

# Historische Papiererzeugung

Nach und nach wurden die Techniken für die Papierherstellung in Europa verfeinert, bis man schließlich sogenannte Hadern für die Herstellung von Papier entdeckte. Unter dem Begriff Hadern werden im allgemeinen Textilabfälle aus Leinen oder Taue aus Hanf zusammengefasst, die als Grundlage für die Papierproduktion dienten – eine frühe Form des Recyclings. Als Grundlage der Hadern eigneten sich Textilien aus pflanzlicher Herkunft wie Leinen, Hanf und Baumwolle. Tierische Fasern wie Seide, Wolle, etc., erwiesen sich hingegen als ungeeignet.<sup>1</sup> Die benötigte Menge an Hadern, um die Produktion einer Papierfabrik für einen Tag aufrecht halten zu können, lag zu damaligen Zeiten bei knapp 70 kg, in einem Jahr entsprach dies 20.411,66 kg. Auf Grund der damaligen Lage konnten sich die Menschen jedoch oft nur wenig Kleidung leisten, so wurde der Stoff von rund 15.000 Menschen benötigt<sup>1</sup> – eine enorme Menge für damalige Verhältnisse.

Die lange Geschichte des Papiers und dessen Weiterentwicklung bis zum heutigen Produkt finden Sie auf der Lehrerinfo 2 A.



Ein Lumpensammler in Paris, Avenue des Gobelins, Paris, 1899

Mit dem steigenden Bedarf an Kleidung für die Papierherstellung entstand der Beruf des Lumpensammlers. Diese gingen von Haus zu Haus, sammelten alte Kleidung und brachten sie gegen einen geringen Lohn zu den Papiermühlen. Dort mussten sie zuerst von Knöpfen und Schnallen befreit und nach Ton und Feinheitsgrad sortiert werden, eine Arbeit, die oft Frauen und Kindern zufiel. Schmutz und Dreck wurden durch Abkratzen oder Waschen entfernt, in einigen Fällen wurde die Wäsche sogar einem Fäulnisprozess unterzogen, um die Fasern zu bleichen. Oftmals war die Arbeit in den Papiermühlen nicht ungefährlich und die Infektion mit der „Hadernkrankheit“, wie der Milzbrand genannt wurde, war ein stetes Risiko.<sup>2</sup>

Nach der Vorbehandlung wurden die Hadern durch Hämmer mit scharfen Eisenzacken grob zerteilt. Italienische Papiermacher verwendeten hierzu erstmals mit Wasserkraft betriebene Stampfwerke (die sogenannte Nockenwelle): Eine mit Hämmern besetzte Walze, welche mittels eines Mühlrads angetrieben werden konnten und verschiedene Beläge hatte – von großen Zähnen bis ganz glatt. Diese Methode prägte den Ausdruck der „Papiermühle“.<sup>3</sup> Über mehrere Stunden hinweg wurde die Masse zu einem Brei gestampft, zuerst durch mit dünnen Nägeln besetzte Hämmer, die gegen Ende des

Vorgangs durch Hämmer mit einer glatten Holzoberfläche ersetzt wurden. Je nach Gewicht der eingesetzten Stampfwerkzeuge und Materialbeschaffenheit des Textilbreis konnte sich der gesamte Vorgang über 24 Stunden ziehen. Mit dünnen Filtern besetzte Leitungssysteme sorgten dabei für einen konstanten Wasseraustausch.<sup>4</sup>

Die ersten Erleichterungen hielten erstmals 1670 mit dem sogenannten „Holländer“ Einzug, der die Stampfwerke ablöste. Darin befanden sich Walzen, die auf Schienen beweglich waren und nun die Textilien in Stücke rissen. Der so entstandene Textilbrei (das sogenannte „Halbzeugs“) befand sich dazu in ovalen Trögen, die der Länge nach durch eine Trennwand durchzogen wurden. Die Walzen hielten durch ihre Bewegung den Brei entlang der Trennwand im Fluss. Wie auch zuvor erfolgte der Zerkleinerungsprozess in zwei Phasen, die durch eine Ruhepause getrennt wurden. Nun wurde allerdings zu Beginn der zweiten Phase der Holländer ausgewechselt und durch einen Holländer mit feinerem Besatz ersetzt. Denn durch Walzenform und –abstand konnte Einfluss auf die Qualität des Papiers genommen werden.

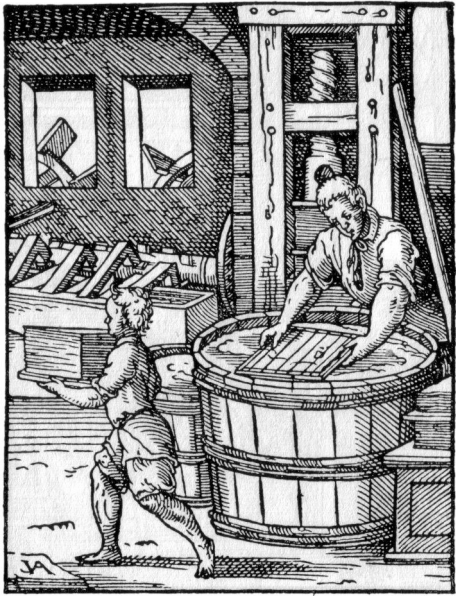
Auch, wenn die Entwicklung des neuartigen Stampfwerks nicht nur die benötigte Arbeitskraft, die Bearbeitungszeit sowie den Maschinenverschleiß verringerte, so führte sie doch zu einem

Qualitätsverlust. Denn durch den starken mechanischen Druck auf die Fasern verloren diese an Länge und wurden so stark gekürzt, sodass das fertige Papier auf Grund der fehlenden Faservernetzung mangelnde Festigkeit aufwies.<sup>5</sup>

Nachdem die Textilien zu dem hadernhaltigen „Halbzeugs“ zerkleinert wurden, fand der eigentliche Schöpfvorgang des Papiers statt. Hierzu wurde der Brei in Schöpfbüten umgelagert, wo die Masse soweit verdünnt wurde, bis sie einen Wassergehalt von 95–99 Prozent erreichte. Mit einem speziellen Sieb entnahm nun der Schöpfer der Bütte ein wenig Papierbrei und bewegte ihn vorsichtig auf dem Sieb hin und her. Dieser Vorgang war notwendig, um die Masse gleichmäßig zu verteilen, zu entwässern, und um die Verfilzung der Fasern zu unterstützen. Außerdem bestimmte es gleichzeitig die spätere Dicke des Papiers. Nachdem der erste Bogen hergestellt war, wurde dieser an den Gautscher übergeben. Dieser drückte den Bogen auf einem Stück Filz ab und gab das Sieb an den Schöpfer zurück. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt, bis abwechselnd 181 Papier- und 182 Filzbögen (ein „Pauscht“) gestapelt waren. Diese Papierbögen wurden zuerst gepresst, die Filzbögen entfernt, ein weiteres Mal gepresst und anschließend – je nach Klima – für bis zu zwei Wochen getrocknet. Hierbei galt besondere Vorsicht, da das frisch geschöpfte Papier zwar gründlich entwässert werden musste (andernfalls litt die Stabilität und es kam zu Stockflecken), dennoch durfte dieser Vorgang nicht übereilt vorgenommen werden, da es sonst zur Bildung von Beulen im Material kommen konnte. Die Regulierung der Luftzufuhr und gelegentliche Benetzung des Trockenraumes mit Wasser ermöglichten es, die Raumfeuchtigkeit ein wenig zu beeinflussen. Die Trocknungsräume waren meist dunkle, luftige Speicherböden der Papiermühlen.<sup>4</sup> Je nach Größe und Qualität des Papiers erreichte ein einzelner Schöpfer an einem Tag innerhalb von 10–12 Arbeitsstunden etwa eine Menge von 3.000 bis 5.000 Bögen Papier, das entspricht ca. 15–25 kg, also ein Blatt Papier alle 6–14 Sekunden.<sup>1,6</sup>

Bei der Papierproduktion war bzw. ist immer noch eine Oberflächenbehandlung des Papiers für dessen Beschreibbarkeit unerlässlich – und das nicht erst seit der industriellen Herstellung. Durch das Leimen wurden die Poren des Papiers gefüllt und so verhindert, dass die Tinte beim Schreiben verläuft. Zu Beginn wurde Leim für die Papierproduktion aus Tierfüßen gewonnen, später bediente man sich Harzleim. Pro Jahr konnte sich der Verbrauch an Schafsfüßen für die Leimproduktion für eine Papiermühle auf bis zu 33.000 Stück belaufen. Nachfolgend an das Leimen wurde das Papier mit mehreren Walzen von unterschiedlicher Härte geglättet und auf Glanz poliert. Ab 1850 bediente man sich für diesen Schritt großen Walzenglättwerken mit mehreren Walzen, sogenannten „Kalandern“.<sup>4</sup>

Die engültige Qualitätskontrolle wurde Blatt für Blatt vorgenommen. Diese fand in der sogenannten Verschleißstube statt. Diese Kontrollen wurde meist von Frauen durchgeführt, die jeden einzelnen Papierbogen gegen das Licht hielten und sie auf Verunreinigungen, flockige oder wolkige Stellen, kleine Löcher oder Flecken kontrollierten. Nur einwandfreie Papiere konnten als erste Qualität verkauft werden. Mindere Qualität konnte nur zu einem geringeren Preis verkauft werden oder wurde wieder ausgekocht (um den Leim von den Fasern zu lösen) und recycelt. Der Qualitätskontrolle folgte ein weiterer Pressvorgang, das Zählen der Bögen, sowie das Falten und Verpacken. Die Sortierung von Hand wurde noch bis in die 1960er Jahre durchgeführt – zumindest bei Papier, das in Bögen verkauft wurde. Erst durch die maschinelle Herstellung von Papier zum Massenprodukt wurde die Qualitätskontrolle von Maschinen übernommen, die mit Hilfe von Lichtreflexion, Durchleuchtung oder Abtasten Fehler ermittelten.<sup>4</sup>



Holzschnitt aus dem Ständebuch von Jost Amman ,1568.

Im Ständebuch wird das Bild von folgendem Text von Hans Sachs begleitet:

Ich brauch Hadern zu meiner Mül  
 Dran treibt mirs Rad deß wassers viel,  
 Daß mir die zschnitn Hadern melt,  
 Das zeug wirt in wasser eingequelt,  
 Drauß mach ich Pogn auff de filtz bring,  
 Durch preß das wasser darauß zwing.  
 Denn henck ichs auff, laß drucken wern,  
 Schneeweiß und glatt, so hat mans gern.

(Anmerkungen: Hadern = Lumpen; melt= mahlt; Pogn = Bogen; preß = Pressen; drucken = trocken)

## Die industrielle Herstellung von Papier

Heutzutage wird Zellstoff aus Holz, Altpapier oder Pflanzen gewonnen, Hadern spielen (außer bei der Herstellung von Geldscheinen) kaum noch eine Rolle. Die Produktion wurde stark modernisiert: Der mechanische Aufschluss von Holz ermöglicht die Holzschliffgewinnung als Basis für holzhaltiges Papier, aufgereinigtes Altpapier und Zellstoff dienen als Quelle für holzfreies Papier, das auf Grund der eingesetzten Chemikalien von seinem Ligninanteil abgetrennt wurde und so über optimierte Lager- und Nutzeigenschaften verfügt.

Heute zählen wir über 3.000 verschiedene Papiersorten. Diese werden zu den verschiedensten Produkten weiterverarbeitet, zum Beispiel zum Kaffee- oder Industriefilter, zum Teebeutel, zum Tetra-Pack, zur Brötchentüte oder auch zum Zementsack. Papier finden wir als Kupplungslamellen in unserem Auto wieder. Papier finden wir auch in unseren Möbeln, im Laminatboden und den Lautsprechermembranen unserer Hifi-Anlage oder unseres TVs und als Tapete an den Wänden unserer Wohnungen.

Laut einer Studie der Welternährungsorganisation FAO wird der weltweite Papierbedarf jährlich um drei Prozent steigen.<sup>7</sup>

In der Neuzeit wird immer mehr über die chemischen Zusätze diskutiert, welche bei der Papierherstellung zugegeben werden. Durch Aufheller, Farben und Bindemittel kann das Papier optisch verändert werden. Je nach gewünschter Papierart werden diese dem Papierbrei zugemischt oder mittels einer Düse aufgetragen.<sup>8</sup>

Noch vor ca. 20 Jahren bediente man sich noch Chlorbleiche mit elementarem Chlor, um aus dem Holzstoff Lignin zu entfernen und so ein Vergilben des Papiers zu verhindern. Seit Ende der

80er Jahre wird in Deutschland keine Elementarchlorbleiche mehr vorgenommen. Aufgrund der umweltschädlichen Wirkung, die ein Sterben von Fisch- und Pflanzenarten nach sich zog. Mittlerweile ist in vielen Bereichen Chlor durch umweltfreundlichere Alternativen, wie Wasserstoffperoxid, Sauerstoff oder Ozon ersetzt worden.<sup>9</sup>

## Herstellung verschiedener Papierarten

Die Methoden der Fasergewinnung lassen sich in drei Gewinnungsverfahren unterteilen:

1. Eine mechanische Gewinnung von Holzstoff bzw. Holzschliff, der als Basis für holzhaltige Papiere dient.
2. Eine chemische Gewinnung von Zellstoff.
3. Eine Fasergewinnung aus dem sekundären Rohstoff Altpapier.

Je nach gewünschter Funktion des Papiers wird das entsprechende Verfahren zur Fasergewinnung gewählt: Preiswerte Magazine und Werbebroschüren sind meist aus mechanisch hergestellten, holzhaltigen Papieren, deren Ligninanteil nicht entfernt wurde; „holzfreie Papiere“ hingegen werden oft als hochwertige, grafische Papiere eingesetzt. Papier mit Altpapiergehalt wird in der Regel als Recyclingpapier, für Zeitungen oder Verpackungspapier verwendet.<sup>10</sup>

### 1. Mechanische Holzstoffgewinnung

Bei dieser Methode wird Holzstoff durch mechanische Bearbeitung (hacken, reiben, quetschen) zerkleinert und aus dem Rohmaterial gelöst. Als Holzstoff wird hierbei der Faserstoff bezeichnet, welcher durch mechanischen Einsatz gewonnen wird. Das so hergestellte Papier vergilbt schnell und verfügt über eine geringe Festigkeit, da die dabei entstandenen Fasern kurz und spröde sind. Der Vorteil dieser Art der Fasergewinnung liegt in ihrer hohen Ausbeute: mehr als 90 Prozent des Holzes kann für die Papierherstellung verwendet werden, in Deutschland liegt die Einsatzquote dieser Methode bei 9 Prozent.<sup>11</sup>

Zur Zerkleinerung werden hierbei zwei verschiedene Verfahren angewandt:

Im **Stein-Verfahren** wird ein 1m langes Rundholz in Spezialmaschinen entrindet und unter Druck und Wasserzusatz an einen rotierenden Schleifstein aus Beton oder Keramik gepresst. Hierbei entsteht Wärme und die Fasern werden aus ihrem festen Gefüge gelöst. Bei den weitverbreiteten sogenannten Stetigschleifern wird durch einen automatischen konstanten Holznachschub für eine damit kontinuierliche Holzstofferzeugung gesorgt, während bei dem älteren Modell der Pressenschleifer eine ständige Beladung nötig ist.<sup>12</sup>

Das **Refiner-Verfahren** beruht auf der Verwendung von Hackschnitzeln, welche im sogenannten Refiner gekocht und anschließend zwischen zwei gegeneinander rotierenden Mahlsteinen zerkleinert werden.<sup>13</sup>

Beiden Verfahren haben gemeinsam, dass das Holz zu Beginn entrindet wird, durch einen mechanischen Prozess zerkleinert und anschließend unter Zugabe von Wasser zu einem Brei mit einer Faserlänge von ca. 4 mm prozessiert wird.<sup>12</sup>

### 2. Chemische Zellstoffgewinnung

Im Gegensatz zur mechanischen Herstellung von Holzstoff werden bei der Zellstoffgewinnung chemische Methoden angewandt. Der Vorteil dieser Herangehensweise liegt darin, dass das Lignin und die Hemicellulosen aus den Zellulosefasern (Zellstoff) gelöst wird und

Ausführlichere Infos zur chemischen Zellstoffgewinnung finden Sie auf der Lehrerinfo 3A.

so Papiere mit einer geringen Vergilbungsrate und hoher Festigkeit entstehen. In Deutschland liegt die Einsatzquote bei 26 Prozent.

Auch hierbei werden je nach angewandter Methodik zwei Verfahren unterschieden:

Das **Sulfitverfahren** bedient sich Schnitzeln aus Fichten-/Laubholz, welche in Kalzium- oder Magnesiumbisulfit-Lösung und schwefliger Säure gekocht werden. Der so entstandene Sulfitzellstoff hat, durch die im Vergleich kürzeren Fasern, Papier mit einer geringeren Festigkeit zur Folge, was sich jedoch gegenüber anderen Verfahren leichter bleichen lässt. Sulfitzellstoff findet häufig in der Herstellung von Hygienepapieren Verwendung.

Im **Sulfatverfahren** werden die Holzschnitzeln in einer Ätznatronlauge mit Schwefelnatriumgehalt gekocht. Durch diesen alkalischen Kochvorgang wird es möglich, auch harzhaltige Hölzer, wie z.B. Kiefer, aufzuschließen, da das Harz beim Kochen verseift. Zur Herstellung äußerst stabiler Papiersorten wird das Sulfatverfahren herangezogen, da auch die bis zu 5mm langen Fasern der Nadelgehölze verwendet werden können. Diese Zellstoffart wird auch „Kraftzellstoff“ genannt.<sup>13</sup>

Bei beiden Vorgehensweisen ist die Ausbeute am Ende relativ gering: da knapp die Hälfte des eingesetzten Holzes aus Lignin besteht, werden 50 Prozent der Holzreste mit Chemikalien verbunden als sogenannte „Schwarzlauge“ abgeleitet. Mittlerweile wird diese in modernen Fabriken zu großen Teilen wiederaufbereitet, früher wurde diese allerdings oftmals in nebenstehende Flüsse geleitet. Der sogenannte Halbzellstoff entsteht, wenn der Prozess der chemischen Ligninauftrennung an bestimmter Stelle unterbrochen wird. Das so entstehende Produkt besitzt noch einen geringen Ligninanteil und verfügt auf Grund dessen über kombinierte Eigenschaften von Holz- und Zellstoff.<sup>11</sup>

### 3. Fasergewinnung aus Altpapier

Der erste Schritt bei der Verwendung von Altpapier als Zellstoffbasis bildet die grobe Vorsortierung und Sammlung durch den Verbraucher. In den Fabriken werden Fremdstoffe manuell abgetrennt und das Altpapier in gepresstem Zustand zur weiteren Verarbeitung abtransportiert. Dort findet dann das sogenannte De-Inking statt. Hierbei werden die Druckerfarben mit Seifenchemikalien vom Papier abgelöst. Luftblasen werden durch den Faserbrei gepumpt, an denen sich die Farbpartikel festsetzen und so an die Oberfläche getrieben werden. Der dort entstandene Schaum wird abgeschöpft, entwässert und als De-Inking-Schlamm verbrannt. In Deutschland liegt die Altpapiereinsatzquote bei ca. 56 Prozent.<sup>14</sup>



## Maschinelle Weiterverarbeitung des Grundstoffs und Papierherstellung

Ist die Basis des späteren Papiers einmal hergestellt und zur Papierfabrik gebracht, kommt es dort zur Stoffaufbereitung des Grundstoffs (Zellstoff, Halbzellstoff oder Altpapier) in einem Pulper. Hier wird unter Wasserzufuhr der Grundrohstoff so lange aufgefasernt, bis die einzelnen Fasern frei liegen. Grobe, noch nicht entfernte Rückstände (Heftklammern, Klebefenster von Briefumschlägen etc.) werden an dieser Stelle herausgefiltert. Diese Fasersuspension (oder „Stoff“) durchläuft nun mehrere Prozessschritte, in denen sie weiter sortiert, gereinigt und aufbereitet werden, solange, bis sie die für die gewünschte Papiersorte benötigten Eigenschaften erworben haben.

In der Sieb-/Formerpartie bzw. Nasspartie wird der Stoff anschließend durch Siebe entwässert, sodass sich ein immer dichter vernetztes Faservlies bildet. Die Bezeichnung der Papiermaschine orientiert



Heutzutage ist Getreide bzw. Stroh besonders in waldarmen Gegenden wie in weiten Regionen Chinas und Teilen der USA nach wie vor für die Papierherstellung von Bedeutung.<sup>17</sup>

Der am weitesten verbreitete und lange Zeit billigste Rohstoff ist und war jedoch Holz. Nadelhölzer geben durch ihren langfaserigen Zellstoff dem Papier eine besondere Festigkeit, wohingegen Laubbäume wie die Birke mit ihren kürzeren Fasern weniger reißfeste, dafür aber glatte Papiere erzeugen. Zumeist wird das Holz allerdings importiert, die einzige heimische Baumart, die in größeren Mengen für die Papierherstellung verarbeitet wird, ist die Fichte.<sup>18</sup>

### Alternativen zu Papier aus Holz?

Mit dem Fortschreiten der – teils illegalen – Abholzung der letzten Regenwälder ist die Suche nach alternativen Zellstoffquellen unvermeidbar.

Ein Rohstoff, der als mögliche Alternative zu Holz gehandelt wird, ist Gras. **Graspapier** wird rein mechanisch für die Weiterverarbeitung vorbehandelt, ohne Zugabe von Chemikalien. Zudem ist der Rohstoff auf weiten Flächen verbreitet und verfügt über eine schnelle Wachstumsrate. Ein fast 50 Prozent besserer CO<sub>2</sub>-Wert gegenüber Zellstoff (30 Prozent gegenüber deinktem Altpapier) und eine 100 prozentige Weiterverarbeitung von Gras/Heu (Holz nach Entfernung des Lignins: 50 Prozent) unterstreichen, laut Hersteller, die positive Ökobilanz des Rohstoffes.<sup>19</sup>

Nicht nur Gras wird als mögliche Alternative zur Herstellung von Papier gehandelt. Die Hersteller des **Sheep-Poo-Paper** vertreten die Meinung, dass Gras, sobald es durch den Verdauungstrakt eines Schafs gewandert ist, einen hervorragenden Grundstoff für die Herstellung von Papier bildet. Da die Tiere ihr Futter eher schlecht verwerten, scheiden sie einen Großteil dessen wieder unverdaut aus. Die gesammelten Ausscheidungen werden nun bei 120°C unter Druck sterilisiert und mehrere Tage lang gewaschen, bis nur noch die weichen Fasern für die Papierverarbeitung zurückbleiben. Und das Beste: das Wasch- bzw. Kochwasser ist durch den Vorgang sterilisiert und mit wertvollen Mineralien angereichert. Auf die Felder aufgetragen ergibt sich so ein hervorragendes Düngemittel.<sup>20</sup>

Doch was Schafe können, das können auch andere Tiere – Elefanten zum Beispiel, diese sind nämlich genauso schlechte Nahrungsverwerter. Die Herstellung von **Elephant-Poo-Paper** aus Elefantendung ähnelt dabei der oben beschriebenen Methode, allerdings werden die Exkrememente mit Salz gekocht und anschließend mit Wasserstoffperoxid sterilisiert. Nach der Trocknung werden die nicht brauchbaren Faserbestandteile ebenso aussortiert, während der Rest zu Papier weiterverarbeitet wird.<sup>21</sup>

Eine weitere Alternative ist das sogenannte **Steinpapier**. Dieses besteht aus 80 Prozent Kalkstein (Kalziumcarbonat) und 20 Prozent Bio-Polyethylen-Harz (HDPE), welches als Bindemittel dient. Der verwendete Kalkstein gehört zu einem der häufigsten Gesteine und wird den nichtverwertbaren Stücken aus Kalksteinbrüchen entnommen. Zu einem feinen Pulver vermahlen, ergibt sich so ein Papier mit einer etwas höheren Dichte als gewöhnliches Papier und einer Reihe besonderer Eigenschaften. So trotzts das Papier auf Grund seiner Zusammensetzung äußeren Einflüssen, wie Wasser, Feuchtigkeit und Schmutz und zeigt sich dabei wesentlich belastbarer, reißfester, schwer entflammbar und ist dennoch leichter zu schneiden als herkömmliches Papier. Die thermische Grenze von Steinpapier liegt bei 65° C, was dazu führt, dass sich das Papier auf Grund der Hitzeentwicklung nur schlecht mit Laserdruckern bedrucken lässt. Offset-, Digital-, UV- und Tintenstrahldruck mit Geltechnik funktionieren hingegen problemlos, hier verringert sich sogar der Einsatz der nötigen Tinte.<sup>22</sup>

Bei all diesen Alternativen ist jedoch zu beachten, dass bisher nicht annähernd die benötigte Masse bedient werden kann und Holz als Rohstoff für Papier weiterhin am lukrativsten ist. Die 100 prozentige Wiederverwertung des wertvollen Guts Papier und ein sparsamer Umgang sind bisher die sinnvollsten Möglichkeiten, dem Rohstoffmangel entgegenzuwirken.

## Quellen:

1. Abfallberatung Landkreis Tübingen; Infomappe Papier
2. Dr. Brigitte Waldmann, Diplomarbeit: Die Verwendung des Werkstoffes Papier im Kunstbetrieb, mit Fokus auf semantische Aspekte, anhand ausgewählter Beispiele, Wien, Sept. 2011
3. Max Zieger: Papierkunde. Leipzig (Fachbuchverlag) 1952
4. Die dt. Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme Papier- Vom Handwerk zur Massenproduktion (Landschaftsverband Rheinland, Rheinisches Industriemuseum, Museum für Industrie- und Sozialgeschichte, Papiermühle Alte Dombach). Köln, DuMont 2001
5. S. Schachtner; Größer, schneller, mehr – Zur Geschichte der industriellen Papierproduktion und ihrer Entwicklung in Bergisch Gladbach; Rheinland-Verlag, 1996, Köln, S.88
6. [www.papiergewichtrechner.de](http://www.papiergewichtrechner.de)
7. [www.agv.papier-nrw.de](http://www.agv.papier-nrw.de)
8. [www.papierunion.de](http://www.papierunion.de)
9. [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)
10. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
11. Die Multivision e. V.; REdUSE – Über unseren Umgang mit den Ressourcen der Erde; 2015
12. [www.papierundtechnik.de](http://www.papierundtechnik.de)
13. Klaus Beneke: Benjamin Chew Tilghman und zur Geschichte des Papiers und dessen Rohstoffen, Universität Kiel; VDP Papierkompass 2009
14. Kritischer Papierbericht 2013, FÖP
15. [www.wellpappe-wissen.de](http://www.wellpappe-wissen.de)
16. Leonard G. Winans, The book from manuscript to market, 1941
17. [www.presstext.com/news/20120716004](http://www.presstext.com/news/20120716004)
18. [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net)
19. [www.graspapier.de](http://www.graspapier.de)
20. [www.sheepooppaper.com](http://www.sheepooppaper.com)
21. [www.elephantpooppaper.com](http://www.elephantpooppaper.com)
22. [www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de)