



Effiziente Energienutzung in der Papierindustrie

Nützliche Informationen und Praxisbeispiele für Unternehmen

Kosten senken und Wettbewerbsvorteile sichern

Die deutsche Papierindustrie verzeichnete nach Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken (VDP) 2007 einen Anteil von mehr als neun Prozent des Energieverbrauchs, den das verarbeitende Gewerbe in der BRD insgesamt aufweist. Damit gehört die Papierindustrie zu den fünf energieintensivsten Branchen mit einem Energiekostenanteil von mittlerweile durchschnittlich 12 % des Umsatzes. Die steigenden Energiepreise sind für die Unternehmen längst zu einem deutlich spürbaren Kostenfaktor geworden. Das Thema Energieeffizienz erhält daher eine immer größere Bedeutung. Zahlreichen Betrieben gelang es bereits, durch ein durchdachtes Energiemanagement und gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, die angewachsenen Kosten wieder deutlich zu senken. Federführend wurden die Unternehmen bei Planung und Durchführung von der Arbeitsgemeinschaft „Branchenenergiekonzept Papier“ unterstützt. Dieses Projekt wurde gefördert von der nordrhein-westfälischen Landesregierung.

Wie sich die Energieeffizienz in einer Papierfabrik deutlich verbessern lässt, erläutert diese Broschüre. Grundlage eines jeden intelligenten Energienutzungskonzeptes ist die Einschätzung und genaue Analyse des Energieeinsatzes im Betrieb. Nach der Bestandsaufnahme geht es darum, das Einsparpotential im Betrieb zu erkennen und die entsprechenden Maßnahmen zu planen. Zu diesen wichtigen Schritten gibt die Broschüre konkrete Hilfestellung. Zur Anregung stellt sie auch einige Praxisbeispiele vor. Diese zeigen, wie in Unternehmen der Papierindustrie mit vergleichsweise unaufwändigen Umstrukturierungen und Investitionen wesentliche Einsparungen erzielt werden können. Die daraus folgende Senkung der Energiekosten kann einen deutlichen Wettbewerbsvorteil für die Unternehmen bedeuten.



Struktur der Branche

Zur besseren Einschätzung des Produktionsfaktors Energie in der Papierindustrie ist zunächst ein allgemeiner Überblick über die Branche sehr hilfreich. Gemäß der vom Statistischen Bundesamt vorgenommenen Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2008 wird das Papiergewerbe in die Gruppen „Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe“ sowie „Herstellung von Waren aus Papier, Karton und Pappe“ unterteilt. In der ersten Gruppe wird zwischen den zwei Klassen „Herstellung von Holz- und Zellstoff“ und „Herstellung von Papier, Karton und Pappe“ unterschieden. Die Unternehmen der weiterverarbeitenden Industrie werden im Rahmen dieser Broschüre nicht betrachtet.

Die deutsche Zellstoff- und Papierindustrie erwirtschaftete im Jahr 2007 einen Umsatz von 16,5 Milliarden Euro. Bundesweit waren in 154 Betrieben 41.072 Personen beschäftigt. Damit ist Deutschland das größte Erzeugerland der Europäischen Union und das viertgrößte weltweit nach den USA, China und Japan. Im Jahr 2007 waren in Nordrhein-Westfalen 36 Betriebe angesiedelt mit einer Beschäftigtenzahl von 9.102 und einem Gesamtumsatz von 3,5 Milliarden Euro.

Struktur der Papier- und Zellstoffindustrie bundesweit und in NRW

		Bund	NRW
Betriebe ges.	Anzahl	154	36
Mitarbeiter ges.	Anzahl	41.072	9.102
Umsatz ges.	Mio. €	16.482	3.475
Mitarb. je Betr.	Anz. /Betr.	267	253
Umsatz je Betr.	Mio. €/Betr.	107,0	96,5
Umsatz je Mitarb.	Mio. €/Mitarb.	0,401	0,382

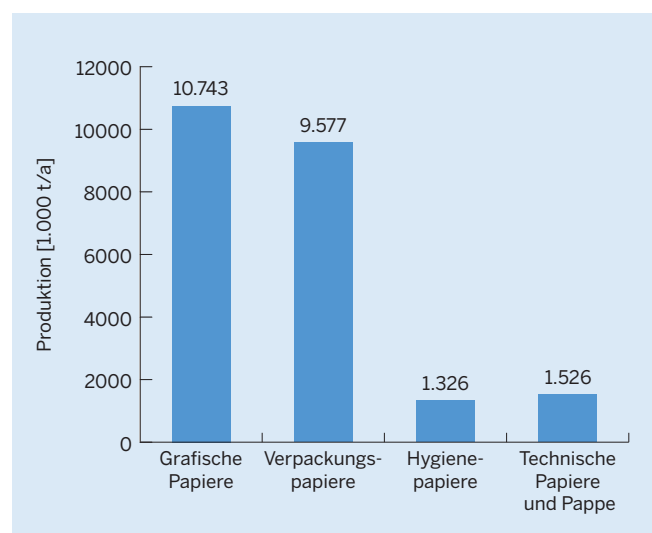
Einen ersten Überblick über die Branche und ihre Ausprägung in der BRD sowie in NRW gibt die folgende Tabelle.

Die Produktion der Papierindustrie wird üblicherweise in folgende Gruppen, sogenannte Hauptsorten, eingeteilt:

- Grafische Papiere
- Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke
- Hygienepapiere
- Papier und Pappe für technische und spezielle Verwendungszwecke

Die Produktionsmengen der Hauptsorten und deren Anteil an der Gesamtproduktion in 2007 können der Grafik „Produktion deutscher Papierfabriken“ entnommen werden. Grafische Papiere sowie Verpackungspapiere stellen mit 46,3 % beziehungsweise 41,3 % die mit Abstand größten Anteile der Gesamtproduktion. Es folgen Hygienepapiere und Technische Papiere mit 5,7 % beziehungsweise 6,6 %.

Produktion deutscher Papierfabriken nach Hauptsorten



Energiewirtschaftliche Betrachtung der Papierindustrie

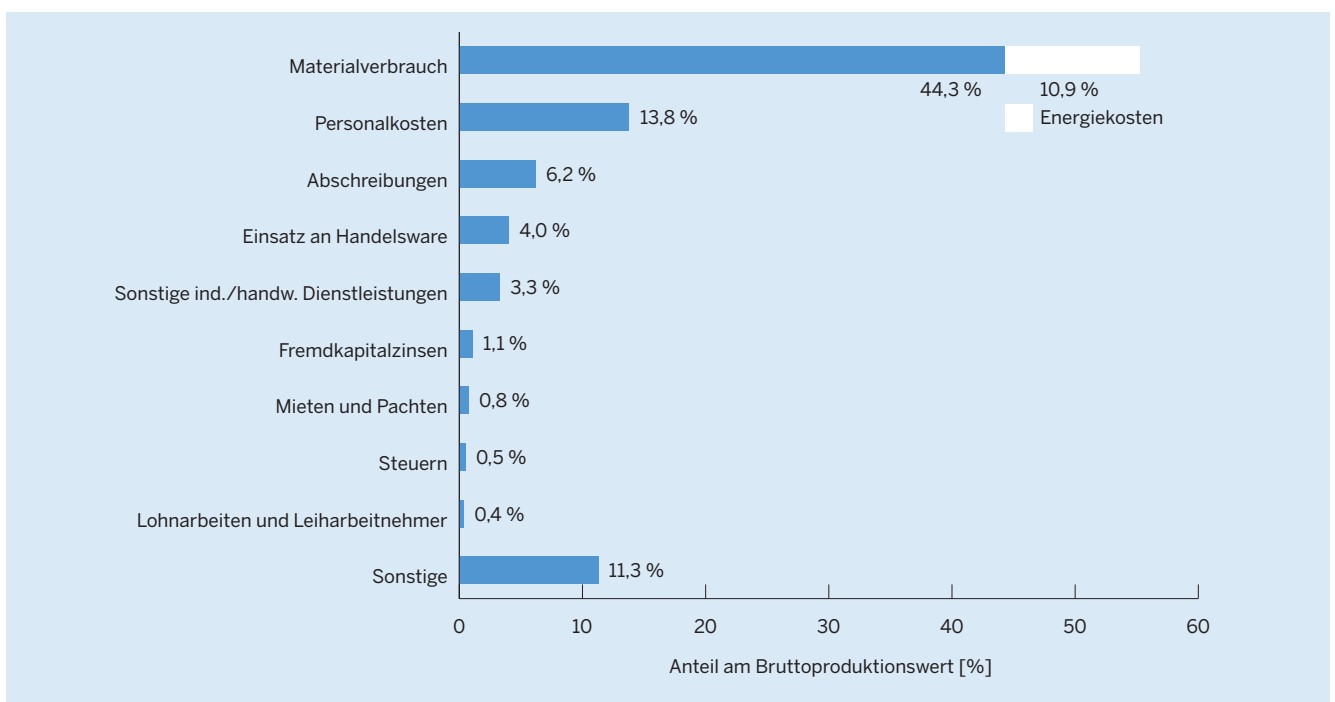
Nach den allgemeinen Informationen zur Papierindustrie in Deutschland widmet sich dieses Kapitel der energiewirtschaftlichen Struktur der Branche. Sie wird anhand von Kennzahlen dargestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den umfangreichen energetischen Untersuchungen in verschiedenen Papierfabriken sowie aus der Auswertung einer bundesweiten Befragung von Papierfabriken ermöglichen die Ermittlung verlässlicher Kennzahlen für die Branche, wobei jeweils charakteristische Produktionsschwerpunkte zusammengefasst werden. Innerhalb einer Produktklasse helfen diese Energiekennzahlen bei einer ersten Bewertung, ob und in welcher Höhe Energieeinsparpotenziale in diesem Bereich zu erwarten sind.

Die Vergleichbarkeit der Papierfabriken auch innerhalb einer Produktklasse ist bei näherer Betrachtung aber nicht ohne weiteres gegeben. Großen Einfluss auf den Energiebedarf haben beispielsweise jeweils die Energieversorgung (Eigenstromerzeugung, Einsatz von Ersatzbrennstoffen, Nahwärmeversorgung), der Integrationsgrad der Papierfabrik in weitere Produktionsschritte (z.B. die Rohstoffherstellung oder die Papierverarbeitung), die spezifische Produktqualität und einiges mehr. Dies macht die Entwicklung werksübergreifend gültiger Benchmar-

king-Instrumente schwierig. Daher können die entwickelten spezifischen Kennzahlen nur einen Hinweis geben, in welchen Produktionsschritten im Vergleich zu den Mitbewerbern Optimierungspotenziale zu erwarten sind. Für die einzelne Papierfabrik kann daraus keine detaillierte Bewertung der energiewirtschaftlichen Gesamtsituation abgeleitet werden. Dazu bedarf es einer eingehenden Betrachtung der konkreten Rahmenbedingungen.

Die im Folgenden aufgeführten Daten entstammen Erhebungen des Statistischen Bundesamtes. Sie beziehen sich auf die gesamte deutsche Papier- und Zellstoffindustrie. In der folgenden Abbildung ist die durchschnittliche Kostenstruktur des Papiergewerbes im Jahr 2006 dargestellt. Darin zeigt sich, dass die Kosten für den Materialverbrauch mit 55,2 % des Bruttoproduktionswertes den mit Abstand größten Kostenfaktor ausmachen. Es folgen Personalkosten mit 13,8 % sowie Abschreibungen mit 6,2 %. Die den Materialkosten zugerechneten Aufwendungen für Energie stellen einen erheblichen Kostenfaktor dar. Sie befanden sich 2006 bei durchschnittlich 10,9 % des Bruttoproduktionswertes und liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die Personalkosten.

Kostenstruktur der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie



So zeigt sich hier deutlich, dass dem Produktionsfaktor Energie in der Papier- und Zellstoffindustrie aufgrund der hohen Energieintensität des Herstellungsprozesses große Bedeutung zukommt. In weniger energieintensiven Branchen liegen die Aufwendungen für den Energiebezug in der Regel im Bereich weniger Prozent des Bruttoproduktionswertes.

Angesichts des hohen Energiekostenanteils ist die Papierindustrie in besonderem Maße von den Preissteigerungen betroffen, die in den vergangenen Jahren auf den Energiemärkten zu beobachten waren.

Auf die deutsche Papierindustrie entfällt ein Endenergieeinsatz von 51,6 TWh pro Jahr. Sie ist damit der fünftgrößte industrielle Endenergieverbraucher. Als Endenergieeinsatz wird der Primärenergieeinsatz definiert, abzüglich der Verluste im Umwandlungssektor und der Mengen an Energieträgern, die nicht zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Für die Unternehmen entspricht dies der Menge an Strom, Erdgas und anderen Energieträgern, die sie von den Versorgungsunterneh-

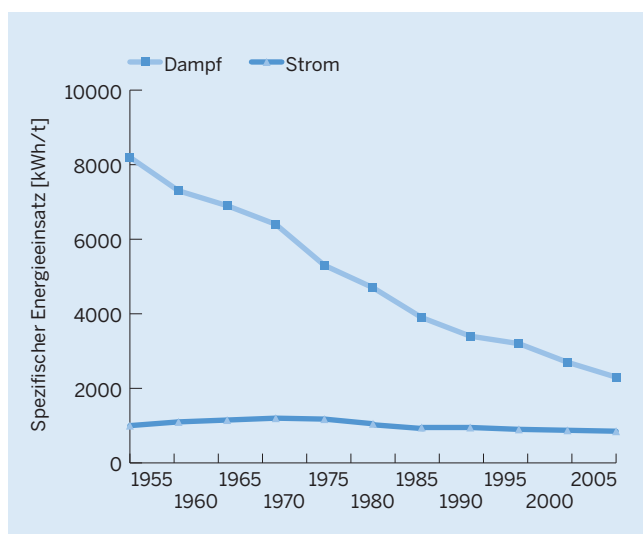
men beziehen, abzüglich der Strom- und Wärmeabgabe an das öffentliche Netz oder standortnahe Verbraucher. Die bezogene Endenergiemenge teilt sich auf Bundesebene in 24 % Strom und 76 % Brennstoffe bzw. Fremdwärme auf.

Entwicklung des Energieeinsatzes in der Papierindustrie

Aus Kostengründen hat die Papierindustrie bereits sehr früh begonnen, den Produktionsprozess energetisch zu optimieren. Dies geschah überwiegend durch die Entwicklung und Inbetriebnahme immer größerer und schnellerer Papiermaschinen, die eine günstigere Energiesituation haben. Dadurch sowie durch Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung und Isolation der Trockenhaube konnte in den vergangenen Jahrzehnten der spezifische Energieeinsatz bei der Papierherstellung im Durchschnitt deutlich reduziert werden.

Das Diagramm zeigt die Entwicklungen des spezifischen Dampf- sowie des spezifischen Stromeinsatzes bei der Papierherstellung zwischen 1955 und 2005.

Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie



In diesem Zeitraum wurde eine Verringerung des spezifischen Energieeinsatzes von insgesamt 8.242kWh/t auf 2.382kWh/t erreicht. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, beruht diese Abnahme im Wesentlichen auf der Reduktion des Dampfverbrauchs. In Relation dazu konnte der Stromverbrauch technisch bedingt nur geringfügig gesenkt werden. Die Höhe des absoluten Energiebedarfs ist im gleichen Zeitraum trotz der deutlichen Reduktion der spezifischen Werte gestiegen, was auf einer deutlichen Steigerung des Produktionsvolumens beruht.

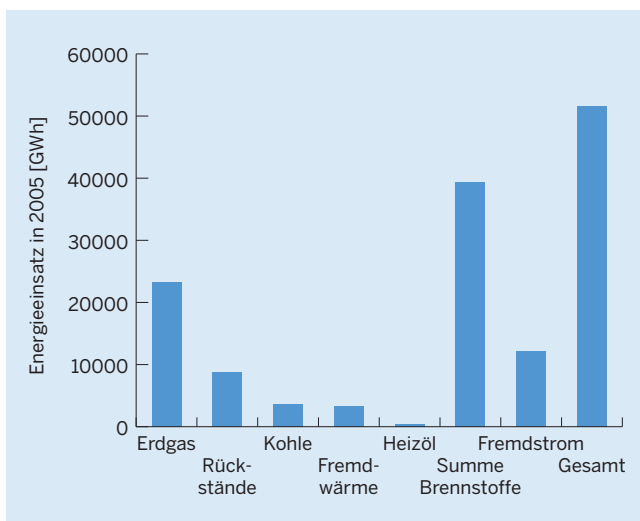
Nicht nur im Hinblick auf die unmittelbaren Kosten des Energiebezugs ist die Energiebedarfsstruktur der Branche interessant, sie betrifft auch die CO₂-Intensität der Energieversorgung. Die folgende Abbildung zeigt die absoluten Mengen sowie die relative Verteilung der einzelnen Endenergieträger, die von der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie eingesetzt wurden. Im Bereich der Brennstoffe stellt Erdgas mit 23,7 TWh bzw. 45,1 % des gesamten Endenergieeinsatzes den wichtigsten Energieträger dar. Die wirtschaftlich wie ökologisch in der Regel sinnvolle Verwertung von Rückständen deckt 8,8 TWh bzw. 17,1 % des Endenergieeinsatzes, die damit die zweithäufigst eingesetzten Brennstoffe sind. Der Brennstoff Kohle - in den Jahren 1955 bis 1965 noch der dominante Energieträger - nimmt aktuell eine eher untergeordnete Rolle ein. Der Fremdstrombezug macht mit 12,1 TWh 23,5 % des Endenergieeinsatzes aus.

Die dargestellte Entwicklung spiegelt einen in der gesamten deutschen Industrie festzustellenden Trend der vergangenen Jahrzehnte wieder: Die Struktur des Energieverbrauchs wandelt sich grundlegend, was sich in einer Zunahme des Stromverbrauchs und einer Abnahme des Brennstoffverbrauchs äußert. Gründe für diese Entwicklung sind u.a. in zunehmender Automatisierung einerseits sowie thermischer Optimierung und verstärkter Abwärmenutzung andererseits zu sehen.

Effizienzsteigerungen, wie sie in den vergangenen Jahrzehnten in der Papier-, wie auch in der deutschen Industrie generell zu beobachten gewesen sind, sind für die Zukunft nicht zwangsläufig in gleichem Umfang bzw. nur durch steigenden Aufwand zu erwarten. Daher kommt dem Produktionsfaktor Energie trotz der erzielten Effizienzsteigerungen weiterhin eine hohe Bedeutung zu.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um die anthropogene Treibhausproblematik und angesichts der aktuellen politischen Entwicklungen kommt ein weiterer Aspekt hinzu. Die Papier- und Zellstoffindustrie ist seit 2005 vom europäischen Emissionshandel betroffen. Auch deswegen werden in der Papierproduktion Themen wie Energieeffizienz und Emissionsintensität eine zunehmende Rolle spielen.

Struktur des Endenergieeinsatzes der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie in 2005



Prozessklassifikation

Der Papiererzeugungsprozess lässt sich in vier Hauptbereiche aufteilen:

- Halbstoffherzeugung (Zell-, Holz- oder Altpapierstoff)
- Stoffaufbereitung
- Papiermaschine
- Veredelung

Die einzelnen Hauptbereiche können unterschiedlich strukturiert sein und sowohl integriert als auch an verschiedenen Standorten angesiedelt sein. Auf den Prozess der Zellstoffherstellung geht diese Broschüre nicht ein. Die Erzeugung von Holzstoff und Altpapierstoff ist gewöhnlich in die Papierfabrik integriert.

Halbstoffherzeugung und Stoffaufbereitung

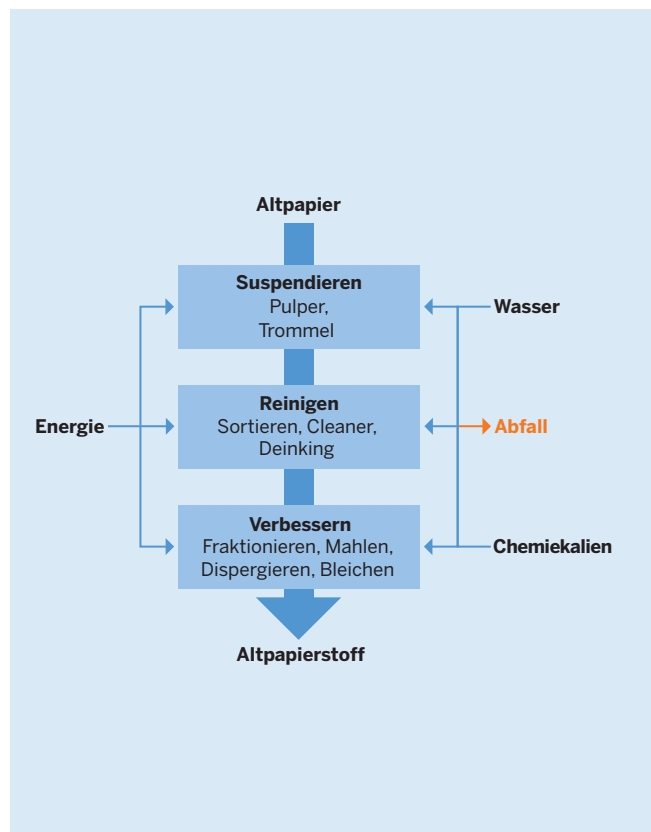
Die Altpapieraufbereitung ist letztlich die Umkehrung der Papierherstellung zur Herstellung eines definierten Altpapierstoffes. Unter dem Begriff Holzstoff werden heute alle Faserstoffe verstanden, deren Einzelfasern auf mechanischem Weg aus dem verholzten Faserverbund gelöst worden sind. Verfahrenstechnisch gesehen ist die Holzstoffherzeugung ein Zerkleinerungsprozess, bei dem zusätzlich thermische Vorgänge auftreten. Für die eigentliche Holzstoffherstellung - Zerkleinerung des entrindeten Holzes - gibt es zwei Maschinen: Schleifer (Stein-Verfahren) oder Refiner. Je nach Anwendung des technologischen Verfahrens spricht man von Holzschliff oder Refinerholzstoff.

Die folgende Abbildung zeigt die Grundprozesse der Altpapieraufbereitung.

Verfahrensschritte der Papier-, Karton- und Pappenherstellung



Grundprozesse der Altpapieraufbereitung



Der Begriff Stoffaufbereitung bezeichnet das Maschinenfertigmachen des Halbstoffs, umfasst also die Arbeitsgänge Suspendieren, Reinigen und Mahlen der Halbstoffe (Faserstoffe), das Mischen der verschiedenen Faserstoffarten und die Zugabe von Füll- und Hilfsstoffen. Das Ergebnis ist der sogenannte Fertig- oder Ganzstoff.

Unter Suspendieren ist die Zerlegung des Fasergefüges in Einzelfasern zu verstehen. Dazu ist es erforderlich, die Bindungskräfte zwischen den Fasern soweit wie möglich zu reduzieren. Dies geschieht durch Zugabe von Wasser und gegebenenfalls durch die Zugabe von Chemikalien. Die eigentliche Vereinzelung erfolgt dann durch mechanische oder hydraulische Beanspruchung des in seiner Festigkeit reduzierten Altpapiers bzw. Fasergefüges. Die Reinigung geschieht auf mechanischem Weg nach Größe, Form oder spezifischem Gewicht in Sortierern oder Cleanern, wie sie auch in anderen Bereichen der Halbstoffherzeugung eingesetzt werden. Wenn bedruckte Altpapiere als Rohstoff für die Herstellung graphischer Papiere oder Hygienepapiere, aber auch für die Herstellung heller Kartondecken eingesetzt werden sollen, müssen die Druckfarben in der Altpapieraufbereitungsanlage möglichst weitgehend entfernt werden. Für die Druckfarbenentfernung haben sich in der industriellen Praxis im Wesentlichen zwei Verfahren durchgesetzt: die Flotation und die Wäsche.

Die Papiermaschine

Die Papiermaschine ist eine zusammenhängende Anlage mit bis zu 250 m Länge, die in einzelnen Partien – das heißt in Funktionsgruppen verschiedener Technologien – aus dem aufbereiteten Maschinenstoff das Endprodukt Papier fertigt. Im Wesentlichen wird dabei aus der hoch verdünnten Papierstoffsuspension ein Blatt gebildet und durch kontinuierliche Filtration, Pressen und thermische Trocknung zunehmend entwässert. Innerhalb der Papiermaschine können noch Einrichtungen zur Veredelung integriert sein wie Streichwerke, Leim- oder Filmpresse, Glättwerk oder Kalander. Am Ende wird das fertige Produkt als Rolle auf einem Tambour aufgerollt und steht der weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Prozess der Veredelung

Die unterschiedlichen Ansprüche, die von der weiterverarbeitenden Industrie und vom Endverbraucher an die Eigenschaften von Papier gestellt werden, erfordern teilweise eine Veredelung von Papier. Genannt seien hier das Streichen und das Satinieren von Papier.

Durch das Streichen von Papier erhält man eine geschlossene Papieroberfläche. Dabei wird eine Streichfarbe bestehend aus Pigmenten und Bindemitteln auf das Rohpapier aufgetragen. Streichmaschinen sind komplexe Anlagen, die sowohl in-line (d.h. direkt nach der Trockenpartie vor der Aufrollung) als auch off-line (d.h. als separate Anlage, getrennt von der Papiermaschine) betrieben werden.

Eine nachträgliche Veredelung der Oberfläche lässt sich durch das Satinieren (Glätte- und Glanzsteigerung) der Papierbahn mithilfe eines Kalanders erzielen. Die Satina-ge ist ein thermomechanischer Umformungsprozess, in dem durch hohe Linienkräfte und Wärme die Unebenheiten in der Papieroberfläche minimiert werden.

Einteilung der Prozesse der Papierherzeugung

	thermisch	mechanisch	
Grundprozesse	Trocknung	Stofflösen	
	Kochen (Leim)	Suspendieren	
	Imprägnieren	Trennen	
	Zerfasern	Sichten	
		Filtrieren	
		Pressen	
		Mahlen	
		Flotieren	
		Sedimentieren	
Spezielle Prozesse		Blattbildung	Kernprozess
Nebenprozesse	Kühlen		
		Verdichten (Druckluft-erzeugung)	

Prozessorientierte Klassifizierung

Die Papierindustrie kann hinsichtlich der eingesetzten Prozesse als homogen bezeichnet werden. Das bedeutet, dass die meisten Einzelprozesse in der gesamten Papierindustrie über alle Sortenbereiche Anwendung finden, wie z.B. Suspendieren oder Trocknen. Sie unterscheiden sich allerdings in ihrer Ausführung und Betriebsweise und somit in der Energierrelevanz. Trotz der Unterschiede zwischen den Sorten hinsichtlich Einsatz und Intensität der einzelnen Prozesse lassen sich die angewandten Prozesse wie in der linken Grafik gezeigt einteilen.

Eine Übersicht zur Anwendung und Relevanz der Teilprozesse in Bezug auf den Energieverbrauch ist im Folgenden in einer Sorten-Prozess-Matrix dargestellt. Dabei sind horizontal die wesentlichen Sortenbereiche aufgelistet und hinsichtlich des Rohstoffeinsatzes kategorisiert. Denn der Rohstoffeinsatz ist maßgeblich dafür, welche Prozesse Anwendung finden.

Sorten-Prozess-Matrix mit qualitativer Angabe der Relevanz hinsichtlich des Energieverbrauchs der eingesetzten Prozesse.

Prozess \ Sorte	Sorte										
	Ungestrichen holzartig	Gestrichen holzartig	ungestrichen holzfrei	Gestrichen holzfrei	Verpackungspapiere > 50% AP ohne DIP	Grafische Papiere > 50% AP mit DIP	Karton aus > 50% AP mit DIP	Holzfreie Hygienepapiere	Hygienepapiere aus > 50 % AP	Holzfreie Spezialpapiere	
Holzplatz			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Mahlen											
Schleifen			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Sortieren											
Säubern											
Eindicken			n.a.	n.a.				n.a.		n.a.	
Deinken	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.			n.a.		n.a.	
Bleichen			n.a.	n.a.	n.a.			n.a.		n.a.	
Mischen											
Konstanter Teil											
Blattbildung											
Pressen											
Trocknen											
Streichen	n.a.		n.a.		n.a.	n.a.		n.a.	n.a.		
Kalandrieren					n.a.		n.a.	n.a.	n.a.		
Ausrüstung											
Hilfsbetriebe											

	Sehr energieintensiv
	Erheblicher Energieverbrauch
	Geringer Energieverbrauch

	Vernachlässigbar
n.a.	Prozess findet keine Anwendung
	Stark unterschiedlich innerhalb der Sorte

Optimierung des Energieeinsatzes in Teilbereichen der Produktion

Mahlung

Die Mahlung ist eine mechanische Faserformveränderung, die auf den Wechselwirkungen zwischen Mahlgarnitur, Faserstoff und Wasser beruht. Dabei werden die Fasern durch die Mahlgarnitur zwischen feststehenden und rotierenden Vierkantmessern bearbeitet. Dieser Bearbeitungsprozess ist ein komplexer Vorgang, bei dem es gleichzeitig oder nebeneinander zur Quellung, Quetschung, Kürzung und Hydratisierung des Fasermaterials kommt.

Die Aufgaben der Mahlung sind Anpassung von Entwässerungs- und Festigkeitseigenschaften zur Erreichung der geforderten Produkteigenschaften wie Festigkeit des Papiers, die Schaffung einer glatten Oberfläche, der guten Formation oder die Entwicklung spezieller Faserstoffeigenschaften, wie Saugfähigkeit, Porosität oder optische Eigenschaften.

Die Mahlung ist ein energieintensiver Prozess. Vom gesamten Stromverbrauch eines Werkes entfallen etwa 5 bis 30 %, in Sonderfällen sogar bis zu 60 % auf die Stoffmahlung. Für eine möglichst wirtschaftliche Mahlung sollten Refiner bei maximaler und gleichzeitig bei optimaler spezifischer Kantenbelastung betrieben werden. Teillastbetrieb erweist sich als nachteilig hinsichtlich der Energieeffizienz.

Günstig auf die Energieeffizienz wirkt sich folgende Gestaltung aus:

- Getrennte Mahlung von Laub- und Nadelholz
- Feine Verrippung der Mahlsegmente, größerer Kantenwinkel
- Hydraulisch günstige Einlaufzone
- Große Aggregate mit drehzahlvariablem Antrieb

Es sind verschiedene Refinerbauarten mit unterschiedlichen Wirkungsgraden verfügbar:

- Zylindrische Refiner 75 - 90 %
- Doppelscheibenrefiner 70 - 85 %
- Flachkegelrefiner 70 - 85 %
- Einscheibenrefiner 60 - 75 %
- Steilkegelrefiner 55 - 70 %

Neuere Entwicklungen sind die Doppelzylinderrefiner und die Doppelkegelrefiner, mit denen gegenüber herkömmlichen Bauarten eine deutliche Reduzierung der Leerlaufleistung erzielt wird.

Altpapieraufbereitung

Der Aufwand für eine Anlage zur Aufbereitung von Altpapieren wird bestimmt durch die verfügbare Altpapierqualität, die geforderten papiertechnologischen Eigenschaften aber auch dadurch, welche Reststoffmengen und welcher Abwasseranfall im jeweiligen Fall vertretbar sind. Entsprechend der unterschiedlichen Komplexität einer Altpapieraufbereitungsanlage variiert auch der Energieverbrauch. Für die einzelnen Grundprozesse lässt sich etwa folgender Energieverbrauch angeben:

Energiebedarf von Prozessschritten bei der Altpapieraufbereitung

Prozess	Thermische Energie (kWh/t)	Elektrische Energie (kWh/t)	Bemerkung
Auflösen		15 bis 50	Inkl. Entstipper
Sortieren		20 bis 50	
Cleanern		30 bis 50	
Eindicken		5 bis 20	
Deinkingflotation		20 bis 50	
Dispergieren	100 bis 300	100 bis 200	
Bleichen	0 bis 100	30 bis 50	

Die Unterschiede bei der Altpapieraufbereitung ergeben sich demnach daraus, welche Prozesse appliziert und wie diese betrieben werden. Beim Stofflösen (Pulpern) gibt es verschiedene Bauarten von Trögen, Lochblechen und Garnituren. Hochkonsistenzpulper (10 bis 20 % Stoffdichte) sind energetisch günstiger als der Niedrigkonsistenzbereich. Für große Kapazitäten sind Auflösetrommeln interessant. Neben Energieeinsparungen um etwa 5 bis 10 kWh/t haben sie technologische Vorteile, wie etwa eine schonende Zerfaserung.

Für die Sortierung bestehen Möglichkeiten der Optimierung bei

- der Auswahl der richtigen Stoffdichte
- der Rotorgeschwindigkeit
- der Schaltung der einzelnen Sortierer
- der Zuflussregelung über die Feedpumpen

Die Stoffdichte in der Altpapiersortierung sollte idealerweise bei etwa 1,8 bis 2,5 % liegen. Durch eine Anhebung der Stoffdichte können die Aggregate kleiner dimensioniert werden bzw. bei einer bestehenden Anlage Kapazität geschaffen werden. Beim Sortierer selber besteht Potenzial in der Einhaltung der optimalen Rotordrehzahl von 16 bis 21 m/s und der Reduzierung des Druckverlustes.

Wie für die Sortierung ist auch bei der Cleaneranlage eine Reduzierung der Stoffdichte mit einer Erhöhung der Energieeffizienz verbunden. Ebenso bietet die Schaltung Potenzial zur Energieeinsparung. Für den Betrieb bei schwankender Belastung kann ein Teillastbetrieb durch eine drehzahlgesteuerte Pumpe realisiert werden.

Bei der Ausführung der Anlage ist zu beachten, dass die Rauigkeit des Materials durch die Reibung und somit Druckverluste Einfluss auf die Energieeffizienz haben. Demnach ist eine Ausführung in Edelstahl gegenüber einer in Kunststoff vorzuziehen. Am günstigsten sind Keramik oder eine keramische Beschichtung der Oberfläche. So ausgestattete Anlagen haben auch eine längere Standzeit.

Bei der Deinkingflotation gibt es Unterschiede in der Energieeffizienz durch die Art der Lufteinbringung in den Stoff. Anlagen mit Stufendiffusoren (selbstansaugend) sind deutlich effizienter als jene, bei denen die

Luft durch Kompressoren eingebracht wird. Eine Erhöhung der Stoffdichte ist in der Regel nicht möglich, da damit eine Verschlechterung der Partikelabscheidung verbunden ist.

Weitere Potenziale bestehen durch eine Erhöhung der Waschwassertemperatur in den Feed- und Spritzwasserpumpen und bei der Wäsche durch die Optimierung der Wärmeintegration bzw. Nutzung von Abwärme. Dies ist fallweise zu prüfen, da in Deinkinganlagen häufig ein Wärmeüberschuss besteht.

Stoff- und Wasserkreislauf

Die Aufgaben des Wassers bei der Papierherstellung sind sehr vielseitig. Wichtig ist beim Wassergebrauch, die für jeden Einsatzzweck erforderliche Qualität und Menge bereitzustellen - und zwar unter ökonomischen und ökologischen Aspekten. Dies erfordert zunächst, die Qualitätsanforderungen für die jeweiligen Einsatzzwecke des Wassers zu identifizieren und zu quantifizieren. Neben den Funktionen der Blattbildung und der Suspension sowie dem Transport der Fasern und Füllstoffe erfüllt das Wasser weitere wichtige Aufgaben bei der Papiererzeugung. Es dient beispielsweise als Spritz- und Dichtwasser in einer Vielzahl von Aggregaten zur Reinigung. Zu all diesen Zwecken Frischwasser einzusetzen, würde bedeuten, pro Kilogramm Papier mehr als 100 Liter Wasser zu verbrauchen. Die im Prozess der Papiererzeugung eingesetzten Wässer werden daher nach ihrem Einsatz in der Regel zurückgeführt und erneut eingesetzt.

Mit den zentralen Aufgaben hat das Wasser in der Papierproduktion auch eine wichtige Funktion als Energieträger. Durch die Wasserführung und die geeignete Verschaltung mit Wärmetauschern wird die Temperaturführung im Prozess gesteuert. Eine Änderung der Prozesstemperaturen kann sowohl positive als auch negative Folgen für den gesamten Prozess der Papierherstellung sowie die Abwasserreinigungsanlage bzw. die Einleitung des Abwassers haben.

Für den Transport der Stoff- und Wasserströme sind eine Vielzahl von Pumpen im Einsatz, die bei großen Papierfabriken mehr als 1.000 Aggregate umfassen kann. Neben den Pumpen sind weitere Stromverbraucher im Stoff- und Wasserkreislauf die Reinigungsaggregate (Stofffänger) wie Flotation und Filter.

Ein großes Potenzial steckt in der Optimierung des Pumpenparks, da es sich bei diesem um eine der größten Verbrauchergruppen handelt und es eine Vielzahl von Handlungsoptionen gibt. In der Papierindustrie werden circa 30 % des elektrischen Energiebedarfs für Pumpen verbraucht. Viele Pumpen im Prozess arbeiten aufgrund von Drossel- und Bypassregelungen an energetisch ungünstigen Betriebspunkten, haben Verluste bei der Kraftübertragung zwischen Antrieb und Pumpe. Oder der Motor hat eine ungünstige Effizienzklasse.

Abhängig vom Einsatzzweck können Stromeinsparungen erzielt werden durch:

- Außerbetriebnahme der Pumpe (Umstellungen im Prozess)
- Drehzahlregelung durch Frequenzumrichter
- Einbau kleinerer Laufräder
- Einsatz kleinerer Pumpen

Die Potenziale sind dabei sehr unterschiedlich und variieren je nach Anwendungsfall zwischen 20 % bis zu 70 %.

Nur in kleinen Regelbereichen ist die Drosselung von Pumpen wirtschaftlich aufgrund der geringen Investitionen im Verhältnis zu den Energieverlusten. Sehr unwirtschaftlich ist die Bypassregelung, die bei reduziertem Nutzvolumenstrom eine Mehrleistung der Pumpe erzeugt, da sich die Fördermenge um den Bypassstrom erhöht.

Bei der Optimierung von Rührwerken gibt es Potenzial in der Energieeinsparung durch die Wahl der Behältergeometrie und den Zweck der Bütte. Stehende Büten sind deutlich energiesparender als liegende Büten. Ebenso gibt es Einsparmöglichkeiten bei der Auswahl der richtigen Stoffdichte sowie bei der Anordnung des Rührwerks und der Gestaltung und Drehzahl des Propellers. Bei der Wahl der Rührwerksanordnung sind vertikale Aggregate mit Propeller den horizontalen und vertikalen Schaufelwerken vorzuziehen.

Pressen

Zur weiteren mechanischen Entwässerung des Papiervlieses nach der Siebpartie schließt sich die Nasspressenpartie an. Seit Beginn der maschinellen Papierherstellung werden zur mechanischen Entwässerung Walzenpressen eingesetzt. Es sind unterschiedliche Bauarten verfügbar. Die modernen Schuhpressen erweisen sich als die leistungsstärksten. Sie erreichen einen Trockengehalt von 50 % und damit einen wesentlichen höheren Wert als herkömmliche Pressen.

Die Leistung der Pressenpartie ist von enormer wirtschaftlicher Bedeutung. Diese liegt darin, dass eine Steigerung des Trockengehaltes durch mechanische Entwässerung um 1 % absolut eine Energieeinsparung an thermischer Energie in der Trockenpartie von circa 5 % zulässt. Indem die Entwässerungsleistung der Presse erhöht wird, kann oftmals die Papiermaschinengeschwindigkeit und somit die Produktionsleistung der Papiermaschine gesteigert werden. Das Optimierungspotenzial der Pressenpartie liegt aus energetischer Sicht neben einer Effizienzsteigerung der Antriebe in einer Steigerung des Trockengehaltes.

Zudem besteht die Möglichkeit, die Entwässerbarkeit des Papiervlieses zu verbessern, indem die Temperatur der Papierbahn erhöht wird. Das darin enthaltene Wasser lässt sich durch die niedrigere Viskosität besser aus dem Faserverbund auspressen. Als Faustformel kann von einer Trockengehaltssteigerung von 1 % bei einem Temperaturanstieg von 10°C ausgegangen werden. Dafür sind moderne Dampfblaskästen besonders hilfreich, da sie sich zonenweise steuern lassen. Somit kann ein definierter Streifen der Papierbahn gezielt erwärmt und besser entwässert werden. Dieses Verfahren dient dazu, das Feuchteprofil der Papierbahn zu korrigieren.

Vakuumerzeugung

Physikalisch werden die technisch erzeugbaren Vakua in fünf Klassen eingeteilt, und zwar in Grob-, Fein-, Hoch-, Ultrahoch-, und extrem hohes Vakuum. Die Papierindustrie benötigt Vakuumniveaus von bis 0,3 bar absolut, die gemäß Definition niedriger sind als das Grobvakuum (von 0,3 bis 0,001 bar absolut).

Die Papierindustrie verwendet Vakua in der Sieb- und Pressenpartie für überwiegend folgende Anwendungen:

- Entlüftung/Entgasung der Papierstoffsuspension
- Stabilisierung der Papierbahn und der Nasssiebe und Nassfilze
- Entwässerung der Papierbahn
- Entwässerung/Absaugung der Pressfilze
- Transfer/ Überführung der Papierbahn (Pick up)

Obwohl es eine Hilfsenergie ist, erweist sich das Vakuum am Sieb als entscheidend für die Produktqualität. Durch die enge Verbindung mit dem Hauptprozess ist die Vakuumerzeugung für die Papierindustrie somit nicht bloß als eine Querschnittstechnik einzuschätzen.

Folgende drei Typen von Vakuumerzeugern sind überwiegend im Einsatz:

- Wasserringpumpen
- Zentrifugalgebläse
- Drehkolbenpumpen

Am häufigsten werden Wasserringpumpen eingesetzt, gefolgt von mehrstufigen Zentrifugalgebläsen überwiegend bei größeren Papiermaschinen. Seltener kommen Drehkolbenpumpen zum Einsatz. Die drei Typen haben unterschiedliche Anforderungen an das Vakuumniveau und den Volumenstrom. Eine Kategorisierung zeigt die untere Tabelle.

Neben der Auswahl des Vakuumerzeugers ist auch die Schaltung und Fahrweise des Gesamtsystems von Bedeutung für die Energieeffizienz. Unterschiedliche Flächengewichte, Mahlgrade und Filzzustände sind der Grund dafür, dass sich der Luftwiderstand an den Saugstellen verändert und ein Betrieb der Vakuumanlage am Auslegungspunkt nicht ausreicht, um diese effizient zu betreiben.

An Flachsaugern wird der gewünschte Vakuumanstieg mit Drosselorganen eingestellt oder geregelt. Sinnvoll ist es, bei volumetrischen Pumpen das maximal geforderte Vakuum am letzten Sauger über Falschluf zu regeln.

Die Einstellung der Motordrehzahl durch Frequenzumrichter ist die energetisch vorteilhafteste Art der Regelung. Verbreitet ist aber auch die Drosselregelung, bei der eine Kapazitätsanpassung der Vakuumerzeugung mittels Drosselung der Volumenströme erfolgt. Dies ist energetisch sehr ungünstig, da bei Verdrängerpumpen wie Wasserringpumpen durch diese Art der Regelung ein Energiemehrverbrauch gegenüber dem ungedrosselten Betrieb notwendig wird. Eine Drehzahlregelung ist einer Falschluf- oder Drosselregelung in der Regel vorzuziehen. Oft kann durch eine Änderung der Übersetzung die Vakuumpkapazität angepasst werden.

Trocknung

Der Energieeinsatz in der Trockenpartie ist maßgeblich für den Energiebedarf der jeweiligen Papier- oder Tissuemaschine. Zur Auswahl stehen grundsätzlich die Kontakt- sowie die Konvektionstrocknung. Die Trock-

Eigenschaften verschiedener Vakuumerzeuger

Typ	Vakuumniveau (kPa absolut)	Stromverbrauch (kW/(m ³ /min))	Vor- und Nachteile
Gebläse (einstufig)	95 - 80		<ul style="list-style-type: none"> ■ Geringe Investitions- und Betriebskosten ■ niedriges Vakuum
Gebläse (mehrstufig)	75 - 40	0,9 – 1,1	<ul style="list-style-type: none"> ■ hoher Invest ■ mehrere Vakuumniveaus erzeugbar, Abluft thermisch nutzbar
Wasserringpumpen	80 - 10	0,4 – 1,7	<ul style="list-style-type: none"> ■ robust ■ hoher Wasser- und Stromverbrauch
Drehkolbenpumpen	80-50		<ul style="list-style-type: none"> ■ empfindlich gegenüber Wassertropfen ■ hohe Betriebskosten

nung ist auch durch die Zufuhr von Energie mittels elektromagnetischer Strahlung möglich. Hierzu gehören die Infrarot (IR)-Strahlungstrockner und die Hochfrequenz (HF)-Trockner. Die Wärmeübertragung durch elektromagnetische Strahlung wird überwiegend zur Strichtrocknung, seltener zur Feuchteprofilregelung eingesetzt.

Weit verbreitet ist die Kontakttrocknung durch Trockenzylinder. Diese sind bei einer Papiermaschine üblicherweise zu Trockengruppen zusammengefasst. Bei einer konventionellen Tissuemaschine findet die Kontakttrocknung durch einen einzelnen Trockenzylinder mit großem Durchmesser, dem sogenannten Yankee, statt. Die Wärme wird im Inneren der Trockenzylinder bzw. des Yankee durch Dampf zur Verfügung gestellt und durch Filmkondensation an der Innenwand auf den Stahlzylinder übertragen. Anschließend wird die Wärme durch den Stahlmantel, die Papierbahn sowie das Trockensieb geleitet. Die Papierbahn wird zunächst erwärmt und setzt schließlich durch Verdampfung das enthaltene Wasser frei. Bei einer Papiermaschine mit mehreren Trockengruppen steigert sich die Temperatur der Papierbahn sukzessive.

Das mit Abstand am häufigsten anzutreffende Trocknungsverfahren ist die oben beschriebene Kontakttrocknung. Damit wird das Papier einerseits sehr schonend getrocknet, die Papierbahn geführt und über die Einstellung der Züge eine gezielte Qualitätsbeeinflussung durchgeführt. In der Regel wird die Kontakttrocknung mittels dampfbeheizter Trockenzylinder mit einer Konvektionstrocknung durch heiße Luft kombiniert. Die heiße Luft dient dabei einerseits als Wärmequelle, andererseits transportiert sie die Feuchtigkeit von der Papierbahn weg. Aus diesem Grund ist die Aufnahmekapazität der Trocknungsluft für Feuchtigkeit ein maßgeblicher Einflussfaktor auf den Energiebedarf. Demnach sind die Taupunkttemperatur, die Luftmenge sowie die Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft von entscheidendem Einfluss für die Effizienz der Trocknung.

Je nach Papiersorte ist der Wärmeeintrag der Trocknungsluft in die Papierbahn unterschiedlich. Während bei Tissue rund die Hälfte der thermischen Energie zur Trocknung aus der Trocknungsluft stammt, reduziert sich dieser Anteil auf rund 10 % bei grafischen Papieren. Durch die Nutzung der in der Abluft enthaltenen Wärme zur Vorwärmung der Trocknungsluft, also die sogenannte Wärmerückgewinnung (WRG), steigt die Energieeffizienz der Trockenpartie. Eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft kann ebenso wie die Installation einer geschlossenen Trockenhaube als Stand der Technik vorausgesetzt werden. Die Haubenluft zur Konvektionstrocknung ist optimal zur Aufnahme der verdampften Wassermenge zu konditionieren. Die kombinierte Kontakt- und Konvektionstrocknung ist für die Papiermaschine mit und ohne Streichmaschine sowie Tissuemaschinen relevant. Bei der Tissueherstellung nach dem Through-Air-Dried-Verfahren (TAD) wird hingegen eine reine Konvektionstrocknung mit Heißluft durchgeführt.

Handlungsoptionen bei der Optimierung einer Trockenpartie ergeben sich in folgenden Punkten:

- Reduzierung der Verluste am Hilfskondensator (Hiko)
- Strom- und Wärmeeinsparung durch Optimierung der Lüftungstechnik
- Reduzierung der Wärmeverluste durch Verbesserung der Isolierung
- Reduzierung der Leckluftströme

Potenziale für die Optimierung der Lüftungstechnik erschließen sich entsprechend durch folgende Handlungsoptionen:

- Wärmerückgewinnung
- Anpassung der Luftmengen unter Berücksichtigung der Taupunkttemperatur
- Isolierung
- Reduzierung des Leckluftanteils

Energie sparen: Konkrete Beispiele aus der Praxis

Im vorangegangenen Kapitel sind zahlreiche Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduzierung der Energiekosten in der Papierfabrik beschrieben. Für verschiedene Bereiche und Anlagen wurde systematisch aufgezeigt, welche Optimierungen möglich sind. Sicherlich können nicht immer alle Maßnahmen in jedem Unternehmen umgesetzt werden. Dieses Kapitel stellt einzelne Unternehmen vor und welche Einsparmöglichkeiten für sie unter anderem ermittelt wurden. Denn nichts ist überzeugender als das konkrete Beispiel aus der Praxis.

Reduzierung des Energieverbrauchs für die Hallenbelüftung

Die Anlage einer Papierfabrik stellt jährlich 44.000 t Hygienepapiere mit einer typischen Grammatur von 14 g/m² her. Sie produziert auf einer konventionellen Tissuemaschine mit dampfbeheiztem Yankeezyylinder und mit gasbeheizter Hochtemperaturhaube.

Die Hallenbelüftung erfolgt über zwei Zuluftzentralen mit 225.000 m³/h. Das Raumvolumen ab Maschinenebene beträgt 15.210 m³. Basierend auf diesen Daten ergibt sich eine Luftwechselrate von 14,8 h⁻¹. Die Beheizung der Halle ist geregelt über eine geschlossene kreislaufgebundene Wärmerückgewinnung (Kompakt-Wärmetauscher) aus der Haubenabluft. Als Kreislaufmedium dient ein Wasser-Glykol-Gemisch.

In den Zuluftzentralen herrscht starker Unterdruck, was auf Verschmutzungen der Filter, Ansauggitter, Lufterhitzer oder Zuluftkanäle zurückzuführen ist. Eine Wartung der Lufttechnik wird empfohlen.

Das Temperaturniveau in der Halle könnte ohne die Gefahr von Taupunktunterschreitungen von derzeit 26 °C auf 20 °C begrenzt werden. Aus der Haubenabluft können dadurch 4.320 MWh/a Heizwärme anderweitig genutzt werden, wenn Abnehmer zur Verfügung stehen. Die Maßnahme kann auch dann sinnvoll sein, wenn durch Änderungen bei Haubentemperatur, Umluft- und Abluftmengen weniger Abwärme aus der Haube zur Verfügung steht oder wenn die Wärmerückgewinnung nicht im Bereich der Kondensation betrieben wird.

Die Luftwechselrate lässt sich deutlich reduzieren, insbesondere bei einer optimierten Luftführung. Empfehlenswert ist die Einleitung der warmen Zuluft auf Maschinenebene. Auf diese Weise wird vermieden, dass die natürliche Thermik durch von oben oder der Seite einströmende Zuluft gestört wird. Durch die Reduzierung des Luftwechsels auf 8 h⁻¹ lässt sich der Heizenergiebedarf um 2.750 MWh/a reduzieren. Entsprechend dem niedrigeren Volumenstrom, der durch die Zuluftventilatoren der Halle zugeführt werden muss, reduziert sich auch die Leistungsaufnahme der Ventilatoren um 310 MWh/a Strom.



Grundsätzlich gilt für Industrieunternehmen, dass im Bereich der Gebäudeklimatisierung, der Heizung und der Belüftung hohe Energieeinsparpotenziale liegen. Diese sind beispielsweise zu erschließen durch die Realisierung einer geringeren Raumtemperatur, eines höheren Umluftanteils, der Nutzung von Wärmerückgewinnung und einer optimierten Regelung der Temperierung. Über das wichtige Querschnittsthema der Gebäudeklimatisierung informiert beispielsweise die Broschüre „Heizung - Potenziale zur Energieeinsparung“, herausgegeben von der EnergieAgentur.NRW.

Papierfabrik für Wellpappe senkt Stromverbrauch

Diese Papierfabrik stellt jährlich ca. 80.000 t Wellpappenrohre als Teil einer integrierten Wellpappenfabrik her. Betrachtet wird hier nur die Rohpapiererzeugung mit Ausrüstung, nicht aber die Verarbeitung.

Wesentliche Stromverbraucher in diesem Bereich sind die Refiner und Disperger sowie das Vakuumsystem. Der eingesetzte Refiner war im Mittel nur zu 73 % ausgelastet, wobei die Stoffdichte stark zwischen 1,2 und 4,4 % schwankte. Typische Werte lagen bei 4 bis 5 %. Die spezifische Mahlenergie ist stark abhängig von der Stoffdichte der Faserstoffsuspension. Durch Erhöhung der Stoffdichte auf etwa 4,5 % können die spezifische Mahlenergie und damit der Energieverbrauch reduziert werden. Durch Anpassung der Stoffdichteregelung nach der Dispergierung ist ein Einsparpotenzial von 1.040 MWh/a realisierbar.

Zur Vakuumerzeugung werden Radialventilatoren und Wasserringpumpen eingesetzt. Die Regelung des Vakuumsystems erfolgt über Drossel- und Falschluffklappen. Das Betriebswasser der Vakuumpumpen wird im Kreislauf über einen Kühlturm geführt. Die Frischwasserergänzung erfolgte mit Warmwasser. Die Temperatur des Dichtwassers betrug während des Untersuchungszeitraumes 33 °C, die spezifische Leistungsaufnahme des Vakuumsystems lag bei 58 kWh/t. Vergleichbare Anlagen haben eine spezifische Leistungsaufnahme zwischen 42 und 60 kWh/t.

Durch Senkung der Dichtwassertemperatur werden eine Erhöhung des Ansaugvolumenstromes und eine Reduzierung des spezifischen Leistungsbedarfs ermöglicht. Damit wird die Reduzierung der Drehzahl bis hin zum Abschalten einer Pumpe realisierbar. Durch Optimierung des bestehenden Kühlkreislaufs und Nutzung von Kaltwasser als Ergänzungswasser lässt sich die Dichtwassertemperatur deutlich senken, so dass sich der Stromverbrauch um 250 MWh/a reduziert.

An der Saugpresswalze sind sowohl die Hoch- (Saugzone) als auch die Niedrigvakuumzone (Haltezone) an das Hochvakuumssystem angeschlossen. Durch Umschluss der Haltezone an das Niedrigvakuumssystem kann der Energiebedarf für die Vakuumerzeugung an der Saugpresswalze gesenkt werden.

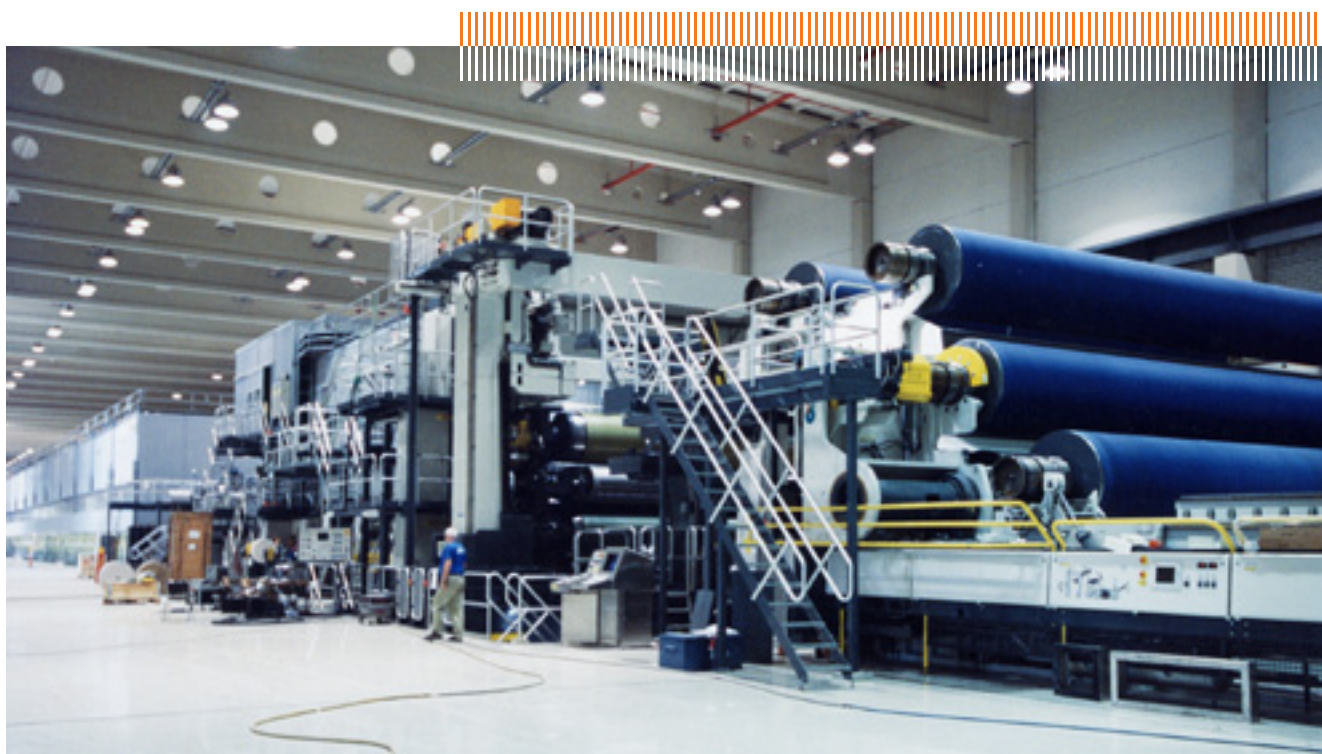


Papierfabrik optimiert den Einsatz der Refiner

Die untersuchte Papierfabrik stellt auf den Papiermaschinen A und B gestrichene grafische Papiere her. Beide Papiermaschinen sind mit einer Leimpresse, Maschine B zusätzlich mit einem Glättwerk ausgestattet.

In der Stoffaufbereitung der Papiermaschine A werden Kegelrefiner eingesetzt. Im Vergleich zu alten Steilkegelrefinern haben Doppelscheibenrefiner im Allgemeinen einen besseren Wirkungsgrad. Neuentwicklungen im Bereich der Kegelrefiner weisen ebenfalls gute Wirkungsgrade auf. Ein Ersatz der Refiner sollte geprüft werden. Die erzielbare Energieeinsparung wird auf 10 % geschätzt, muss jedoch durch Betriebsversuche verifiziert werden. Bei der geschätzten Einsparung ergibt sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs um 250 MWh/a.

An der Papiermaschine B wird Zellstoff mit 8 Refinern gemahlen. Die Einstellung der erforderlichen Mahlleistung an den Refinern erfolgt nach Densimeter-Messungen. Durch energiesparende Refiner-Garnituren (feinere Verrippung, logarithmische Spirale) können Einsparungen erzielt werden. Die Potenziale sind im Betriebsversuch zu ermitteln, können jedoch mit 5 % vorsichtig abgeschätzt werden. Damit sind Einsparungen von 1.230 MWh/a zu realisieren.



Ansprechpartner

Neben den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft stehen verschiedene Einrichtungen auf Landes- und Bundesebene als Anlaufstelle zur Verfügung.

Die Arbeitsgemeinschaft		
EUtech	EUtech – Energie & Management GmbH (seit 2010 Schwerpunkt Energie & Klimaschutz der Siemens AG)	Siemens AG Siemens Deutschland Industry Sector Industry Solutions Division GER I IS WEST OC EC Energy & Climate Change Neuenhofstr. 194, 52078 Aachen, Deutschland Tel: 0241/451-208, Fax: 0241/451-527 astrid.schubert@siemens.com www.siemens.com
IUTA	Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.	Bliersheimer Str. 60, 47229 Duisburg Tel: 02065/418 -175, Fax: 02065/418-211 www.iuta.de
LTT	Lehrstuhl für technische Thermodynamik RWTH Aachen	Schinkelstr. 8, 52062 Aachen Tel: 0241/80-95986, Fax: 0241/80-92255 www.ltt.rwth-aachen.de
PTS	Papiertechnische Stiftung	Heßstraße 134, 80797 München Tel: 089/12146 382, Fax: 089/12146 36 www.ptspaper.de

Einrichtungen des Landes Nordrhein-Westfalen		
EA NRW	EnergieAgentur.NRW	Kasinostr. 19-21, 42103 Wuppertal Tel: 0202/245 52-0, Fax: 0202/245 52-30 www.ea-nrw.de
EFA	Effizienz-Agentur NRW	Mülheimer Str. 100, 47057 Duisburg Tel: 0203/378 79-0, Fax: 0203/378 79-44 www.efanrw.de
PT ETN	Forschungszentrum Jülich Projekträger Energie, Technologie und Nachhaltigkeit	Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13, 52428 Jülich Tel: 02461/690-601, Fax: 02461/690-610 www.fz-juelich.de/etn
MKULNV NRW	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein- Westfalen	Schwannstr. 3, 40190 Düsseldorf Tel: 0211/4566-0, Fax: 0211/4566-388 poststelle@mkulnv.nrw.de, www.umwelt.nrw.de Infoservice MKULNV Informationen zu Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Tel: 0211/4566-666, Fax: 0211/4566-621 infoservice@mkulnv.nrw.de

Sonstige Einrichtungen		
ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.	Postfach 10 01 16, 45001 Essen Tel: 0201/2701-96, Fax: 0201/2722-64 www.asue.de
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt	An der Bornau 2, 49090 Osnabrück Tel: 0541/9633-0, Fax: 0541/9633-190 www.dbu.de
dena	Deutsche Energie Agentur	Chausseestrasse 128a, 10115 Berlin Tel: 030/726165-600, Fax: 030/726165-699 www.dena.de
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	Palmengartenstrasse 5-9, 60325 Frankfurt Tel: 030/202 64-0, Fax: 030/202 64-188 www.kfw.de
UBA	Umweltbundesamt	Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau Tel: 0340/2103-0, Fax: 0340/2103-2285 www.umweltbundesamt.de

Impressum

EnergieAgentur.NRW
Kasinostraße 19-21
42103 Wuppertal

Tel.: 01803 19 00 00*
E-Mail: info@energieagentur.nrw.de
www.energieagentur.nrw.de

©EnergieAgentur.NRW/EA164

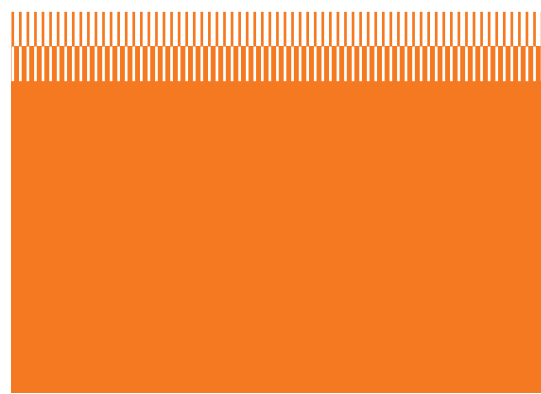
* (9 ct/Min. aus dem deutschen Festnetz
Mobilfunk max. 42 ct/Min.)

Bildnachweis

Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn

Stand

11/2010



EnergieAgentur.NRW

Die EnergieAgentur.NRW fungiert als operative Plattform mit breiter Kompetenz im Energiebereich: von der Energieforschung, der technischen Entwicklung, Demonstration und Markteinführung über die Energieberatung bis hin zur beruflichen Weiterbildung. Die EnergieAgentur.NRW steht im Auftrag der Landesregierung NRW als zentraler Ansprechpartner in allen Fragen rund um das Thema Energie zur Verfügung.

Neben anderen Instrumenten beraten und informieren Ingenieure der EnergieAgentur.NRW über energetische Schwachstellen. Die Ingenieure beraten zu Fördermöglichkeiten, Energiemanagement, helfen Unternehmen bei der Minderung der Energiekosten und tragen somit zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bei.

Diese Broschüre wurde auf 50 % Recycling- und 50 % FSC-Fasern gedruckt.



Diese Broschüre wurde klimaneutral gedruckt.



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung