

Holzstoffe in Gegenwart und Zukunft

Bedeutung des Primärfaserstoffes für die Papierindustrie

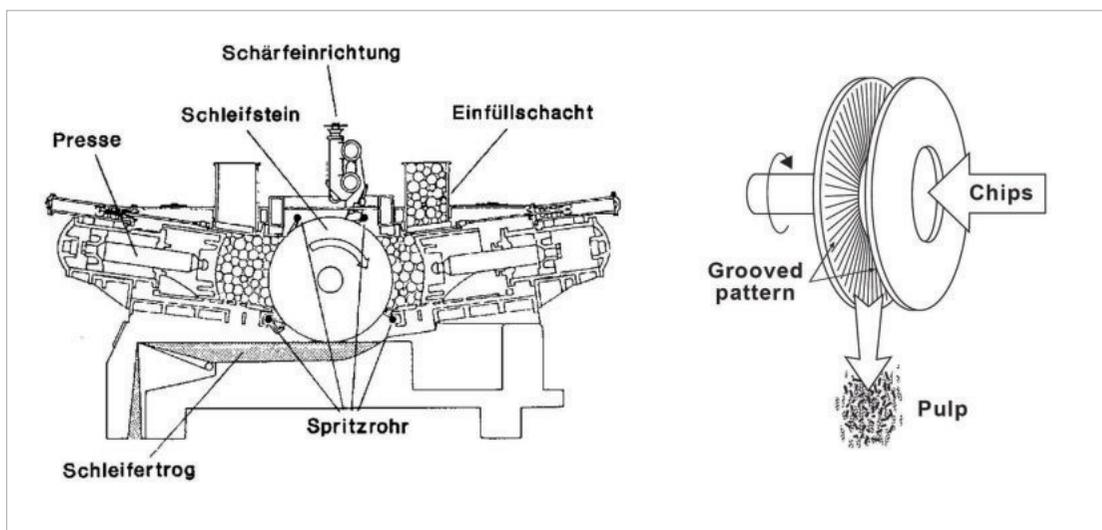
Holzstoffe, die wegen des hohen Energiebedarfs an Bedeutung verloren haben, sollten wieder mehr in den Focus rücken. In diesem Artikel wird über aktuelle Holzstoffverfahren in China sowie neuere Forschungsergebnisse von Wissenschaftlern an der TU Dresden berichtet. Die Rohstoff- und Energiebilanz bei der Herstellung von Hochausbeutefaserstoffen könnte, wenn auch der Faseranteil der Altpapiere als Biomasse gewertet und Ausbeuteverluste berücksichtigt würden, mit der des Altpapieraufbereitungsprozesses gleichziehen. Bei der Renaturierung der Braunkohlentagebaue in der Grenznähe zu Polen könnten neu gepflanzte Laub- oder Mischwälder, die als Plantagenwirtschaften betrieben werden, für die Herstellung von Hochausbeutestoffen als Rohstoffquelle dienen.

Notwendigkeit der Zufuhr von Frischfasern

Die deutsche Papierindustrie setzt das Prinzip Nachhaltigkeit in allen Produktionsstufen konsequent um. Sie nutzt den nachwachsenden Rohstoff Holz und führt diesen Rohstoff durch umfassendes Papierrecycling mehrfach im Kreislauf. Der große Erfolg des Altpapierrecyclings in Deutschland ist durch eine qualitativ hochwertige Getrennterfassung von Altpapier ermöglicht worden. So lagen 2015 die Altpapiereinsatzquote bei 74 % und die Rücklaufquote bei 73 %.¹³ Auch wenn das mit relativ niedrigem Energieeinsatz aufzubereitende Altpapier schon seit langem der wichtigste Rohstoff der deutschen

Papierindustrie ist und sie zu einer der recyclingintensivsten Industrien überhaupt gemacht hat, darf nicht vergessen werden, dass ohne die ständige Zufuhr von Primärfasern aus frischem Holz der Recyclingkreislauf unweigerlich und sehr rasch zusammenbrechen würde. Dies ist bedingt durch die endliche Lebensdauer jeder Faser und durch den Umstand, dass die Aufbereitung von Altpapier immer von Stoffverlusten begleitet wird, die kompensiert werden müssen, wenn die Nachfrage nach Papier und Karton befriedigt werden soll. Tatsächlich steigt aber die weltweite Nachfrage nach Papier nach wie vor erheblich. Der Altpapier-Neupapier-Kreislauf kann deshalb nur aufrechterhalten werden, wenn kontinuierlich Frischfasern eingespeist werden. Primärfaserstoffe werden direkt aus pflanzlichen Rohstoffen gewonnen. Durch chemischen Aufschluss von Holz oder Einjahrespflanzen entsteht Zellstoff, durch mechanische Zerfaserung entsteht Holzstoff (Hochausbeutefaserstoff, weil alle chemischen Bestandteile des Holzes erhalten bleiben!). Um den selbst gesetzten hohen Ansprüchen an die Ressourcen- und Energieeffizienz gerecht zu werden, ist die Papierindustrie deshalb bestrebt, die benötigten Frischfasern mittels ebenfalls möglichst ressourcen- und energieeffizienten Verfahren herzustellen. Bezüglich der beiden dominierenden Alternativen zur Herstellung von Primärfaserstoffen gelten Ressourcen- und Energieeffizienz aber grundsätzlich als Antagonisten: während mechanisch aufbereitete Hochausbeutefaserstoffe bei Ausbeuten von fast 100 % einen sehr hohen spezifischen Energieeinsatz verlangen, ist die Herstellung von chemisch aufbereiteten Zellstoffen – bei einer Ausbeute von weniger als 50 % – energieautark. Diese Energieautarkie der Zellstoffherstellung resultiert jedoch ausschließlich aus der thermischen Nutzung des größeren Teils der eingetragenen Biomasse. Mechanisch aufbereitete Faserstoffe, die vor allem wegen ihres hohen Energieeinsatzes in den letzten Jahrzehnten einen starken Rückgang zu

Abb. 1: Druckschliff-Verfahren PGW und Refiner-Verfahren TMP



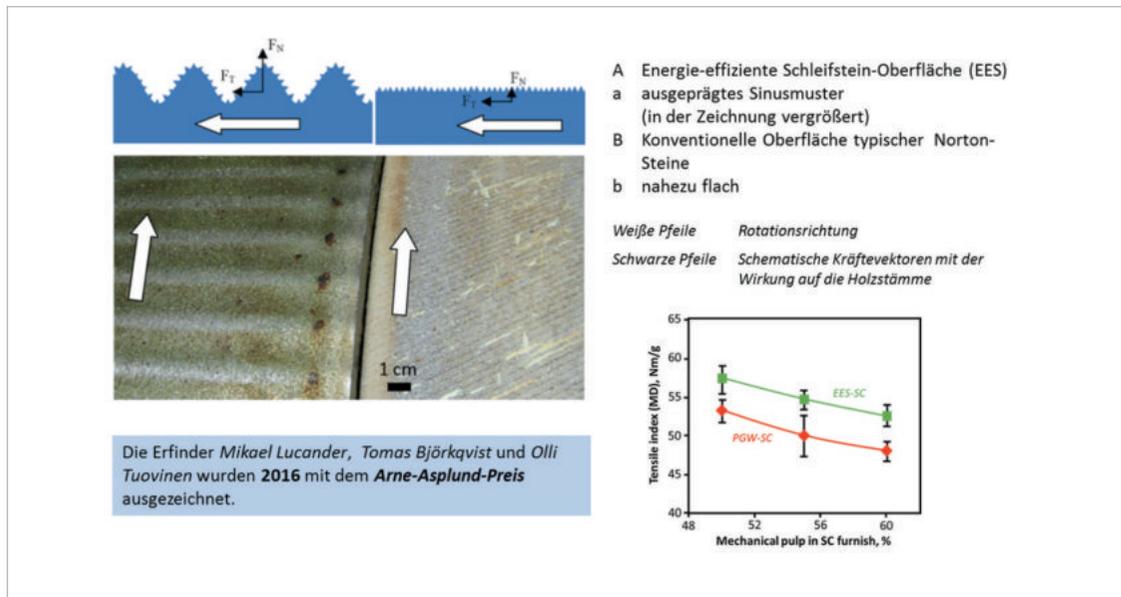


Abb. 2: Energieeffizientes Schleifen durch spezielles Schleifsteinoberflächenprofil.

verzeichnen haben, könnten wieder an Bedeutung gewinnen. Gründe für den Einsatz von Holzstoffen sind: die hohe Ausbeute, die hohe Opazität, die hohe Steifigkeit, welche ein hohes Volumen und niedrigere Flächenmassen ermöglichen sowie eine gute Formation und Porosität. Neue Trends auf der Verbraucherseite deuten auch stärker auf die Funktionalität eines Papierprodukts als auf seine Stoffzusammensetzung hin. Produkte, die eine angestrebte Funktionalität mit geringerem primärem Energiebedarf bereitstellen, hätten damit bessere Chancen auf dem Markt.

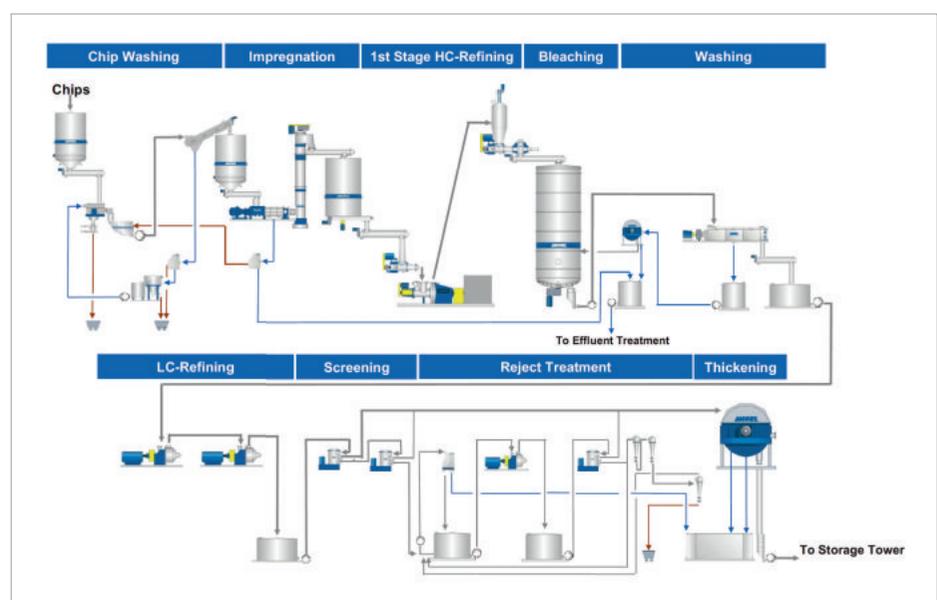
Verfahren zur Holzstofferzeugung

Seit der Erfindung des Holzschliffverfahrens vor 170 Jahren hat sich die Holzstofferzeugung im globalen Maßstab grundlegend geändert (Abb. 1). Seit den 70-iger Jahren des letzten Jahrhunderts dominieren das Druckschliff-Verfahren PGW (Pressure Groundwood) und noch mehr das Refiner-Verfahren TMP (Thermo Mechanical Pulp). Beim PGW-Verfahren können bei der Herstellung von gleichen Holz-

schliff-Qualitäten durch energie-effiziente Schleifsteinoberflächen mit einem ausgeprägten Sinusmuster (Abb. 2) gegenüber konventionellen Keramikstein-Oberflächen bis zu 20% Energie eingespart werden.¹⁴ Bei Bedarf könnte das Refiner-Verfahren mit chemischer Vorbehandlung CTMP (Chemithermo Mechanical Pulp) und einer Nachbleiche ergänzt werden. Beim klassischen BCTMP –Verfahren (das „B“ steht hier für Nachbleiche) werden die Hackschnitzel mit Natriumsulfit und Natronlauge imprägniert, danach gemahlen und anschließend mit Peroxid gebleicht.

In den letzten 10 Jahren wurde von ANDRITZ ein neues Verfahren mit chemischer Vorbehandlung eingeführt – P-RC APMP (Pre Refiner Chemical Alkaline Peroxide Mechanical Pulp) –, bei welchem auch Laubholz und Einjahrespflanzen aufbereitet werden können. Der neuere P-RC APMP-Prozess unterscheidet sich vom CTMP-Verfahren dadurch, dass die Hackschnitzel mit Natronlauge und Peroxid (ohne Natriumsulfit) imprägniert werden und nur noch bei hohen Anforderungen eine Nachbleiche notwendig ist. Bei gleichen Holzstoffeigenschaften konn-

Abb. 3: P-RC APMP-Anlage mit 1-stufiger Imprägnierung, HC-Mahlung, HC-Bleiche und LC-Mahlung¹⁵



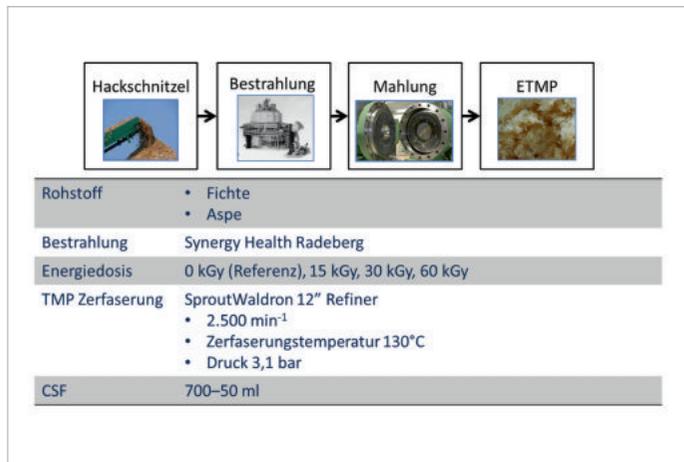


Abb. 4: Innovation Energy Efficient Termo Mechanical Pulping (ETMP).

te so der spezifische Energiebedarf um 30 % gesenkt werden (Abb. 3). Beim P-RC APMP-Prozess werden die Hackschnitzel zuerst gewaschen. In der folgenden Imprägnierstufe werden die Hackschnitzel in der Hackschnitzelpresse (Impressafiner) kompaktiert und ausgepresst, wobei Wasser und Störstoffe entfernt werden. Sofort nach dem Auspressen werden die Chemikalien zugeführt. Hierbei kommen Natronlauge, Peroxid und Hilfschemikalien zur Stabilisierung des Peroxids (Silikat, DTPA) zum Einsatz. Die imprägnierten Hackschnitzel verweilen in einem Reaktionsbehälter (T 40–100 °C; 10–60 min) und werden danach zur ersten Refinerstufe geführt. Im Refiner erfolgt die Zerfaserung der Hackschnitzel. Nach dem HC-Refiner können weitere Bleichchemikalien zugemischt und die Fasern in einem Bleichturm auf die erforderliche Weiße gebleicht werden. Die Fertigmahlung des Faserstoffes erfolgt in LC-Refinern.¹⁵

Gemäß einer Pöyry-Studie „World Fiber Outlook“ von 2009 betragen die weltweiten Kapazitäten für Holzstoff ca. 43 Mio. t/a. Darin enthalten sind etwa 2,5 Mio. t/a Holzschliff (Stetigschleifer) und etwa 6,5 Mio. t/a Druckschliff (geschätzt). Somit entfallen dann 34 Mio. t/a auf Refinerholzstoffe (TMP, CTMP, APMP). Holzfasernstoffe (MDF, HDF, LDF und andere) für die Faserplattenindustrie sind hier nicht berücksichtigt.¹⁶ Aus Referenzlisten über Holzstoffaufbereitungsanlagen weltweit, welche freundlicherweise von den Unternehmen Metso (VALMET) und ANDRITZ zur Verfügung gestellt wurden, konnte 2011 eine Übersicht gemäß Tabelle 1 zusammengestellt werden.^{16, 17}

Beim SGW- und PGW-Verfahren dominieren die Anlagen in Europa. Die meisten Anlagen weltweit arbeiten nach dem TMP-Verfahren. Hier liegen Europa und Nordamerika an der Spitze. In Deutschland arbeiten noch fünf Werke mit Holzschliff-Anlagen und ein Werk mit TMP-Anlagen.

Holzstoffe	Europa	Nordamerika	Südamerika	Asien	Australien	Afrika	Anlagenbauer
SGW	10	2	0	0	0	1	Metso, Voith
PGW	8	3	1	2	0	1	Metso
TMP	36	36	5	6	4	1	Metso, Andritz
CTMP/CMP	20	10	2	23	4	1	Metso, Andritz
APMP	5	7	2	30	1	0	Andritz

Tab. 1: Holzstoffaufbereitungsanlagen weltweit (2011).

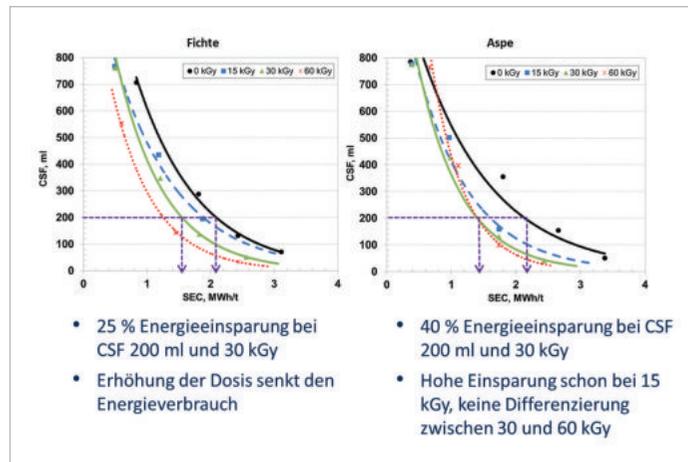


Abb. 5: Spezifischer Energiebedarf in Abhängigkeit vom Entwässerungsverhalten und der Strahlendosis¹⁸.

Die Refiner-Verfahren mit chemischer Vorbehandlung sind am meisten in Asien vertreten. In den letzten 10 Jahren wurden allein in China etwa 30 neue Produktionslinien installiert, davon >75 % nach dem P-RC APMP Verfahren. China ist weltweit der größte Produzent von modernen Laubholz-Hochausbeutestoffen nach dem P-RC APMP Verfahren (jährliche Steigerungsraten von 25 %).

Derzeit existieren in China Pappel-Plantagen mit einer Fläche von über 7 Mio. ha. Speziell in Süd-China werden jetzt auch große Eukalyptus-Plantagen geschaffen.¹⁵

Neue Untersuchungen an der TU Dresden

Aufbauend auf Veröffentlichungen zum Thema Bestrahlung in der Papierindustrie (1983 Klaus Fischer; 1992 Granfeldt) und motiviert durch die positiven Ergebnisse, wurden 2002 an der TU Dresden neue Untersuchungen aufgenommen. Die an der TU Dresden durchgeführten Forschungsarbeiten hatten das Ziel, den Holzstoff mit seinen Eigenschaften und seiner überlegenen Ressourceneffizienz durch eine signifikante Reduktion des zu seiner Herstellung erforderlichen Energieeinsatzes wieder zu einem mit Zellstoff und Altpapierstoff konkurrenzfähigen Halbstoff der Papiererzeugung zu machen.

Die dem Projekt zugrunde liegende Idee bezüglich der Zerfaserungsarbeit war die bekannte Wirkung einer Vorbehandlung von Holz mittels Bestrahlung mit energiereichen Elektronen (Abb. 4). In intensiven Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass, im Vergleich zur aktuellen TMP-Technik, annähernd gleiche Eigenschaften des erzeugten Stoffes, bei einem um 30 % niedrigeren spezifischen Energieeinsatz erzielt werden können. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass der geforderte CSF-Wert mit einem geringeren Energiebedarf erreichbar ist. Die Zugfestigkeiten entwickelten sich bei den bestrahlten Holzstoffen schneller. Es wurden im Vergleich mit den unbestrahlten Referenzproben höhere Zugfestigkeiten erreicht. Bei Laubholzstoff (Aspe) verstärkte sich dieser Trend noch.

Die Ergebnisse ermutigten zu einem Großversuch im industriellen Maßstab. Dabei wurden 60 t bestrahlte Hackschnitzel in einer konventionellen industriellen TMP-Anlage des UPM-Werks Schongau zu ETMP verarbeitet. Im Großversuch war es auch möglich, den Energiebedarf der Refineranlage um insgesamt 30 % zu senken.

Das produzierte Zeitungsdruckpapier – bestehend aus 70 % DIP (Deinkingstoff) und 30 % ETMP - konnte ohne Minderung der Qualität verkauft werden. Alle gemessenen papiertechnologischen Parameter

Beschreibung	Variable	Einheit	Zellstoff	Quelle	Holzstoff (TMP)	Quelle	Holzstoff (ETMP)	Quelle	Altpapier	Quelle
Biomasse	$E_{\text{Biomasse, input}}$	GJ/t	18	[3]	18	[3]	18	[3]	15, 18	[3]
Transport	$E_{\text{transport}}$	GJ/t	0,308	[4]	0,308	[4]	0,308	[4]	0,308	[4]
Stoffaufbereitung (elektrisch)	E_{fossil}	kWh/t	638	[3]	2200	[3]	1600	[6]	380	[7]
Stoffaufbereitung (Dampf)	E_{fossil}	GJ/t	12,2	[3]	0	inert	0	inert	1,08	[7]
Rückgewinnung elektrisch	$E_{\text{f, recovery}}$	kWh/t	655	[3]	0		0		18	[1],[3]
Rückgewinnung Dampf	$E_{\text{r, recovery}}$	GJ/t	15,8	[3]	5,4	[3]	4,47	[3]-50%	0,42	[3]
Fossiler Energiebedarf	$E_{\text{fossil, input}}$	GJ/t	19,3		19,2		14,0		4,77	
Energie-rückgewinnung	$E_{\text{fossil, output}}$	GJ/t	23,2		6,0		4,5		0,62	
Primärenergiebedarf Eingang	$E_{\text{primary, total}}$	GJ/t	14,2		31,2		27,6		19,3	
Ausbeute	η	-	0,45	[10]	0,98	[3]	0,97	[3]-5%	0,7	[3]
Primärenergiebedarf Ausgang	$E_{\text{primary, total, pulp}}$	GJ/t	59,8		31,9		28,5		27,9	

$$E_{\text{fossiler Bedarf}} = \frac{E_{\text{elekt. Bedarf}}}{\epsilon} + \frac{E_{\text{therm. Bedarf}}}{\rho} + \frac{E_{\text{Transport}}}{\delta}$$

$$E_{\text{Rueckgewinnung}} = \frac{E_{\text{elekt. Rueckgewinnung}}}{\epsilon} + \frac{E_{\text{therm. Rueckgewinnung}}}{\rho}$$

$$E_{\text{Primärenergie}} = E_{\text{fossiler Bedarf}} + E_{\text{Biomasse}} - E_{\text{Rueckgewinnung}}$$

$$E_{\text{Primärenergie Faserstoff}} = \frac{E_{\text{fossiler Bedarf}} + E_{\text{Biomasse}}}{\text{Ausbeute}} - E_{\text{Rueckgewinnung}}$$

Primärenergiefaktoren		ϵ	ρ	δ
Variable	Faktor			
ϵ	Strom	0,42	0,9	0,99
ρ	Wärme			
δ	Diesel			

Tab. 2: Primärenergiebedarf Faserstoffherzeugung.

erzielten Werte innerhalb der geforderten Standardabweichung „Normalproduktion“.

Die Wissenschaftler an der TU Dresden waren die ersten, die das erhebliche Potential dieser innovativen Vorbehandlung in einem industriellen Großversuch erfolgreich demonstrieren konnten. Die Ergebnisse haben mittlerweile in der Fachwelt großes Interesse geweckt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollte es möglich sein, ein Verfahren zur Industriereife zu entwickeln, bei dem die Herstellung von energieeffizientem Holzstoff mit einer hohen Ausbeute möglich ist.

Die Bilanz für die Hochausbeutefaserstoffe könnte mit dem Einsatz des an der TU Dresden entwickelten ETMP-Verfahrens (Energy Efficient Thermo Mechanical Pulping) signifikant verbessert werden. Die Rohstoff- und Energiebilanz dieses Prozesses würde, wenn auch der Faseranteil der Altpapiere als Biomasse gewertet und Ausbeuteverluste berücksichtigt würden, mit der des Altpapieraufbereitungsprozesses gleichziehen.

Tab. 2 zeigt die verschiedenen Rohstoffe, welche in Deutschland zur Papierherstellung genutzt werden und den dazu gehörigen energetischen Aufwand, um diese Faserstoffe bereit zu stellen.¹⁸

Durch den Einsatz von ETMP verbessert sich die Herstellungsbilanz von Holzstoff gegenüber Zellstoff und nähert sich dem Sekundärrohstoff Altpapier an. Interessant dabei ist, dass Altpapier einen sehr geringen fossilen Energiebedarf hat, wenn man aber die Biomasse des Altpapiers und die Ausbeuteverluste mit einbezieht, trübt sich diese Bilanz ein. ETMP und Altpapier liegen dann fast gleichauf. Dieses wird durch die

Einsparung an fossilen Energieträgern bei der ETMP Herstellung erreicht. Durch die energetische Nutzung von 55 % des Holzes bei der Zellstoffherstellung ergibt sich andererseits ein hoher produktbezogener Primärenergiebedarf bei Zellstoff, selbst wenn man die Energierückgewinnung mit einrechnet. ETMP ist damit Zellstoff vorzuziehen, wenn es technologisch zu verantworten ist, und kann durch den geringeren primären Energiebedarf auch mit Altpapier konkurrieren.

Ausblick

Deutschland sollte sich darauf besinnen, wie die Erfindung der Erzeugung von Holzschliff durch Friedrich Gottlob Keller in Verbindung mit Heinrich Voelter und Johann Matthäus Voith die Papierherstellung im 19. Jahrhundert weltweit revolutioniert hat. Warum könnte nicht in Grenznähe zu Polen in Verbindung mit der Renaturierung der Braunkohlentagebaue eine Fabrik zur Herstellung von Laubholz-Hochausbeutestoffen gebaut werden? Bei der Renaturierung der Landschaften könnten Laub- oder Mischwälder, die als Plantagenwirtschaften betrieben werden, für die Holzstoffherstellung als Rohstoffquelle dienen. Als ein Beispiel dafür sei das Unternehmen AS Estonian Cell in Estland genannt, welches von ANDRITZ gebaut wurde und zur Heinzl Group in Österreich gehört.

Literaturhinweise

Quellverweise in Tab. 2 (1-12):

- Francis, D.W., Tower, M.T. und Browne, T.C.: Energy Cost Reduction in the pulp and Paper industry - An Energy Benchmarking Perspective. Montréal : Pulp and Paper Technical Association of Canada, 2002. ISBN 0-662-66163-X.
- Laurijssen, Jobien: Energy use in the paper industry. Arnhem : Kenniscentrum Papier en Karton, 2013.
- Cleveland, C.J.: Encyclopedia of energy. Oxford : Elsevier, 2004.
- Farahani, Sarah, Worrell, Ernst and Bryntse, Göran: CO2-free paper. Resources, Conservation and Recycling. 2004, 42, pp. 317-336.
- Gullichsen, Johan and Paulapuro, Hannu: Papermaking Science and Technology. [book auth.] Jan Sundholm. Mechanical Pulping. Helsinki : Fapet Oy, 1999.
- Handke, et al: Energy savings through ETMP technology. ipw. 2011, 6, pp. 41-44.
- Münster, H.: Möglichkeiten der Energieeinsparung bei der Stoffaufbereitung. Wien : PTS Symposium Energy Management, 2007.
- Ucuncu, Aysen: Energy recovery from mixed paper waste. Durham, North Carolina : Department of Civil and Environmental Engineering Duke University. p. iv.
- Schwarz, Michael: Design of recycled fiber processes for different paper and board grades. [book auth.] Lothar Götttsching and Heikki Pakarinen. Recycled Fiber and Deinking. Helsinki : Fapet Oy, 2000.
- Gullichsen, Johan: Fiber line operations. [book auth.] Carl-Johan Fogelholm Johan Gullichsen. Chemical Pulping. Helsinki : Fapet Oy, 2000
- Graus, Wina and Worrell, Ernst: Methods for calculating CO2 intensity of power generation and consumption: A global perspective. Energy Policy. 2011, 39, pp. 613-627.
- ENERGY STAR: Methodology for Incorporating Source Energy Use. [Online] März 2011. [Cited: 5 24, 2013.] http://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/site_source.pdf.
- vdp Verband Deutscher Papierfabriken e.V.: Papier 2016-Ein Leistungsbericht, Bonn, 03/2016
- <http://www.valmet.com/media/news/press-releases/13.05.2016/the-arne-asplund-mechanical-pulping-award-2016-granted-to-tomas-bjorkqvist-mikael-lucander-and-olli-tuovinen/>
- Bräuer, P.; Grossalber, J.; Münster, H.: China setzt auf moderne Holzstoffe, Wochenblatt für Papierfabrikation 140 (2012) 3, 161-165
- Mail-Nachricht vom 7.11.2011, Referenzliste Holzstoffanlagen von Metso weltweit, bernhard.trunk@metso.com. HerstellungHersdTH
- Mail-Nachricht von 08/2011, Referenzliste Mechanical Pulping von ANDRITZ Pulp &Paper.
- Handke, Toni: Neue Wege in der stofflichen Aufbereitung von Halbstoffen zur Papierherstellung, Verteidigung der Dissertation am 13.01.2015, Dresden.