fokus dieser Studie auf der energieintensiven Produktion liegt, wird ausschließlich die Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe betrachtet. Diese teilt sich in zwei weitere Unterkategorien auf: Die Herstellung von Holz- und Zellstoff einerseits (umfasst auch die Herstellung von Halbstoffen aus Holz und anderen zellstoffhaltigen Faserstoffen) (NACE Code 17.11) und die Herstellung von Papier, Karton und Pappe andererseits (NACE Code 17.12).

**Geographische Aufteilung.** Die Produktion von Zellstoff findet überwiegend in Regionen mit großen Waldgebieten, wie in Skandinavien, Kanada und Brasilien statt. Deswegen werden in Deutschland ca. 76 Prozent<sup>8</sup> des verbrauchten Zellstoffes importiert. Die wenigen deutschen Anlagen zur Herstellung von Zell- und Holzstoff sind meist in Papierherstellungsanlagen integriert. Da ursprünglich große Mengen an Wasser für den Antrieb des Mühlrades und die Verarbeitung der Lumpen, die als Rohstoff für die Papierstellung dienten, gebraucht wurden, befinden sich die meisten Papierfabriken in Deutschland an Flüssen, insbesondere am Main und am Rhein. Auch wenn die Standorte zur Herstellung von Papier über das ganze Bundesgebiet verteilt sind, herrscht in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Sachsen eine besonders hohe Standortdichte. Bis auf ein Werk in Nordrhein-Westfalen, befinden sich die Anlagen zur Herstellung von Holzstoff in der südlichen Hälfte des Landes. Die Produktionsstätten zur Zellstoffherstellung verteilen sich hingegen gleichmäßiger über Deutschland. Abbildung 1-2 sind die größten Papierherstellungsstandorte markiert.

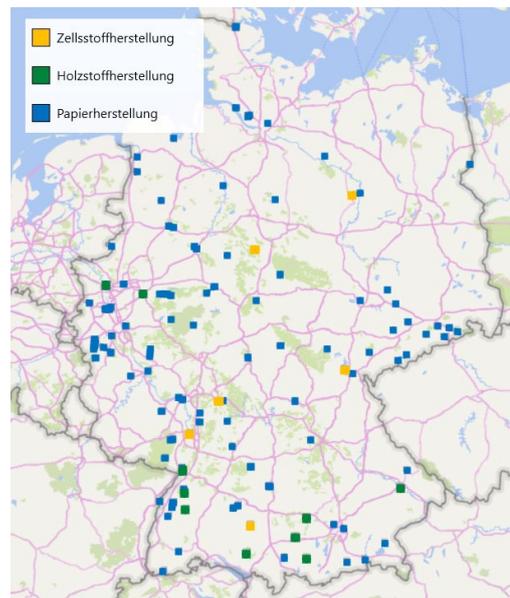


Abbildung 1-2. Standorte der Herstellung von Papier, Zellstoff und Holzstoff in Deutschland in 2015. Außer an einem Standort wird an Faserstoffherstellungsstandorten in Deutschland auch Papier hergestellt.

**Branchenstruktur.** Die Heterogenität der Papierindustrie ergibt sich durch die große Produktvielfalt. Insgesamt gibt es 3.000 unterschiedliche Papiersorten.<sup>9</sup> Dabei machen Verpackungen 49,5 Prozent (z. B. Maschinenkarton und Pack- und Wellpappenpapiere), 38,1 Prozent die graphischen Papiere (wie u. a. Zeitungsdruck-, LWC- und SC-Papiere), 6,5 Prozent die

<sup>8</sup> VDP (2018).

<sup>9</sup> VDP (2018).

Hygienepapiere (Küchenrollen, Taschentücher, Toilettenpapier usw.) und 5,9 Prozent<sup>10</sup> die Spezialpapiere (wie z. B. Dekorpapiere, Tapetenpapiere, Filterpapiere, Isolierpapiere) der gesamten deutschen Produktionsmenge aus. Diese Papiersorten weisen unterschiedliche Faserstoffzusammensetzungen auf, um nach der Veredelung die gewünschten Zieleigenschaften, wie z. B. eine bestimmte Festigkeit, Glattheit der Oberfläche oder das Flächengewicht, zu erreichen.

In 2015 waren 15 Unternehmen für über 72 Prozent der gesamten Papierproduktion verantwortlich.<sup>11</sup> Die Anzahl der Betriebe ist von 167 Betrieben in 2010 auf 162 Betriebe in 2015 gesunken, wobei die gesamte produzierte Menge wenig fluktuiert hat. Es zeigt sich ein Trend zur Verringerung der Anzahl unterschiedlicher Standorte bei insgesamt jedoch relativ konstant bleibender Gesamtproduktion, d. h. hin zu einer Vergrößerung der verbleibenden Standorte.

**Wertschöpfungskette.** Abbildung 1-3 stellt die Wertschöpfungskette der Papierindustrie schematisch dar. In der Regel werden alle Stufen der gezeigten Kette bis zu den verarbeiteten Papierprodukten durchlaufen, bevor ein Produkt vom Endverbraucher erworben wird. Dabei können zwei wesentliche Kategorien an Zwischenprodukten identifiziert werden: Die Faserstoffe bzw. Holz-, Zell- und Altpapierstoff und die unterschiedlichen Papiersorten. B2B-Handel findet vor allem im Bereich der Zellstoffe statt. Ein Teil der Faserstoffe und Altpapiere, welcher für die Papierproduktion in Deutschland benötigt wird, wird aus dem Ausland importiert (7,6 Mio. t in 2015). Ein Teil der Altpapiere und der in Deutschland erzeugten Faserstoffe wird wiederum ins Ausland exportiert (3,2 Mio. t in 2015<sup>12</sup>).

In Deutschland macht Altpapierstoff 75 Prozent<sup>13</sup> der für die Papierherstellung eingesetzten Faserstoffe aus. Daher hat die Altpapieraufbereitung eine besondere Relevanz. In den meisten Papierfabriken Deutschlands ist demgemäß eine Anlage für die Wiederverwertung von Altpapier integriert. Das Recyclingpotenzial ist jedoch durch die Faserqualität beschränkt: mit jedem Recyclingvorgang werden die Fasern kürzer was dazu führt, dass solche Fasern im Sortierprozess nach und nach aussortiert werden und damit verloren gehen. Außerdem können die Anforderungen der Verbraucher und der weiterverarbeitenden Industrie an die Papierprodukte oft nur durch die Zugabe von frischen Fasern erfüllt werden. Aus diesen beiden Gründen wird die Zufuhr von Primärfasern im Papierherstellungsprozess langfristig weiterhin erforderlich bleiben.

<sup>10</sup> VDP (2018).

<sup>11</sup> VDP (2018).

<sup>12</sup> VDP (2018).

<sup>13</sup> VDP (2018).

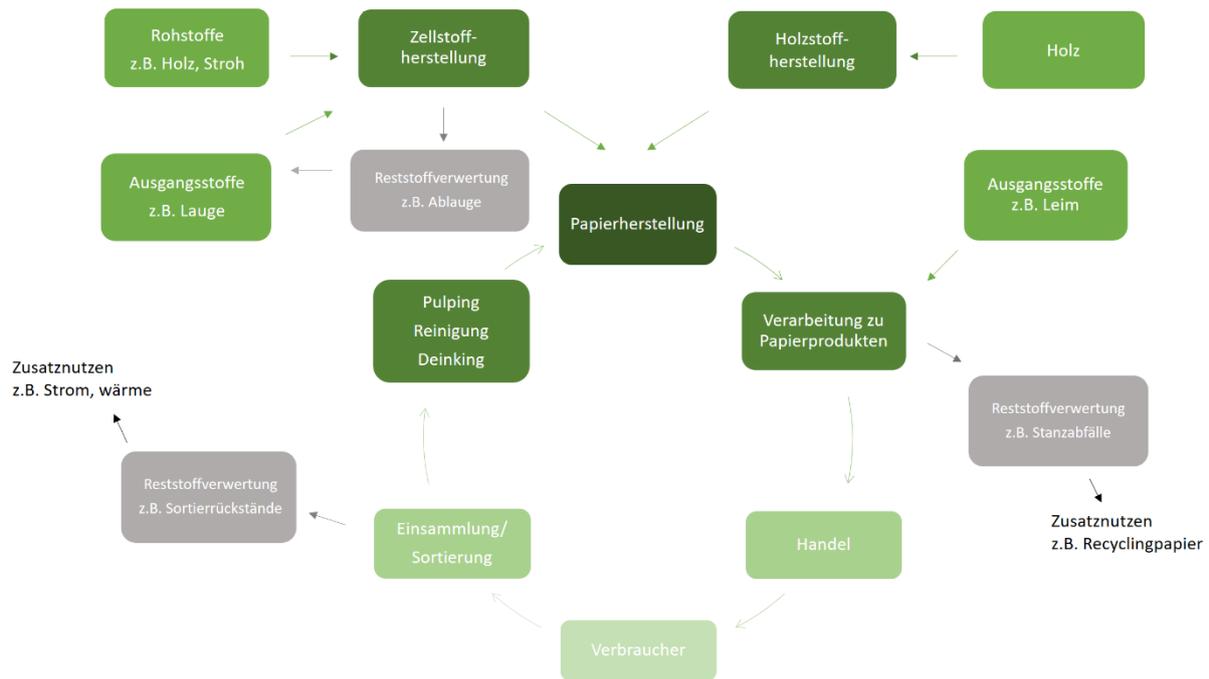


Abbildung 1-3. Vereinfachte Wertschöpfungskette der Papierindustrie

**Flexibilität.** Innerhalb der Papierbranche eignen sich die strombasierten Anwendungen, wie der Hacker bei der Zellstoffherstellung, der Schleifer bzw. Refiner bei der Holzstoffherzeugung und die Pulper und Refiner bei der Faserstoffaufbereitung, für den Einsatz von Demand-Side-Management, da diese Aggregate eine hohe elektrische Leistung und Regelbarkeit erfordern und nachgeschaltete Silos und Büten die Speicherung der erzeugten Zwischenprodukte (bzw. Holzstoff, Faserstofflösung) ermöglichen. Bei kleineren Anlagen ist die Schaltdauer der Faserstoffaufbereitung jedoch häufig stark durch die weiteren Prozessschritte, bzw. die notwendige kontinuierliche Versorgung der Papiermaschine, begrenzt.

Das Flexibilitätspotenzial der Zellstoffherstellung in Deutschland ist durch die insgesamt niedrige installierte Leistung, die hohe Anlagenauslastung und ihre Rolle in der erforderlichen kontinuierlichen Stoff- und Wärmeversorgung der Papiermaschinen an den integrierten Standorten stark begrenzt.

Die Erschließung von Demand-Side-Management setzt den Aufbau von Überkapazitäten, zusätzliche Zwischenlagerkapazitäten und die intelligente Verknüpfung von Prozessen voraus und ist mit zusätzlichen Investitionen verbunden. Diese werden in Abhängigkeit vom Marktwert dieser Flexibilitäten und den Kosten für vergleichbare Flexibilitäten in anderen Sektoren getätigt.

Über 50 Prozent der Standorte der deutschen Papierindustrie verfügen über Eigenstromerzeugungsanlagen mit teils hoher Leistung. Obwohl der flexible Betrieb dieser Anlagen möglich ist, ist er jedoch durch den zu deckenden Strom- und Prozessdampfbedarf in den Anlagen eingeschränkt.

Trotz des sehr hohen Stromverbrauchs eignen sich die Papiermaschinen selbst kaum zum Demand-Side-Management, da sie meistens in Höchstlast betrieben werden und nur eingeschränkt regelbar sind.<sup>14</sup> Ein Teil der Standorte nimmt bereits am Regelleistungsmarkt teil.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Langrock (2014).

<sup>15</sup> Steurer (2016).

**Kreislaufwirtschaft.** Die Idee der Wiederverwendung von Altpapier existiert bereits seit der Erfindung des Papiers.<sup>16</sup> Heutzutage gilt Altpapier mit einem Anteil von 74 Prozent als der wichtigste Ausgangsstoff bei der Papierherstellung in Deutschland. Die Rezyklierbarkeit der Papierprodukte hängt generell von der Zerfaserbarkeit, einem geringen Stippengehalt, sowie der Belastung mit klebenden Verunreinigungen und papierfremden Produktteilen ab<sup>17, 18</sup>. Die meisten „sauberen“ Papiere wie gebrauchte Zeitungen, Karton und Büropapiere lassen sich gut rezyklieren. Kartongen, die mit Speiseresten verunreinigt sind und die meisten Hygienepapiere gehen wiederum dem Papierkreislauf verloren.

Das Ökodesign der zu rezyklierenden Papier- und Kartonprodukte sowie der Hilfsstoffe spielt dabei eine entscheidende Rolle.<sup>19</sup> Bei der Verarbeitung des Papiers zu Endprodukten wie Zeitungen, Büchern oder Verpackungen wird das Ausgangsprodukt durch Chemikalien wie z. B. Druckfarbe und andere Hilfsstoffe verunreinigt. Dies erschwert den Recyclingprozess, da es nicht möglich ist die Chemikalien bereits in den Trockensortierschritten vor der Papierfabrik aus dem Altpapier zu entfernen. Europaweit müssen in den Papierfabriken pro Jahr über 2 Mio. Tonnen dieser chemischen Stoffe aus den Recyclingprozess ausgeschleust werden.<sup>20</sup> Um den Ressourceneinsatz zu verbessern und die Anhäufung von Abfall und nicht rezyklierbaren Komponenten zu verringern, muss das Design der Endprodukte zu einer besseren Rezyklierbarkeit weiterentwickelt werden.<sup>21</sup> Druckfarbenhersteller entwickeln daher bereits heute mineralölfreie Druckfarben aus nachwachsenden Rohstoffen wie Soja- und Leinöl. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen werden diese jedoch nur in sehr geringem Maße in der Druckindustrie eingesetzt.<sup>22</sup>

Technisch wird die Anzahl der Wiederverwertungszyklen zudem durch die mit jedem Rezyklierendendurchgang sinkende Faserqualität begrenzt. Bei der Herstellung von neuem Papier müssen daher ständig frische Primärfasern hinzugegeben werden. Ca. 70 Prozent des dazu in Europa notwendigen Holzes stammen aus nachhaltig bewirtschafteten Waldgebieten.<sup>23</sup>

Weiterhin gilt: Je höher die Anforderungen an die angestrebte Papierqualität sind, desto niedriger können die Einsatzquoten von Sekundärfasern ausfallen. Während die Nachfrage nach den grafischen Papieren tendenziell sinkt, ist im Verpackungsbereich eine Zunahme zu beobachten. Allgemein steigt der Anteil papierfremder Stoffe im Altpapier durch mangelndes Verbraucherverhalten. Hier werden vermehrt Verbundmaterialien und andere Verunreinigungen in der Altpapier-Tonne entsorgt. Darüber hinaus stellen zusätzliche Veredlungsschritte in der Papierherstellung und vor allem der steigende Anteil an rezyklierten Fasern im Altpapier eine Herausforderung für die Herstellung von Papierprodukten hoher Qualität dar.<sup>24</sup>

<sup>16</sup> Martens (2011).

<sup>17</sup> Krauthauf (2002).

<sup>18</sup> Runte et al. (2016).

<sup>19</sup> EACCM

<sup>20</sup> World Economic Forum (2016).

<sup>21</sup> EACCM

<sup>22</sup> Expertengespräch mit VDP (2018).

<sup>23</sup> CEPI.

<sup>24</sup> Dornack et al. (2015).

## 1.2 Produktionsprozesse in der Papierindustrie

Tabelle 1-2. Übersicht über die Zwischenprodukte und Produkte, sowie die jeweiligen Herstellungsverfahren. Daten für 2015 basieren auf VDP Leistungsbericht 2017

|                                  | Produkt                  | Produktionsmenge Deutschland (2015) | Verfahren   |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|
| Faserstoffe/<br>Zwischenprodukte | Zellstoff                | 1,61 Mio. t                         | Sulfatverfahren (Kraft-Verfahren)<br>Sulfitverfahren  |
|                                  | Holzstoff                | 0,95 Mio. t                         | Schliffverfahren Holzschliffverfahren (SGW)<br>Druckschliffverfahren (PGW)  |
|                                  |                          |                                     | Refiner Verfahren Thermomechanisch (TMP)<br>Chemisch-thermomechanisch (CTMP)                                      |
|                                  | Altpapierstoff           | 13,98 Mio. t                        | Rein mechanische Verfahren (ohne Druckfarbentfernung)<br>Chemisch-mechanische Verfahren (mit Druckfarbentfernung) |
|                                  | Papier, Karton und Pappe | 22,6 Mio. t                         | Papiermaschine  |

**Herstellungsprozesse.** Für die Herstellung von Primärfasern wird zwischen dem mechanisch, durch Schliff- oder Refinerverfahren, gewonnenen Holzstoff und dem chemisch, durch das saure Sulfit- oder das alkalische Sulfatverfahren, gewonnenen Zellstoff, unterschieden. Bei der Aufbereitung von Recyclingfasern (Altpapierstoff) werden die Altpapiere zuerst im Pulper durch Zusatz von Wasser dispergiert und die Fasern im Nachhinein - je nach Bedarf - im Deinkingprozess entfärbt. Die Herstellung von Papier, Karton und Pappe erfolgt mittels einer Papiermaschine nach einem Prozess, dessen Prinzip sich seit seiner Erfindung im 18. Jahrhundert nicht verändert hat.

Wenn die Faserstoff- (insbesondere die Herstellung von Zellstoff) und die Papierherstellung an ein und demselben Standort erfolgen, handelt es sich um eine sogenannte integrierte Papierfabrik. In der nichtintegrierten Zellstoffherstellung wird dieser Faserstoff vor dem Transport entwässert und getrocknet.

Tabelle 1-3. Spezifischer Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen der Herstellung von Faserstoffen und Papier<sup>25,26</sup>

| Produkt                           | Strom (kWh/t Produkt) | Brennstoffe (kWh/t Produkt) | CO <sub>2</sub> -Emissionen (kg/t Produkt) |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--|
| Sulfatzellstoff (inkl. Trocknung) | 639                   | 3.056                       | k. A.                                      |
| Sulfitzellstoff (inkl. Trocknung) | 639                   | 4.167                       | k. A.                                      |
| Holzschliff                       | 2.000                 | -556                        | k. A.                                      |
| TMP Holzstoff                     | 2.694                 | -1.111                      | k. A.                                      |
| Altpapierstoff                    | 260                   | 150                         | k. A.                                      |
| Papier                            | 530                   | 1.528                       | 600  |
| <b>Papierherstellung gesamt</b>   | <b>832</b>            | <b>1.767</b>                | <b>627</b>                                 |

<sup>25</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>26</sup> Suhr et al. (2015).

Tabelle 1-3 gibt einen Überblick über den Energieverbrauch der verschiedenen Verfahren in der Papierindustrie. Die negativen Werte für den Brennstoffbedarf der Holzstoffherstellung entsprechen der Freisetzung von Wärme. Es ist wichtig zu betonen, dass der Verbrauch stark von den Eingangsstoffen, den genauen Eigenschaften des herzustellenden Produktes und der Größe der Anlage abhängen. Skalierungseffekte innerhalb der Produktion haben einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind vernachlässigbar. Die nicht prozessbedingten Emissionen werden durch die Energieerzeugung an den jeweiligen Standorten verursacht und sind abhängig von der Dimension der Erzeugungsanlagen und der installierten Technologie. Die meisten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei der Zellstoffproduktion entstehen, kommen aus nachwachsenden Rohstoffen und bedeuten demgemäß keine zusätzliche Belastung für den CO<sub>2</sub>-Kreislauf.

Im Folgenden werden zunächst die Prozesse zur Herstellung von Faserstoffen z. B. Holz-, Zell- und Altpapierstoff beschrieben. Im Anschluss daran wird auf die Papierherstellung eingegangen.

### 1.2.1 Zellstoffherstellung

Der Zellstoff wird hauptsächlich mithilfe von zwei chemischen Prozessen aus Holz gewonnen: Das Sulfat- oder das Sulfitverfahren. Der Sulfat-Prozess, der aufgrund der hohen erreichten Zellstofffestigkeit auch als Kraft-Aufschluss bezeichnet wird, ist mit 80 Prozent der globalen Erzeugung der weltweit meist eingesetzte industrielle Prozess zur Papierzellstoffherstellung.<sup>27</sup>

**Prozess.** Vom Prinzip her sind die Prozesse zur Herstellung von Sulfit-Zellstoff und Sulfat-Zellstoff ähnlich: Die Holzhackschnitzel werden zunächst bei hohen Temperaturen zusammen mit Chemikalien gekocht, um die Fasern aus der Holzmatrix freizusetzen und um das Lignin weitgehend in der Kochlauge zu lösen und aus dem Prozess auszuschleusen. Erst im Anschluss daran erfolgt der Bleichvorgang, um das Restlignin zu entfernen. Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Prozessen liegen in der Chemie des Kochprozesses, dem chemischen Rückgewinnungssystem, der Anzahl an nötigen Bleichschritten und den eingesetzten Mengen an Bleichchemikalien.

Die Herstellung von Zellstoff kann in vier Hauptprozessschritte unterteilt werden: die Rohstoffhandhabung, der chemische Aufschluss (Delignifizierung) mit einem fast vollständig geschlossenen Chemikalien- und Energierückgewinnungssystem, das Bleichen mit einem offenen Wassersystem und das prozesseexterne Abwasserbehandlungssystem. Durch die Verbrennung des heizwertreichen Lignins in der Ablauge lässt sich der Energieeinsatz für den gesamten Zellstoffherstellungsprozess abdecken. Die Chemikalien werden dabei nahezu vollständig recycelt. Zur Herstellung von Marktzellstoff wird der Zellstoff anschließend getrocknet.

**Produktionsstandorte in Deutschland.** 85 Prozent des in den deutschen Anlagen eingesetzten Zellstoffes wird mithilfe des Sulfatverfahrens gewonnen<sup>28</sup> und wird größtenteils importiert. Dennoch wird Zellstoff in Deutschland in zwei Zellstofffabriken nach den Sulfatverfahren erzeugt.<sup>29</sup> Nach dem Sulfitverfahren hingegen wird der Zellstoff in vier industriellen deutschen Anlagen produziert. Das hat historische Gründe, da bis in die 90er Jahre des letzten Jahrhunderts Sulfatzellstofffabriken aufgrund der freigesetzten geruchsintensiven Mercaptane nicht genehmigungsfähig waren. Erst durch die totale Kapselung der Produktionsanlagen mit Absaugung und Vernichtung der entstehenden Gase wurden die Anlagen genehmigungsfähig. Im Gegensatz zu den Sulfatzellstoffherstellungsanlagen sind die deutschen Sulfitzellstoffherstellungsanlagen in Papierfabriken integriert.

**Technische Parameter.** Abbildung 1-4 illustriert die verschiedenen Schritte des Produktionsprozesses sowie die wichtigsten Kenngrößen des Kochprozesses. Der Kochprozess kann sowohl im kontinuierlichen, als auch im klassischen diskontinuierlichen Betrieb abgewickelt werden.

<sup>27</sup> Suhr et al. (2015).

<sup>28</sup> VDP (2018).

<sup>29</sup> In der integrierten Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH in Blankenstein, Thüringen und in der Zellstoff Stendal GmbH bei Arneburg, Sachsen-Anhalt.

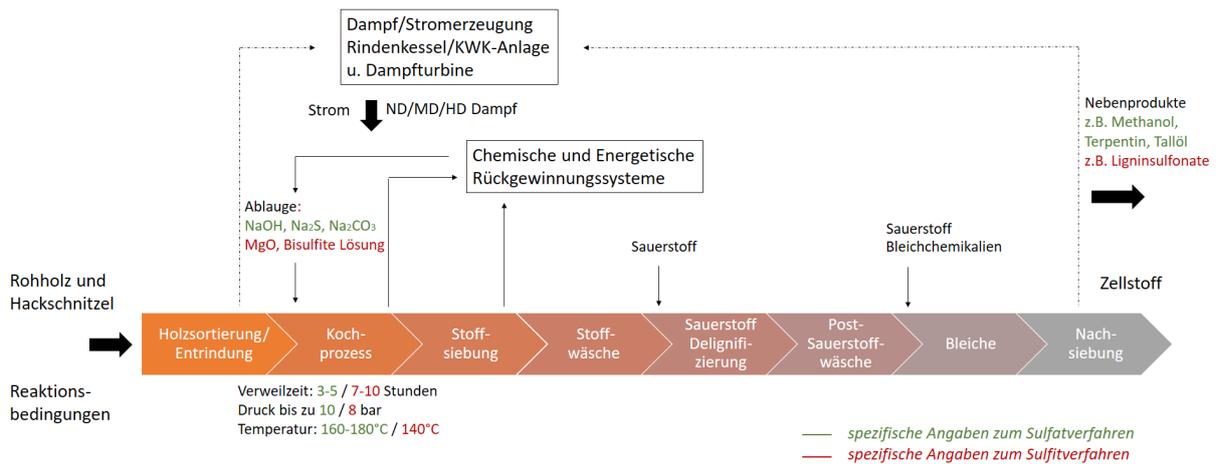


Abbildung 1-4. Hauptprozessschritte der Zellstoffherstellung

**Bedarf an Rohstoffen.** In Deutschland wurden 2015 für die Zellstoffproduktion nach den Sulfat- und Sulfatverfahren als Holzrohstoff 45,5 Prozent Sägenebenprodukte und als Rundholz 43,5 Prozent Nadelholz-Industrieholz sowie 11 Prozent Laubholz-Industrieholz eingesetzt.<sup>30</sup> Als chemische Zusatzstoffe werden im Sulfatprozess hauptsächlich Natriumhydroxid (NaOH), Soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Natriumsulfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) aus dem im Kochprozess Natriumsulfid (Na<sub>2</sub>S) entsteht, und im Sulfatprozess Schwefel, aus dem bei der Verbrennung Schwefeldioxid/Bisulfidlösung entsteht, und Magnesiumoxid (MgO) verwendet. Heutzutage wird in Deutschland mit Sauerstoff, Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) und Ozon gebleicht. Hierdurch wurde Chlor (Cl<sub>2</sub>) und chlorhaltige Verbindungen, wie Natriumchlorat (NaClO<sub>3</sub>) zur Herstellung von Chlordioxid (ClO<sub>2</sub>), aus dem Bleichprozess verdrängt.

**Brennstoffbedarf.** In der technischen Branchenanalyse Suhr et al. (2015)<sup>31</sup> wird deutlich gemacht, dass es erhebliche Unterschiede zwischen dem spezifischen Energieverbrauch der Herstellungsprozesse an verschiedenen Standorten gibt. Dies ist u. a. auf die unterschiedlichen Eigenschaften der eingesetzten Rohstoffe und des erzielten Produktes (getrockneter Zellstoff, Papiersorte, usw.) zurückzuführen. Weiterhin spielt die Größe des Standortes eine wichtige Rolle, da Skaleneffekte eine erhöhte Energieeffizienz ermöglichen. In Tabelle 3-1 im Anhang sind einige exemplarische Werte bzw. Wertebereiche für den Energieverbrauch der Herstellungsprozesse aus der oben genannten Studie zusammengefasst.

In Fleiter et al.(2013) wurden Durchschnittswerte für den spezifischen Strom- und Brennstoffverbrauch der Faserstoff- und Papierherstellungsprozesse ermittelt. Diese Mittelwerte werden in diesem Steckbrief aufgrund der besseren Lesbarkeit gegenüber den Werten von Suhr et al. bevorzugt.

Die Zellstoffherstellung nach dem Sulfat- und Sulfatverfahren geht mit einem spezifischen Brennstoffbedarf von respektive 3.056 kWh/t bzw. 4.167 kWh/t einher. Bei nichtintegrierten Anlagen werden ca. 50 Prozent des Brennstoffverbrauchs durch die Trocknung und Entwässerung bzw. Eindickung des Zellstoffes verursacht und 15 Prozent des eingesetzten Brennstoffes dienen dem Kochen.<sup>32</sup> In allen sechs deutschen Anlagen machen Biomasse und biogene Reststoffe wie z. B. Ablauge und Baumrinde zwischen 30 Prozent (integrierte Standorte) und 100 Prozent des Brennstoffanteils für die Energieerzeugung aus. Um den Wärmebedarf der Papiermaschine zu decken, werden an integrierten Standorten zusätzlich fossile Brennstoffe bzw. Erdgas und Kohle eingesetzt.

<sup>30</sup> Döring et al. (2017).

<sup>31</sup> Suhr et al. (2015).

<sup>32</sup> Fleiter et al. (2013).

**Strombedarf.** Die Sulfat- und Sulfitzellstoffherstellung haben einen spezifischen Stromverbrauch von ca. 639 kWh/t.<sup>33</sup> Auf die Trocknung, das Waschen und Sieben sowie das Bleichen entfallen jeweils ca. 15 Prozent, auf das Kochen 10 Prozent des Stromverbrauchs.<sup>34</sup>

## 1.2.2 Holzstoffherstellung

Im mechanischen Aufschluss werden die Holzfasern durch mechanische Energie, die auf die Holzmatrix einwirkt, voneinander getrennt. Holzstoffe weisen - verglichen mit Zellstoffen - eine geringere Alterungsbeständigkeit auf und verfärben sich mit der Zeit. In Deutschland werden zwei Holzstoffarten erzeugt: Holzschliff (SGW, d. h. Stone Groundwood) und thermomechanischer Holzstoff (TMP, Thermo Mechanical Pulp).

**Prozess.** Beim SGW-Aufschluss werden Stämme unter Zugabe von Wasser gegen einen rotierenden Mahlstein gepresst. TMP Holzstoff wird nach der Behandlung mit Dampf, um die Fasern durch Quellung leichter zu verarbeiten, und durch die Defibrierung (Zerfaserung) von Hackschnitzeln zwischen Metallscheiben hergestellt.

**Technische Parameter.** Die Hauptprozessschritte der SGW- und TMP-Verfahren sind in

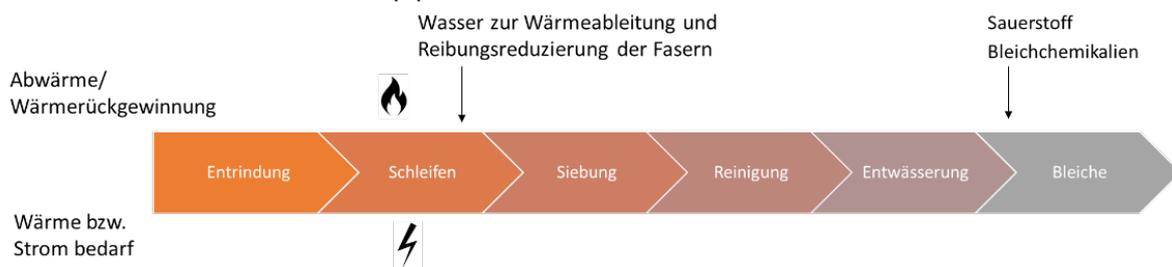


Abbildung 1-5 und Abbildung 1-6 dargestellt. Bei dem SGW-Verfahren haben eine Erhöhung des Schleifdrucks und die Schleifzonentemperatur wesentliche Auswirkungen auf die Festigkeits- und Entwässerungseigenschaften des erzeugten Faserstoffes.

Im Refiner des TMP-Verfahrens werden Temperaturen zwischen 120°C und 135°C benötigt, um den größten Teil der Fasern aufzuweichen und leichter abzutrennen. Ein Großteil, der im Refiner eingesetzten elektrischen Energie, wird in Wärme umgewandelt und setzt den Prozess durch Dampf, der aus Holzfeuchtigkeit und Verdünnungswasser in den Refinern erzeugt wird, unter Druck. Aufgrund der Druckbedingungen (Druck von bis zu 6 bar) kann eine signifikant hohe Energiemenge für andere Prozessschritte, wie die Papier- oder Zellstofftrocknung, zurückgewonnen werden.



Abbildung 1-5. Hauptprozessschritte der Herstellung von Stein-Holzschliff (SGW-Aufschluss)

<sup>33</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>34</sup> Fleiter et al. (2013).

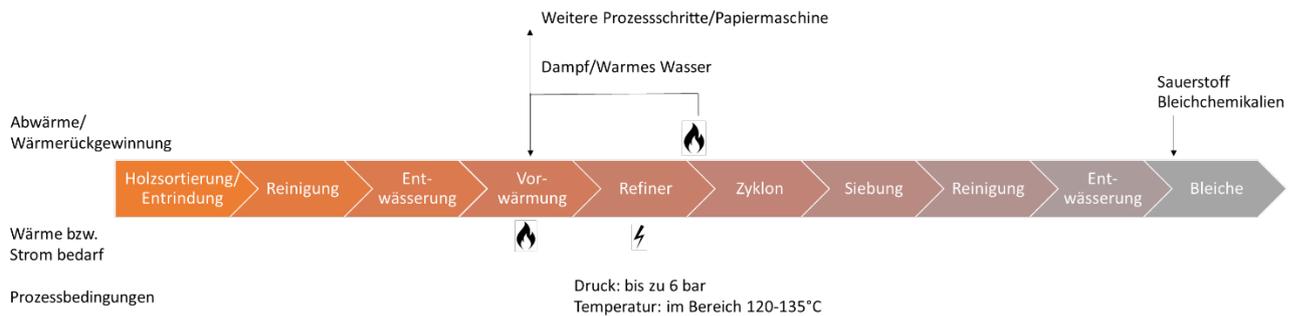


Abbildung 1-6. Hauptprozessschritte der Herstellung von TMP-Faserstoffen

**Produktionsstandorte Deutschland.** Die meisten Anlagen weltweit arbeiten nach dem TMP-Verfahren. In Deutschland gibt es einen Standort mit TMP-Anlage<sup>35</sup> sowie acht Betriebe<sup>36</sup>, die Holzschliff-Anlagen (Holzschleifereien, SGW) betreiben. An allen diesen Standorten wird die Holzstoff- mit der Papierherstellung kombiniert.

**Bedarf an Rohstoffen.** 2015 wurden in Deutschland als Holzrohstoff 84 Prozent Nadelholz-Industrieholz und 22 Prozent Sägenebenprodukte für die gesamte Holzstoffproduktion eingesetzt.<sup>37</sup> Wie bei den Zellstoffherstellungsverfahren werden chemische Zusatzstoffe für den Bleichprozess eingesetzt. Um bestimmte Produkteigenschaften zu erreichen, werden weitere chemische Zusätze, wie z. B. Dispergiermittel, Fixiermittel und Entschäumer, eingesetzt. Um die bakterielle Verschmutzung der Produktionswässer zu verhindern, werden zudem auch Biozide eingesetzt.

**Strombedarf.** Die Holzschliffherstellung und TMP-Holzstoffherstellung gehen mit einem spezifischen Strombedarf von respektive 2.000 kWh/t und 2.694 kWh/t einher. Im Holzschliffprozess sind 90 Prozent des spezifischen Stromverbrauchs auf den Schleifprozess zurückzuführen.<sup>38</sup>

**Brennstoffbedarf.** Durch den Schleifprozess bzw. Refinerprozess wird bei der Holzschliff- und TMP-Holzstoffherstellung -556 kWh/t bzw. -1.111 kWh/t Wärme erzeugt.<sup>39</sup> Die neun Betriebe in Deutschland, bei denen Holzstoff erzeugt wird, benutzen hauptsächlich Biomasse und Erdgas für ihre Energieerzeugung. Die Biomasse stammt dabei aus der Entrindung von Holz für die Holzstoffherstellung und wird entweder energetisch genutzt oder kompostiert.

### 1.2.3 Altpapierstoffherstellung

Nach dem Einsammeln wird das Altpapier in Sortieranlagen nach Struktur und Farbe sortiert, um schließlich zu Verpackungspapier, grafischem Papier, Hygiene-, oder Spezialpapier - mit mehr oder weniger Altpapieranteil - verarbeitet zu werden.

**Prozess.** Das Papier wird zusammen mit frischem Wasser oder Prozesswasser in einen Stoffauflöser (d. h. Pulper) gegeben, die Fasern werden mittels mechanischer Energie voneinander getrennt und es entsteht eine Fasersuspension. Es folgen mechanische Reinigungs-, Siebe- und Fraktionierungsschritte. Danach gibt es optional einen Druckfarbenentfernungsschritt (engl. Deinking), um aus gebrauchten, bedruckten Papieren - wie Zeitschriften- oder Verpackungspapieren - hochwertigere Papiere herzustellen. Meistens erfolgt die Druckfarbenentfernung in sogenannten Flotationszellen, in denen unter Zugabe von Chemikalien die Druckfarbenpartikel in Luftblasen

<sup>35</sup> In 2015 gab es noch zwei Standorte: UPM GmbH Werk Schongau und Norske Skog Walsum. Das Werk Walsum wurde vor 2 Jahren wegen Insolvenz geschlossen.

<sup>36</sup> Baiersbronn Frischfaser Karton GmbH (Baiersbronn), Kabel Premium Pulp&Paper GmbH (Hagen), Katz GmbH & Co.KG (Weisenbach), Stora Enso Maxau GmbH (Karlsruhe), und die UPM GmbH Betriebe in Augsburg, Ettringen und Plattling (MD Papier und Rhein Papier).

<sup>37</sup> Döring et al. (2017).

<sup>38</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>39</sup> Fleiter et al. (2013).

aufgefangen werden. Die Fasersuspension wird entweder vor oder während der Druckfarbenentfernung mittels Dampf auf ca. 100°C erwärmt.<sup>40</sup> Folglich wird die Suspension mechanisch auf ca. 30 Prozent Feststoffgehalt entwässert und je nach Standort und gewünschtem Produkt in einem Disperger nachgearbeitet. Die Dispergierung ermöglicht die Zerkleinerung durch Reibung der noch vorhandenen Schmutzpartikeln und die Erhöhung der Festigkeit bei der Herstellung mancher Papiersorten. Teilweise wird dieser Stoff noch einem weiteren Mahlvorgang im Refiner zur Festigkeitssteigerung unterworfen.<sup>41</sup>

**Technische Parameter.** In Abbildung 1-7 sind die Hauptprozessschritte der Herstellung von Altpapierstoff dargestellt. Prozessschritte, die mit einem Stern gekennzeichnet sind, sind optionale Schritte, die in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Rohmaterials und den Anforderungen an das Zielprodukt eingesetzt werden. Die Stoffauflösung kann sowohl kontinuierlich wie auch diskontinuierlich erfolgen.

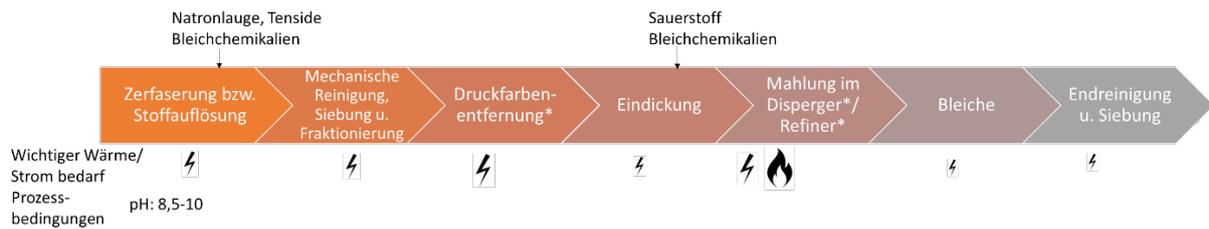


Abbildung 1-7. Hauptprozessschritte der Herstellung von Altpapierstoff

**Produktionsstandorte Deutschland.** Altpapier wird an 95 Standorten in Deutschland eingesetzt.

**Bedarf an Rohstoffen.** Das Papier für den Recyclingprozess wird grob in die untere, mittlere, bessere und krafthaltige Sorte unterschieden. Die Qualitätsanforderungen regelt die DIN EN 643. Altpapier minderwertiger Qualität enthält mehr Unreinheiten und muss deshalb, um die Produkthanforderungen zu erfüllen, intensiver gereinigt werden als hochwertiges Altpapier. Außerdem werden je nach Produkthanforderungen chemische Zusatzstoffe für die Deinking- und Bleichprozesse eingesetzt.

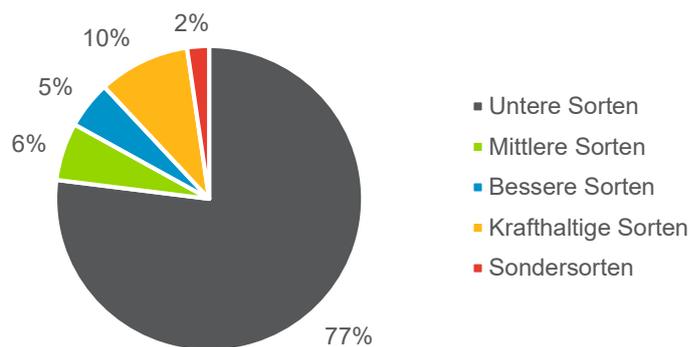


Abbildung 1-8. Anteile der eingesetzten Altpapiersorten für die Herstellung von Altpapierstoff

<sup>40</sup> Suhr et al. (2015).

<sup>41</sup> Suhr et al. (2015).

**Brennstoffbedarf.** Die Altpapieraufbereitung weist einen spezifischen Brennstoffbedarf von 150 kWh/t auf.<sup>42</sup> Der Brennstoffverbrauch ist ausschließlich auf die Entwässerung und das Dispergieren zurückzuführen.

**Strombedarf.** Die Altpapieraufbereitung bringt einen spezifischen Strombedarf von 260 kWh/t mit sich.<sup>43</sup> Im Durchschnitt sind 31 Prozent des spezifischen Stromverbrauchs auf das Deinking zurückzuführen, 20 Prozent auf das Sieben und die Reinigung und jeweils 15 Prozent auf die Stoffauflösung und das Dispergieren.<sup>44</sup>

### 1.2.4 Papierherstellung

Die Zusammensetzung der Fasermischung (Zell-, Holzstoff und rezyklierte Fasern), die für die Papierherstellung eingesetzt wird, hängt stark von der Papiersorte ab. Viele Fabriken, die z. B. Wellpappenpapiere, Kartonagen oder Zeitungsdruckpapiere herstellen, setzen ausschließlich Altpapier ein.

**Prozess.** Zunächst wird ein konstanter Stoffstrom aus Fasern, Füllstoffen und Wasser erzeugt. Dieser wird anschließend mittels Prozesswasser verdünnt, um den gewünschten Faserstoffgehalt (0,1 - 1,4 Prozent) zu erreichen. Außerdem wird er gereinigt, entlüftet und mit einer geregelten Geschwindigkeit in den Stoffauflauf der Papiermaschine gebracht. In der bis zu 250 Meter langen Papiermaschine wird aus der verdünnten Faserstoffsuspension ein Blatt erzeugt, welches durch Filtration, Pressen und thermische Trocknung entwässert und schließlich auf dem Tambour aufgewickelt wird. Zusätzliche Prozesseinheiten zur Oberflächenbehandlung und Veredelung wie Leimpresen, Streichanlagen und Kalander werden je nach Papier- und Kartonqualität entweder vor oder zwischen der Trocknungspartie und der Aufrollung (online) oder außerhalb der Papiermaschine (offline) eingesetzt.

**Technische Parameter.** Die Produktionsschritte der Papierherstellung sind in Abbildung 1-9 dargestellt. Um dem Faserstoff die für die jeweilige Papiersorte benötigten Eigenschaften zu verleihen, wird er vor der Papiermaschine häufig in Refinern nachgemahlen. Je nach Fasermaterial und Papiersorte kann dieser Produktionsschritt sehr energieintensiv sein.

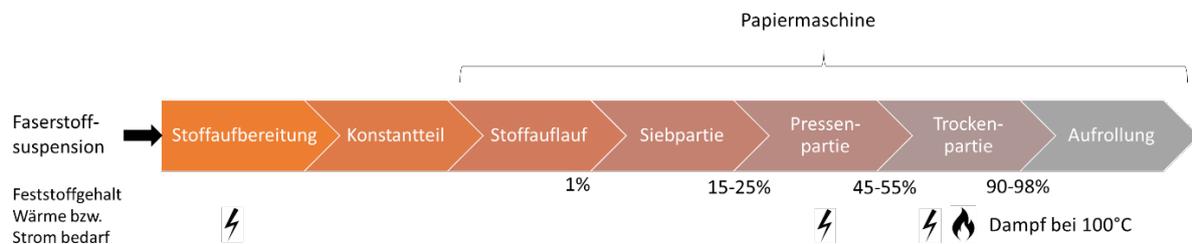


Abbildung 1-9. Hauptprozessschritte der Papierherstellung

**Produktionsstandorte Deutschland.** Im Jahr 2015 wurde Papier an 162 deutschen Standorten hergestellt.

**Rohstoffbedarf und Zwischenprodukte.** In 2015, setzten sich die verbrauchten Rohstoffmengen aus 64 Prozent Altpapier, 4,3 Prozent Holzstoff, 17,3 Prozent Zellstoff und 14,4 Prozent Papierhilfsmittel und Füllstoffen zusammen.<sup>45</sup> Während Verpackungspapiere, Karton und

<sup>42</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>43</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>44</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>45</sup> VDP (2018).

Zeitungspapiere größtenteils (bis zu 100 Prozent) aus Altpapier bestehen, liegt dessen Einsatzrate bei höherwertigen grafischen Papieren wie Bilderdruckpapier nur um die 12 Prozent.<sup>46</sup>

**Brennstoffbedarf.** Die Papierherstellung aus bereits hergestellten Faserstoffen geht mit einem spezifischen Brennstoffbedarf von 1.528 kWh/t einher. Dieser Brennstoffverbrauch ist zu 70 Prozent auf die Erhitzung der Trockenzyylinder innerhalb der Papiermaschine zurückzuführen.<sup>47</sup> Bei der Hygienepapierherstellung wird beispielsweise zusätzlich eine gasbeheizte Trockenhaube eingesetzt.

**Strombedarf.** Die Herstellung von Papier aus den bereits hergestellten Faserstoffen bringt einen spezifischen Strombedarf von 530 kWh/t mit sich. 24,5 Prozent des Stromverbrauchs sind dabei auf das Refining während der Stoffaufbereitung, 19 Prozent auf die Pressenpartie und 17 Prozent auf die Trockenpartie der Papiermaschine zurückzuführen.<sup>48</sup>

**Emissionen.** Wegen des hohen Integrationsgrades der Faserstoff- und Papierherstellung in Deutschland werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Prozesse in diesem Absatz gebündelt betrachtet. Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Papierindustrie entsprachen für das Jahr 2015 einem Wert von ca. 14,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.<sup>49</sup> 49,5 Prozent (7,28 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq) dieser Emissionen sind direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf die Erzeugung der für die Prozesse notwendigen Energie zurückzuführen sind. Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Zellstoff-, Holzstoff- und Papierherstellung sind im Vergleich zu den energiebedingten Emissionen vernachlässigbar.<sup>50</sup> Die indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Faserstoff- und Papierherstellung entsprechen einem Wert von ca. 7,41 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. 26,8 Prozent sind auf den Einsatz von Fremdwärme und 73,2 Prozent auf dem Einsatz von Strom aus dem Netz zurückzuführen.<sup>51</sup>

**KWK.** 75 Prozent der lokalen Wärme in der deutschen Papierindustrie wird in KWK-Anlagen erzeugt. Diese Anlagen werden wärmegeführt betrieben und decken ca. 46 Prozent des Strombedarfs des gesamten Wirtschaftszweigs (NACE Code 17.1). Das weitere Ausbaupotenzial von KWK-Anlagen in der Papierindustrie ist daher begrenzt. Dies gilt insbesondere in der integrierten Zellstoff- und Papierherstellung, da an diesen deutschen Standorten bereits die komplette, für die Produktion benötigte Wärme, aus KWK-Anlagen stammt.

<sup>46</sup> Sappi Europe & Two Sides (2016).

<sup>47</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>48</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>49</sup> VDP (2018).

<sup>50</sup> Fleiter et al. (2013).

<sup>51</sup> VDP (2018).

### 1.3 Chancen und Herausforderungen durch die Energiewende

Die Energiewende eröffnet zahlreiche **Chancen** für die Papierindustrie. Fallende Stromgestehungskosten nach der Ausbauphase erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen können zu einer Verringerung der Strompreise und damit zu einer finanziellen Einsparung und einem Wettbewerbsvorteil für die Papierindustrie führen. Allerdings muss hier beachtet werden, dass sich der Endpreis für Strom neben den Gestehungskosten aus weiteren Bestandteilen, wie Steuern und Abgaben (EEG-Umlage, Stromsteuer, Offshore Haftungsumlage, etc.) zusammensetzt. Wichtig ist daher, dass der Endpreis nicht über den der Wettbewerbsländer liegt. Für die Papierindustrie ebenfalls von Bedeutung ist der Bezugspreis für Erdgas, da die Branche 40 Prozent ihres Stroms in hocheffizienten KWK-Anlagen selbst erzeugt und in den KWK-Anlagen zumeist Erdgas eingesetzt wird.

Die Energiewende kann für einige Werke der Papierindustrie neue Einkommensquellen hervorbringen. Der Ausbau der Fernwärmenetze in Deutschland kann es der Papierindustrie ermöglichen, die nicht innerhalb der eigenen Herstellungsanlagen eingesetzte Abwärme zu vermarkten. Hierfür müssen sich potenzielle Verbraucher, die stetig (Sommer wie Winter) Wärme abnehmen, allerdings in der Nähe der Fabrik befinden. Dies ist in der Praxis häufig nicht der Fall, da sich Papierfabriken zumeist in Randlagen befinden. Die Mengen an abzugebender Wärme sind allerdings begrenzt: Viele Papierwerke haben ihre Prozesse aus Effizienzgründen so angepasst, dass sie entstehende Abwärmeströme selbst nutzen. Für eine Lieferung nach extern stehen daher vorwiegend nur Wärmemengen mit geringem Temperaturniveau zur Verfügung.

Auch die vorhandenen Flexibilitätspotentiale, u.a. in der Holzstoffherstellung und in den Eigenerzeugungsanlagen können zu Kosteneinsparungen und damit höheren Gewinnen für die Papierbranche führen. Im Falle von lokal installierten KWK-Anlagen stellt die Teilnahme am Regelleistungsmarkt und ein gezieltes, am Börsenstrompreis orientiertes Demand-Side-Management ein Beispiel dafür dar.

Weiterhin führen der Einsatz von erneuerbaren Energien in der Zellstoff- und Papierindustrie, wie Biomasse, die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen, die Prozesselektifizierung (Trockenpartie, Dampferzeugung) und die Abwärmenutzung, z.B. anhand von Wärmepumpen innerhalb der Papierherstellungsanlagen, zu einer Senkung des Bedarfs an fossilen Brennstoffen. Die Papierbranche verringert damit ihre Abhängigkeit von fossilen Energieimporten und ist weniger den internationalen Marktsicherheiten unterworfen. Daraus können große Wettbewerbsvorteile für die deutsche Papierindustrie entstehen.

Weiterhin können die durch den frühen Einsatz neuer Technologien verbundenen Risiken durch das Green Image von in umweltfreundlichen Prozessen erzeugten biobasierten Produkten belohnt werden und zu einer Marktführerschaft führen.

Die Energiewende bringt für die deutsche Papierindustrie neben Chancen auch **Herausforderungen** mit sich.

So handelt es sich bei der Papierherstellung bei den meisten Produkten um standardisierte Handelsprodukte, die dem intensiven internationalen Wettbewerb unterworfen sind. Neben der Qualität spielt daher auch der Preis des Papiers eine entscheidende Rolle für die Marktpositionierung einzelner Unternehmen, sodass Kostensteigerungen nicht direkt an die Kunden weitergegeben werden können. Damit unterliegt die Produktion dieser Güter einem hohen Kostendruck, der gegebenenfalls durch die, mit der deutschen Energiewende einhergehenden steigenden Energiekosten (z.B. hohe Stromkosten) und die mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen verbundenen Kosten (z.B. CO<sub>2</sub> Zertifikate, Einsatz von CCS) zusätzlich verschärft werden könnte. Zu beachten ist, dass steigende Umweltschutz-Anforderungen im Produktionsprozess in vielen Fällen zu einem Anstieg des Energieeinsatzes führt.

Bei dem für das Gelingen der Energiewende notwendigen Ausbau der Infrastruktur werden die Kosten, insbesondere für Stromnetzerweiterungen, derzeit von sämtlichen Akteuren am Strommarkt getragen.

Das bedeutet, dass auch die Papierindustrie durch zusätzliche Kosten, z.B. in Form von Netzkosten, Offshore Haftungsumlage, etc. belastet wird. Des Weiteren führen manche Regelungen, wie z.B. die besondere Ausgleichsregelung des EEG zu einer Verzerrung der Konkurrenzsituation innerhalb der Papierbranche, da nicht alle Standorte die Voraussetzungen erfüllen, um von der Ausgleichsregelung zu profitieren.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich durch die fluktuierende Stromerzeugung aufgrund des Ausbaus der Erneuerbaren Energien und das damit erhöhte Risiko von Versorgungsengpässen. Selbst kurze Unterbrechungen in der Stromversorgung von weniger als einer Sekunde können zu beachtlichen Schäden führen, dies gilt insbesondere aufgrund der synchronisierten Produktionsketten in der Papierindustrie<sup>52</sup>.

Die Energiewende verlangt der Papierindustrie hohe Investitionen in neue Prozesse und Technologien ab. Aufgrund langer Investitionszyklen hängt die Rentabilität von Neuinvestitionen jedoch auch stark von der verbliebenen Nutzungsdauer bestehender Anlagen ab. Damit die deutschen Unternehmen sicher in Dekarbonisierungsmaßnahmen investieren können, sollten abrupte politische Entscheidungen und Unsicherheiten während der Entscheidungsphasen vermieden werden. Die erforderlichen Rahmenbedingungen (Gesetzgebung, Rechtssicherheit, planbare Förderung) für sichere Investitionen sollten geschaffen werden.

Aufgrund geringer Erfahrungswerte mit innovativen Herstellungsprozessen und Technologien tragen vorangehende Unternehmen außerdem ein erhöhtes technisches Risiko. Selbst geringe Änderungen der Prozessbedingungen führen zu großen Abweichungen der Produkteigenschaften, die von den Kunden nicht akzeptiert werden. Bei technologischen Nachrüstungen bereits bestehender Produktionsprozesse (z.B. durch die zusätzliche Integration von Wärmerückgewinnungsanlagen) kann es zusätzlich zu Platzproblemen kommen, weshalb sich viele Einspar- und Effizienzoptionen lediglich beim Neubau von Produktionsstandorten und -anlagen umsetzen lassen.

Ein weiteres Hemmnis bei der Umsetzung der Energiewende ergibt sich mit dem zunehmenden Ersatz der Energieträger Gas und Kohle durch Biomasse. Biotisch basierte Reststoffe (z.B. Rest- und Schwachholz) werden immer häufiger energetisch verwendet, welches zu einer direkten Konkurrenz mit der Papierproduktion führt, da dieses Holz auch als Rohstoff in der Papier- und Zellstoffherstellung eingesetzt wird. Aus diesem Grund erhofft sich die Branche künftig eine Förderung der sogenannten Kaskadennutzung des Rohstoffs, bei der das Holz zunächst stofflich als Input bei der Papierherstellung eingesetzt und anschließend energetisch genutzt wird. Aufgrund des enormen Wettbewerbs um die begrenzt verfügbare Biomasse, sollten daher ökonomische und ökologische Anreize systematisch untersucht werden, um den größten Mehrwert zu erreichen.

Aufgrund der zunehmend voranschreitenden Digitalisierung hat die Papierbranche in verschiedenen Bereichen, beispielsweise durch die Bereitstellungen von elektronischen Medien wie E-Zeitungen und E-Magazinen, sowie die digitale Übermittlung von Rechnungen und Dokumenten, einen Rückgang in der Nachfrage nach Grafischen Papieren zu verzeichnen. Einige der Maschinen für Grafische Papiere wurden und werden daher auf die Produktion von Verpackungspapieren umgebaut, was für die Unternehmen mit entsprechenden Kosten verbunden ist und zudem den Wettbewerb in dieser Sortengruppe erhöht.

<sup>52</sup> Groth, M., & Rose, J. (2018). Infrastrukturen (Energie- und Wasserversorgung). In *Hamburger Klimabericht–Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland* (pp. 193-208). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg

## 2. LITERATURVERZEICHNIS

- CEPI - Confederation of European Paper Industries*: <<http://sustainability.cepi.org/forest/>> [Zugriff 2019-06-25].
- Destatis* (2017): Statistisches Jahrbuch 2017 - Kapitel 20. Produzierendes Gewerbe und Dienstleistungen im Überblick.
- Döring, P.; Glasenapp, S.; Mantau, U.* (2017): Holz- und Zellstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Hamburg.
- Dornack, C., Seidemann, C., Kappen, J., Wagner, J.* (2015): Zukünftige Altpapierzusammensetzung in Europa? – Erwartungen, Ursachen und Auswirkungen. In: Thomé-Kozmiensky, K., Goldmann, D., Recycling und Rohstoffe, Bd. 8, TK Verlag Neuruppin, S. 503–514.
- EACCM - European Association of Carton and Cartonboard manufacturers*: <<https://www.procarton.com/sustainability/sustainability/>> [Zugriff 2019-06-25].
- Fleiter, T.; Schlomann, B.; Eichhammer, W.* (2013): Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Hrsg.), IREES GmbH für das Umweltbundesamt, Stuttgart.
- Krauthauf, E.* (2002): Die Rezyklierbarkeit von Druckerzeugnissen beginnt bei der Produktgestaltung, Veröffentlichung im Rahmen des Deinking-Symposiums 2002, Schongau
- Langrock* (2014): Potenzial der Lastverschiebung – Zwischenergebnisse – Vortrag für die AG2 „Flexibilität der Plattform Strommarkt“. Büro für Energiewirtschaft und Technische Planung GmbH im Auftrag vom BMWi.
- Martens, H.* (2011): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis, 1. Aufl., Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
- Runte, S., Putz, H.-J. und Schabel S.* (2016): Entwicklung von Anforderungen an die Rezyklierbarkeit von Papierprodukten.
- Sappi Europe, Two Sides* (2016): Druck und Papier. Mythen & Fakten, Daventry (UK), Brussels (Be), Broschüre, Version 9.
- Steurer, Martin* (2016): Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, Dissertation des IERs, Universität Stuttgart.
- Suhr, M.; Klein, G.; Kourti I. et al* (2015): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the production of Pulp, Paper and Board. Brüssel: Europäische Kommission.
- VDP - Verband Deutscher Papierfabriken* (Hrsg.) (2018): Papier 2018. Ein Leistungsbericht, Bonn.
- World Economic Forum* (2016): Design and Management for Circularity – the Case of Paper, White Paper, Cologny/Geneva, Switzerland.

### 3. ANHANG

Tabelle 3-1: Beispiel von spezifischen Strom- und Wärmeverbrauch in realen Anlagen aus dem Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board<sup>26</sup>

| BAT Reference Document               | Produkt   | Stromverbrauch (durch externe und Eigenversorgung) | Wärmeverbrauch (durch externe und Eigenversorgung) |
|--------------------------------------|---|--|--|
| Zellstoffherstellung                 | Sulfatzellstoff (inkl. Trocknung)   | 700 kWh/t Zellstoff                                | 3.000 kWh/t Zellstoff                              |
|                                      | Sulfatzellstoff (in integrierter Zellstoff- und Papierherstellungsanlage) | 550 kWh/t Zellstoff und 650 kWh/t paper            | 2400 kWh/t Zellstoff und 1700 kWh/t paper          |
|                                      | gebleichter Sulfitzellstoff/ ohne trocknung                               | 550-750 kWh/ADt                                    | 2050-2300 kWh/ADt                                  |
| Holzstoff                            | Druckpapier (Integrierte TMP Holzstoff- und Papierherstellung)            | 3.000 kWh/t  | 1500 kWh/t   |
|                                      | CTMP Holzstoff (nichtintegriert, mit Trocknung)                           | 1800 kWh/t   | 800kWh/t   |
| Altpapieraufbereitung                | Verpackungspapier (ohne Deinking und Dispergieren)                        | 150-250 kWh/t                                      | 0 kWh/t  |
|                                      | Zeitungspapier  | 300-420 kWh/t DIP                                  | 125-250 kWh/t (=0,2-0,4 tdampf/t)                  |
|                                      | Graphisches Papier  | 400-600 kWh/t DIP                                  | 180-350 kWh/t (=0,3-0,5 tdampf/t)                  |
|                                      | Hygiene Papier und Marktzellstoff   | 400-500 kWh/t DIP                                  | 180-300 kWh/t (=0,3-0,5 tdampf/t)                  |
| Papierherstellung (nicht integriert) | Holzfreies Feinpapier (beschichtet und unbeschichtet)                     | 700 kWh/t*   | 900 kWh/t*   |
|                                      | Hygiene Papier  | 900-3100kWh/t                                      | 1270 -5800 kWh/t                                   |
|                                      | Spezialpapier   | 200 kWh/t  | 1700 kWh/t   |