

David Sallegger

Analyse der lokalen Unterschiede der Energieversorgungsstruktur der Papierindustrie weltweit

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

Studienrichtung: Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

Technische Universität Graz
Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Betreuer:

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef W. Wohinz
Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung
o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bauer
Institut für Papier-, Zellstoff-, und Fasertechnik

Graz, 2010

Eidesstattliche Erklärung / Statutory Declaration

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 30.03.2010

.....
(Unterschrift)

Danksagung

Ich möchte mich bei Voith Paper für die Chance bedanken, meine Diplomarbeit in die Unternehmung integriert durchführen zu können. Insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Reinhard Kunicky und MBA Dr. Andreas Eichler gebührt mein Dank für ihre professionelle und menschliche Unterstützung während der gesamten Dauer der Arbeit. Sie gaben mir stets das Gefühl, innerhalb ihrer Abteilung willkommen zu sein. Auch allen anderen Mitarbeitern von Voith St. Pölten danke ich für die vielen unbürokratischen Hilfestellungen.

Ebenso professionell war die Unterstützung von Frau Dipl.-Ing. Sonja Embst vom Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung sowie von Herrn Dipl.-Ing. Johannes Kritzinger vom Institut für Papier-, Zellstoff-, und Fasertechnik der Technischen Universität Graz.

Herrn o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef W. Wohinz sowie Herrn o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Bauer und Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Rudolf Eichinger möchte ich für die Ermöglichung dieser Diplomarbeit seitens der Technischen Universität Graz danken.

Für das Möglichmachen meines Studiums und für unzählige aufmunternde Worte gebührt meinen Eltern sowie auch meinen Schwiegereltern spezieller Dank.

Zuletzt danke ich besonders meiner Frau für die einhundertprozentige Unterstützung, derer ich mir stets absolut sicher sein kann.

Kurzfassung

Voith Paper entwickelt, konstruiert und baut Anlagen für die Papierindustrie, von der Faseraufbereitung über das Hauptprodukt Papiermaschine bis zu Papierveredelungsanlagen, und ist bei vielen Komponenten Weltmarktführer. Für den Betrieb dieser Anlagen werden große Mengen an Strom und Dampf benötigt. Die in den letzten Jahren weltweit stark gestiegenen und in weiterer Folge auf hohem Niveau schwankenden Energiepreise haben die Kosten für die Kunden von Voith Paper deutlich ansteigen lassen.

Voith Paper hat auf diese Entwicklung mit der Intensivierung der Energieeffizienz von Neuanlagen, sowie mit der stärkeren Vermarktung der Kompetenzen bei der Planung und Ausführung von Effizienz steigernden Umbauten bei bestehenden Anlagen, reagiert. Da neben innovativen Lösungen, technischer Perfektion und Zuverlässigkeit im Betrieb vor allem auch die Wirtschaftlichkeit der Anlagen im Mittelpunkt steht, sind genaue Daten über die tatsächlichen Kosten der Energiebereitstellung von großer Bedeutung.

Um ein umfassendes Bild der Energieversorgungsstruktur der Papierproduktionsstandorte auf der ganzen Welt erstellen zu können, werden im Zuge dieser Arbeit Daten zu folgenden Fragestellungen analysiert:

- Welche Primärenergieträger werden wo auf der Welt von den Papierproduzenten eingesetzt, um ihren Energiebedarf zu decken?
- Wie hoch ist der Energiebedarf der einzelnen Produktionsstandorte, und wie teilt sich dieser auf Strom und Dampf und in weiterer Folge auf die eingesetzten Primärenergieträger auf?
- Wie teilt sich der Gesamtenergieverbrauch der verschiedenen Standorte auf die einzelnen Prozessschritte der Papierherstellung auf?
- Welche Preise werden für die verschiedenen Energieträger bezahlt?
- Wie hoch ist der Grad der Eigenversorgung der Papierproduzenten mit Strom und Dampf?

Die ermittelten Daten werden aufbereitet, um Ausgangswerte für die Auslegung von Neuanlagen sowie für die Entwicklung von Umbaukonzepten bestehender Anlagen zu liefern. Dadurch kann Voith Paper optimal auf seine Kunden zugeschnittene Produkte und Dienstleistungen anbieten, die den wirtschaftlichen Erfolg der Kunden sichern und ausbauen.

Abstract

Voith Paper develops, engineers and builds machinery for the paper industry from the stock preparation to their main product – the paper machine – to components for finishing the paper just right to match the needs of the customer.

The paper-production industry is a very energy-intensive economic sector. Huge amounts of electricity and steam are needed to run stock preparations and paper machines. The steep rise and wide fluctuations of energy prices have significantly boosted energy costs for the paper industry.

Voith Paper has reacted to this new challenge by intensifying research activities for energy saving opportunities in new plants and with stronger marketing of their expertise in planning and performing efficiency-enhancing rebuilds of existing paper mills. Besides innovative solutions, engineered perfection and reliability, Voith Paper focuses on economic efficiency, so accurate data on the real costs of energy supply is very important.

To develop a comprehensive view on the energy supply structures of paper mills around the world, data to answer the following questions is collected and analyzed:

- Which primary energy sources are used in paper mills throughout the world to satisfy their energy demand?
- What is the total energy demand of the different paper mills?
- How is the demand distributed between electricity and steam, and between the energy sources used, to produce them respectively?
- How is the total energy demand of the different paper mills distributed over the different steps of the paper-making process?
- How much do different energy sources cost?
- What is the level of the paper industry's self-supply of electricity and steam?

The collected data is processed to obtain adequate values for designing new mills as well as for redesigning existing facilities. By adding this information to their comprehensive experience, Voith Paper can offer products and services tailored exactly to their customers' needs, in order to guarantee and expand their customers' business success.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Historische Entwicklung der Voith AG	2
1.2 Standort St. Pölten	4
1.3 Ausgangssituation zur Diplomarbeit	4
1.4 Ziele der Diplomarbeit	5
1.5 Vorgangsweise	5
2 Grundbegriffe des Energiemanagements	7
2.1 Begriffsklärung	7
2.1.1 Zur Definition des Begriffes Energie	7
2.1.2 Zur Definition des Begriffes Kosten	10
2.1.3 Zur Definition des Begriffes Energiekosten	10
2.2 Das Energiemanagement im Grazer Modell	11
2.3 Das Energiemanagement	12
3 Entwicklung von Energieverbrauch und Energiepreisen	17
3.1 Energieverbrauchsentwicklung der vergangenen Jahre	17
3.2 Energiepreisentwicklung der vergangenen Jahre	20
3.2.1 Rohölpreis	20
3.2.2 Erdgaspreis	21
3.2.3 Kohlepreis	22
3.2.4 Energiepreise und Papierpreis	23
3.3 EU-ETS	24
4 Technische Grundlagen	26
4.1 Der Papierherstellungsprozess	26
4.1.1 Die Faseraufbereitung	27
4.1.2 Der Konstantteil	30
4.1.3 Die Papiermaschine	30
4.1.4 Energieverbrauch einer Papiermaschine	34
4.2 Systeme zur reinen Strom- oder Dampferzeugung	37
4.2.1 Konventioneller Dampfkessel	37
4.2.2 Gasturbine	38
4.2.3 Dampfturbine zur reinen Stromproduktion	39
4.3 Kraft-Wärme-Kopplung	40

4.3.1	KWK-Anlagen mit Gasturbinen	41
4.3.2	KWK-Anlagen mit Dampfturbinen	42
4.3.3	Gas- und Dampfkraftwerke	46
4.4	Praxisbeispiele von Kraftwerken aus der Papier-industrie	48
5	Erhebung der Energieversorgungs-struktur	56
5.1	Eingangüberlegungen	56
5.2	Vorbereitungen zur Datenerhebung	56
5.3	Durchführung der Datenerhebung	60
6	Ergebnisse der Erhebung	62
6.1	Regionale Besonderheiten	65
6.1.1	USA2	65
6.1.2	USA4	67
6.1.3	USA5	69
6.1.4	Brasilien4	71
6.1.5	Südafrika	72
6.1.6	Schweiz	74
6.1.7	Österreich1	76
6.1.8	Österreich3	77
6.1.9	Deutschland1	79
6.1.10	Deutschland7	81
6.1.11	Deutschland8	83
6.1.12	Schweden1	84
6.1.13	Finnland	86
6.1.14	Tschechien	87
6.1.15	Belgien	89
6.1.16	Spanien	90
6.1.17	England	92
6.2	Vergleich der Energiepreise ausgewählter Regionen	93
6.2.1	Regionale Strompreise	94
6.2.2	Regionale Gaspreise	95
6.2.3	Regionale Kohlepreise	95
6.2.4	Regionale Ölpreise	96
6.2.5	Regionale Biomassepreise	97
6.2.6	Ergebnisse der regionalen Energiepreisbetrachtung	98
7	Zusammenfassung und Ausblick	102
8	Abbildungsverzeichnis	104
9	Tabellenverzeichnis	107
10	Formelverzeichnis	108
11	Literaturverzeichnis	109

12	Internetquellen	112
----	-----------------------	-----

1 Einleitung^{1,2}

Die Voith AG ist ein Maschinenbaukonzern mit Sitz in Heidenheim an der Brenz im deutschen Bundesland Baden-Württemberg. Mit rund 43.000 Mitarbeitern weltweit wird im Jahr 2008 ein Jahresumsatz von mehr als 4,9 Milliarden Euro erwirtschaftet. Zur Voith AG, die sich zu hundert Prozent in Familienbesitz befindet, gehören vier Konzernbereiche: Voith Paper, Voith Hydro, Voith Turbo und Voith Industrial Services.

- **Voith Papier** produziert mit rund 10.500 Mitarbeitern und einem Anteil am Konzernumsatz von 40% Anlagen für die Papierindustrie von der Stoffaufbereitung über Papiermaschinen für unterschiedlichste Papiersorten bis hin zu Systemen zur energetischen Nutzung von Produktionsreststoffen. Mehr als ein Drittel der weltweiten Papierproduktion erfolgt auf Papiermaschinen von Voith.
- **Voith Hydro** stellt mit rund 3.600 Mitarbeitern und einem Anteil am Konzernumsatz von 16% Einzelkomponenten und Gesamtausrüstungen für Wasserkraftwerke von Turbinen über Generatoren bis hin zu Absperrorganen her. Über ein Drittel des weltweit aus Wasserkraft erzeugten Stromes wird mit Turbinen und Generatoren von Voith produziert.
- **Voith Turbo** erzeugt mit rund 5.300 Mitarbeitern und einem Anteil am Konzernumsatz von 24% Spezial-Getriebe, Spezial-Kupplungen und andere Komponenten für den Schienen- und Straßenschwerverkehr.
- **Voith Industrial Services** bietet mit rund 23.000 Mitarbeitern und einem Anteil am Konzernumsatz von 20% technische Dienstleistungen im Gebäudebereich an. Kerngeschäft sind dabei Wartung, Instandsetzung und technische Reinigung.

¹ Vgl. Voith AG, <http://www.sanktpoelten.voith.com>, Zugriffsdatum 11.01.2010

² Vgl. Voith AG, <http://www.sanktpoelten.voithpaper.de>, Zugriffsdatum 11.01.2010

1.1 Historische Entwicklung der Voith AG³

Im Jahr 1867 wird Voith offiziell gegründet, als Friedrich Voith (Abbildung 1-1) den Schlossereibetrieb seines Vaters übernimmt. Mit über 30 Mitarbeitern produziert die Schlosserei schon damals Maschinen für die Produktion von Papier und zur Aufbereitung des gerade in die Papierindustrie Einzug haltenden Rohstoffes Holz. Friedrich Voith baut die Unternehmung sehr erfolgreich aus und erweitert schon bald das Produktportfolio auf Wasserturbinen, die der Papierindustrie als Antrieb ihrer Anlagen dienen.



Abbildung 1-1: Friedrich Voith⁴

Durch den rasch wachsenden Ausbau der Elektrizitätsnetze wächst die Nachfrage nach Turbinen für die Stromerzeugung sehr schnell und so wird der Turbinenbau

³ Vgl. Voith, die Geschichte (2004), http://www.voith.de/media/voith_de_geschichte.pdf, Zugriffsdatum 11.01.2010

⁴ Vgl. Voith, die Geschichte (2004), http://www.voith.de/media/voith_de_geschichte.pdf S. 15, Zugriffsdatum 11.01.2010

zum zweiten Standbein der Firma Voith, die sich nicht allein auf den Bau von Anlagen für die Papierindustrie und auf Wasserturbinen beschränkt, sondern vor allem durch zahlreiche ingenieurtechnische Verbesserungen ihrer Produkte, anderen Anbietern voraus ist. Eine enge Zusammenarbeit mit der Wissenschaft ist Friedrich Voith sehr wichtig, was sich in Bau und Betrieb von zahlreichen Versuchsanstalten zeigt. Um die Jahrhundertwende vom neunzehnten zum zwanzigsten Jahrhundert beginnt Friedrich Voith vorerst mit der Erschließung ausländischer Märkte von Heidenheim aus. 1903 gründet er die erste ausländische Niederlassung in St. Pölten in der damaligen Österreichisch-Ungarischen Monarchie, wo in Folge Papiermaschinen für die Donaumonarchie und Russland produziert werden. Ein großer Erfolg, der Voith weltweit bekannt macht, ist die Lieferung der zum damaligen Zeitpunkt größten Wasserturbinen für das Kraftwerk an den Niagarafällen.

Als Friedrich Voith 1913 stirbt, übernehmen seine drei Söhne Walther, Herman und Hanns das Unternehmen. Walther leitet den Standort St. Pölten, der damals rund 800 Mitarbeiter beschäftigt, während Herman und Hans den Stammsitz in Heidenheim lenken. Nach schwierigen Jahren während des ersten Weltkrieges entschließt man sich zum Aufbau eines weiteren Standbeines, dem Bau von Zahnradgetrieben und von neuartigen hydrodynamischen Getrieben und Kupplungen nach dem Prinzip von Prof. Föttinger.

Die schwierige Zeit nach dem zweiten Weltkrieg übersteht Voith unter der Führung von Hanns Voith und Hugo Rupf, der als Diplomkaufmann 1932 bei Voith eintritt. Nach dem Tod von Hanns Voith im Jahr 1971 leitet Hugo Rupf die Geschicke der Firma Voith, die mittlerweile zu einer GmbH geworden ist. In der „Voith-Verfassung“ sichert er die Fortführung der humanitären Ausrichtung der Firma ihren Mitarbeitern und der Gesellschaft gegenüber. Wichtigstes Element ist dabei der so genannte Gesellschafterausschuss von Voith, der als Aufsichtsorgan agiert, und dem unabhängige Unternehmerpersönlichkeiten und Vertreter der Gesellschafter angehören. Ab den Sechziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wird die internationale Expansion von Voith zuerst nach Nord- und Südamerika und dann nach Asien vorangetrieben, wo durch Neugründungen und Akquisitionen zahlreiche Niederlassungen entstehen. In den Neunziger Jahren des Zwanzigsten Jahrhunderts wird Voith vom Stammhausprinzip in eine operative Management-Holding überführt und dadurch dezentralisiert. Voith-Paper, Voith-Hydro und Voith-Turbo werden als Untergruppen rechtlich selbständig. Die grundlegende Geschäftspolitik wird von der übergeordneten Voith AG bestimmt.

Heute steht Voith für Zuverlässigkeit, Qualität, Innovationskraft und finanzielle Solidität. Diese Eigenschaften finden Ausdruck im Voith'schen Firmenmotto „Engineered Reliability“.

1.2 Standort St. Pölten

In St. Pölten, Österreich wird 1903 die erste Auslandsniederlassung von Voith gegründet. Heute sind an diesem Standort Teile von Voith Paper, Voith Turbo und Voith Hydro angesiedelt.

Voith Paper St. Pölten ist innerhalb des Voith Konzerns das Kompetenzzentrum für Karton- und Verpackungspapiermaschinen. Durch rund 600 Mitarbeiter erfolgen hier sowohl Projektierung, Konstruktion, und Produktion als auch Vertrieb und die Optimierung von Karton- und Verpackungspapiermaschinen, sowie Automatisierung und Walzenfertigung. Im Jahr 2008 erwirtschaftet Voith Paper St. Pölten ein Umsatz von rund 300 Millionen Euro.

1.3 Ausgangssituation zur Diplomarbeit

Die Papierindustrie ist eine sehr energieintensive Wirtschaftssparte. Voith Paper ist Gesamtanbieter von Anlagen für diesen Industriesektor. Da eine moderne Papierproduktionsanlage die sehr unterschiedlichen Anforderungen Wettbewerbsfähigkeit durch Innovativität, optimale Anpassung an die Kundenbedürfnisse und bewährte Zuverlässigkeit bestmöglich erfüllen muss, entwickelt Voith Paper das „One Platform Concept“. Für jede Papiersorte wird darin ein Standardkonzept einer Papierproduktionslinie von der Faser bis zum auslieferungsbereiten Endprodukt definiert. Daneben berücksichtigt es sämtliche Wartungsarbeiten, Umbauten und Dienstleistungen für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess, die während des gesamten Produktlebenszyklus auftreten.⁵

Um diese Standardkonzepte bestmöglich an die Kundenbedürfnisse anpassen zu können, werden unter anderem für jeden Kunden genaue Wirtschaftlichkeitsanalysen durchgeführt.⁶ Da die Energiekosten einen erheblichen Anteil an den Betriebskosten einer Papierproduktionsanlage ausmachen, ist deren genaue Kenntnis für Voith Paper wichtig. Sowohl bei Neuanlagen wie auch bei der Optimierung bereits

⁵ Vgl. Voith Paper, http://www.voithpaper.de/vp_de_produkte_neuanlagen_one-platform-concept.htm, Zugriffsdatum 11.01.2010

⁶ Vgl. Voith Paper St. Pölten, http://www.sanktpoelten.voithpaper.de/d_willkommen_automation.htm, Zugriffsdatum 12.01.2010

bestehender Anlagen im Zuge von Umbauten soll die Amortisationszeit so kurz wie möglich ausfallen, um das geschäftliche Risiko für den Kunden zu minimieren. Die in den letzten Jahren auf hohem Niveau stark schwankenden Preise führen dazu, dass die bisher den Berechnungen zur voraussichtlichen Amortisationszeit und zum Return on Investment zu Grunde gelegten Zahlen auf ihre fortdauernde Gültigkeit zu überprüfen sind.

Durch steigende Energiepreise sinkt die Amortisationszeit von Maßnahmen, die den Energiebedarf des Papier-Produktionsprozesses senken. Bisher als nicht rentabel angesehene Möglichkeiten zur Energieeinsparung werden durch weltweit gestiegene Energiekosten in Zukunft entscheidende Vorteile gegenüber der Konkurrenz bringen.

Da sich nicht alle Energieträger in gleichem Maße verteuern und außerdem durch unterschiedliche Steuerbelastungen und andere Eingriffe der einzelnen Staaten deutliche Energiepreis-Unterschiede zwischen verschiedenen Regionen der Welt bestehen, ist es für Voith Paper notwendig, diese lokalen Unterschiede möglichst genau zu kennen, um auf den einzelnen Kunden optimal zugeschnittene Wirtschaftlichkeits-Berechnungen durchführen zu können.

1.4 Ziele der Diplomarbeit

Aus möglichst vielen Regionen der Welt werden die Energiepreise, die dort tatsächlich von der Papierindustrie oder von vergleichbaren Industriezweigen bezahlt werden müssen, erhoben. Außerdem wird in Erfahrung gebracht, mit welchen Energieträgern einzelne Standorte ihren Energiebedarf decken, und ob von den Papierproduzenten Kraftwerke zur Umwandlung dieser Energieträger in Dampf und Strom selbst betrieben werden, oder ob der benötigte Dampf und vor allem der benötigte Strom zugekauft werden. Darüber hinaus wird der Gesamtenergieverbrauch der einzelnen Produktionsstandorte, sowie die Aufteilung dieses Gesamtverbrauches auf die einzelnen Energieträger und auf die einzelnen Abschnitte des Papierproduktionsprozesses, ermittelt.

1.5 Vorgangsweise

Eine Online-Umfrage zu den in Kapitel 1.4 genannten Themenbereichen wird erstellt. Einladungen zur Teilnahme an dieser Umfrage werden an etwa 500 Papierproduzenten auf der ganzen Welt verschickt. Daneben werden die Veröffentlichungen der Papierkonzerne nach für diese Diplomarbeit relevanten Daten durchsucht. Zahlen, die für die gesamte Industrie in den jeweiligen Regionen gültig

sind, werden aus Statistiken der International Energy Agency, Eurostat, und der Energy Information Administration entnommen. Eine per E-Mail durchgeführte Umfrage unter einigen ausgesuchten Papierherstellern zu deren Eigenbestand an Strom- und Dampferzeugern rundet die Erhebungen ab.

Durch die Verknüpfung und Aufbereitung der so gewonnenen Daten wird ein genaues Bild der in den einzelnen Regionen herrschenden Preisniveaus, sowie der jeweiligen Struktur der Energieversorgung und des Energieverbrauches im Verhältnis zum Produktionsausstoß, gezeichnet. Auch der Grad der Eigenproduktion von Strom und Dampf und die Verteilung des Sekundär-Energieträgereinsatzes auf die einzelnen Prozessschritte der Papierherstellung werden dargestellt. Mit diesen Daten kann Voith Paper die bisherigen Annahmen zu den Energiekosten ihrer Kunden abgleichen und gegebenen Falls korrigieren, um damit noch besser auf jeden einzelnen Kunden abgestimmte Produkte anbieten zu können.

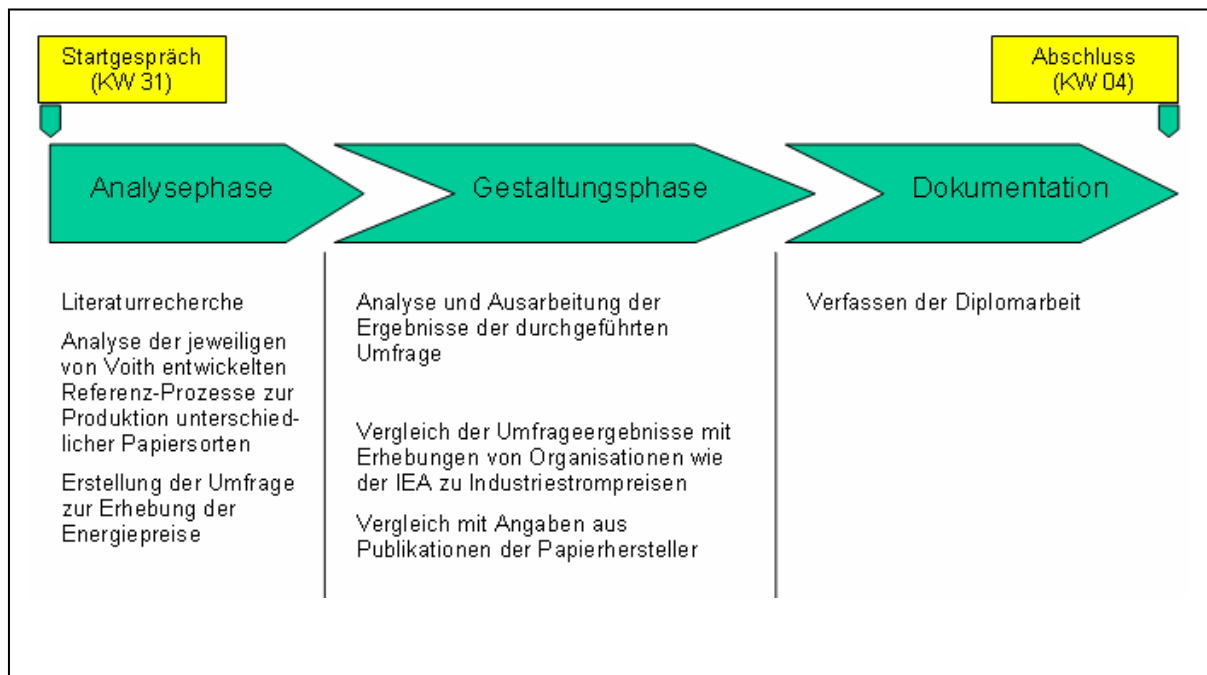


Abbildung 1-2: Zeitplan der Diplomarbeit

Die Diplomarbeit wird im Zeitraum von August 2009 bis Jänner 2010 erstellt. Abbildung 1-2 zeigt den Ablauf als Projekt in drei Phasen.

2 Grundbegriffe des Energiemanagements

Das Energiemanagement ist jener Teil des Industriellen Managements, der sich unter anderem mit der Bereitstellung und Verwendung der in einer Unternehmung benötigten Energieträger befasst. Das Energiemanagement bestimmt, welche Energieträger in welchen Mengen zu welchen Preisen angekauft und in weiterer Folge als Produktionsfaktor zur Erzeugung von Gütern und Dienstleistungen eingesetzt werden.⁷

2.1 Begriffsklärung

Zunächst erfolgt eine Abgrenzung der Begriffe Energie und Kosten.

2.1.1 Zur Definition des Begriffes Energie⁸

„Energie in seiner allgemeinsten Begriffsbestimmung bedeutet Vorrat an Arbeitsvermögen.“⁹ Energie tritt in verschiedenen Erscheinungsformen auf, z. B. als kinetische Energie, potentielle Energie, thermische Energie, chemische Energie usw. Jede Form der Energie wird in der physikalischen Einheit Joule gemessen. Eine daraus abgeleitete Einheit, die in der technischen Anwendung sehr häufig verwendet wird, ist die Kilowattstunde.

Energie kann nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik weder erzeugt noch verbraucht, sondern nur von einer Erscheinungsform in eine andere umgewandelt werden. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kann Wärme nicht vollständig in andere, nicht thermische Energieformen umgewandelt werden. Umgekehrt können nicht thermische Energieformen (fast) beliebig in einander und in thermische Energie umgewandelt werden.¹⁰ Der umwandelbare Teil der thermischen Energie und die nicht thermischen Energien werden in der Technik auch als Exergie bezeichnet. Exergie kann verbraucht werden, indem sie vollständig in nicht umwandelbare thermische Energie transformiert wird. Diese nicht nutzbare thermische Energie wird als Anergie bezeichnet. Sie kann deshalb nicht genutzt oder

⁷ Vgl. Wohinz (2003), S. 20ff.

⁸ Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 29ff.

⁹ Wohinz/Moor (1989), S. 30

¹⁰ Vgl. Zahoransky (2009), S. 5f.

umgewandelt werden, weil ihre Temperatur nicht über der Temperatur der Umgebung liegt.

Aus energiewirtschaftlicher Sicht wird jene Energie, die im meist nicht direkt nutzbaren Ausgangszustand zur Verfügung steht, als Primärenergie bezeichnet. Diese Primärenergie ist entweder in Form von innerer Energie in Rohstoffen (z.B. Erdgas, Kohle, Erdöl, Uran) gespeichert, oder sie wird in natürlich ablaufenden Vorgängen in der Natur ständig - meist wirtschaftlich ungenützt - frei (z.B. Sonneneinstrahlung, Wind, fließendes Wasser, heranwachsende Biomasse).

Die jeweilige Form der Energie, die bei vom Anwender genutzten Gerätschaften ankommt, wird als Tertiärenergie bezeichnet (z.B. mechanische Energie an einer Welle, Wärme in einem Wärmetauscher). Dazwischen liegt die Sekundärenergie als transportierbare Form der Energie (z.B. Strom, Benzin, Heizöl, aufbereitetes Erdgas).

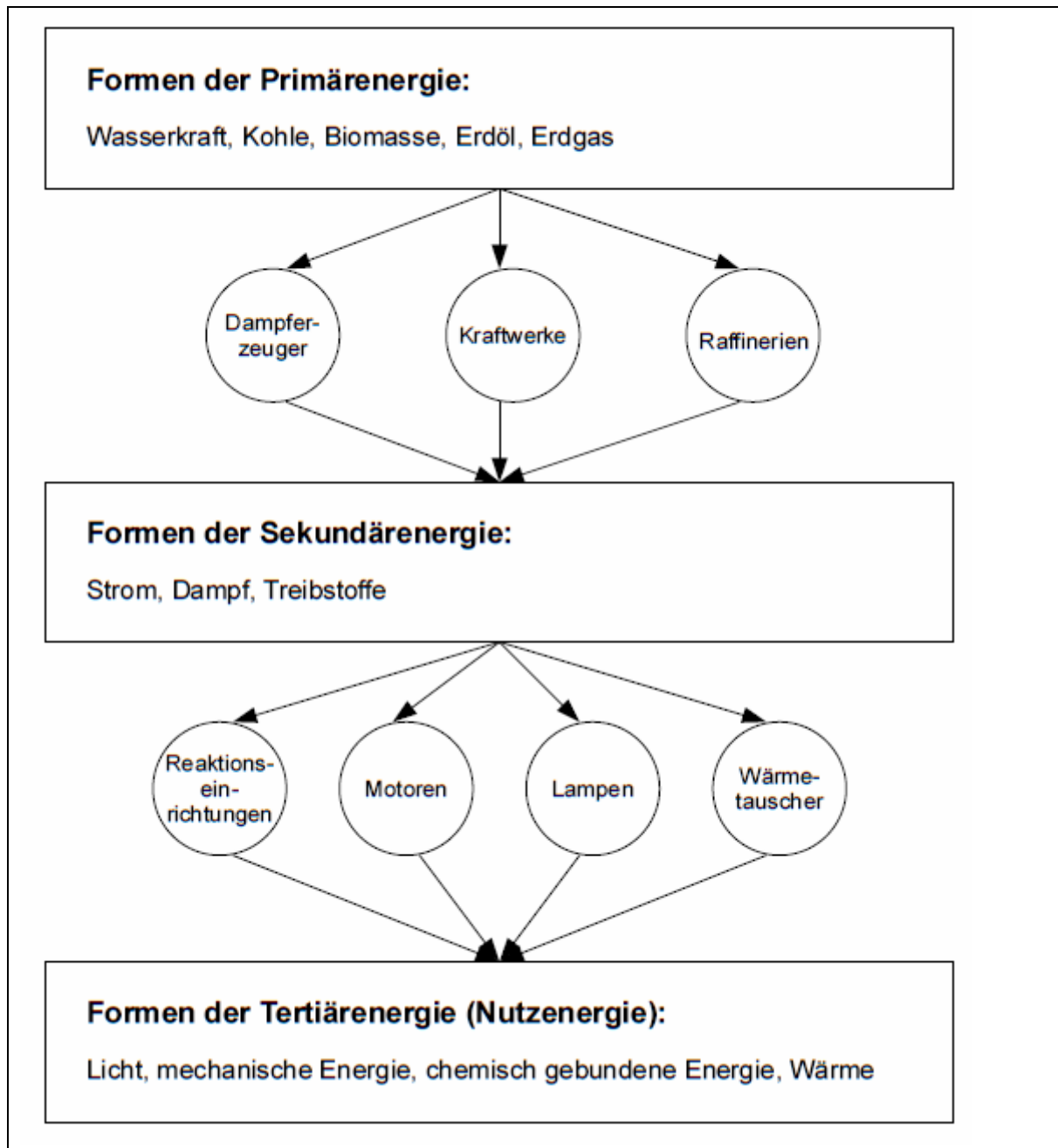


Abbildung 2-1: Ausgewählte Möglichkeiten der Umwandlung von Primär- in Tertiärenergie¹¹

Vom Zustand der Primärenergie bis zur Tertiärenergie werden mehrere Umwandlungsprozesse durchlaufen, die aufgrund physikalischer Gesetze und aufgrund von technischen Gegebenheiten mit Verlusten behaftet sind. Diese Umwandlungsprozesse erfolgen im ersten Schritt meist in Verbrennungsanlagen, wo die chemische Energie der Brennstoffe (Primärenergie) in Strom (Sekundärenergie) umgewandelt wird. In weiterer Folge wird dieser Strom in Nutzenergie (Tertiärenergie) in Form von Licht, mechanischer Energie oder Wärme umgewandelt und „verbraucht“, indem er als nicht weiter nutzbare Wärme an die Umgebung

¹¹ In Anlehnung an Wohinz (1983), S. 54

abgegeben wird.¹² Anders gesprochen wird dabei Exergie verbraucht und Anergie erzeugt. Abbildung 2-1 stellt einige ausgewählte Primär- und Tertiärenergieformen und ihre Umformungen dar.

2.1.2 Zur Definition des Begriffes Kosten¹³

Unter Kosten versteht man allgemein den bewerteten, sachzielbezogenen Güterverzehr. Kosten resultieren demgemäß aus dem monetär bewerteten Verbrauch von Produktionsfaktoren, wenn dieser Verbrauch den Unternehmungs(sach)zielen dient.

Kosten bestehen aus einer Mengen- und einer Preiskomponente.¹⁴ Die Mengenkomponekte ergibt sich aus dem mengenmäßigen Verbrauch. Die Preiskomponente dient der monetären Bewertung, und kann je nach Intention des eingesetzten Kostenrechnungssystems auf Basis von Wiederbeschaffungspreisen oder Anschaffungspreisen gebildet werden.¹⁵

2.1.3 Zur Definition des Begriffes Energiekosten

Aus kostentheoretischer Sicht ist der Nutzenergieverbrauch (also jener Energieverbrauch, der z.B. vom Antrieb eines Trockenzyllinders einer Papiermaschine verursacht wird) monetär zu bewerten, da es jene Nutzenergie ist, die während des Produktionsprozesses verzehrt wird. Die messtechnische Erfassung der Nutzenergie ist aber überaus kompliziert, daher ist ihre monetäre Bewertung nicht praktikabel.¹⁶

Eine aus kostenrechnerischer Sicht sinnvolle Alternative ist die Bewertung der Einsatz-Energiekosten. Dies sind jene Kosten, die für die jeweiligen zugekauften Energieträger sowie deren Umwandlung und Verteilung bis unmittelbar vor der letzten Transformation zur Nutzenergie entstehen. Dazu zählen die anteiligen Kosten aller beteiligten Anlagen ebenso, wie die Kosten des Personals, das mit der Energiebereitstellung im weitesten Sinn befasst ist. Während die Kosten für die zugekauften Energieträger nahezu immer ermittelbar sind, gilt dies für die Umwandlungs- und Verteilungskosten nicht.

¹² Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 30ff.

¹³ Vgl. Homburg et al. (2005), S. 30f.

¹⁴ Vgl. Seicht (1997), S. 33

¹⁵ Vgl. Kemmetmüller/Bogensberger (1998), S. 18ff.

¹⁶ Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 151ff.

In der betrieblichen Praxis werden daher oft die Kosten für den Fremdbezug der Energieträger als Energiekosten angesetzt und in den Kostenrechnungssystemen verarbeitet.

In weiterer Folge werden die Kosten für den Zukauf der verschiedenen Energieträger als „Energiepreise“ bezeichnet. In diesen sind jeweils jene Kosten enthalten, die dem jeweiligen Industriebetrieb vom Lieferanten in Rechnung gestellt werden.

2.2 Das Energiemanagement im Grazer Modell¹⁷

Eine Industrieunternehmung funktioniert als ein soziotechnisches Arbeitssystem. In einem solchen arbeiten Menschen und Maschinen an der Erfüllung der Unternehmungsziele. Dabei werden von diesen innerhalb der Unternehmung Prozesse realisiert, die Input-Faktoren in Output-Faktoren umwandeln. Die Industrieunternehmung existiert dabei nicht völlig unabhängig, sondern ist in ein industrielles Umfeld eingebettet, mit dem es in Wechselwirkung steht. Das Management, also die Unternehmungsführung auf allen Ebenen, legt die Unternehmungsziele fest und bestimmt die Rahmenbedingungen, innerhalb derer diese Ziele zu erreichen sind. Außerdem bringt das Management die Menschen innerhalb der Unternehmung laufend dazu, die Unternehmungsziele effizient, das heißt mit geringstmöglichem Mitteleinsatz, in größtmöglichem Umfang zu erreichen. Es greift lenkend ein, um die Effektivität, das heißt die Ausführung geeigneter Aktivitäten in Hinblick auf die Unternehmungsziele, sicherzustellen.¹⁸

Das Grazer Modell des Industriellen Managements beschreibt das Entwickeln, Gestalten und Steuern des Wertschöpfungsprozesses durch drei Zonen, die konzentrisch angeordnet sind. Die innerste Zone, die „Kernzone“, wird von den „Basismodulen“ gebildet. Diese Basismodule beschreiben das Management als die Instanz, die die Rahmenbedingungen und die Richtung der Unternehmung vorgibt.

Die Differenzierungszone entsteht durch die Unterscheidung der Funktionen des Managements. Sie wird durch die Funktionsmodule geformt, welche die innerhalb einer Unternehmung notwendigen Führungsaufgaben in verschiedene Teilbereiche gliedern. Eines dieser Funktionsmodule ist das „Energie- und Umweltmanagement“. In der äußersten Zone, der Integrationszone, liegen die „Kooperationsmodule“. Sie stellen die Zusammenarbeit über die einzelnen Funktionsmodule hinweg dar.

¹⁷ Vgl. Wohinz (2003), S. 20ff.

¹⁸ Vgl. Williams (2007), S. 4ff.

Abbildung 2-2 zeigt die einzelnen Zonen des Grazer Modells für Industrielles Management.

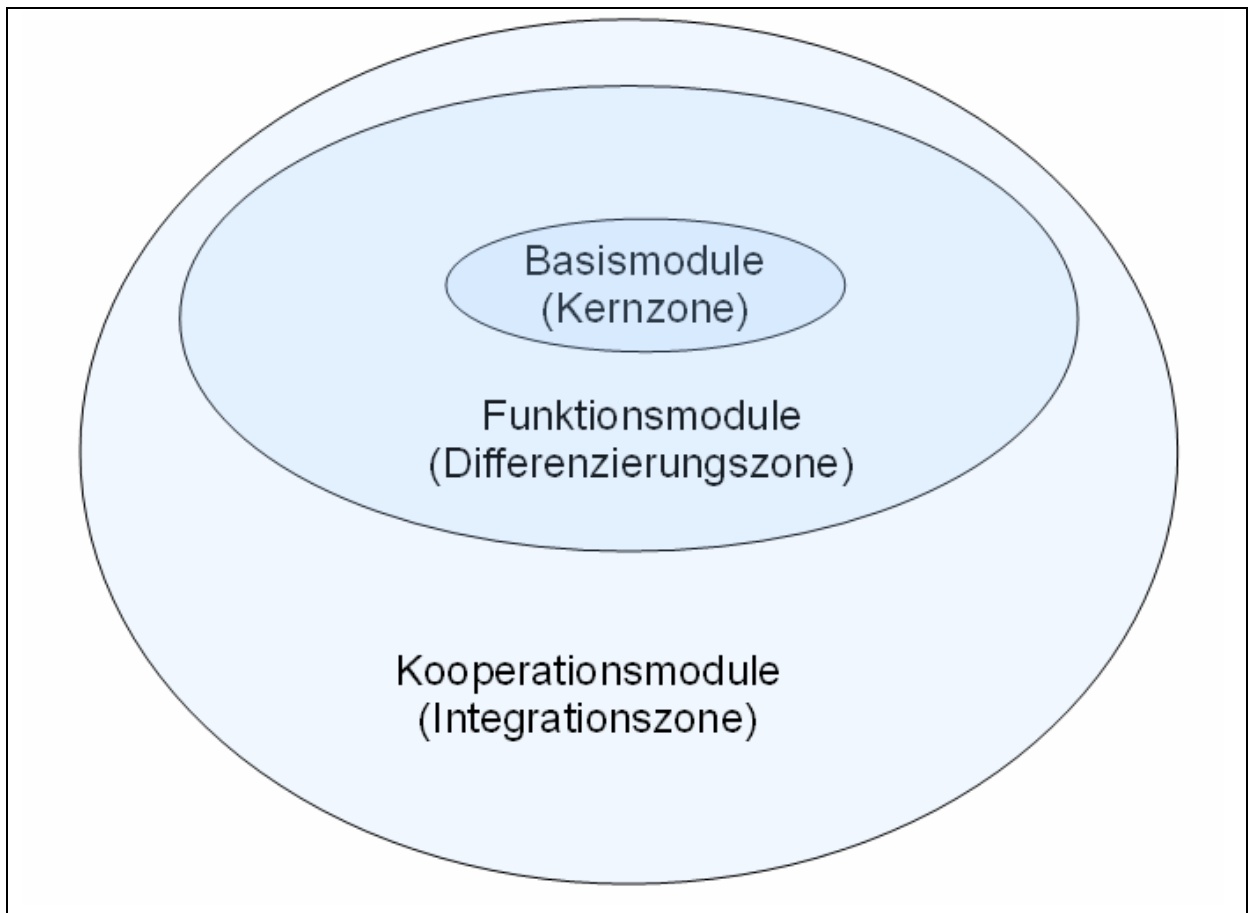


Abbildung 2-2: Der grundsätzliche Aufbau des Grazer Modells für Industrielles Management¹⁹

2.3 Das Energiemanagement²⁰

Das Energiemanagement ist im Grazer Modell ein Teil des Energie- und Umweltmanagement. Wichtiges Ziel ist die Sicherung der Energieversorgung, die sowohl den technischen als auch den wirtschaftlichen Anforderungen genügt.²¹

Um die Erreichung dieses Zieles sicherzustellen, plant das Energiemanagement den Energiebedarf der Unternehmung und analysiert den Energiefluss laufend. Es gestaltet die Energiebereitstellung sowie deren Verwendung und kontrolliert diese. Zusätzlich entwickelt und evaluiert es Vorhaben zur Verbesserung der Energieversorgung. All diese Aufgaben werden unter Beachtung der

¹⁹ In Anlehnung an Wohinz (2003), S. 38

²⁰ Vgl. Wohinz (2003) S.190ff.

²¹ Wohinz (2003), S.194

Unternehmensziele und des industriellen Umfeldes sowohl strategisch (langfristig) wie auch operativ (kurzfristig) orientiert umgesetzt.

Abbildung 2-3 stellt die Aufgaben des Energiemanagements im Kontext der Industriellen Unternehmung grafisch dar.

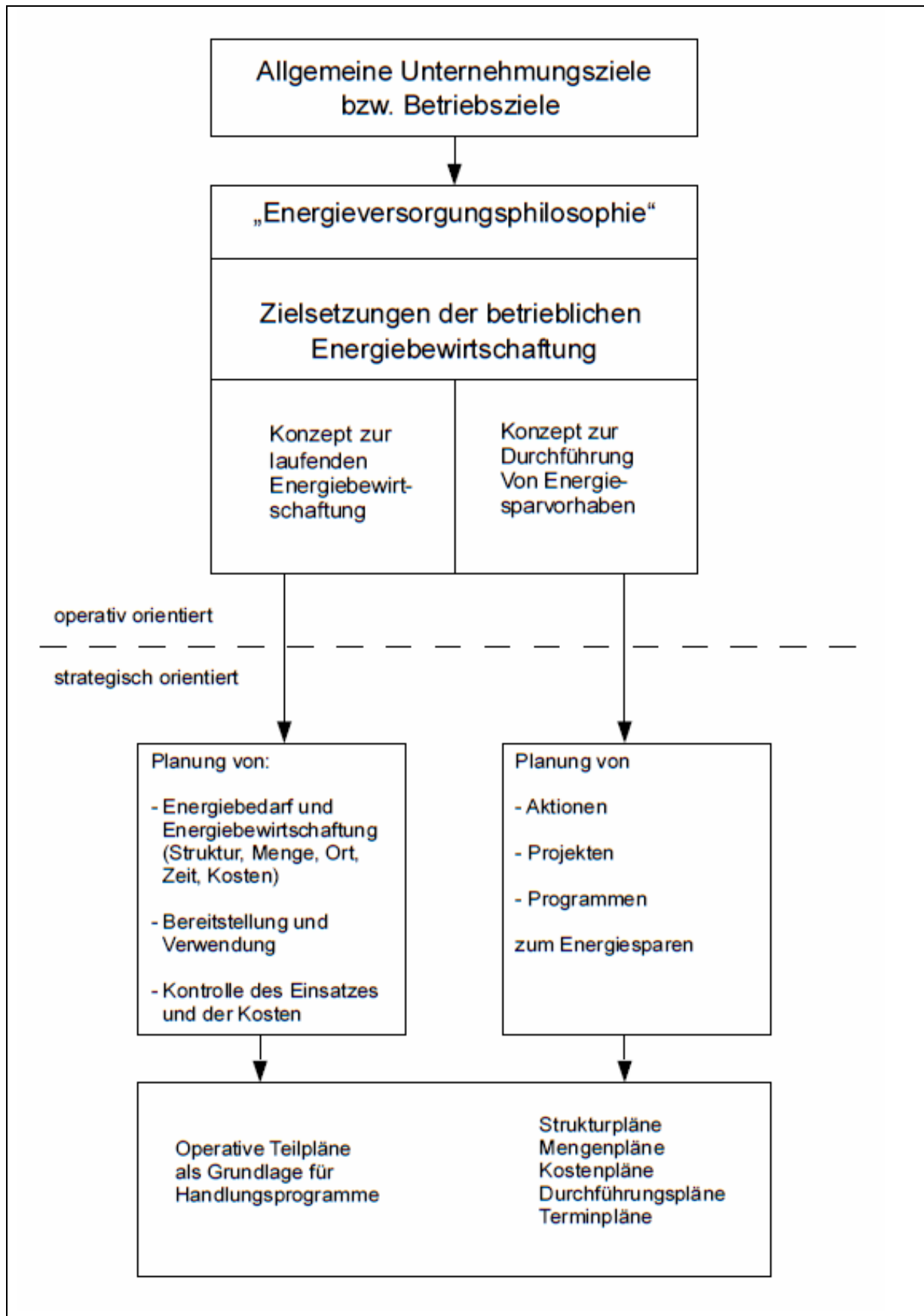


Abbildung 2-3: Das betriebliche Energiekonzept²²

²² In Anlehnung an Wohinz/Moor (1989), S.57

Der Nutzen eines funktionierenden Energiemanagements für eine Industrieunternehmung ist vielfältig. Unter anderem ergeben sich Wettbewerbsvorteile durch die Minimierung der Kosten sowie durch einen Imagegewinn in der Öffentlichkeit und bei den Kunden. Gesteigerte Transparenz und einer Verbesserung der Dokumentation von Prozessabläufen innerhalb der Unternehmung vermeiden Schäden und erhöhen die Rechtssicherheit.

Ein sämtliche Entscheidungen des Energiemanagements wesentlich beeinflussendes Kriterium stellen die Energiepreise dar. Die Zusammensetzung des Preises für einen Energieträger hängt unter anderem davon ab, ob der Energieträger leitungsgebunden oder nicht leitungsgebunden an die Kunden verteilt wird. Leitungsgebundene Energieträger sind Gas, Strom und Dampf, die mit Hilfe von Leitungen kontinuierlich vom Lieferanten zum Verbraucher geliefert werden. Nicht-leitungsgebundene Energieträger sind Kohle, Öl, Flüssiggas (LPG), Biomasse oder andere Brennstoffe, die diskontinuierlich mittels Zug oder LKW vom Lieferanten zum Verbraucher gebracht werden.²³

Die Kosten für leitungsgebundene Energieträger können in vier Kostenuntergruppen aufgeteilt werden:

- Anschlussabhängige Kosten entstehen für den Energiekunden einmalig, wenn seine Anlagen z.B. durch Errichtung einer Übergabestelle an das regionale Leitungsnetz angeschlossen werden.
- Leistungsabhängige Kosten werden für die zur Verfügung gestellte Leistung berechnet. Dabei gibt es je nach Liefervertrag verschiedene Berechnungsmethoden. Um leistungsabhängige Kosten möglichst niedrig zu halten, sind vom Kunden Lastspitzen zu vermeiden und sein Energieverbrauch zu gleichmäßigen.
- Arbeitsabhängige Kosten: Die durch den Kunden dem Leitungsnetz entnommene Energiemenge wird ständig gemessen und über eine gewisse Periode im Nachhinein zur Verrechnung gebracht.
- Messgeräteabhängige Kosten: Manche Energieversorger verrechnen Kosten für die Messung der entnommenen Energiemenge.

²³ Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 80ff.

Aus den genannten Kosten setzen sich die Preise für leitungsgebunden bezogene Energieträger zusammen. Dies sind Nettopreise, zu denen je nach lokaler Gesetzeslage verschiedene Steuern und Abgaben hinzukommen.²⁴

Die Kosten für nicht leitungsgebundene Energieträger ergeben sich aus den individuellen Vereinbarungen zwischen Lieferant und Kunde. Auf den jeweiligen ausgehandelten Nettopreis sind ebenfalls je nach lokaler Gesetzeslage Steuern und Abgaben aufzuschlagen.

²⁴ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices & Taxes, Quarterly Statistics, 2nd Quarter 2009, S. xxv

3 Entwicklung von Energieverbrauch und Energiepreisen

Die Betrachtung der weltweiten Entwicklung des Energieverbrauches sowie der Energiepreise über die letzten Jahre zeigt auf, auf welchem Niveau sich sowohl die Nachfrage als auch die realen (inflationsbereinigten) Preise heute im Vergleich zur Vergangenheit befinden. Zuerst wird die Energieverbrauchsentwicklung allgemein und in der Papierindustrie im Speziellen dargestellt, danach erfolgt die Betrachtung der Energiepreise in diesem Zeitraum.

3.1 Energieverbrauchsentwicklung der vergangenen Jahre

Abbildung 3-1 zeigt die Entwicklung der Zusammensetzung der weltweiten Primärenergieversorgung von 1971 bis 2007.

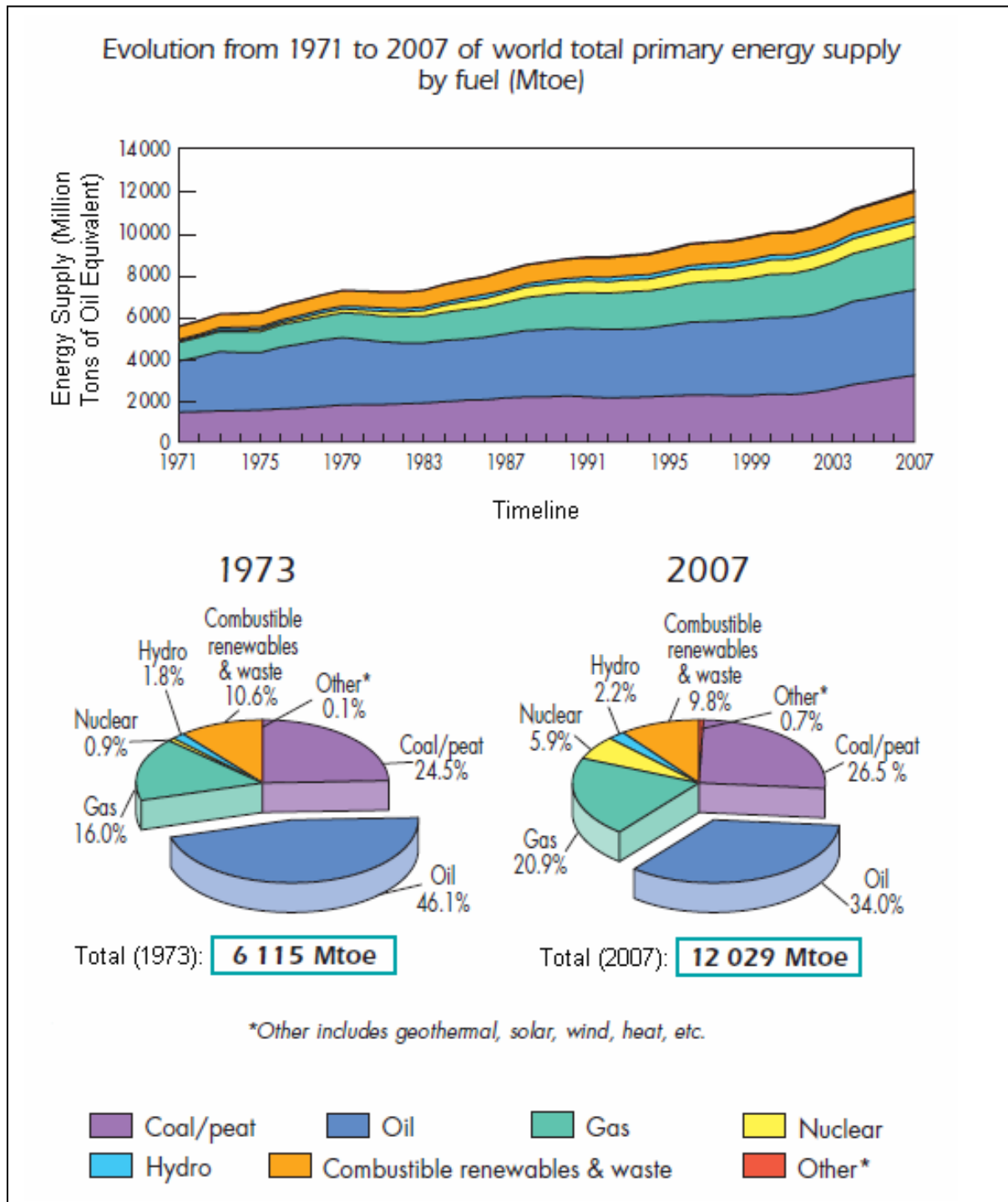


Abbildung 3-1: Entwicklung der weltweiten Primärenergieversorgung von 1971 bis 2007 (Mtoe: Million Tons of Oil Equivalent), und Vergleich der Zusammensetzung des weltweiten Primärenergieverbrauches der Jahre 1973 und 2007²⁵

Der Primärenergieverbrauch (oberes Diagramm) steigt in dieser Zeit in etwa linear an. Wie die Torten-Diagramme in Abbildung 3-1 zeigen, wird der Welt-Primärenergieverbrauch von 1973 bis 2007 von 6.115 Mtoe (Million Tons of Oil

²⁵ In Anlehnung an Key World Energy Statistics 2009, (2009), S. 6

Equivalent, 1 Mtoe = 41,868 MJ oder 11,63 kWh²⁶⁾ auf 12.029 Mtoe nahezu verdoppelt. Dabei sinkt der Anteil von Öl zugunsten von Gas und Nuklearenergie von 46,1 % im Jahr 1973 auf 34 % im Jahr 2007.

In etwa dem gleichen Zeitraum wird die weltweite Papierproduktion nahezu verdreifacht, wie Abbildung 3-2 zeigt. Während 1970 weltweit rund 120 Millionen Tonnen Papier produziert werden, sind es im Jahr 2000 mehr als 320 Millionen Tonnen.

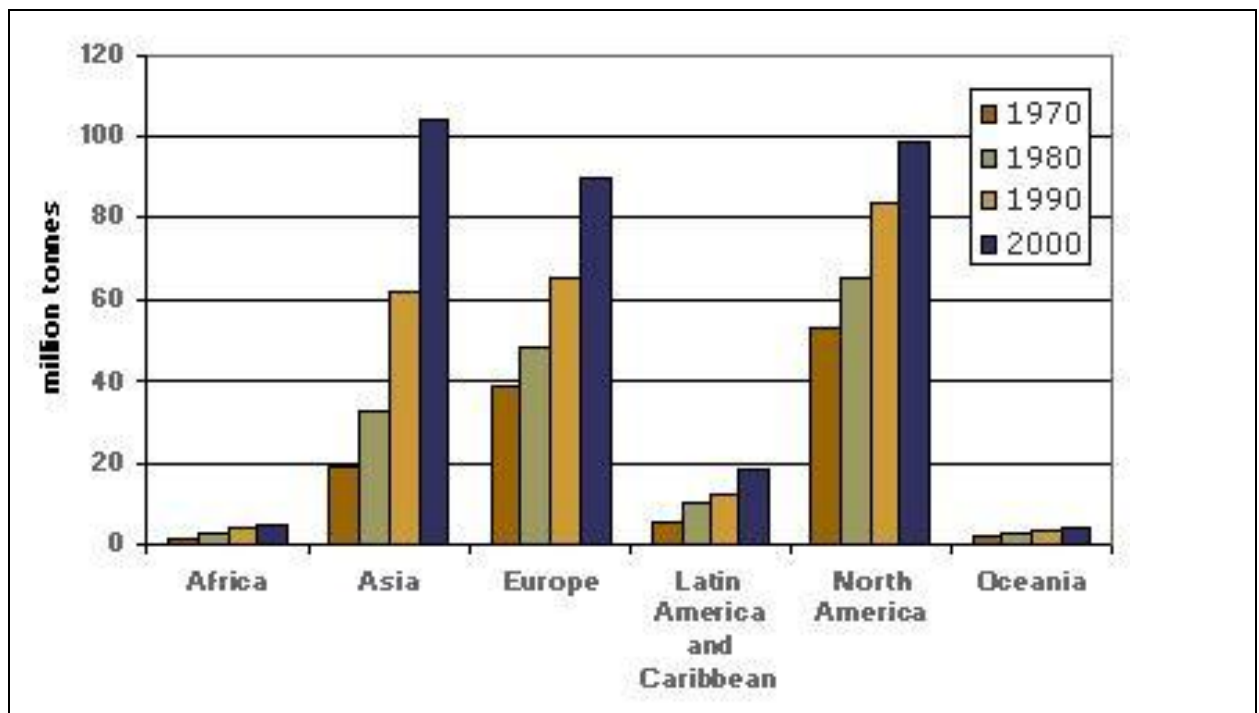


Abbildung 3-2: Weltweite Papierproduktion²⁷⁾

Der spezifische Energieverbrauch pro Tonne produzierten Papiers wird währenddessen um zwei Drittel reduziert, von durchschnittlich 6.300 kWh pro Tonne im Jahr 1970 auf 2.370 kWh im Jahr 2006. Diese Entwicklung ist in Abbildung 3-3 dargestellt.

²⁶⁾ Vgl. Eurostat,

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Tonnes_of_oil_equivalent_%28toe%29, Zugriffsdatum: 02.01.2010

²⁷⁾ Vanasselt W.: No End to Paperwork, 2001,

http://earthtrends.wri.org/features/view_feature.php?theme=6&fid=19, Zugriffsdatum 24.02.2010

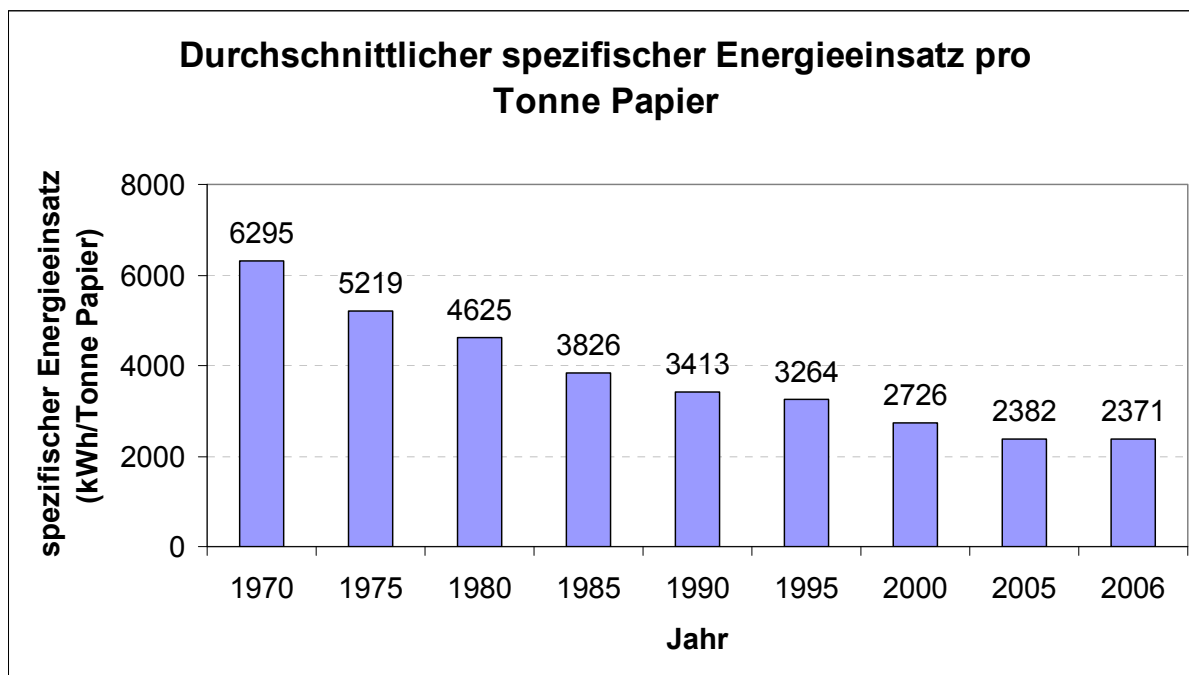


Abbildung 3-3: Reduzierung des spezifischer Energieeinsatzes pro Tonne produzierten Papiers²⁸

3.2 Energiepreisentwicklung der vergangenen Jahre

Da sich die Preise der verschiedenen fossilen Energieträger, die von der Papierindustrie hauptsächlich zur Strom- und Dampferzeugung genutzt werden, nicht gleich entwickeln, ist eine Einzelbetrachtung der Preisentwicklung des jeweiligen Energieträgers sinnvoll.

3.2.1 Rohölpreis

In letzter Zeit ist der Preis für Rohöl und für daraus hergestellte Produkte hohen Schwankungen unterworfen. Abbildung 3-4 zeigt die Entwicklung des nominellen und des realen (das Basisjahr ist das Jahr 2007) Importpreises von Rohöl in US Dollar seit 1980. (Errechnet jeweils als Durchschnitt der Importpreise aller OECD-Staaten.)

²⁸ Vgl. Thiel (2007), S. 1275

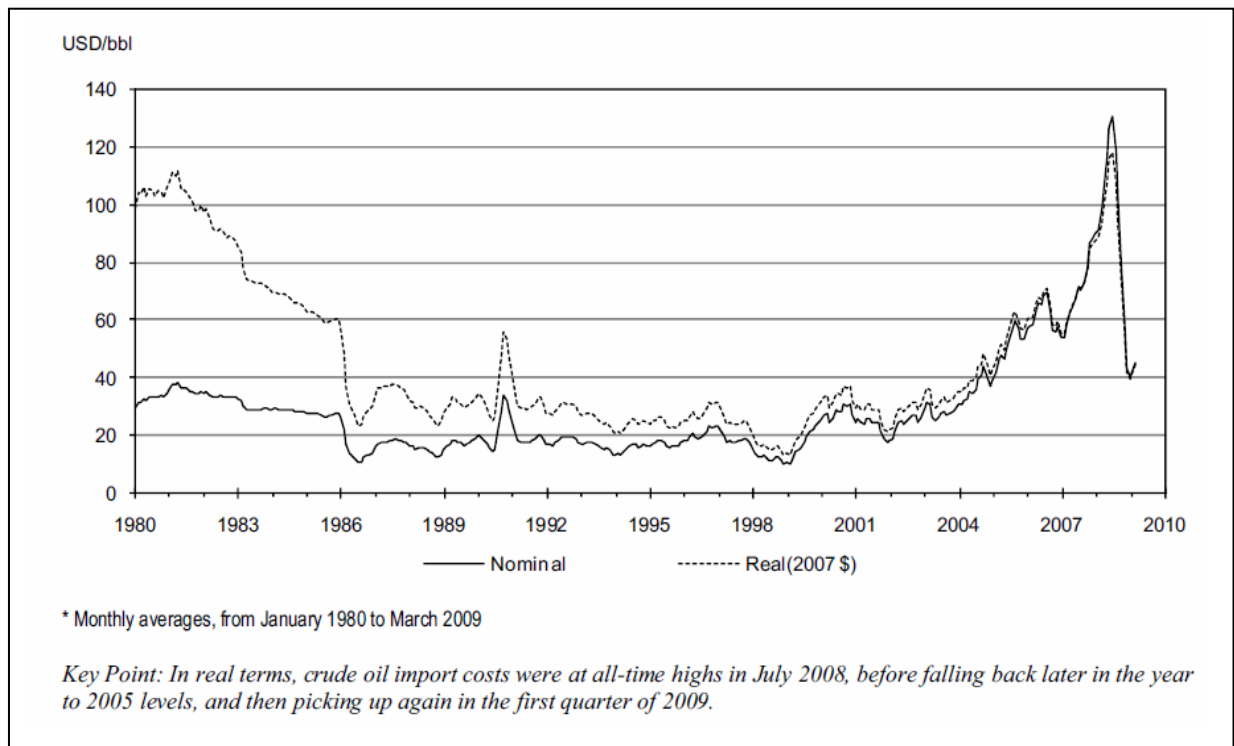


Abbildung 3-4: Entwicklung des nominalen und des realen Rohölimportpreises seit 1980²⁹

Das reale (inflationbereinigte) Preis-Allzeithoch erreicht Rohöl im Juli 2008. Anfang 2009 sinkt der Preis dann wieder auf das Niveau von 2005, und im Herbst 2009 ist Rohöl etwa halb so teuer, wie zur Zeit des Allzeit-Preishochs von 2008.

3.2.2 Erdgaspreis

Der Preis für Erdgas ist durch Verträge und durch seine Funktion als Substitutionsgut für Rohöl eng mit dem Rohölpreis verknüpft.³⁰

Der Gashandel in der EU und in Japan ist fast ausschließlich durch langfristige Lieferverträge abgesichert, die zwar eine Preis-Korrelation zwischen Rohölpreis und Erdgaspreis vorsehen, allerdings die mögliche Schwankungsbreite des Erdgaspreises nach oben hin begrenzen, wodurch die hohen Ausschläge des Rohölpreises in diesen Regionen nur zum Teil auf den Erdgaspreis übertragen werden. In den USA hingegen, wo die Preise hauptsächlich durch das Nachfrage-Angebot-Gleichgewicht bestimmt werden, steigt der Preis von Erdgas in etwa deckungsgleich mit dem Rohölpreis an. Abbildung 3-5 stellt diese Gegebenheiten grafisch dar.

²⁹ International Energy Agency, Energy Prices & Taxes, Quarterly Statistics, 2nd Quarter 2009, S. xv

³⁰ Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 85

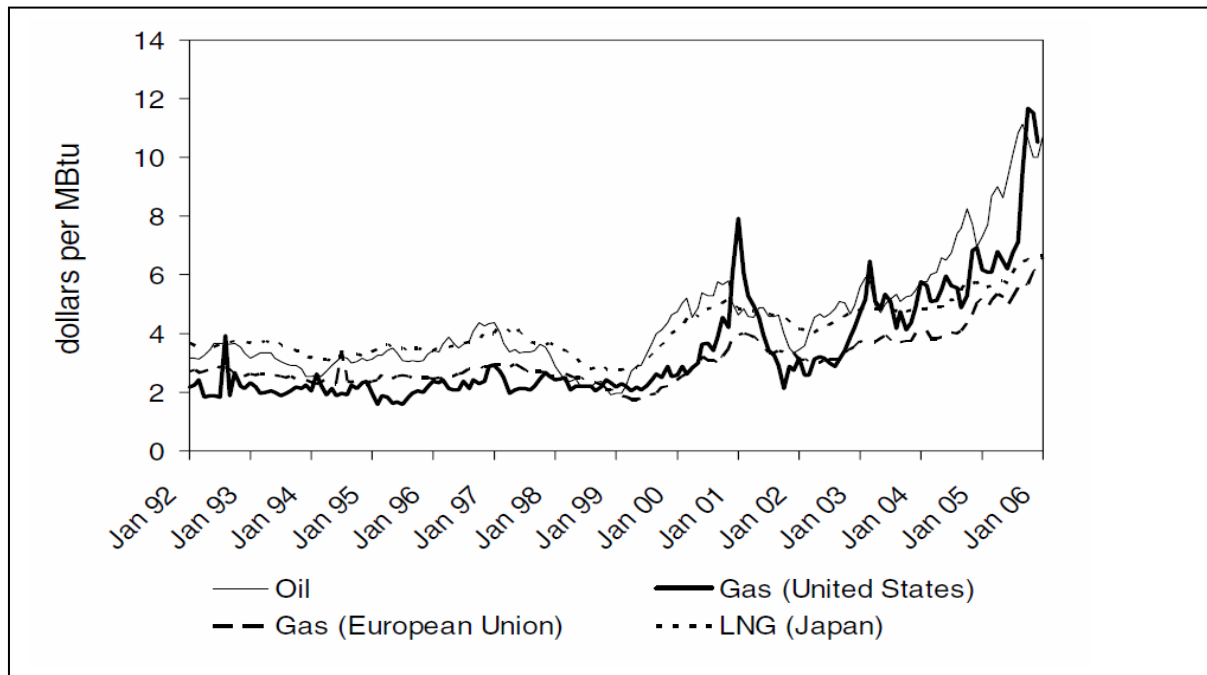


Abbildung 3-5: Durchschnittlicher Importpreis von Erdgas in einzelnen Regionen verglichen mit dem Rohöl-Importpreis bezogen jeweils auf den Energieinhalt³¹

Die Bindung des Erdgashandels an langfristige Verträge führt aber auch dazu, dass sich Ausschläge des Rohölpreises nach unten nicht so stark auf den Erdgaspreis auswirken. So ist z.B. im dritten Quartal 2008 in Europa Erdgas, bezogen auf den Energieinhalt, etwa um 50% billiger als Rohöl, im ersten Quartal 2009 aber ist dann Rohöl um 22% billiger als Erdgas.³²

3.2.3 Kohlepreis

Bezogen auf den Energieinhalt ist Kohle der preiswerteste Energieträger unter den fossilen Brennstoffen. Auch schwankt der Preis von Kohle nur sehr gering. Im dritten Quartal 2008 etwa ist Rohöl cirka viermal so teuer wie Kohle (bezogen auf eine Menge gleichen Energieinhaltes), doch schon im vierten Quartal 2008 ist der Preis von Rohöl nur mehr doppelt so hoch.³³

Abbildung 3-6 zeigt den Preisverlauf von Rohöl, Erdgas und Kohle von 1985 bis 2009. Die Kurven für Steinkohle und Rohöl geben jeweils die Durchschnittsimportpreise aller OECD-Staaten inklusive Transportkosten an. Die

³¹ Morgan/Emoto (2007), S. xii

³² Vgl. Morgan/Emoto (2007), S. xii

³³ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices & Taxes, Quarterly Statistics, 2nd Quarter 2009, S. xvii

Kurven für Pipeline-transportiertes Erdgas und verflüssigtes Erdgas (LNG) geben die Durchschnittsimportpreise der Europäischen Union an.

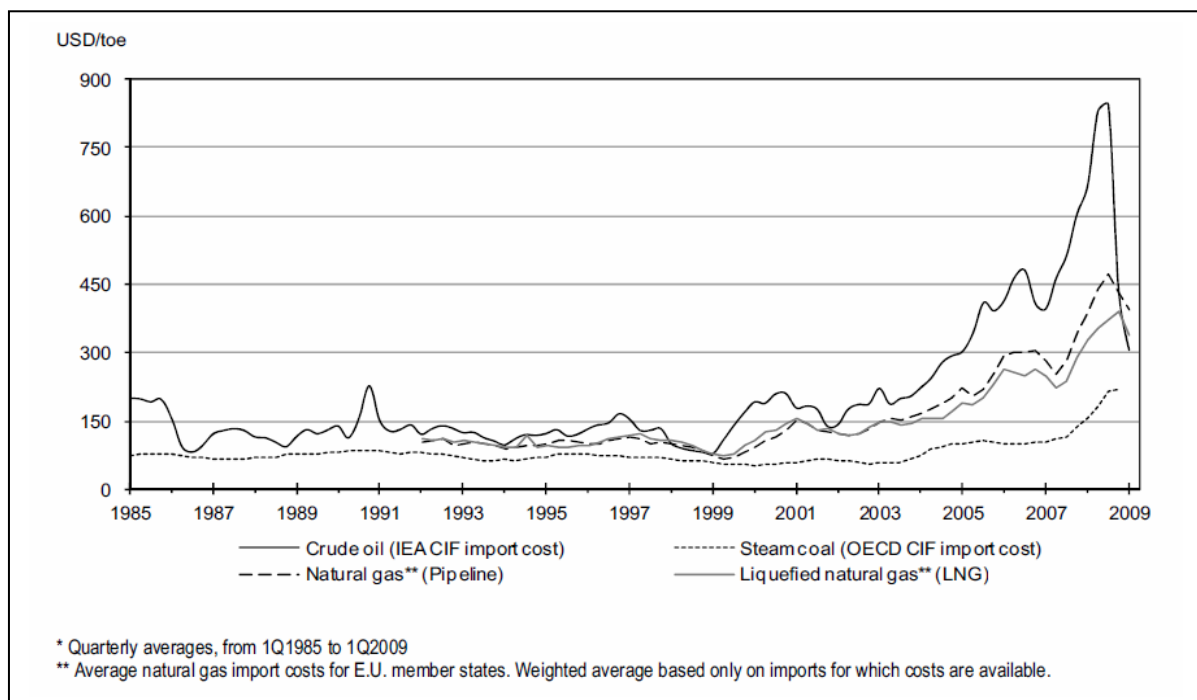


Abbildung 3-6: Preisverlauf von Rohöl, Erdgas (nur Importpreise der EU) und Kohle von 1985 bis 2009³⁴

3.2.4 Energiepreise und Papierpreis

Während die Energiepreise ab etwa 2003 deutlich steigen, bzw. auf hohem Niveau verharren, stagnieren die auf dem Markt erzielbaren Preise für Papier aufgrund von Marktsättigungen in Europa und zunehmender Konkurrenz aus Asien. Wie Abbildung 3-7 zeigt, können die Papierhersteller die erhöhten Energiepreise nicht an ihre Kunden weitergeben. Daher sehen sich viele Papierproduzenten fallenden Gewinnen gegenüber. Einen möglichen Ausweg sieht die Papierindustrie in der Steigerung der Energieeffizienz der eigenen Anlagen.³⁵

³⁴ International Energy Agency, Energy Prices & Taxes, Quarterly Statistics, 2nd Quarter 2009, S. xvii

³⁵ Vgl. Cedra/Köster/Staiger (2007), S. 1000ff.

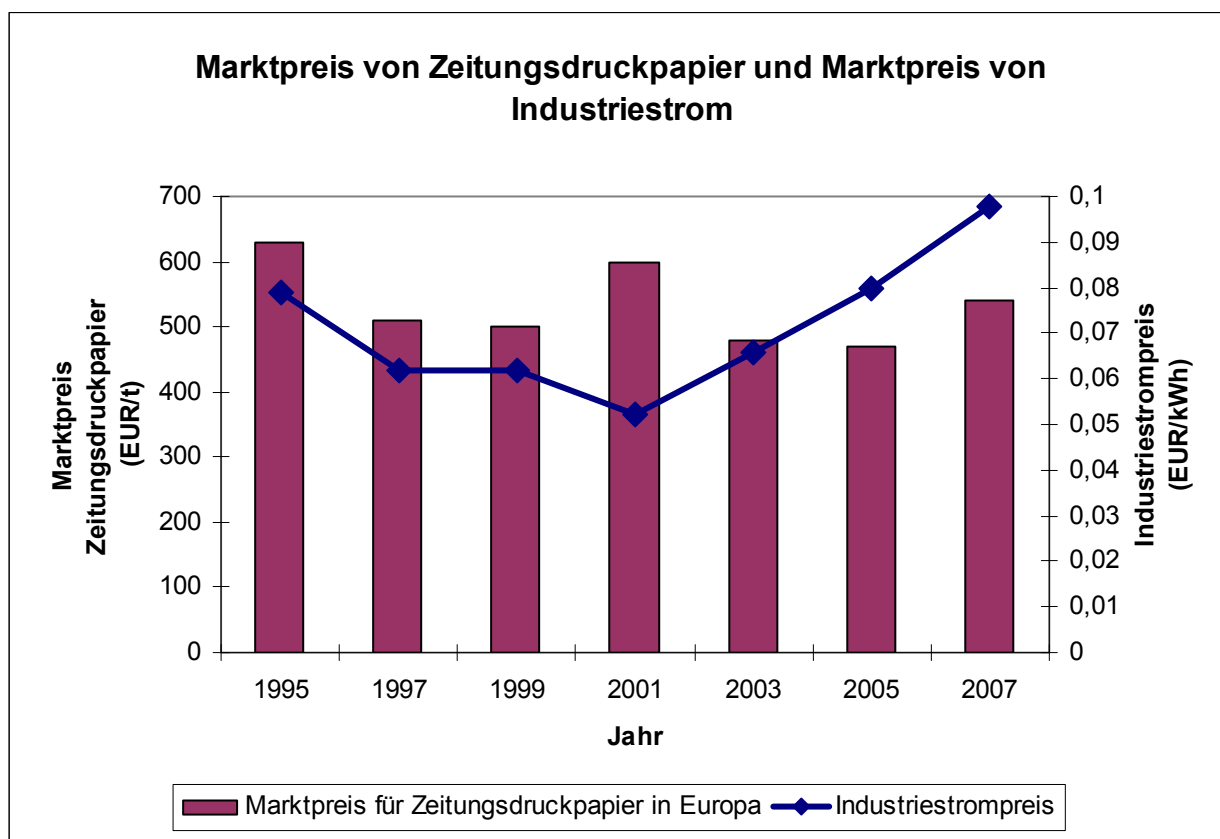


Abbildung 3-7: Marktpreise von Zeitungsdruckpapier und Industriestrom in den letzten Jahren³⁶

3.3 EU-ETS³⁷

In Zukunft werden in der Einführungsphase befindliche staatliche Maßnahmen zur Eindämmung des Kohlendioxid-Ausstoßes die Energiepreise zusätzlich beeinflussen.

Die Europäische Union implementiert 2005 das so genannte „European Union Emission Trading Scheme“, kurz EU-ETS. Dieses Emissionshandelssystem erfasst und beschränkt den Treibhausgas-Ausstoß von mehr als 10.000 größeren Anlagen aus dem Industrie- und Energiewirtschaftssektor der 27 EU-Staaten. Diesem System unterwerfen sich seit Anfang 2008 auch die Nicht-EU-Staaten Norwegen, Island und Lichtenstein.³⁸

³⁶ In Anlehnung an Meßmer (2008) S. 687

³⁷ Vgl. Europe (portal site of the European Union), <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/796&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>, Zugriffsdatum 10.01.2010

³⁸ Vgl. Europe (portal site of the European Union), <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/05/84&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>, Zugriffsdatum 10.01.2010

Emissionszertifikate, die zum Emittieren von CO₂ berechtigen, werden den betroffenen Unternehmungen anfangs kostenlos zugeteilt. In der Folge wird eine jedes Jahr geringer werdende Menge ausgegeben, sodass immer mehr Zertifikate in nationalen Auktionen zugekauft werden müssen. Dabei strebt die EU-Kommission einen durchschnittlichen Preis von 30 Euro pro Zertifikat an.³⁹

Zu den Industriesektoren, die von der EU-Kommission explizit von der Verpflichtung zum Zertifikatekauf ausgenommen werden, gehören sowohl die Papier- und Zellstoffproduzenten als auch die Hersteller von Maschinen für die Papier- und Kartonproduktion. Diese Sektoren sollen 100% der Zertifikate auch in Zukunft kostenlos erhalten, sofern sie die auf dem Stand der Technik effizienteste Technologie einsetzen.

Der Energiesektor hingegen wird ab dem Jahr 2013 alle benötigten Zertifikate über nationale Auktionen erwerben müssen. Die EU-Kommission erwartet dadurch Strompreissteigerungen, die mit den Preis-Veränderungen der Zertifikate korrespondieren und etwa einer Erhöhung von 15 % bis 20 % gegenüber der angenommenen Preisentwicklung ohne Zertifikateeinkauf entsprechen.⁴⁰

³⁹ Vgl. Commission Decision of 24 December 2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:001:0010:0018:EN:PDF>, Zugriffsdatum 11.01.2009

⁴⁰ Vgl. Commission Decision of 24 December 2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:001:0010:0018:EN:PDF>, Zugriffsdatum 11.01.2009

4 Technische Grundlagen

Zunächst werden die Hauptabschnitte des Papierherstellungsprozesses und dabei wichtige Anlagenkomponenten behandelt. Danach wird auf von der Papierindustrie häufig genutzte Strom- und Dampferzeuger eingegangen.

4.1 Der Papierherstellungsprozess



Abbildung 4-1: Einzelne Schritte des Papierproduktionsprozesses⁴¹

Abbildung 4-1 zeigt beispielhaft einen Papierproduktionsprozess von der Anlieferung des Rohstoffes Holz bis zur Auslieferung des fertigen Papiers.

Die Papierindustrie ist eine sehr energieintensive Industriesparte. Der Anteil der Energiekosten liegt bei zehn bis dreißig Prozent der Gesamtkosten.⁴²

⁴¹ <http://www.abb.com/cawp/seitp161/0f21350e6cd33e8ec1256d2400473fb3.aspx>, ABB, Zugriffsdatum 01.01.2010

⁴² Vgl. Isometsä (2008), S. 1069ff.

Abbildung 4-2 stellt die typische Kostenstruktur eines Papierproduzenten in den letzten Jahren dar.

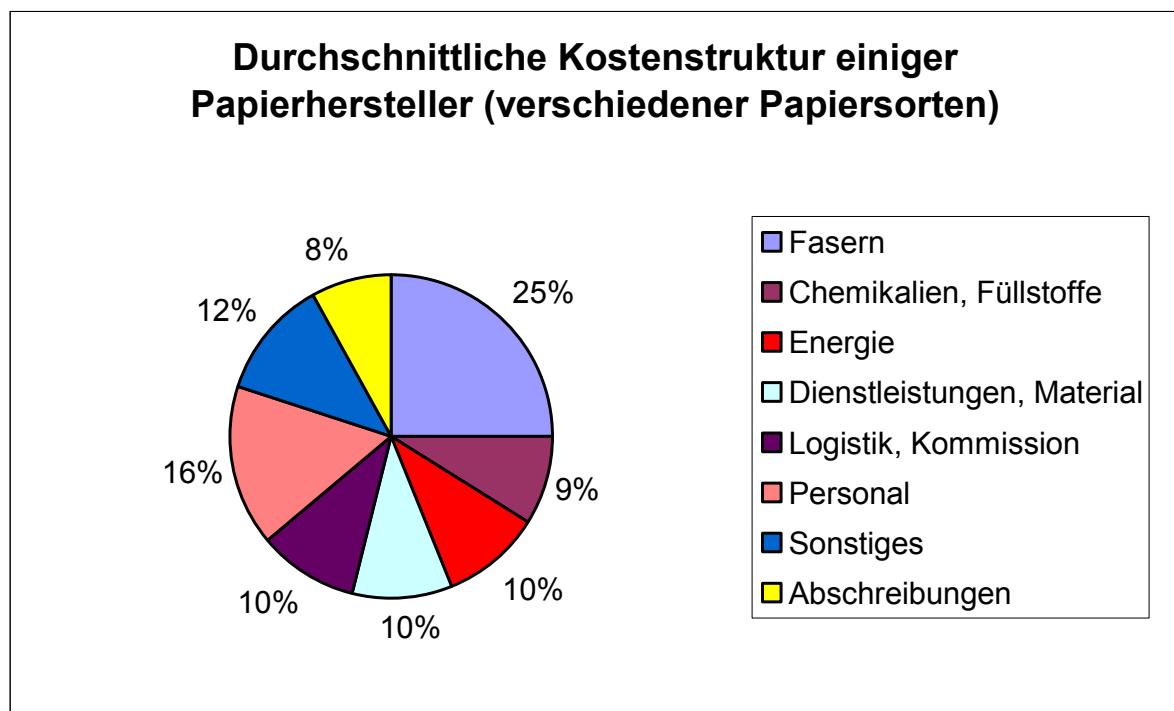


Abbildung 4-2: Durchschnittliche Kostenstruktur einiger größerer Papierhersteller (verschiedene Papiersorten)⁴³

Der gesamte Papierherstellungsprozess lässt sich in die Faseraufbereitung und in die eigentliche Papierproduktion aufteilen.⁴⁴ Die Verbindung dieser beiden Abschnitte bildet der Konstantteil.⁴⁵

4.1.1 Die Faseraufbereitung

Papier besteht aus Faserstoffen und enthält abhängig von der jeweiligen Papiersorte Additive, welche die Papiereigenschaften verändern und für unterschiedliche Anwendungen anpassen.⁴⁶ Die Faserstoffe werden heute praktisch ausschließlich aus Holz gewonnen.⁴⁷ Selten und für Spezialanwendungen werden auch andere Fasermaterialien verwendet wie z.B. Einjahrespflanzen.⁴⁸ So genannte Primärfaserstoffe werden zum ersten Mal für die Papierproduktion eingesetzt, während so genannte Sekundärfaserstoffe aus Altpapier stammen.⁴⁹

⁴³ Vgl. Oinonen (2009), S. 716ff.

⁴⁴ Vgl. Bos et al (2006), S. 38

⁴⁵ Vgl. Bos et al (2006), S. 216

⁴⁶ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. G-Q 388

⁴⁷ Vgl. Bos et al (2006), S. 32ff.

⁴⁸ Vgl. Papiermacher Taschenbuch, S. 20ff.

⁴⁹ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. A-F 434f.

Holz besteht aus Cellulose (eigentliche Fasersubstanz), Hemicellulose, Lignin (verholzende Substanz, die die Fasern zusammenhält), und Begleitstoffen wie z.B. Harz.⁵⁰ In der Faseraufbereitung wird das Holz entweder mechanisch oder chemisch aufgeschlossen. Das Ziel jeder Aufschließung ist die Vereinzelung der im Holz enthaltenen Fasern, indem der natürlich gewachsene Faserverband aufgebrochen wird.⁵¹

Der mechanische Aufschluss zu Holzstoff erfolgt durch Schleifen in Schleifanlagen. Im Lauf der Zeit wurden unterschiedliche Schleifverfahren entwickelt. Am weitesten verbreitet ist heute das TMP-Verfahren, wobei TMP für „Thermo Mechanical Pulp“ steht. Dabei wird durch Dampf der Faserverband gelockert, was eine einfachere Zerfaserung ermöglicht. So produzierte Fasern sind weniger zerstört als Fasern in einem durch rein mechanisches Schleifen erzeugten Faserstoff.

Für das Schleifen wird sehr viel Strom benötigt, je nach Art des gewünschten Holzstoffes zwischen 1000 und 3400 kWh pro Tonne Holzstoff (lufttrocken).⁵² Beim TMP-Verfahren wird rund die Hälfte der als Strom eingebrachten Energie in Dampf umgewandelt, der in anderen Anlagenteilen, etwa in der angeschlossenen Papierfabrik eingesetzt werden kann.⁵³ Die Faserausbeute liegt bei über 90% der eingebrachten Holzmasse.⁵⁴ Papiere, die aus Holzstoff erzeugt werden, werden als holzhaltige Papiere bezeichnet. Holzhaltige Papiere eignen sich nicht für jede Anwendung, da aufgrund des enthaltenen Lignins ihr Weißniveau niedrig ist, und sie mit der Zeit vergilben.⁵⁵

Beim chemischen Aufschluss zu Zellstoff wird das Lignin aus dem Holzes chemisch entfernt, wodurch die Cellulosefasern freigelegt werden. Der Aufschluss erfolgt entweder nach dem Sulfit- oder dem Sulfatverfahren. Am Ende beider Verfahren wird die entstehende Ablauge mit dem gelösten Lignin zur Chemikalienrückgewinnung und zur Energieproduktion verbrannt. Dabei wird rund doppelt so viel Dampf gewonnen, wie für den Prozess selbst benötigt wird.⁵⁶ Dieser Dampf kann z.B. zur Stromproduktion oder in einer angeschlossenen Papierfabrik verwendet werden. Der Strombedarf bei diesen Verfahren beträgt rund ein Viertel des Stromverbrauchs des

⁵⁰ Vgl. Papiermacher Taschenbuch, S. 20f.

⁵¹ Vgl. Papiermacher Taschenbuch, S. 41

⁵² Vgl. Pettersson (2007), S. 319ff.

⁵³ Vgl. Oinonen (2009), S. 716ff.

⁵⁴ Vgl. Bos et al (2006), S. 60ff.

⁵⁵ Vgl. Götttsching/Katz (1999), S. G-Q 95

⁵⁶ Vgl. Oinonen (2009), S. 723ff.

mechanischen Aufschlusses. Die Faserausbeute liegt bei etwa 50 % der eingesetzten Holzmasse. Aus Zellstoff hergestellte Papiere werden als holzfreie Papiere bezeichnet. Sie haben ein hohes Weißeniveau, vergilben nicht und weisen höhere Festigkeiten auf.

Viele Papiersorten werden nicht oder nicht ausschließlich aus Primärfaserstoffen hergestellt, sondern beinhalten hauptsächlich Sekundärfaserstoffe, die aus recyceltem Altpapier hergestellt werden. Die Verwendung von Altpapier reduziert den Bedarf an frischem Holz und den Energieverbrauch bei der Fasergewinnung, was zu geringeren Kosten von Sekundärfaserstoffen gegenüber Primärfaserstoffen führt. Ein bestimmter Anteil an Primärfasern ist jedoch in den meisten Produktionsverfahren notwendig, um beim Recycling auftretende Qualitätsverluste der Fasern auszugleichen. Altpapier wird im Pulper aufgelöst und grob gereinigt. Für die Verwendung der Fasern zur Produktion heller Papiersorten (z.B. grafische Papiere, Hygienepapiere) werden in einem Deinking-Prozess die Druckfarben entfernt.⁵⁷ Auf diese Weise gereinigte Altpapierfasern heißen DIP, Deinked Pulp. Bei der Altpapieraufbereitung wird etwa um ein Drittel weniger Strom verbraucht, als bei der Erzeugung von Primärfaserstoff aus Zellstoff, und um etwa 90 % weniger als bei der Produktion von TMP.

Holzstoff und DIP werden üblicherweise vor Ort hergestellt. Auch Zellstoff kann vor Ort hergestellt werden (integrierte Fabrik), wird aber häufiger zugekauft (nicht integrierte Fabrik).⁵⁸

Holzstoff und Zellstoff (und in seltener DIP) werden im Zuge der Stoffaufbereitung durch Mahlung in einem Refiner und Zugabe von Zusätzen in ihren Eigenschaften an die Bedürfnisse der nachfolgenden Papierproduktion angepasst und in einen pumpfähigen Zustand gebracht. Der Energiebedarf des Refiner-Prozesses beträgt je nach Art des zu bearbeitenden Halbstoffes bis zu einigen hundert Kilowattstunden pro Tonne⁵⁹.

Integrierte Papierfabriken haben folgende Vorteile: Trocknung, Verpackung und Transport des Zellstoffes von der Zellstofffabrik zur Papierfabrik fallen weg. Das spart 5 % bis 10 % der Produktionskosten. Ein Zellstoffwerk produziert Energieüberschüsse durch die Verbrennung der ausgelösten Holzanteile, die in der Papierherstellung genutzt werden können. Die Investitionskosten für eine integrierte

⁵⁷ Vgl. Bos et al (2006), S. 119ff.

⁵⁸ Vgl. Karlsson (2000), S. 3089

⁵⁹ Vgl. Bos et al (2006), S. 180f.

Papierfabrik fallen im Vergleich zu den Investitionskosten eines nicht integrierten Zellstoffwerks und einer davon getrennten Papierfabrik geringer aus, da keine Zellstofftrocknungsanlage benötigt wird, und die Kraftwerke zur Erzeugung von Dampf insgesamt kleiner ausfallen können, da Dampf vom Zellstoffwerk direkt in der Papierproduktion eingesetzt werden kann. Aus Qualitätsgründen kann es aber auch bei integrierten Fabriken vorkommen, dass der Zellstoff getrocknet wird, bevor dieser in der Fabrik zur Papierproduktion verwendet wird.

Nachteile für integrierte Papierfabriken ergeben sich möglicherweise bei den Transportwegen und bei der Flexibilität der Produktion. Befindet sich eine integrierte Papierfabrik in der Nähe der Papierabnehmer, sind die Transportwege für den Rohstoff Holz meist lang. Wird der Standort der integrierten Papierfabrik in der Nähe der Holzvorkommen gewählt, verlängern sich die Transportwege des produzierten Papiers, welches rund 50 % des Gewichtes des eingesetzten Holzes hat. Dadurch erhöht sich aber die Gefahr von Beschädigungen des Papiers während Transportes, was schwerwiegendere wirtschaftliche Folgen hat, als Beschädigungen des Zellstoffes beim Transport zwischen einem Zellstoffwerk und einer nicht integrierten Papierfabrik.⁶⁰

4.1.2 Der Konstantteil

Der Konstantteil verbindet die Stoffaufbereitung mit dem Stoffauflauf der Papiermaschine. Im Konstantteil wird die richtige Stoffdichte der Fasersuspension eingestellt und konstant gehalten, der Stoffstrom wird einer Fein-Reinigung unterzogen, und es werden Zusatzstoffe beigemischt.⁶¹ Je nach Aufbau des Produktionsprozesses werden im Konstantteil etwa 10 % der elektrischen Energie einer Papierproduktionslinie für Rührwerke und Pumpen benötigt.⁶²

4.1.3 Die Papiermaschine⁶³

Eine moderne Papiermaschine wird in folgende Abschnitte eingeteilt:

- **Stoffauflauf:** Eine hoch verdünnte Fasersuspension wird gleichmäßig auf das erste Sieb der Papiermaschine aufgebracht. Der Faseranteil in der Suspension beträgt in etwa ein Prozent.⁶⁴ Der Stoffauflauf benötigt erwärmtes

⁶⁰ Vgl. Vgl. Karlsson (2000), S. 103ff.

⁶¹ Vgl. Bos et al (2006), S. 216

⁶² Vgl. Isometsä (2008), S. 1069ff.

⁶³ Vgl. Voith Paper intern

⁶⁴ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. R-Z 211f.

Wasser oder Dampf, um die Temperatur (auch bei Stillständen) konstant zu halten.⁶⁵

- **Siebpartie:** Hier erfolgt die Blattbildung und die Entwässerung der Faser-Wasser-Suspension durch Abtropfen und Absaugen des Wassers durch das Sieb hindurch. Am Ende der Siebpartie beträgt der Faseranteil der Suspension etwa 20 Prozent.⁶⁶ Die Siebpartie benötigt elektrische Energie für die Antriebe der Siebe und Vakuum für die Absaugung.
- **Pressenpartie:** Die Faser-Wasser-Suspension durchläuft eine oder mehrere Pressen, wodurch der Faseranteil an der Suspension je nach produzierter Papiersorte und verwendetem Pressentyp auf über 50 Prozent gebracht wird.⁶⁷ Dabei wird elektrische Energie für die Antriebe und für die hydraulische Belastung der Pressen benötigt sowie Vakuum für die Entwässerung der Filze und für eventuell vorhandene besaugte Presswalzen.⁶⁸
- **Trockenpartie:** Hier wird die aus der Faser-Wasser-Suspension durch Entfernen des Wassers entstandene Papierbahn über innen mit Dampf beheizte Trockenzylinder geleitet. Dadurch wird das restliche Wasser, je nach im Anschluss erfolgender Nachbearbeitung, maximal soweit verdampft, bis der Restfeuchtegehalt des Papiers mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft im Gleichgewicht steht.⁶⁹ Dieses Gleichgewicht wird bei etwa zwei bis neun Prozent Restfeuchte erreicht. Dabei wird elektrische Energie für die Antriebe, Gebläse und Pumpen benötigt, sowie Vakuum für die Absaugung. Der weitaus größte Teil der Energie wird jedoch in Form von Dampf für die Beheizung der Trockenzylinder verwendet.⁷⁰

Wie Abbildung 4-3 zeigt, sind die spezifischen Entwässerungskosten in der Siebpartie und in der Pressenpartie wesentlich geringer als in der Trockenpartie.⁷¹

⁶⁵ Vgl. Bos et al (2006), S. 232ff.

⁶⁶ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. R-Z 155f.

⁶⁷ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. G-Q 450f.

⁶⁸ Vgl. Bos et al (2006), S. 273ff.

⁶⁹ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. R-Z 284ff.

⁷⁰ Vgl. Bos et al (2006), S. 291ff.

⁷¹ Vgl. Käpä (2008), S. 24ff.

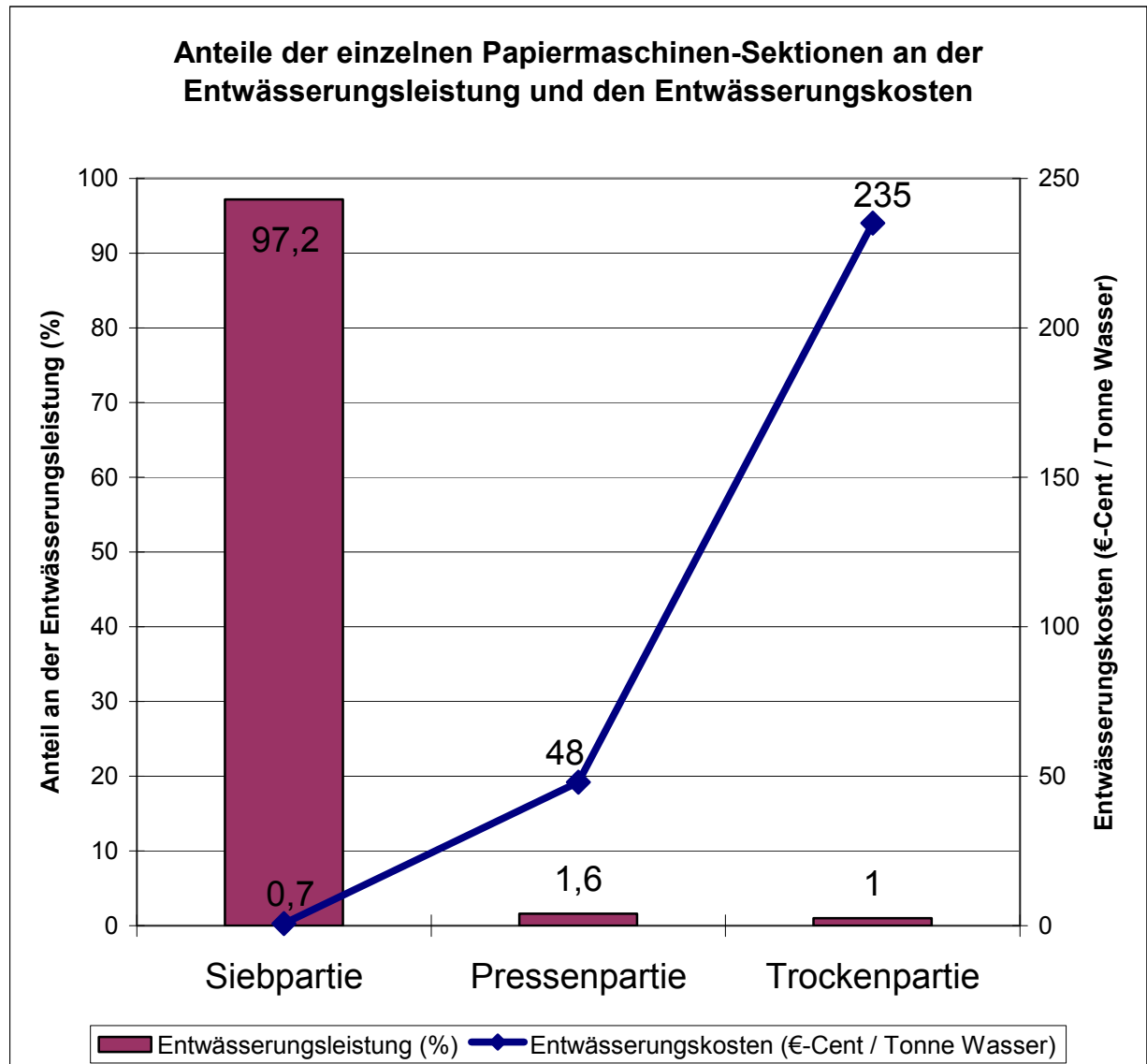


Abbildung 4-3: Anteile der einzelnen Papiermaschinen-Sektionen an der Entwässerungsleistung und Entwässerungskosten⁷²

Eine Erhöhung des Trockengehaltes nach der Pressenpartie trägt daher zur Energie- und Kosteneinsparung bei.

Nach der Trockenpartie folgen je nach produziertem Papiertyp verschiedene weitere Verarbeitungsschritte. Im Folgenden werden die wichtigsten genannt:

- **Kalander:** Durch Pressen der Papierbahn zwischen beheizten Walzen werden der Glanz und die Glätte der Papieroberfläche erhöht.⁷³

⁷² Institut für Papier-, Zellstoff-, und Fasertechnik der Technischen Universität Graz

⁷³ Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. R-Z 76ff.

- **Streichmaschine:** Durch das Auftragen von Pigmenten, Bindemitteln und Hilfsstoffen wird die Oberfläche des Papiers veredelt.⁷⁴ Da diese Stoffe in Form von wässrigen Gemischen aufgetragen werden, muss die Papierbahn danach erneut getrocknet werden.⁷⁵

Bei diesen Verarbeitungsschritten wird elektrische Energie für die Antriebe und meist auch für Hydraulikelemente benötigt. Eine Nachtrocknung des Papiers erfolgt mittels dampfbeheizter Trockenzylinder, Lufttrockner und/oder Infrarottrockner, die wiederum Energie in Form von Strom, Dampf oder Erdgas benötigt.

Am Ende wird das Papier aufgerollt, auf bestellte Breiten geschnitten und verpackt.



Abbildung 4-4: Komplett von Voith gelieferte PM4 der Leipa Georg Leinfelder GmbH in Schwedt an der Oder in Deutschland. (Blick auf die Siebpartie)⁷⁶

Abbildung 4-4 zeigt die Papiermaschine 4, die von Voith Paper im Jahr 2004 an die Leipa Georg Leinfelder GmbH in Schwedt an der Oder in Deutschland geliefert

⁷⁴ Vgl. Bos et al (2006), S. 362ff.

⁷⁵ Vgl. Götsching/Katz (1999), S. R-Z 219f.

⁷⁶ Voith Paper intern

wurde. Die Siebbreite beträgt 8900 mm, die Produktionsgeschwindigkeit 1800 m/min. Produziert werden LWC-Offsetpapiere mit einem Flächengewicht von 39 g/m² bis 60 g/m². Die Jahresproduktion beträgt etwa 300.000 Tonnen.

4.1.4 Energieverbrauch einer Papiermaschine

Eine Papiermaschine setzt etwa zwei Drittel ihres gesamten Energiebedarfs in der Trockenpartie um. Etwa 20 % entfallen auf die Pressenpartie und etwa 15 % auf die Siebpartie. Abbildung 4-5 stellt diese Aufteilung dar.

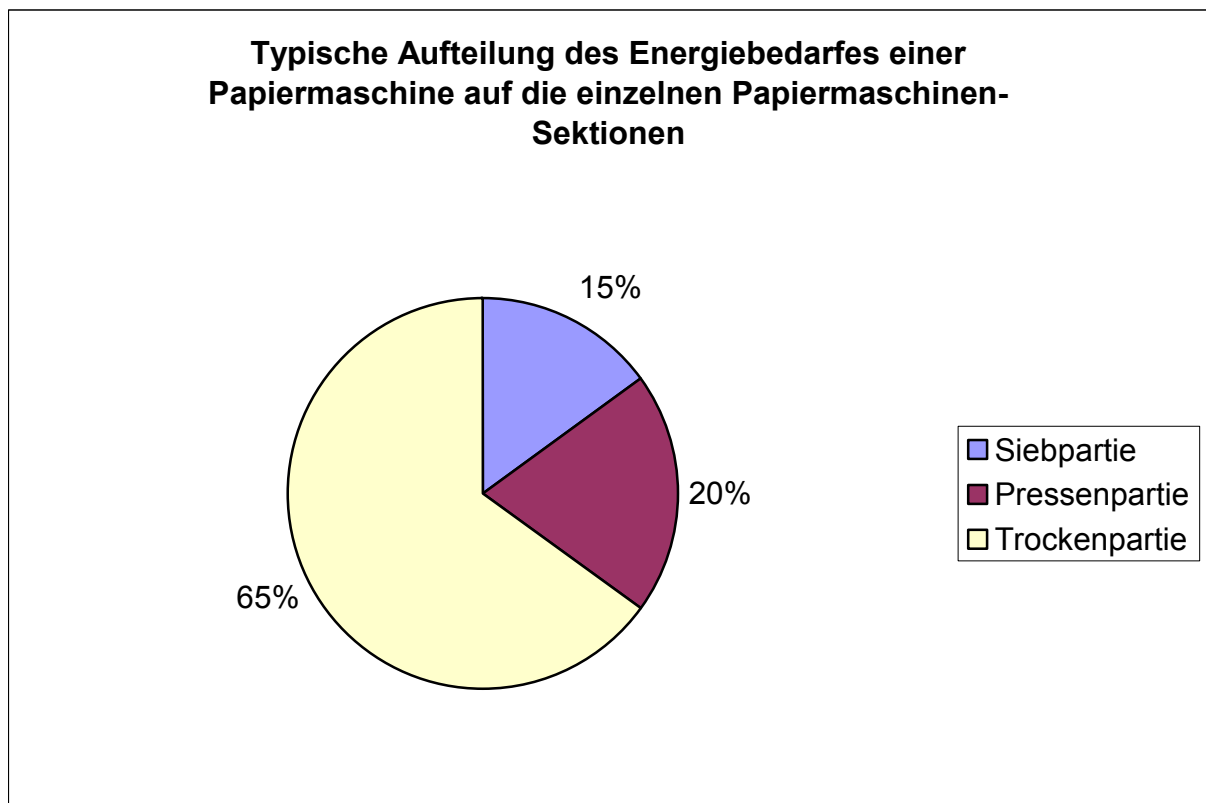


Abbildung 4-5: Typische Energiebedarfsaufteilung einer Papiermaschine⁷⁷

Der Energiebedarf setzt sich aus etwa einem Drittel elektrischer Energie und aus etwa zwei Drittel thermischer Energie zusammen. Die thermische Energie wird in Form von Dampf zum weit überwiegenden Teil in der Trockenpartie eingesetzt. Die elektrische Energie wird in allen Papiermaschinensektionen gleichmäßig eingesetzt.⁷⁸ Dabei sind die Antriebe, sowie die Vakuumpumpen und die Pumpen für den Stofftransport große Verbraucher. Abbildung 4-6 stellt die Verteilung des Energiebedarfes am Beispiel einer Zeitungsdruckmaschine dar.

⁷⁷ In Anlehnung an Rembeck (2009), S. 850

⁷⁸ Vgl. Pettersson (2007), S. 319ff.

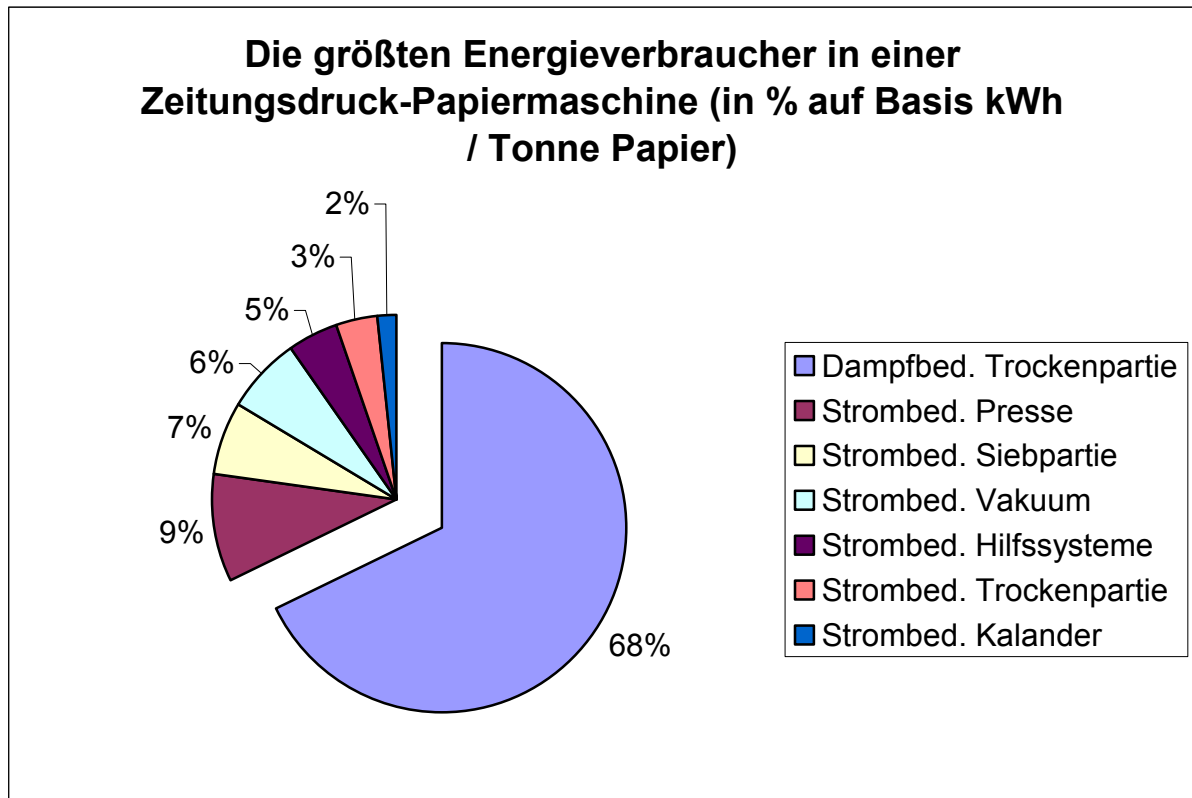


Abbildung 4-6: Große Energieverbraucher in einer Zeitungsdruckmaschine⁷⁹

Der Energiebedarf einer Papiermaschine hängt vor allem von der produzierten Papiersorte ab. Aber auch die Effizienz der eingesetzten Anlagen spielt eine entscheidende Rolle. Diese hängt unter anderem von der richtigen Auslegung der Anlagen-Komponenten und von deren Alter ab.⁸⁰

⁷⁹ In Anlehnung an Leigh (2009), S. 560

⁸⁰ Vgl. Cedra/Köster/Staiger (2007), S. 1000ff.

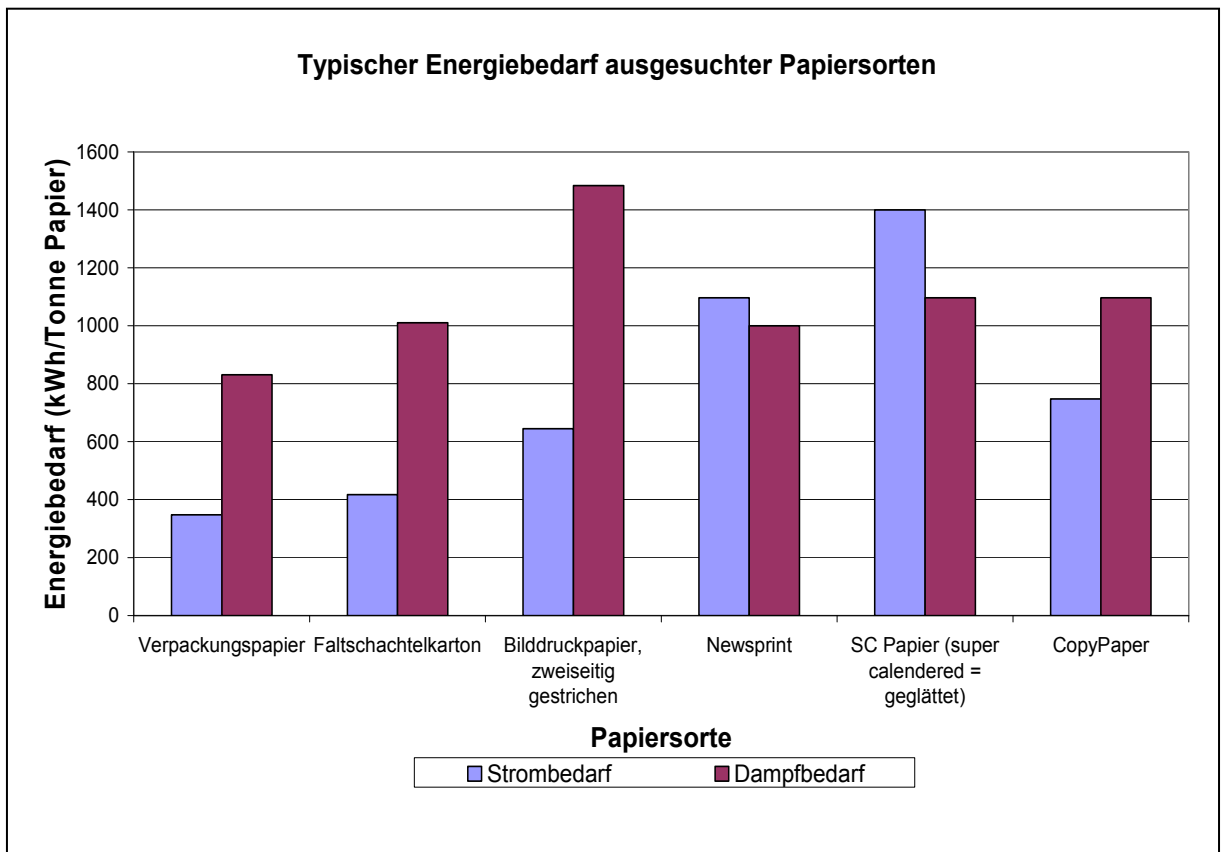


Abbildung 4-7: Energiebedarf ausgesuchter Papiersorten aufgeteilt in Strom- und Dampfbedarf⁸¹

Abbildung 4-7 zeigt den durchschnittlichen Energiebedarf ausgesuchter Papiersorten in kWh/Tonne produzierten Papiers, aufgeteilt in Strombedarf und Dampfbedarf.

⁸¹ Voith Paper intern

4.2 Systeme zur reinen Strom- oder Dampferzeugung

Nahezu alle Papierhersteller erzeugen den benötigten Dampf selbst. Bei vielen gilt dies auch für einen Teil des benötigten Stromes. Dabei sind Anlagen zur reinen Strom- oder Dampfproduktion aufgrund ihres geringen Nutzungsgrades im Vergleich zur gemeinsamen Erzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen selten geworden.

4.2.1 Konventioneller Dampfkessel

Vor allem zur Abdeckung von Spitzenlasten wird Dampf in konventionellen Dampfkesseln erzeugt. Darin werden fossile Energieträger oder Biomasse verbrannt, um Prozessdampf zu erzeugen, ohne dass ein Teil der enthaltenen Energie in Strom umgesetzt wird. In integrierten Papierfabriken, wo die Zellstoffproduktion nach dem Sulfat- oder Sulfitverfahren erfolgt, werden als Brennstoff die jeweils anfallenden Laugen eingesetzt, wobei neben der Dampferzeugung auch eine Rückgewinnung von eingesetzten Chemikalien erfolgt.⁸²

In Dampfkessel-Anlagen wird aus der Brennstoffenergie Wärme und in weiterer Folge Dampf erzeugt. Dabei werden etwa 80 % der eingesetzten Brennstoffenergie in nutzbare Energie in Form von Dampf umgesetzt. Die verbleibenden 20 Prozent der eingesetzten Brennstoffenergie gehen als Verluste an die Umwelt verloren.

⁸² Vgl. Göttsching/Katz (1999), S. A-F 219f.

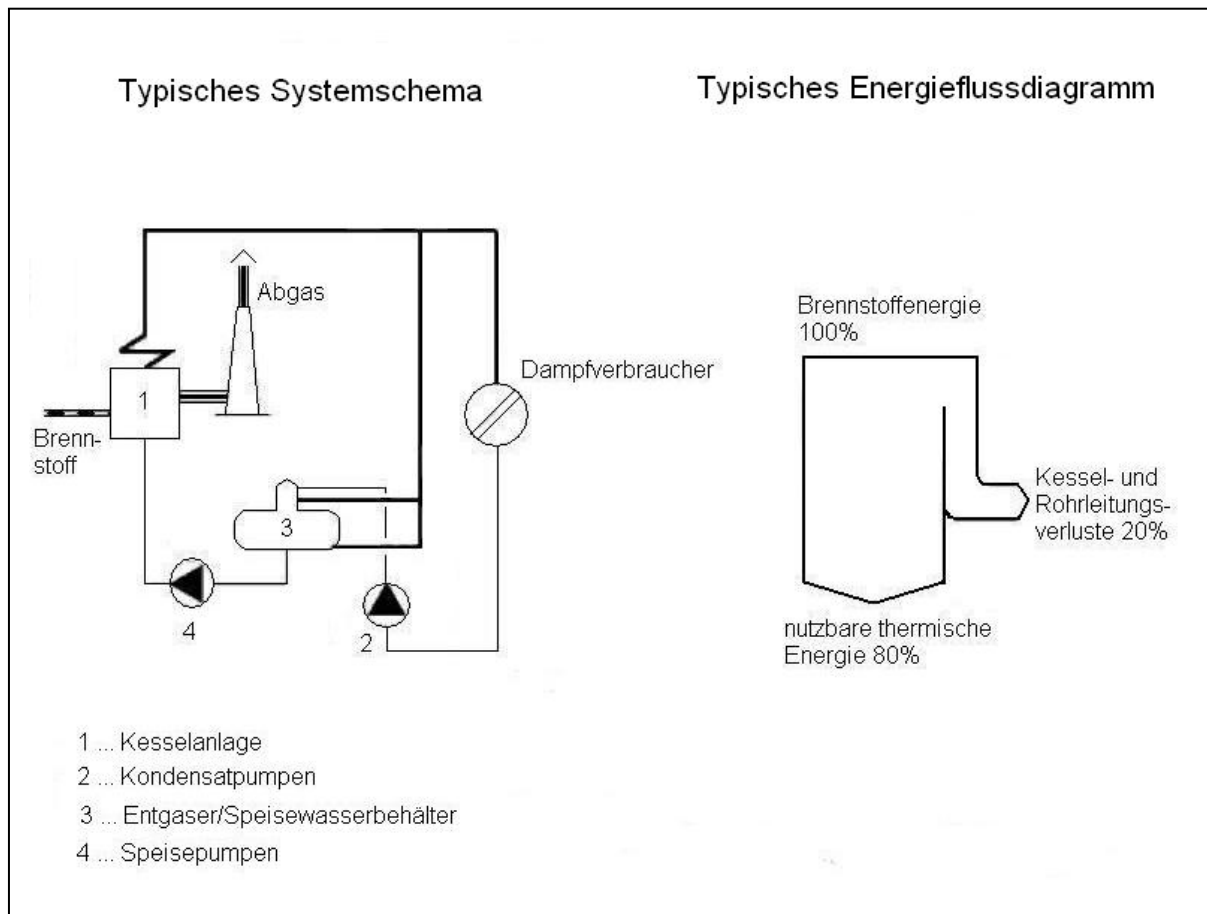


Abbildung 4-8: Konventionelle Dampfproduktionsanlage⁸³

Abbildung 4-8 zeigt ein typische Systemschema einer Anlage zur reinen Dampfproduktion und das zugehörige Energiefluss-Diagramm.

4.2.2 Gasturbine⁸⁴

Gasturbinen zur reinen Stromerzeugung werden aufgrund ihres schlechten Gesamtwirkungsgrades nur zur Abdeckung von Spitzenlasten verwendet.⁸⁵

Aufgrund der direkten Nutzung des Abgasstrahles der Brennkammer in der Turbine wird in Gasturbinen meist Erdgas oder Heizöl verbrannt. Die Abgase dieser Brennstoffe enthalten kaum Asche, die zu Ablagerungen und Erosionen führen würde, und auch keine Stoffe, die zu Korrosion beitragen.

Abbildung 4-9 zeigt ein typisches Systemschema einer konventionellen Gasturbine zur reinen Stromproduktion und das zugehörige typische Energieflussdiagramm.

⁸³ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 10

⁸⁴ Vgl. Beitz/Grote (1997), S. R78

⁸⁵ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 93

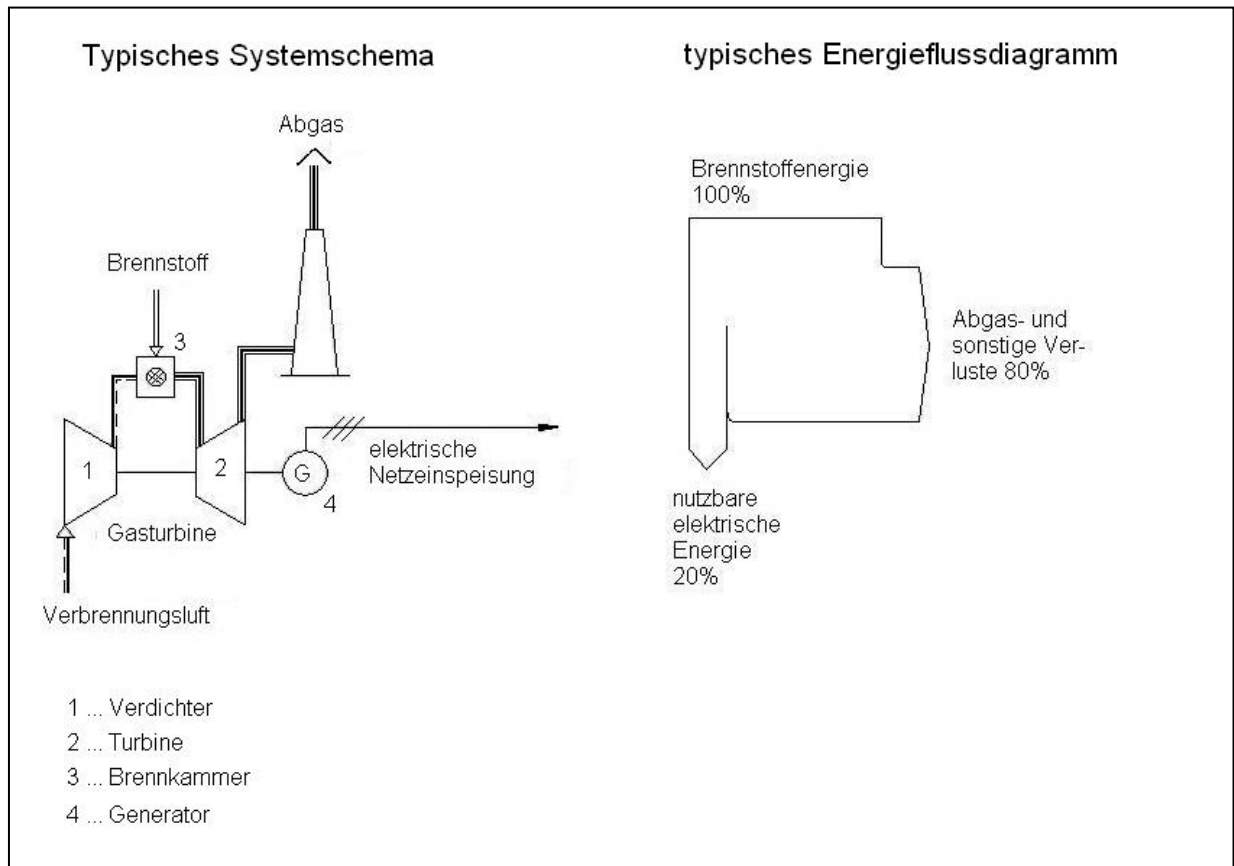


Abbildung 4-9: Konventionelle Stromerzeugung mittels Dampfturbine⁸⁶

Wird mit einer Gasturbine auf konventionellem Weg Strom erzeugt, ohne die Abwärme zu nutzen, wird ein typischer Wirkungsgrad von etwa 20 Prozent erreicht.

4.2.3 Dampfturbine zur reinen Stromproduktion⁸⁷

In Dampfturbinen in reiner Kondensationsbauweise wird Strom erzeugt, indem durch Verbrennung des Brennstoffes im Kessel Wärme freigesetzt wird, die über Wärmetauscher an den Wasser/Dampfkreislauf übergeben wird.

Abbildung 4-10 zeigt ein typisches Systemschema einer Kondensationsdampfturbine zur reinen Stromproduktion und das zugehörige typische Energieflussdiagramm.

⁸⁶ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 12

⁸⁷ Vgl. Beitz/Grote (1997), S. R56ff.

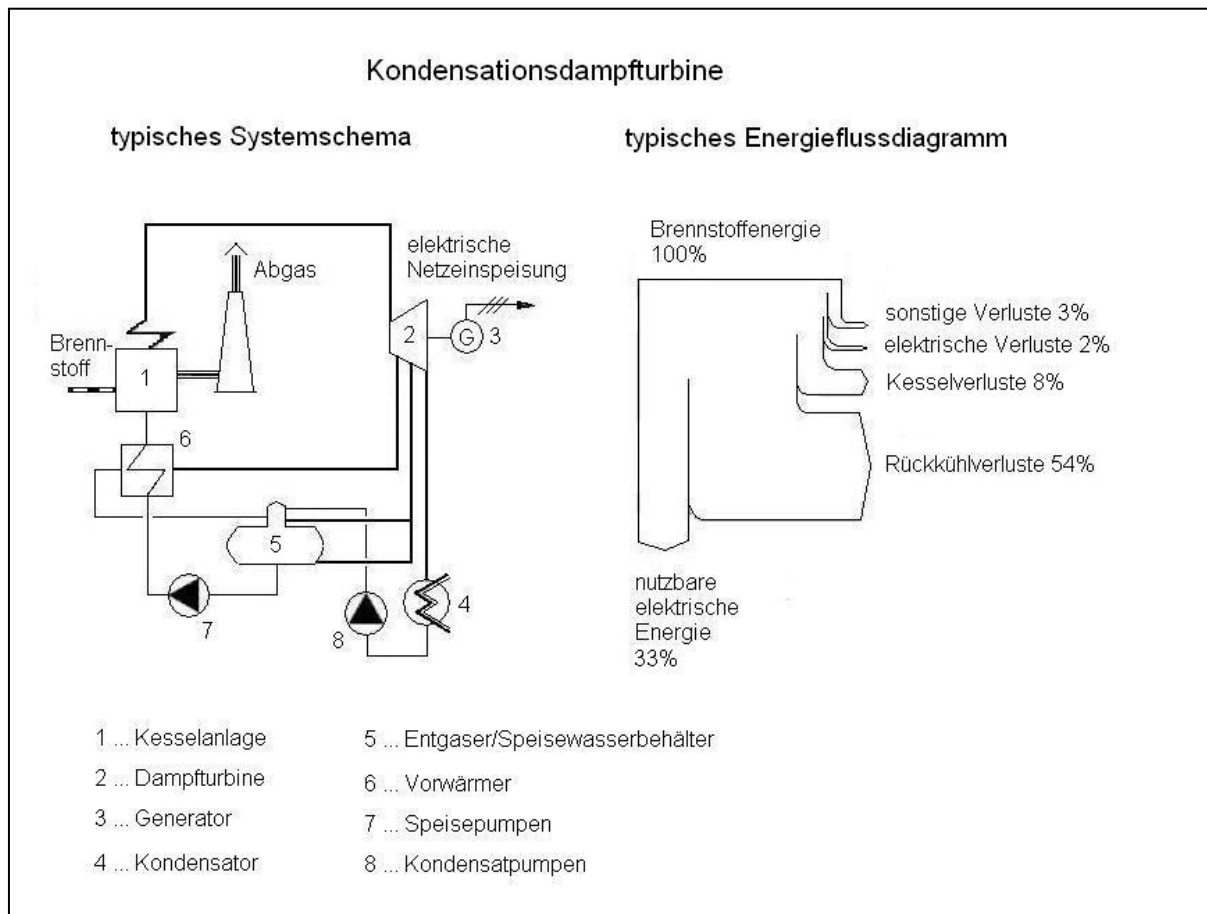


Abbildung 4-10: Systemschema und Energieflussdiagramm einer Kondensations-Dampfturbine⁸⁸

Dampfturbinen in Kondensationsbauweise zur reinen Stromerzeugung oder zum direkten Antreiben von Großaggregaten wie beispielsweise Verdichtern sind in der Papierindustrie selten geworden, da sie aufgrund des zu geringen Wirkungsgrades meist nicht mehr wirtschaftlich sind. Abhängig von den vorhandenen Kesselanlagen können nahezu alle Brennstoffe verwendet werden.⁸⁹

4.3 Kraft-Wärme-Kopplung

Bei der reinen Stromproduktion in Wärmekraftmaschinen bleibt die dabei entstehende Wärme ungenutzt. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird sowohl Strom als auch Wärme auf einem für die technische Nutzung geeigneten Temperaturniveau erzeugt.

Die Stromkennzahl beschreibt das Verhältnis von elektrischer und thermischer Leistung einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage. Sie ist wie folgt definiert:⁹⁰

⁸⁸ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 13

⁸⁹ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 131

⁹⁰ Vgl. Kugeler/Phlippen (1993), S. 61

$$\sigma = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_{Nutz}}$$

Formel 4-1

Erläuterung der darin verwendeten Abkürzungen und Symbole:

σ	Stromkennzahl
P_{el}	von der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage abgegebene elektrische Leistung
\dot{Q}_{Nutz}	von der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage abgegebene nutzbare thermische Leistung

Eine Hauptvoraussetzung für die Nutzung der Wärme ist ein Wärmeverbraucher in unmittelbarer Nähe des Kraftwerkes, da Wärme im Gegensatz zu Strom wirtschaftlich nicht über längere Strecken transportierbar ist.⁹¹ Eine Papierfabrik bringt diese Voraussetzung mit, da für die Papierproduktion sowohl Wärme als auch Strom benötigt werden. Dabei liegt das Verhältnis von Strom- zu Wärmebedarf, also die zu erreichende Stromkennzahl, zwischen 0,3 und 0,65. In integrierten Papierfabriken, in denen Holzstoff durch Schleifen erzeugt wird, ist die Stromkennzahl höher.⁹²

Die gemeinsame Produktion von Strom und Wärme (Prozessdampf) kann in verschiedenen verschalteten Systemen passieren.

4.3.1 KWK-Anlagen mit Gasturbinen⁹³

Eine Möglichkeit ist die Kombination einer Gasturbine mit einem Abhitzekessel, in dem die 450°C bis 600°C heißen Abgase der Gasturbine zur Dampferzeugung genutzt werden. Dabei werden aus 100 Prozent Brennstoffenergie neben 20 Prozent nutzbarer elektrischer Energie rund 60 Prozent nutzbare thermische Energie in Form von Dampf produziert.⁹⁴

Abbildung 4-11 zeigt das typische Systemschema samt Energieflussdiagramm einer solchen Kombination.

⁹¹ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 8

⁹² Vgl. Hutter (2007), S. 1280ff.

⁹³ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 97

⁹⁴ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 119

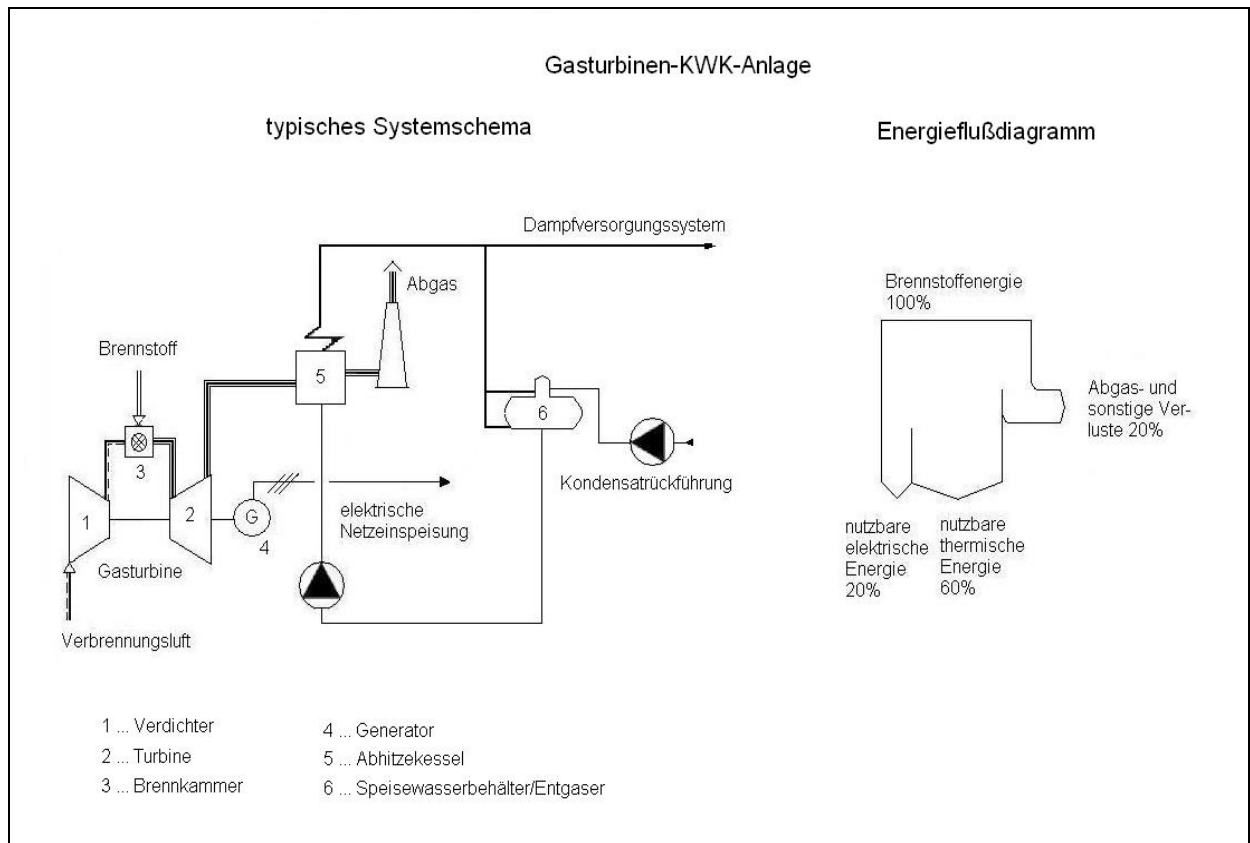


Abbildung 4-11: Systemschema und Energieflußdiagramm einer Gasturbinen-KWK-Anlage⁹⁵

Je nach den Einsatzanforderungen kann auch eine Zusatzfeuerung im Abhitzekessel oder die Installation von zwei parallel auf einen Abhitzekessel arbeitenden Gasturbinen die Flexibilität der Anlage erweitern.

Die Stromkennzahl liegt bei Gasturbinen mit Abhitzekessel ohne Zusatzfeuerung zwischen etwa 0,4 und 0,9, bei Gasturbinen mit Abhitzekessel incl. Zusatzfeuerung zwischen 0,08 und 0,18. Mit zunehmender Anlagengröße steigt der Wirkungsgrad der Stromproduktion und damit auch die Stromkennzahl.

4.3.2 KWK-Anlagen mit Dampfturbinen

Dampfturbinen, die sowohl Strom produzieren als auch die Weiterverwendung des Dampfes als Prozessdampf erlauben, sind dank ihrer Zuverlässigkeit, ihrer großen Leistungsdichte und ihres guten Wirkungsgrades in der Industrie sehr beliebt. Ein großer Vorteil gegenüber Gasturbinen mit Abhitzekessel ist die mögliche Nutzung verschiedener Brennstoffe.⁹⁶

⁹⁵ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 12

⁹⁶ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 130

Je nachdem, wie die Dampfabführung aus der Turbine erfolgt, werden folgende Arten von Dampfturbinen unterschieden:

- Kondensationsturbine (siehe Dampfturbine zur reinen Stromproduktion)
- Gegendruckturbine
- Anzapf- und Entnahmeturbine

4.3.2.1 Gegendruckturbine⁹⁷

Zur Realisierung einer Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis von Dampfturbinen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die technisch einfachste und in der Anschaffung mit den geringsten Kosten verbundene Variante ist die Gegendruckturbine.⁹⁸

In einer Gegendruckturbine wird die Entspannung des Dampfes nicht bis auf den mit der Umgebungstemperatur korrelierenden geringst möglichen Druck durchgeführt, sondern die Entspannung des Dampfes wird bereits bei einem höheren Druckniveau und daher auch bei einer höheren, für prozesstechnische Anwendungen brauchbaren, Temperatur beendet. Dadurch kann dieser Dampf weiter genutzt werden, und z.B. in den Trockenzyklindern einer Papiermaschine bei etwa 100°C kondensiert werden, womit die gesamte Kondensationswärme genutzt werden kann.⁹⁹

Abbildung 4-12 zeigt ein vereinfachtes Schaltschema und ein typisches Energieflussdiagramm einer Gegendruckturbine.

⁹⁷ Vgl. Beitz/Grote (1997), S. R60ff.

⁹⁸ Vgl. Schmitz/Schaumann (2005), S. 141

⁹⁹ Vgl. Kugeler/Phlippen (1993), S. 61

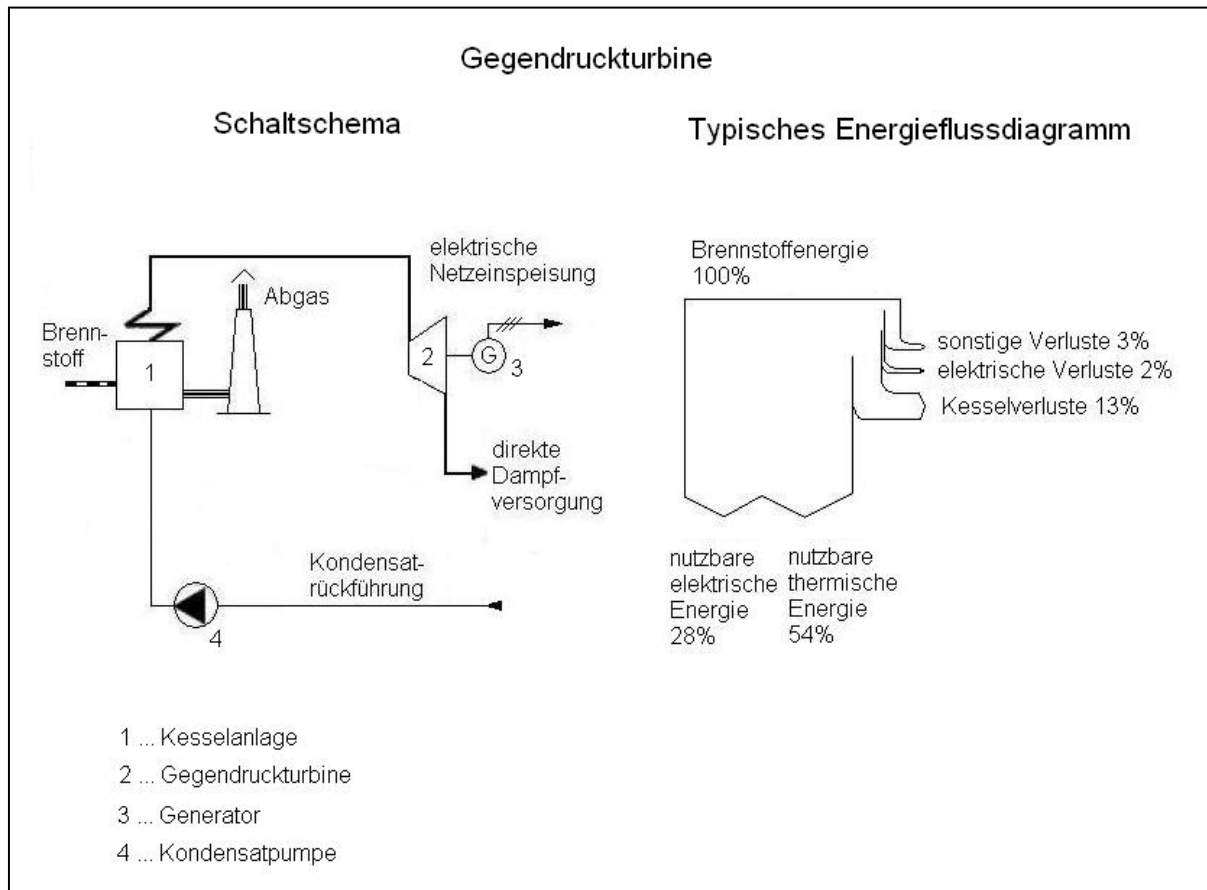


Abbildung 4-12: Systemschema und Energieflussdiagramm einer KWK-Anlage auf Basis einer Gegendruck-Dampfturbine¹⁰⁰

Die Stromkennzahl einer Gegendruckturbine ist im Betrieb durch die feste Koppelung von Turbinenleistung und Dampfmenge nahezu konstant und liegt typischerweise zwischen 0,3 und 0,6.¹⁰¹ Schwankt das Verhältnis zwischen Strombedarf und Dampfbedarf zueinander, muss der Strombedarf über das Stromnetz und der Dampfbedarf über zusätzliche Dampferzeuger ausgeglichen werden. Der erzielbare Gesamtnutzungsgrad ist bei Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerken auf Basis von Gegendruckturbinen am höchsten, und liegt bei bis zu 92%.¹⁰²

4.3.2.2 Anzapf- und Entnahmeturbine¹⁰³

Sowohl Anzapf- als auch Entnahmeturbinen kompensieren den Nachteil der konstanten Stromkennzahl einer reinen Gegendruckturbine. Die technische Komplexität und damit die Anschaffungskosten liegen dafür höher. Die Entnahme

¹⁰⁰ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 132

¹⁰¹ Vgl. Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energienutzung, Universität Stuttgart, <http://www.ier.uni-stuttgart.de/lehre/skripte/versuche/KWK/KWK.pdf>, S. 8, Zugriffsdatum 04.01.2009

¹⁰² Vgl. Beitz/Grote (1997), S. L27

¹⁰³ Vgl. Beitz/Grote (1997), S. R61ff.

des Dampfes erfolgt sowohl bei der Anzapfturbine als auch bei der Entnahmeturbine an einer oder mehreren Stellen der Turbine. Die Entnahme an mehreren Stellen erlaubt die Auskoppelung von Dampfströmen unterschiedlicher Druck- und damit Temperaturniveaus.

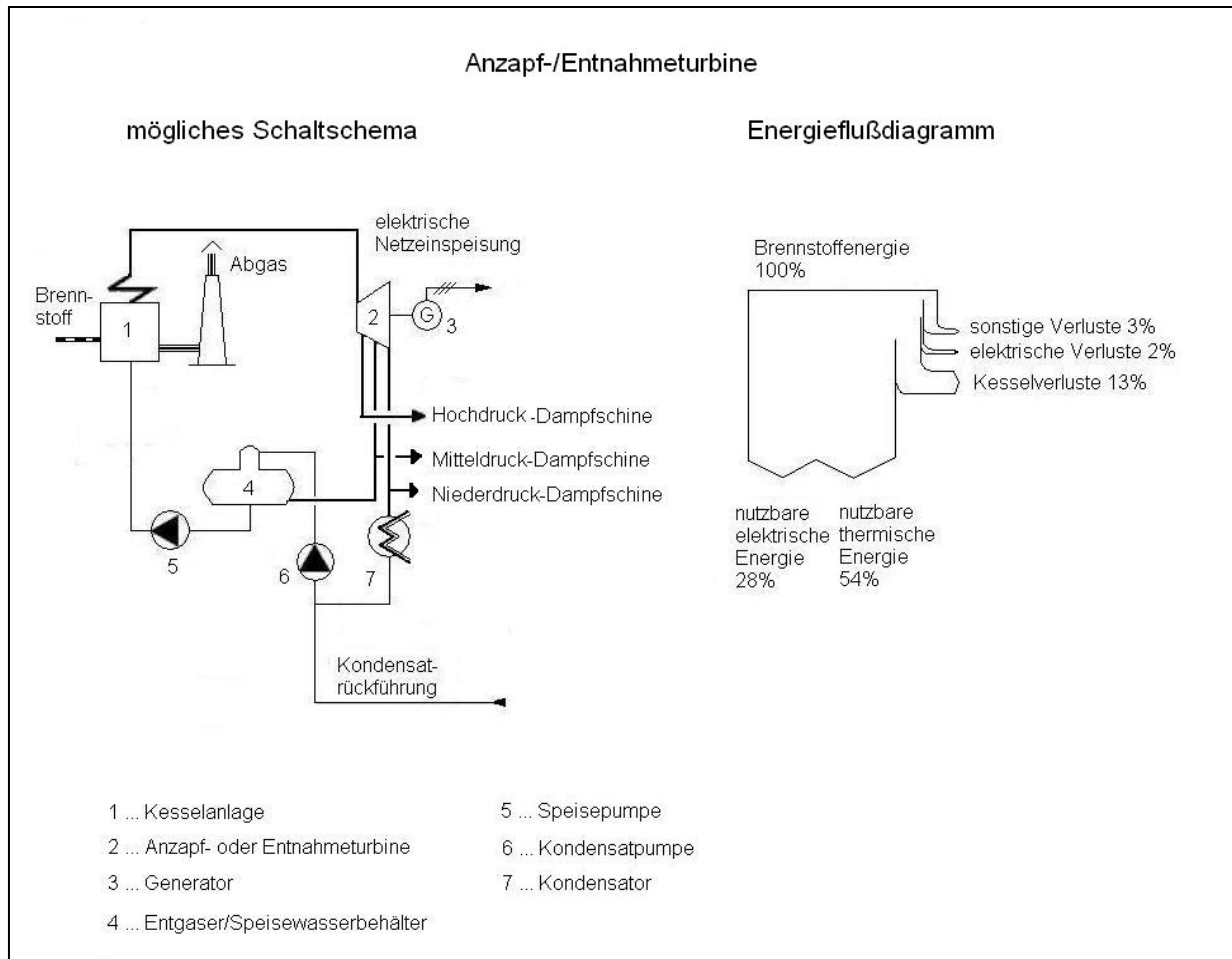


Abbildung 4-13: Mögliches Schaltschema und Energieflußdiagramm einer Anzapf- oder Entnahmeturbine¹⁰⁴

Bei Anzapfturbinen erfolgt die Entnahme unregelt. Der Zustand des entnommenen Dampfstromes hängt vom momentanen Betriebszustand der Turbine ab. Bei der Entnahmeturbine wird der Druck des entnommenen Dampfes durch Ventile geregelt.

Die Stromkennzahl kann durch unterschiedliche Entnahmemengen in weiten Bereichen variabel an mögliche schwankende Verbraucherbedürfnisse angepasst werden. Typische Stromkennzahlen liegen dabei zwischen 0,8 und 2,5 und sind während des Betriebes variabel.¹⁰⁵ Wird gar kein Prozess-Dampf entnommen und ist

¹⁰⁴ In Anlehnung an Schmitz/Schaumann (2005), S. 134

¹⁰⁵ Vgl. Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energienutzung, Universität Stuttgart, <http://www.ier.uni-stuttgart.de/lehre/skripte/versuche/KWK/KWK.pdf>, S. 8, Zugriffsdatum 04.01.2009

der Dampfturbine ein Kondensator nachgeschaltet, damit diese im reinen Strombetrieb arbeiten kann, nimmt die Stromkennzahl den Wert 1 an. Anzapf- oder Entnahmeturbinen ohne nach geschalteten Kondensator, die auf einen bestimmten Gegendruck entspannen, können nicht im reinen Strombetrieb gefahren werden, wodurch ihr Einsatzbereich etwas kleiner ist, als mit nach geschaltetem Kondensator. Allerdings ist die Möglichkeit des reinen Strombetriebes in der Papierindustrie vielfach nicht notwendig. Der Gesamtnutzungsgrad liegt geringfügig unter dem der Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis einer reinen Gegendruckturbine.

4.3.3 Gas- und Dampfkraftwerke¹⁰⁶

Eine im Vergleich zum Einzelbetrieb von Gas- oder Dampfturbinen Wirkungsgrad- und leistungssteigernde Maßnahme ist die Hintereinanderschaltung einer Gas- und einer Dampfturbine. Dabei wird der heiße Abgasstrom der Gasturbine in einem Abhitzeessel abgekühlt, wobei Dampf für den nach geschalteten Dampfturbinenprozess erzeugt wird. Ein solches Kraftwerk bezeichnet man als Kombikraftwerk oder Gas- und Dampfkraftwerk (eine von der Siemens AG geschützte Bezeichnung).

Abbildung 4-14 zeigt ein mögliches Schaltschema sowie ein mögliches Energieflussdiagramm eines Kombikraftwerkes.

¹⁰⁶ Vgl. Kugeler/Phlippen (1993), S. 56ff.

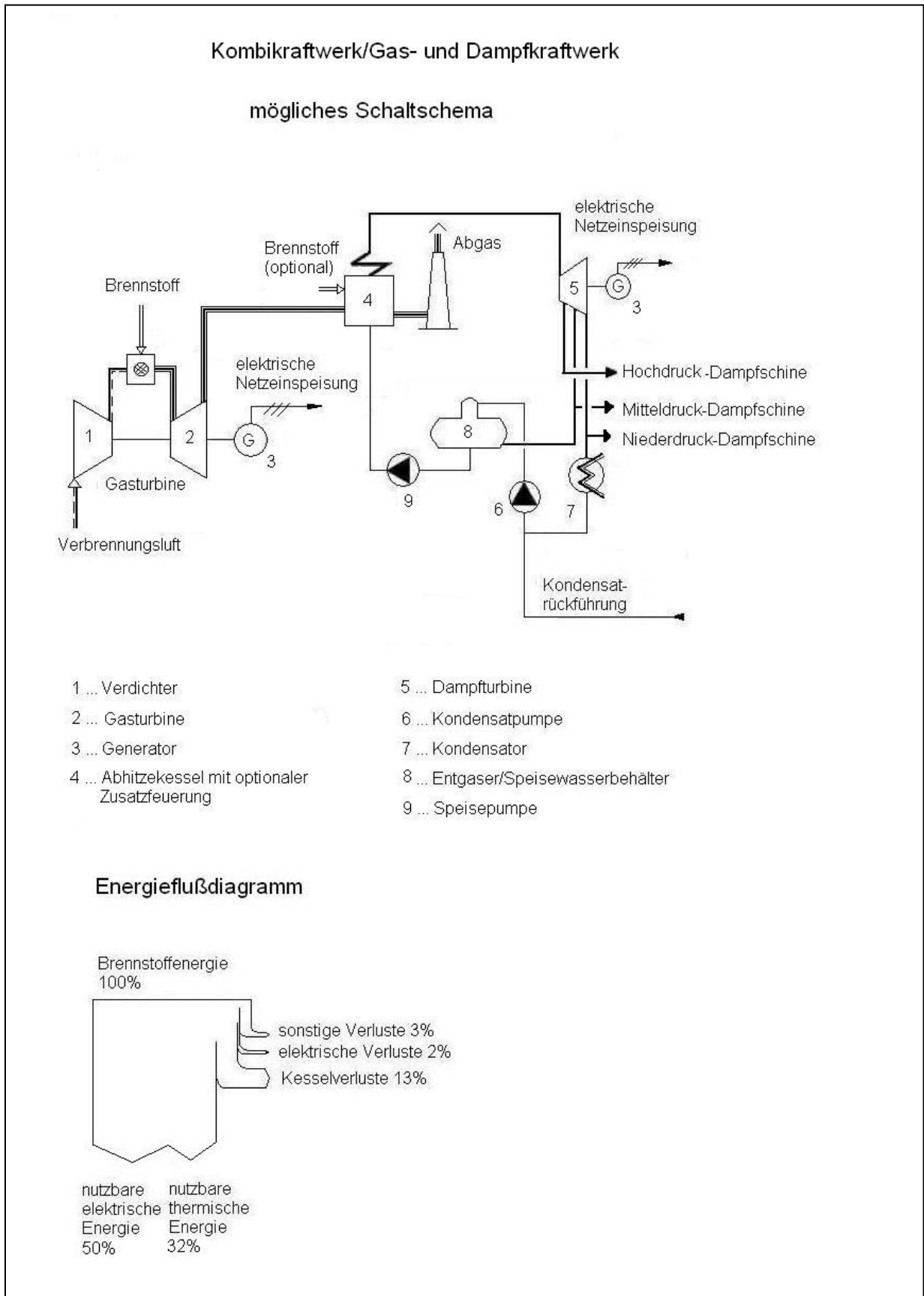


Abbildung 4-14: Mögliches Schaltschema und Energieflußdiagramm eines Kombikraftwerkes¹⁰⁷

¹⁰⁷ In Anlehnung an Kugeler/Phlippen (1993), S. 58

Der hohe Wirkungsgrad bei der Erzeugung elektrischer Energie wird durch die hohe mittlere Temperatur des Gasturbinenprozesses bei der Wärmezufuhr, sowie durch die tiefe mittlere Temperatur des Dampfturbinenprozesses bei der Wärmeabfuhr erreicht. Dadurch ergeben sich elektrische Wirkungsgrade von mehr als 60 Prozent bei der reinen Stromproduktion ohne Wärmeauskopplung.¹⁰⁸ Mit Wärme- bzw. Prozessdampfauskopplung ergeben sich Nutzungsgrade, die mit den bereits erwähnten Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerken auf Basis von Gasturbinen oder Dampfturbinen vergleichbar sind.

4.4 Praxisbeispiele von Kraftwerken aus der Papierindustrie

Nachfolgend werden die Kraftwerkstechnischen Einrichtungen von drei Papierproduktionsstandorten beschrieben.

Standort 1 (Name darf nicht veröffentlicht werden)

Standort 1 produziert pro Jahr etwa 720.000 Tonnen gebleichten Zellstoff und stellt aus einem Teil davon bis zu 230.000 Tonnen Kraftliner her. Um die einzelnen Produktionseinrichtungen mit Strom und Dampf zu versorgen, werden vor Ort verschiedene Anlagen im Kraft-Wärme-Kopplungsverbund betrieben. Damit ist der Standort theoretisch in der Lage, seinen gesamten Strom- und Dampfbedarf aus Produktionsabfällen sowie zugekaufter Kohle und Erdgas zu decken.¹⁰⁹ Abbildung 4-15 stellt diese Anlagen schematisch dar.

¹⁰⁸ Vgl. Siemens AG, <http://www.energy.siemens.com/hq/de/stromerzeugung/kraftwerke/gasbefeuerte-kraftwerke/gas-und-dampfkraftwerke/scc5-8000h-1s.htm>, Zugriffsdatum 01.01.2010

¹⁰⁹ Vgl. Hathorn/Trail/Swart (2008), S. 26

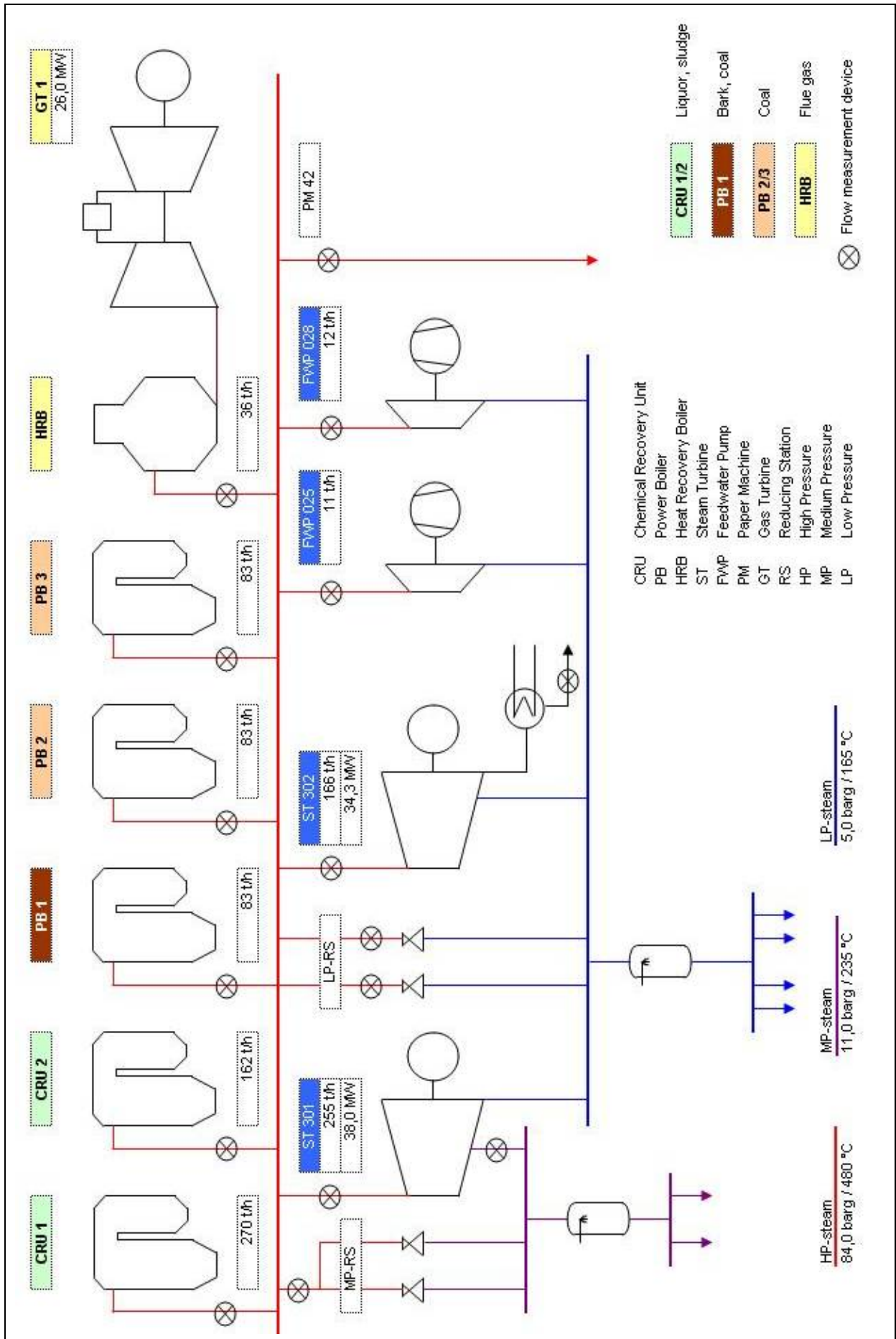


Abbildung 4-15: Kraftwerksschema von Standort 1

In sechs Dampferzeugeranlagen wird Hochdruck-Dampf mit 480°C und 84 bar (relativ zum Umgebungsdruck) produziert. Dieser Hochdruckdampf wird zum Teil in Druckreduzierstationen und Dampfturbinen für die Stromerzeugung oder zum Antrieb von Kompressoren auf niedrigere Druckniveaus entspannt, zum Teil auch direkt in den Zellstoffproduktionsanlagen und in der Papiermaschine als Prozessdampf eingesetzt.

Da es sich bei diesem Standort um eine integrierte Papierfabrik handelt, kann ein Teil der benötigten Energie durch Verbrennung der bei der Zellstoffproduktion anfallenden Lauge erzeugt werden. Dies geschieht in den Laugenkesseln „CRU 1“ und „CRU 2“, wo mittels thermischer Verwertung der bei der Zellstoffproduktion entstehenden Laugen und Schlämme bis zu 270 bzw. 162 Tonnen Hochdruck-Dampf pro Stunde produziert werden können.

Im Dampfkessel „PB 1“ wird bei der Zellstoffproduktion anfallende Rinde sowie Kohle verbrannt, wodurch bis zu 83 Tonnen Hochdruck-Dampf pro Stunde zur Verfügung gestellt werden können, und in den Dampfkesseln „PB 2“ und „PB 3“ werden durch Kohleverbrennung ebenfalls jeweils maximal 83 Tonnen Hochdruck-Dampf pro Stunde generiert.

In einem Abhitzeessel („HRB“), der von den Abgasen einer mit Erdgas betriebenen Gasturbine („GT 1“), mit einer maximalen elektrischen Leistung von 26 MW, gespeist wird, werden bis zu 36 Tonnen Hochdruckdampf pro Stunde erzeugt.

In zwei Dampfturbinen („ST 301“ und „ST 302“) wird der Hochdruck-Dampf teilweise zur Stromerzeugung verwendet. Höchstens 255 Tonnen Hochdruckdampf pro Stunde werden in einer Gegendruckdampfturbine („ST 301“) mit Anzapfung auf das Mitteldruck-Dampfniveau von 11 bar und 235°C bzw. auf das Niederdruck-Dampfniveau von 5 bar und 165°C entspannt, wobei maximal 38 MW elektrische Leistung entstehen. Höchstens 166 Tonnen Hochdruckdampf pro Stunde werden in einer Entnahme-Kondensationsturbine („ST 302“) zum Teil auf 5 bar und 165°C entspannt und entnommen, und zum Teil bis auf Kondensatordruck und 45°C abgearbeitet und anschließend im Kondensator kondensiert, wobei eine maximale elektrische Leistung von 34,3 MW entsteht. Außerdem werden in zwei weiteren Dampfturbinen („FWP 025“ und „FWP 026“) maximal 11 bzw. 12 Tonnen Hochdruckdampf pro Stunde auf Niederdruckdampfniveau entspannt, um die Speisewasserpumpen der Dampferzeuger anzutreiben.

Ein Teil des übrigen Hochdruckdampfes wird direkt zur Papiermaschine geleitet, der Rest wird in Reduzierstationen auf Mittel- bzw. Niederdruckniveau gebracht. Durch die Eindüsung von Sprühwasser wird der Mittel- und Niederdruckdampf auf das in den einzelnen Verarbeitungsanlagen verlangte Temperaturniveau eingestellt.

Im Jahr 2006 werden insgesamt 4,25 Millionen Tonnen Hochdruck-Dampf produziert womit der Standort seinen Dampfbedarf zu 100 % selbst decken kann. Davon werden 3,25 Millionen Tonnen vor dem Einsatz als Prozessdampf zuerst in einer der Dampfturbinen genutzt. Insgesamt werden 5100 GWh an Brennstoffenergie verbraucht, und 230 GWh an elektrischer Energie von extern zugekauft. 3700 GWh der verwendeten Brennstoffenergie stammen aus Lauge und 400 GWh aus Rinde. Somit werden 80 % des Brennstoffwärmebedarfes und 77 % des gesamten Energiebedarfes aus eigener Biomasse gedeckt. 900 GWh an Kohle und 100 GWh an Erdgas werden zugekauft, was 20 % der benötigten Brennstoffwärme und 19 % des gesamten Energiebedarfes entspricht.

Abbildung 4-16 stellt die Zusammensetzung des Primärenergieverbrauches von Standort 1 im Jahr 2006 grafisch dar.

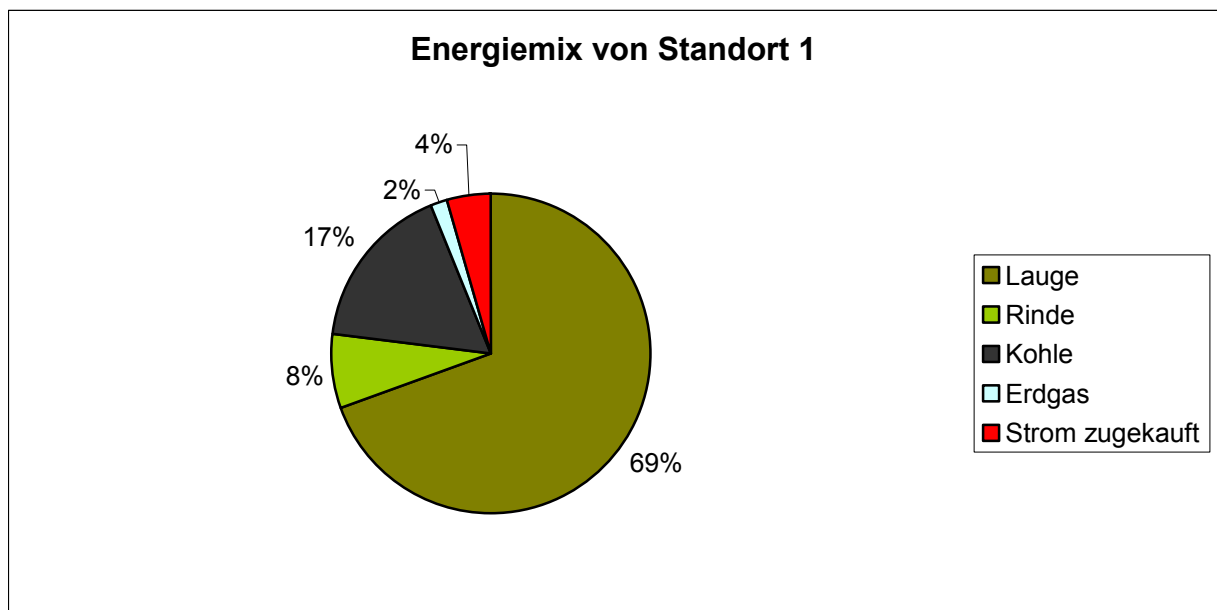


Abbildung 4-16: Zusammensetzung des Primärenergieverbrauches von Standort 1 im Jahr 2006

In der Gegendruckturbine („ST 301“) und in der Entnahme-Kondensationsturbine („ST 302“) werden 275 GWh und 170 GWh an elektrischer Energie erzeugt, in der Gasturbine („GT 1“) 50 GWh. Damit werden insgesamt 68% des benötigten Stromes selbst produziert. Im Jahr 2006 werden somit 725 GWh Strom und 4600 GWh Dampf verbraucht, was zu einem Strom- und Wärmebedarfsverhältnis von 1 / 6,25 und damit zu einer Stromkennzahl von 0,16 führt.

Standort 2: Munksjö Paper GmbH, Aalen, Deutschland¹¹⁰

Am Standort 2 wird Dekorpapier aus Zellstoff für Möbeloberflächen und Fußbodenbeläge auf insgesamt drei Papiermaschinen mit Arbeitsbreiten von 1,6 m, 2,2 m und 2,8 m hergestellt. Die Jahreskapazität beträgt insgesamt 90.000 Tonnen. Der benötigte Zellstoff wird nicht vor Ort produziert, sondern zugekauft.¹¹¹

Bis zum Jahr 2008 werden in einer mit Steinkohle (33.000 Tonnen pro Jahr, was einem Brennstoffenergiebedarf von 264 GWh entspricht, wenn der durchschnittliche Heizwert der Kohle mit 8 kWh/kg¹¹² angenommen wird.) befeuerten Kraft-Wärme-Kopplungsanlage Strom und Dampf erzeugt. Die Anlage besteht aus einem Dampfkessel, der Hochdruck-Dampf mit 125 bar und 510°C produziert. In einer nach geschalteten Gegendruck-Dampfturbine mit Anzapfung wird der Hochdruck-Dampf auf 14,5 bar, 6,5 bar und 3,2 bar entspannt, um daraus Strom zu produzieren. Der dabei auf den drei genannten Druckniveaus anfallende Dampf wird als Prozessdampf in der Papierproduktion genutzt.

Mit dieser Kraft-Wärme-Kopplungsanlage werden 100 % des Dampfbedarfs und 53 des Strombedarfes selbst erzeugt. 47 des benötigten Stromes müssen aus dem Netz bezogen werden.

Nachdem für einen Weiterbetrieb der Anlage umfangreiche Investitionen in die Kesselanlage und die Dampfturbine sowie in die Abgasreinigung notwendig wären, entscheidet sich die Werksleitung im Jahr 2006 für den Bau einer neuen Energieversorgungsanlage.

Die neue Kraft-Wärme-Kopplungsanlage besteht aus einer Gasturbine mit einer maximalen elektrischen Leistung von 7 MW und einem nach geschalteten Abhitzeessel mit Erdgas-Zusatzfeuerung, der höchstens 25 Tonnen Dampf pro Stunde auf dem für den gesamten Anlagenverbund einheitlichen Temperatur- und Druckniveau von 320°C und 16 bar produziert. Damit können bis zu 67 des Strombedarfes und 42 % bis 80 % des Dampfbedarfes gedeckt werden. Des weiteren gibt es einen Dampfkessel, der mit Braunkohlestaub befeuert wird, und bis zu 24 Tonnen Dampf pro Stunde mit den oben genannten Dampfparametern produziert, sowie einen mit Erdgas befeuerten Reservekessel mit einer

¹¹⁰ Vgl. Färber (2009), S. 708ff.

¹¹¹ Vgl. Birkner International Paper World, <http://www.paper-world.com/firmeninfo.php?sprache=uk&menue=10&keyfirma=1362208&AktuelleSeite=0>, Zugriffsdatum 23.02.2010

¹¹² Vgl. Beitz/Grote (1997), S. D44

Dampfleistung bei oben genannte Dampfparametern von maximal 25 Tonnen pro Stunden. Eine Gegendruckdampfturbine mit einem Megawatt elektrischer Leistung entspannt den Dampf auf 3,2 bar, was einer der Prozessdampfschienen des Standortes entspricht. Die Dampfdruckniveaus der beiden übrigen Prozessdampfschienen betragen 6,5 bar und 14 bar. Die Dampfturbine deckt etwa 10 % des jährlichen Strombedarfes des Produktionsstandortes. Somit werden jährlich insgesamt 77 % des verbrauchten Stromes und 100 % des benötigten Dampfes selbst erzeugt. Die Stromkennzahl der Anlage beträgt im Schnitt etwa 0,4, was einem Verhältnis von Strom- und Wärmebedarf von 1 / 2,5 entspricht.

Ein wesentlicher Grund für diese Art der Anlagenkonzeption ist der sehr flexibel mögliche Einsatz der Brennstoffe, wodurch die Abhängigkeit von jedem einzelnen der beiden Brennstoffe für sich reduziert wird. Außerdem ist durch die modulartige Ausführung eine hohe Verfügbarkeit gewährleistet. Abbildung 4-17 zeigt die Strom- und Dampferzeugung des Standortes Munksjö.

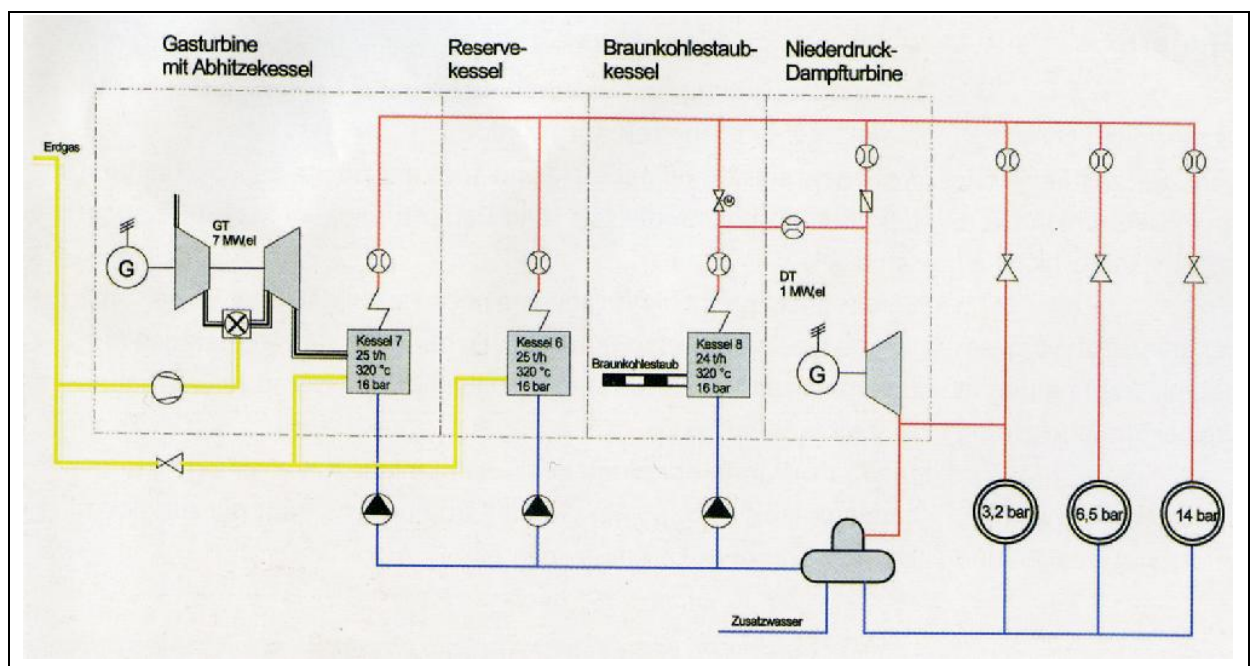


Abbildung 4-17: Kraftwerksschema des Standortes Munksjö¹¹³

Standort 3: Fripa, Miltenberg, Deutschland¹¹⁴

Am Standort 3 werden auf drei Papiermaschinen Hygienepapiere erzeugt. Der dafür verwendete Zellstoff wird zugekauft. Bis zum Jahr 2008 wird der Dampfbedarf durch zwei Dampfkessel mit einer Dampfleistung von sieben bzw. 15 Tonnen Dampf pro Stunde gedeckt, der Strom wird zugekauft. Die Installation einer weiteren

¹¹³ Färber (2009), S. 708

¹¹⁴ Vgl. Normann (2009), S. 338f.

Papiermaschine am Standort mit einer Jahreskapazität von 30.000 Tonnen macht auch eine neue Strom- und Dampfversorgung notwendig.¹¹⁵

Der Eigentümer entscheidet sich für eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit einer Gasturbine und einem Abhitzekeessel mit Zusatzheizung. Die mit Erdgas befeuerte Gasturbine liefert eine maximale elektrische Leistung von 7,4 MW. Die mit 512°C aus der Turbine austretenden Abgase werden in dem nach geschalteten Abhitzekeessel auf 127°C abgekühlt, wobei im reinen Abgasbetrieb (also ohne Zusatzheizung) 16 Tonnen Prozessdampf pro Stunde mit 20 bar und 215°C erzeugt werden. Mit Zusatzheizung werden bis zu 25 Tonnen Dampf pro Stunde mit den genannten Dampfparametern produziert. Abbildung 4-18 zeigt das Anlagenschema des neuen Heizkraftwerkes.

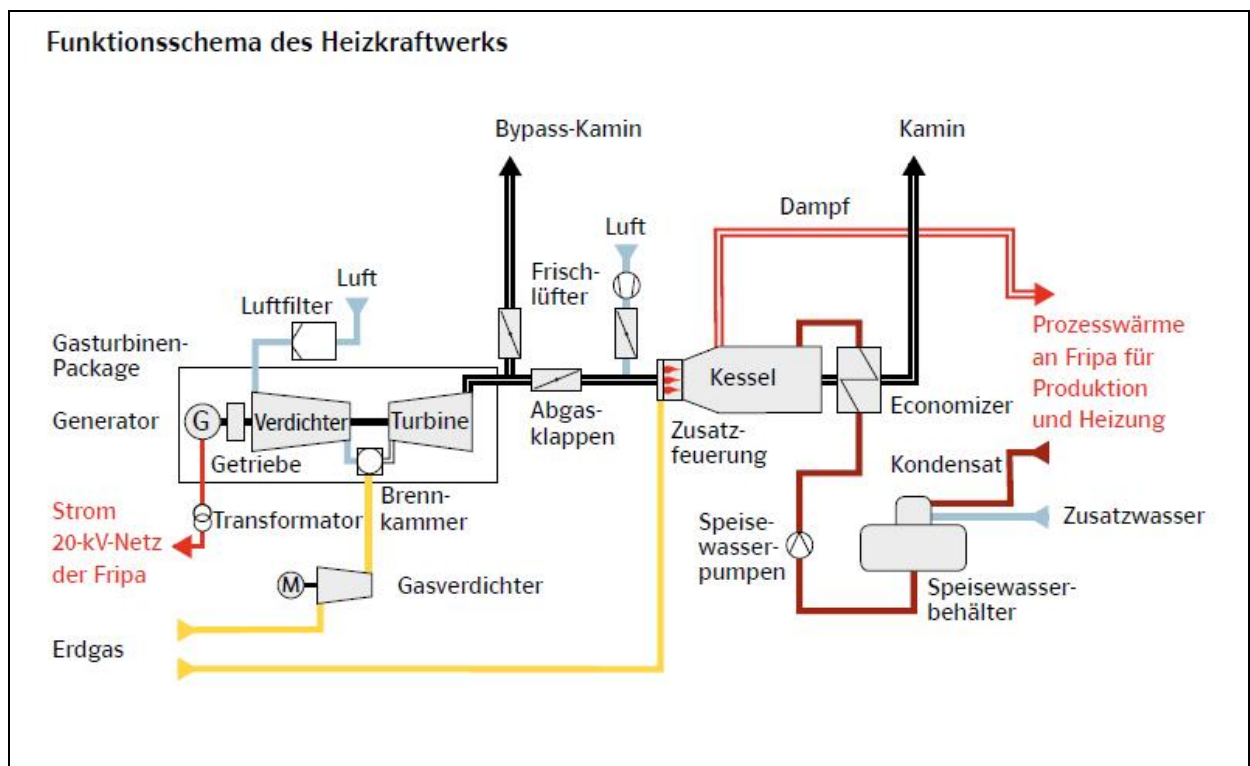


Abbildung 4-18: Funktionsschema der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage von Standort 3¹¹⁶

Die Anlage läuft etwa 8.000 Stunden im Jahr und liefert dabei rund 50 GWh Strom und 100 GWh Wärmeenergie. Damit kann der Dampfbedarf vollständig und der Strombedarf zu einem großen Teil gedeckt werden. Der übrige Strombedarf wird durch Zukauf aus dem Netz gedeckt.

¹¹⁵ Vgl. Mühlstein (2009), S. 3f.

¹¹⁶ E.ON Bayern Wärme GmbH Referenzanlage, http://www.eon-bayern.com/pages/eby_waerme/Referenzen/Referenzen/Vt03_Fripa.pdf, Zugriffsdatum 23.02.2010

In Revisionszeiten stehen die beiden oben erwähnten alten Dampfkessel für die Prozessdampfproduktion zur Verfügung.

5 Erhebung der Energieversorgungsstruktur

Im Folgenden wird die unter den Papierherstellern durchgeführte Umfrage beschrieben. Zunächst werden Eingangsüberlegungen zur Umfrage erläutert. Die Durchführung der Umfrage wird dokumentiert und die Ergebnisse werden anschließend dargestellt.

5.1 Eingangsüberlegungen

Voith Paper ist Zulieferer der Papierindustrie mit den notwendigen Anlagen für den Papierherstellungsprozess.¹¹⁷ Wie in Kapitel 4 beschrieben, ist die Papierproduktion mit sehr hohem Energieaufwand verbunden.

Das Thema Energieeffizienz ist seit jeher eine wichtige Anforderung an die von Voith produzierten Maschinen. Allerdings hat der rasante Preisanstieg in den Jahren 2007 und 2008 dieses Thema in den Fokus der Papierindustrie und somit auch in den von Voith Paper gerückt. Die sich aus wirtschaftlichen Gründen ergebende Balance zwischen z.B. Prozessausfallssicherheit und Energieverbrauch, oder Produktionsmaximierung und Energieverbrauch verschiebt sich durch die stark gestiegenen Energiekosten mehr als früher zu Gunsten eines niedrigeren Energieverbrauchs. Um das Ausmaß dieser Verschiebung bestimmen zu können, ist eine genaue Datenbasis notwendig.

5.2 Vorbereitungen zur Datenerhebung

Als erster Schritt wird ein grobes, für den Zweck der Energiepreiserhebung aber taugliches Modell eines fiktiven Papierproduktionsstandortes erstellt.

Die Anforderungen an dieses Modell sind:

- Es ist weltweit auf alle Produktionsstandorte der Papierindustrie anwendbar.

¹¹⁷ Vgl. Voith Paper, http://www.voith.com/e_productsandservices_paper.htm, Zugriffsdatum: 01.12.2009

- Die Komplexität ist gering; jedoch werden alle wichtigen Energieflüsse soweit abgedeckt, dass die gewonnenen Daten als Eingangsgrößen für betriebswirtschaftliche Berechnungen geeignet sind.
- Transparenz und einfache Verständlichkeit für eine mit der Thematik grundsätzlich vertraute Person sind gegeben.

Demgemäß ergibt sich folgendes Modell (Abbildung 5-1) eines beliebigen Papierproduktionsstandortes:

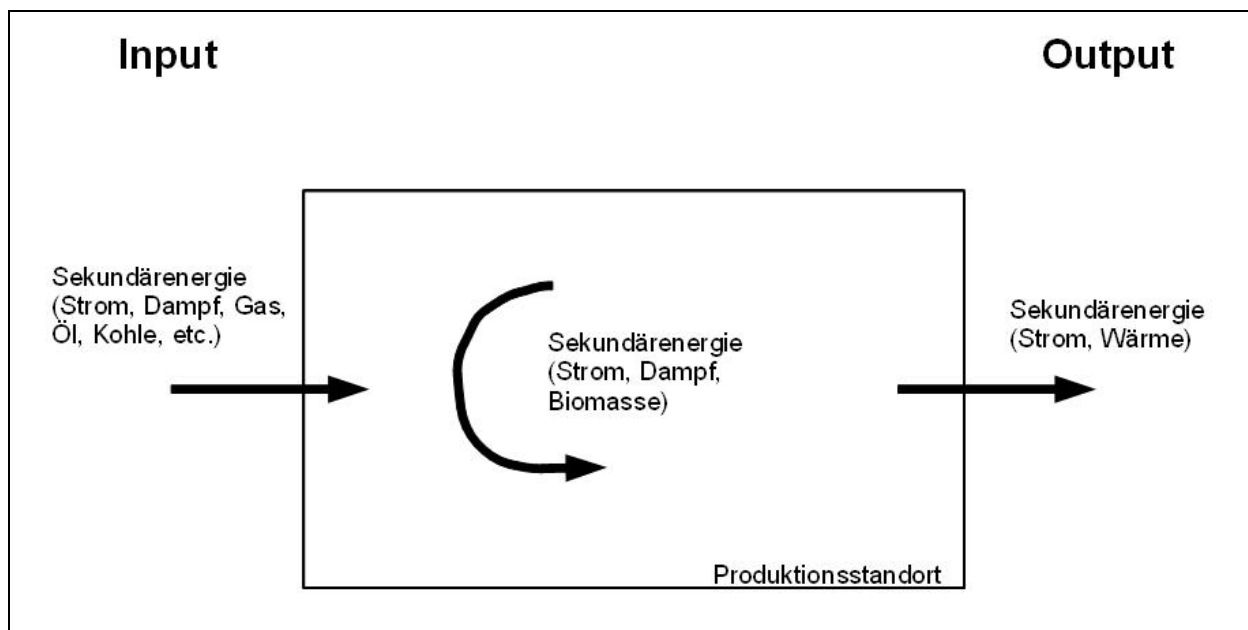


Abbildung 5-1: Energieflüsse eines beliebigen Papierproduktionsstandortes

Das modellierte System entspricht der Organisation vieler Papierhersteller. Aufgrund der definierten Systemgrenze lassen sich die Wechselwirkungen des Standortes mit der Umwelt darstellen (unterschieden in Input und Output). Konkret werden die Energie- und Materialflüsse beschrieben:

Input:

- Sekundärenergie wird als Gas, Kohle, und Öl aber auch in bereits weiter verarbeiteten Stufen als Strom oder Dampf von außen zur Verwendung am Produktionsstandort bezogen.

Output:

- Kondensat, welches am Standort durch den Verbrauch von zugekauftem Dampf entsteht, wird an den Dampflieferanten zurückgeliefert. Dieses Kondensat enthält keine verwertbare Energie.

- Sekundärenergie wird als Strom oder Dampf bzw. Wärme am Standort produziert, und an externe Kunden verkauft.

Innerhalb der definierten Systemgrenze wird folgender Energiestrom erfasst:

- Am Produktionsstandort wird Sekundärenergie in Form von Strom oder Dampf erzeugt und auch innerhalb des Produktionsstandortes wieder verbraucht.

In der Erhebung werden die genannten Energie- und Materialflüsse bezüglich Menge, Preis und Aufteilung auf die einzelnen Abschnitte des Papierproduktionsprozesses untersucht.

Als Methode der Erhebung wird die Befragung gewählt und mittels Online-Fragebogen durchgeführt. Dieser bietet für diese Arbeit wichtige Vorteile:

- Fragen können in Abhängigkeit von Antworten auf vorangegangene Fragen eingeblendet oder ausgeblendet werden. Dadurch werden jedem Teilnehmer nur jene Fragen gestellt, die für die Beschreibung der energetischen Situation des jeweiligen Standortes relevant sind.
- Der Umfrageteilnehmer kann Fragen unbeantwortet lassen und die Umfrage nur teilweise ausfüllen. Dadurch ist der Umfrageteilnehmer nicht gezwungen, die Teilnahme an der Umfrage abzubrechen, wenn er auf Fragen stößt, deren Beantwortung ihm nicht möglich ist. Trotzdem sind die Antworten, die der Umfrageteilnehmer geben kann, für die Umfrage nicht verloren.
- Wenn der Umfrageteilnehmer Antworten im Nachhinein ändern will, kann er dies jederzeit tun, indem er zu der jeweiligen Frage zurück navigiert, und dort die geänderte Antwort eingibt.

Für die Online-Umfrage wird das Online-Angebot der Firma Amundis GmbH¹¹⁸ mit Sitz in Konstanz, Deutschland genutzt, das unter www.2ask.at aufrufbar ist. Diese Firma bietet vergünstigte Studententarife, einfache Bezahlung per Kreditkarte und eine variable Preisgestaltung, wodurch nur bezahlt werden muss, was auch gebraucht wird. Folgende Leistungen bietet das Online-Befragungs-Werkzeug der Amundis GmbH:

- Die Erstellung der Umfrage erfolgt mit einem einfach zu bedienenden Werkzeug, dessen Benutzung keine HTML- oder Programmierkenntnisse voraussetzt.

¹¹⁸ Vgl. www.2ask.at, Amundis GmbH, Felix Wankel Straße 4, 78467 Konstanz, Deutschland, Zugriffsdatum 02.12.2009

- Die potentiellen Umfrageteilnehmer werden per E-Mail zur Teilnahme an der Umfrage eingeladen. Im Text dieser E-Mail wird ein Link eingebunden, der direkt zur Umfrage führt.
- Es können nach dem Versenden der Einladungs-E-Mails noch mehrere Erinnerungs-E-Mails verschickt werden, um damit die Zahl der Teilnehmer zu erhöhen.
- Die Empfänger können in den Einladungs- und Erinnerungs-E-Mails persönlich angesprochen werden. Dazu müssen neben der E-Mailadresse je nach gewünschter persönlicher Anrede Vornamen, Nachnamen und Titel der Empfänger bekannt sein.
- Die Umfrage kann anonym durchgeführt werden, das heißt, der Ersteller der Umfrage erfährt nicht, wer die Teilnehmer an der Umfrage sind, vorausgesetzt, diese können nicht aufgrund der Antworten identifiziert werden.

Der gesamte Zeitaufwand zum Ausfüllen des Fragebogens beträgt maximal 30 Minuten. Unter der Annahme, dass die Zahl der Teilnehmer an einer Umfrage mit zunehmendem Zeitaufwand sinkt, ist dieser Zeitrahmen ein guter Kompromiss. Einerseits ist es möglich, in dieser Zeit genügend Fragen zu stellen, um detaillierte Angaben über Energieverbrauch und -preise zu erhalten, andererseits hält dieser Zeitrahmen nicht zu viele potentielle Teilnehmer von der Beantwortung der Fragen ab. Dieser voraussichtliche Zeitaufwand wird auch am Beginn der Umfrage mitgeteilt, damit sich die Umfrageteilnehmer sofort darauf einstellen können, oder nötigenfalls die Teilnahme an der Umfrage auf einen späteren Zeitpunkt verschieben.

Der Online-Fragebogen wird sowohl in englischer als auch in deutscher Sprache verfasst. Die gewünschte Sprache kann am Beginn der Umfrage gewählt werden. Die Fragen werden möglichst eindeutig gestellt, sodass es zu keinen Missverständnissen kommt. Zur Beantwortung der Fragen ist keine Texteingabe notwendig. Die meisten Fragen verlangen als Antwort einen Zahlenwert plus die zugehörige Einheit. Wo dies nicht der Fall ist, werden mehrere vorgefertigte Antwortmöglichkeiten angeboten, von denen eine oder mehrere vom Umfrageteilnehmer ausgewählt werden können.

In der Umfrage wird nicht vorgegeben, auf welchen Zeitpunkt die abgefragten Preise oder die verbrauchte Energiemenge bezogen werden sollen. Darauf wird aus mehreren Gründen verzichtet. Es ist anzunehmen, dass die einzelnen befragten Unternehmungen äußerst unterschiedliche Energieeinkaufsstrategien verfolgen. Daher müssen sehr wahrscheinlich bei Vorgabe genauerer Rahmenbedingungen

viele Umfrageteilnehmer ihre Daten an die Umfrage anpassen und umrechnen, oder können bestimmte Fragen nicht beantworten, da die vorhandenen Daten nicht mit den Fragen in Übereinstimmung zu bringen sind. Der dafür nötige Zeitaufwand würde die Teilnahme stark senken. Ebenso würde die Abfrage sehr genau abgegrenzter Daten potentielle Umfrageteilnehmer von der Teilnahme abhalten, da sie derart genaue Daten nicht weitergeben dürfen. Genaue zeitpunktbezogene Abfragen von Energiepreisen würden außerdem die Fragen in der Umfrage erheblich verlängern und komplizieren, was mit Sicherheit zu Verständnisproblemen und damit zu sinkenden Teilnehmerzahlen führen würde.

5.3 Durchführung der Datenerhebung

Von der Marketingabteilung von Voith Paper werden Kontaktdaten von rund 500 Papierproduktionsstandorten zur Verfügung gestellt. Daraus werden für jeden Standort jeweils der für die Energieversorgung verantwortliche Mitarbeiter sowie der Werksleiter ausgewählt, da davon auszugehen ist, dass diese Personen Zugang zu den für die Umfragebeantwortung notwendigen Daten haben. Es ergeben sich daher rund 1.000 Adressaten, an die Einladungs-E-Mails zu versenden sind.

In den Einladungs-E-Mails werden die Empfänger in der Begrüßung persönlich mit Vornamen und Nachnamen angesprochen. Im nachfolgenden E-Mail-Text wird die die Umfrage durchführende Person als Studierender der Technischen Universität Graz und Diplomand am Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung vorgestellt. Um die befragten Personen nicht zu beeinflussen, wird der Name Voith nicht erwähnt. Im Anschluss wird dargelegt, dass die bei dieser Umfrage gewonnenen Daten in eine Diplomarbeit mit dem Thema „Das industrielle Energiemanagement am Beispiel der Papierindustrie weltweit“ einfließen werden, um unter anderem darzustellen, wie sich die Papierindustrie mit Energie versorgt, und welche Preise sie dafür bezahlen muss. Danach wird auf die anonyme Durchführung der Umfrage hingewiesen und erklärt, dass die Daten ausschließlich für statistische Zwecke verwendet werden. Anschließend wird auf den Zeitaufwand für das Ausfüllen des Fragebogens von etwa 30 Minuten sowie den Zeitrahmen von vier Wochen für die Teilnahme an der Umfrage hingewiesen. Am Ende der Einladungs-E-Mail wird ein Link eingefügt, der den Empfänger der E-Mail direkt zur online durchgeführten Umfrage führt, und es wird für die Umfrageteilnahme im Voraus gedankt.

Der Zeitraum der möglichen Teilnahme an der Umfrage wird zunächst auf vier Wochen begrenzt. Nach zwei Wochen wird eine erste Erinnerungs-E-Mail an die Adressaten der Einladungs-E-Mails versendet, und nach einer weiteren Woche wird

in einer weiteren E-Mail um Teilnahme gebeten. Da die Umfrage anonym durchgeführt wird, und somit nicht festgestellt werden kann, wer den Online-Fragebogen bereits ausgefüllt hat, müssen beide Erinnerungs-E-Mails an alle Empfänger der Einladungs-E-Mails versendet werden. Allerdings wird auf diese Begebenheit in den Erinnerungs-E-Mails hingewiesen und gebeten, diese zu ignorieren, falls die Teilnahme bereits erfolgt ist.

Die Rücklaufquote der online ausgefüllten Fragebögen ist an den ersten beiden Tagen nach dem Versand der Einladungs-E-Mail bzw. der Erinnerungs-E-Mails am höchsten und ebbt danach jeweils stark ab.

Nach Ablauf der Teilnahmefrist von vier Wochen ist auf den Online-Fragebogen 267 mal zugegriffen worden. 51 Personen haben den Fragebogen vollständig durchgeblättert und als ausgefüllt gekennzeichnet. Nach Durchsicht der als „ausgefüllt“ deklarierten Fragebögen werden 14 Fragebögen von der Auswertung ausgeschlossen, da sie zu unvollständig beantwortet sind. 37 Fragebögen werden in die Auswertung übernommen. Abbildung 5-2 stellt diese Zahlen grafisch dar.

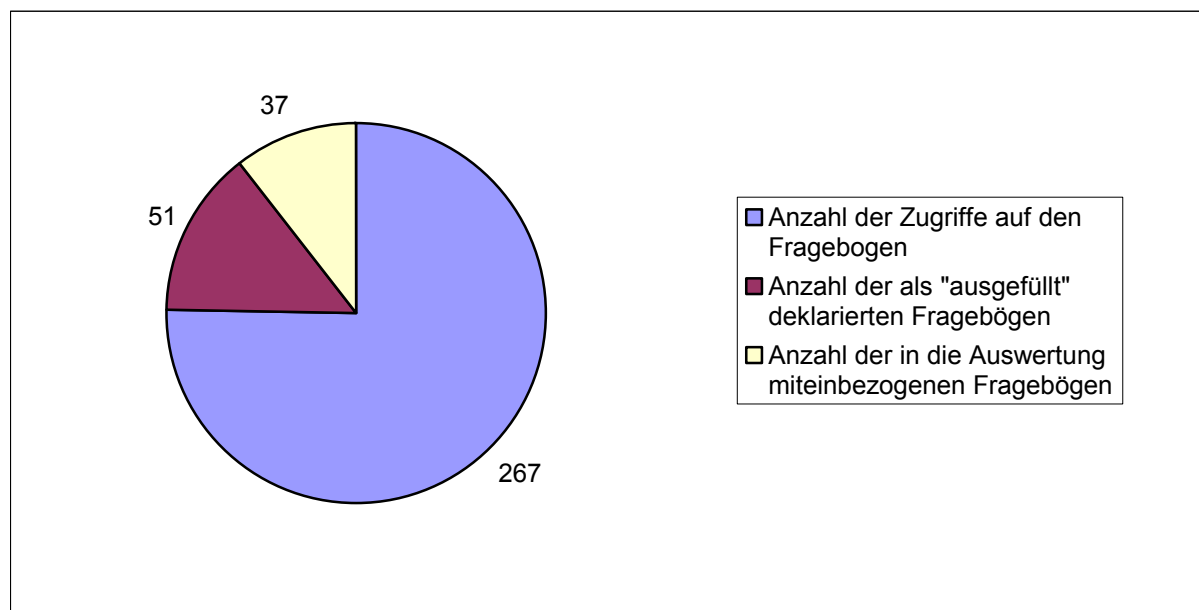


Abbildung 5-2: Grafische Auswertung der Umfragezugriffe

6 Ergebnisse der Erhebung

In diesem Kapitel wird die Energieversorgungsstruktur einer ausgewählten Gruppe von Standorten beschrieben. Dem Modell in Abbildung 5-1 folgend, werden die Sekundärenergieströme, die kontinuierlich oder diskontinuierlich als Input dem Produktionsprozess zufließen, betrachtet. Daraus wird der so genannte Energiemix erstellt, der die Anteile der einzelnen Energieträger am Gesamtenergiebedarf aufzeigt.

Dies geschieht im Fall von Öl, Gas, Kohle, Biomasse und anderen Brennstoffen auf Basis der Heizwerte. Folgende Heizwerte werden zu Grunde gelegt:

Brennstoff	Heizwert	
Gas	10	Kilowattstunden pro Normkubikmeter
Kohle	8	Kilowattstunden pro Kilogramm
Öl	11	Kilowattstunden pro Kilogramm
Biomasse	4,5	Kilowattstunden pro Kilogramm
LPG	12,7	Kilowattstunden pro Kilogramm

Tabelle 6-1: Durchschnittliche Heizwerte

Bei den in Tabelle 6-1 gelisteten Heizwerten es sich um Durchschnittswerte verschiedener Sorten der genannten Energieträger.¹¹⁹

Im Fall von Dampf wird ein durchschnittlicher, für die Erzeugung notwendiger, Energieaufwand von 650 Kilowattstunden pro Tonne herangezogen. Dieser in der Papierindustrie üblicherweise benutzte Wert¹²⁰ gilt unter der Annahme, dass zur Dampfproduktion Kondensat mit 90°C verwendet wird, welches im Dampferzeuger zuerst auf Verdampfungs-temperatur erwärmt und dann vollständig verdampft wird, wobei der Dampf jedoch nicht überhitzt wird.

Tabelle 6-2 listet die in dieser Weise bereitgestellte Energie in Abhängigkeit vom Druck des Sattedampfes auf. Der Wert von 650 Kilowattstunden pro Tonne Dampf

¹¹⁹ Vgl. Effenberger (2000), S. 25ff.

¹²⁰ Vgl. Hutter (2007), S. 1280ff.

stimmt demnach bei 2,5 bar Absolutdruck des Dampfes genau. Bei 10 bar beträgt die Abweichung 16 kWh pro Tonne oder 3 %.

Dampfdruck absolut	Temperatur	bereitgestellte Energie
[bar]	[°C]	[kWh/t]
1	100	638
2	120	647
3	134	652
4	144	656
5	152	659
6	159	661
7	165	663
8	170	664
9	175	665
10	180	666

Tabelle 6-2: Bereitgestellte Energie im Sattdampf
(abhängig vom Sattdampfdruck)¹²¹

Für jene Standorte, die ihren Strombedarf vollständig durch Zukauf decken, ihren Dampfverbrauch jedoch zum Teil oder vollständig durch Erzeugung vor Ort decken, wird der durchschnittliche Dampfpreis nach folgender Formel errechnet:

$$\phi - \text{Dampfpreis} = \frac{SE_1 * PSE_1 + SE_2 * PSE_2 + \dots}{DB} \quad \text{Formel 6-1}$$

Erläuterung der darin verwendeten Abkürzungen und Symbole:

$\phi - \text{Dampfpreis}$	Durchschnittlicher Dampfpreis
SE_x	zur Dampferzeugung eingesetzte Sekundärenergiemenge X
PSE_x	Preis einer Mengeneinheit dieser Sekundärenergiemenge X
DB	Dampfbedarf

In diesem Fall liegt der Strompreis durch den für den Zukauf zu bezahlenden Einkaufspreis fest.

Für jene Standorte, die sowohl Dampf als auch Strom selbst erzeugen, wird angenommen, dass dies in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, und daher in einer

¹²¹ Vgl. Pischinger R. (2003), Nr. 9/1

Kuppelproduktion, passiert. Demnach lassen sich getrennte Kosten bzw. Preise für die dabei entstehenden Produkte Strom und Dampf nicht eindeutig bestimmen.¹²² Um den Vergleich mit Standorten zu ermöglichen, wo die Deckung des Strombedarf vollständig oder teilweise durch Zukauf erfolgt, und der Dampf vor Ort in reinen Dampferzeugeranlagen produziert wird, wird für beide Varianten ein gemeinsamer Preis von Strom und Dampf errechnet. Dies geschieht nach folgenden Formeln:

Für die ausschließliche Erzeugung von Dampf bei gleichzeitigem Zukauf von Strom wird folgende Formel verwendet:

$$\phi - \text{Energiepreis}_{DESZ} = \frac{SB * PS + DB * \phi - \text{Dampfpreis} + SE_{Direkt} * PSE_{Direkt}}{SB + DB + SE_{Direkt}} \quad \text{Formel 6-2}$$

Erläuterung der darin verwendeten Abkürzungen und Symbole:

$\phi - \text{Energiepreis}_{DESZ}$	Durchschnittlicher Energiepreis von Strom und Dampf bei reiner Dampf-Erzeugung und Stromzukauf
SB	Strombedarf
PS	Strompreis, wie er an den Stromlieferanten zu bezahlen ist
SE_{Direkt}	Direkt in der Produktionsanlage eingesetzte Sekundärenergiemenge (z.B. direkt in Papiermaschine verbranntes Gas)
PSE_{Direkt}	Preis einer Mengeneinheit dieser direkt in der Produktionsanlage eingesetzten Sekundärenergie

Die übrigen Abkürzungen und Symbole sind in den Erläuterungen zu Formeln 6-1 aufgelistet.

Für die gemeinsame Produktion in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen kommt nachstehende Formel zur Anwendung:

$$\phi - \text{Energiepreis}_{KWK} = \frac{SE_1 * PSE_1 + SE_2 * PSE_2 + \dots + SE_{Direkt} * PSE_{Direkt}}{DB + SB + SE_{Direkt}} \quad \text{Formel 6-3}$$

Erläuterung der darin verwendeten Abkürzungen und Symbole:

$\phi - \text{Energiepreis}_{KWK}$	Durchschnittlicher Energiepreis von Strom und Dampf bei gemeinsamer Erzeugung in einer KWK-Anlage
------------------------------------	---

¹²²Vgl. Kail/Haberberger (1999), S. 95ff.

Die übrigen Abkürzungen und Symbole sind in den Erläuterungen zu den Formeln 6-1 und 6-2 aufgelistet.

Diese Art der Berechnung erlaubt einen Vergleich der Energiekosten für unterschiedliche Produktionskonzepte von Strom und Dampf.

Folgende Wechselkurse werden zur Umrechnung der Preisangaben von lokalen Währungen in Euro verwendet:

1 EUR = 1,47 USD (US Dollar)
1 EUR = 2,6 BRL (Brasilianische Real)
1 EUR = 11 ZAR (Südafrikanische Rand)
1 EUR = 0,9 GBP (Großbritannische Pfund)

Tabelle 6-3: Verwendete Wechselkurse

Die Wechselkurse wurden am 14.12.2009 von finance.yahoo.com¹²³ abgerufen.

6.1 Regionale Besonderheiten

Es folgt die Portraitierung einer Reihe von Standorten, deren vorhandene Datenbasis eine umfassende Darstellung der Energieversorgung und –verwendung sowie der dafür zu bezahlenden Preise zulässt. Dabei wird jeweils die Zusammensetzung der Strom- und der Dampfversorgung des gesamten Standortes sowie die Aufteilung des Strom- und Dampfbedarfes auf die Faseraufbereitung und die Papiermaschine(n) beschrieben. Die Nennung der Energiepreise erfolgt jeweils in Euro pro Kilowattstunde.

6.1.1 USA2

Am Standort USA2 wird eine Papiermaschine betrieben, auf der grafische Papiere hergestellt werden. Der jährliche Produktionsausstoß liegt bei 268.000 Tonnen. Abbildung 6-1 stellt den Energiemix des Standortes dar.

¹²³ Vgl. finance.yahoo.com/currency-converter

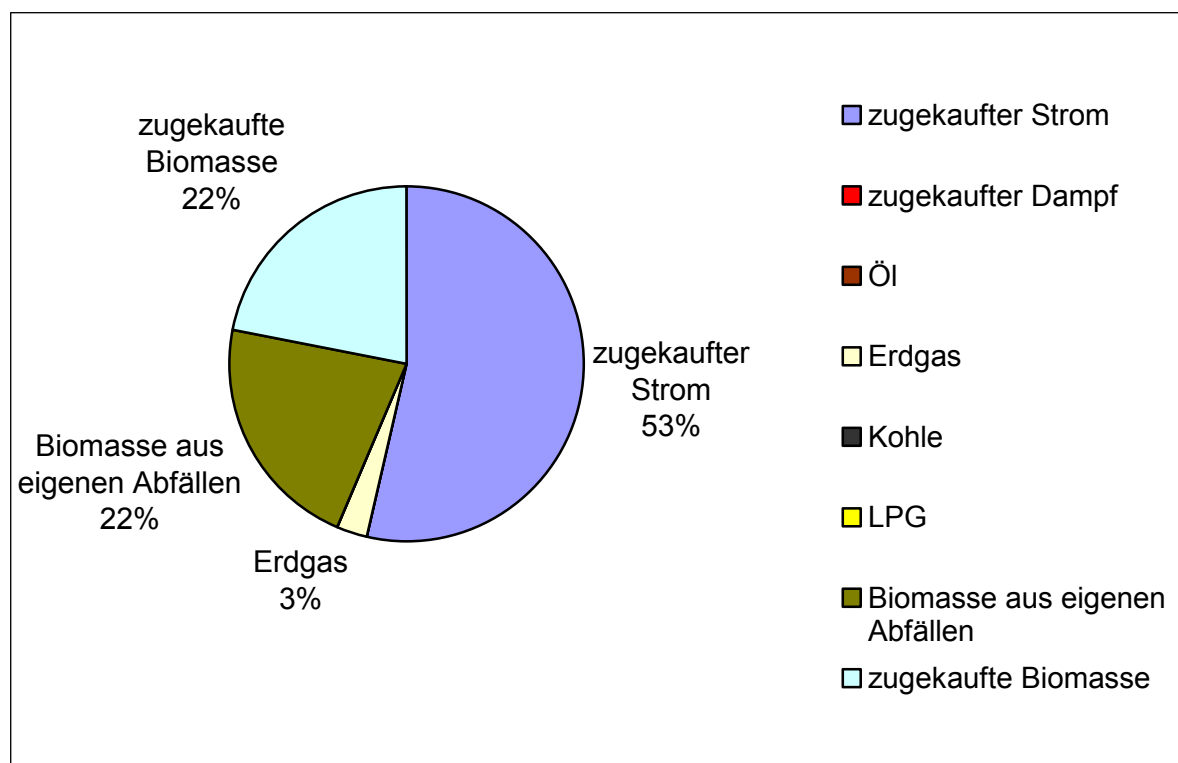


Abbildung 6-1: Energiemix des Standortes USA2

Der Stromverbrauch beträgt rund 747.000 MWh pro Jahr, was einen spezifischen Verbrauch von 2.790 kWh pro Tonne produzierten Papiers ergibt. 70 % des Stromes werden in der Faseraufbereitung verwendet, 25 % in der Papiermaschine. Der Rest verteilt sich auf Nebenaggregate. Der spezifische Stromverbrauch der Papiermaschine beträgt somit 700 kWh pro Tonne Papier. Der Strombedarf wird zur Gänze durch Zukauf aus dem lokalen Stromnetz gedeckt. Pro bezogener Kilowattstunde werden 0,03 Euro bezahlt.

Der Dampfbedarf summiert sich auf 507.000 MWh pro Jahr, woraus sich der spezifische Dampfbedarf pro Tonne Papier zu 1.900 kWh errechnet. 20 % des Dampfes werden zur Faseraufbereitung verbraucht, 60 % in der Papiermaschine und die verbleibenden 20 % in Nebenaggregaten. Der spezifische Dampfverbrauch der Papiermaschine beläuft sich somit auf 1.140 kWh pro Tonne Papier. Zur Dampferzeugung werden jährlich 36.000 MWh Erdgas, 304.000 MWh Biomasse aus beim Papierproduktionsprozess anfallenden Abfällen, sowie ebensoviel zugekaufte Biomasse verbrannt.

Abbildung 6-2 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf der Papiermaschine, der Faseraufbereitung und des gesamten Standortes.

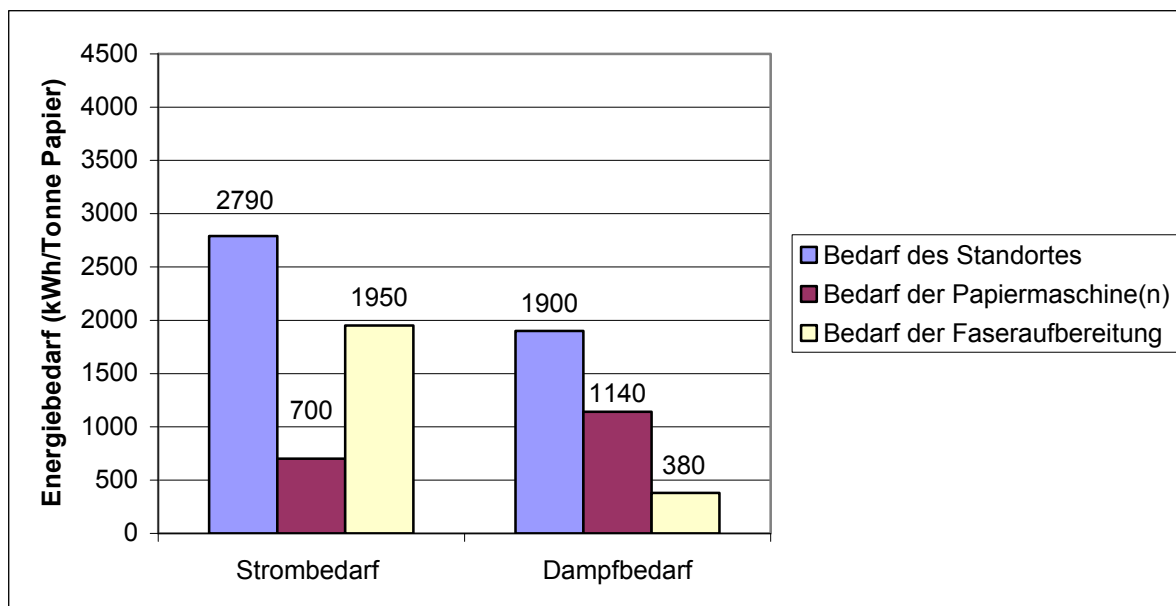


Abbildung 6-2: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA2

Dabei werden für Erdgas 0,0125 Euro pro Kilowattstunde bezahlt, und für zugekaufte Biomasse 0,0025 Euro pro Kilowattstunde. Für Biomasse aus eigenen Abfällen werden intern keine Kosten verrechnet.

Daraus errechnet sich ein durchschnittlicher Dampfpreis von 0,0024 Euro pro Kilowattstunde.

Der durchschnittliche gemeinsame Energiepreis für den selbst erzeugten Dampf und den zugekauften Strom beträgt 0,019 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.2 USA4

Am Standort USA4 werden auf insgesamt drei Papiermaschinen jährlich rund 1.100.000 Tonnen Karton- und Verpackungspapiere produziert.

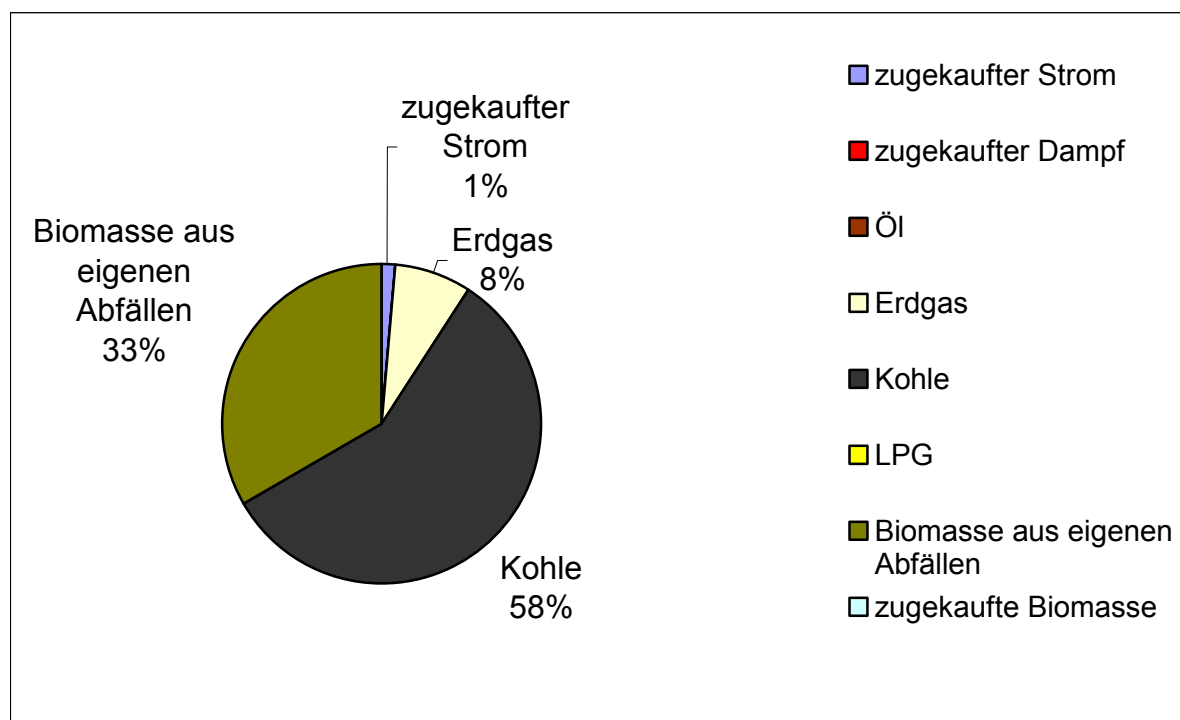


Abbildung 6-3: Zusammensetzung der eingesetzten Energie

Der jährliche Stromverbrauch beträgt 913.000 MWh oder 830 kWh pro Tonne produziertem Papier und wird zu 95 % aus Eigenproduktion gedeckt. 5 % werden aus dem Netz zugekauft, wofür 0,044 Euro pro kWh zu bezahlen sind.

Der Dampfverbrauch liegt bei rund 4.710.000 MWh pro Jahr, was einem spezifischen Dampfverbrauch von 3.790 kWh pro Tonne Papier entspricht. Der Dampfbedarf wird zu 100 % selbst produziert. Dazu werden jährlich rund 267.000 MWh Erdgas zu einem Preis von 0,015 Euro pro Kilowattstunde, 1.920.000 MWh Kohle zu einem Preis von 0,006 Euro pro Kilowattstunde und 1.120.000 MWh Biomasse aus eigenen Abfällen in einem Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerk verbrannt. Der restliche Dampf stammt aus der benachbarten Zellstoffproduktion. Abbildung 6-3 zeigt die jeweiligen Anteile am Energiemix. Abbildung 6-4 stellt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des Standortes dar.

Der durchschnittliche Energiepreis einer Kilowattstunde Strom oder Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage errechnet sich zu 0,004 Euro. Der durchschnittliche Energiepreis inklusive des zugekauften Stromes beträgt ebenfalls 0,004 Euro je Kilowattstunde.

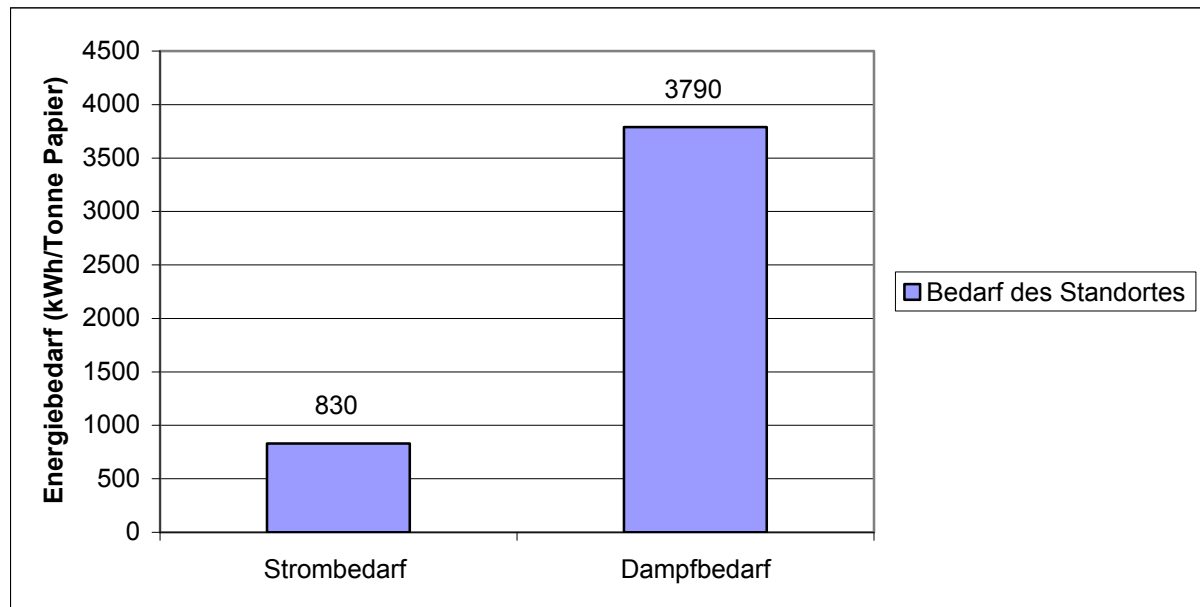


Abbildung 6-4: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA4

Jährlich werden 35.000 MWh als Wärme an externe Kunden zu einem Preis von 0,064 Euro pro kWh verkauft. Dies entspricht einem Anteil von 0,7 % des gesamten Dampfbedarfes des Standortes.

6.1.3 USA5

Am Standort USA5 befindet sich eine Papiermaschine, die per anno rund 28.000 Tonnen Karton und Verpackungspapiere herstellt. Der dafür benötigte Strom von 24.500 MWh wird zur Gänze zugekauft, während der Dampf (53.000 MWh pro Jahr) vor Ort durch Verbrennung von Öl (71.000 MWh pro Jahr) erzeugt wird. Der Strom wird für 0,06 Euro pro kWh, das Öl für 0,03 Euro pro kWh bezogen. Der Strom wird zu 45 % in der Papiermaschine und 40 % in der Faseraufbereitung verwendet, beim Dampf betragen diese Anteile 70 % und 15 %. Somit ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch der Papiermaschinen von 400 kWh und ein spezifischer Dampfverbrauch von 1.330 kWh, jeweils pro Tonne Papier.

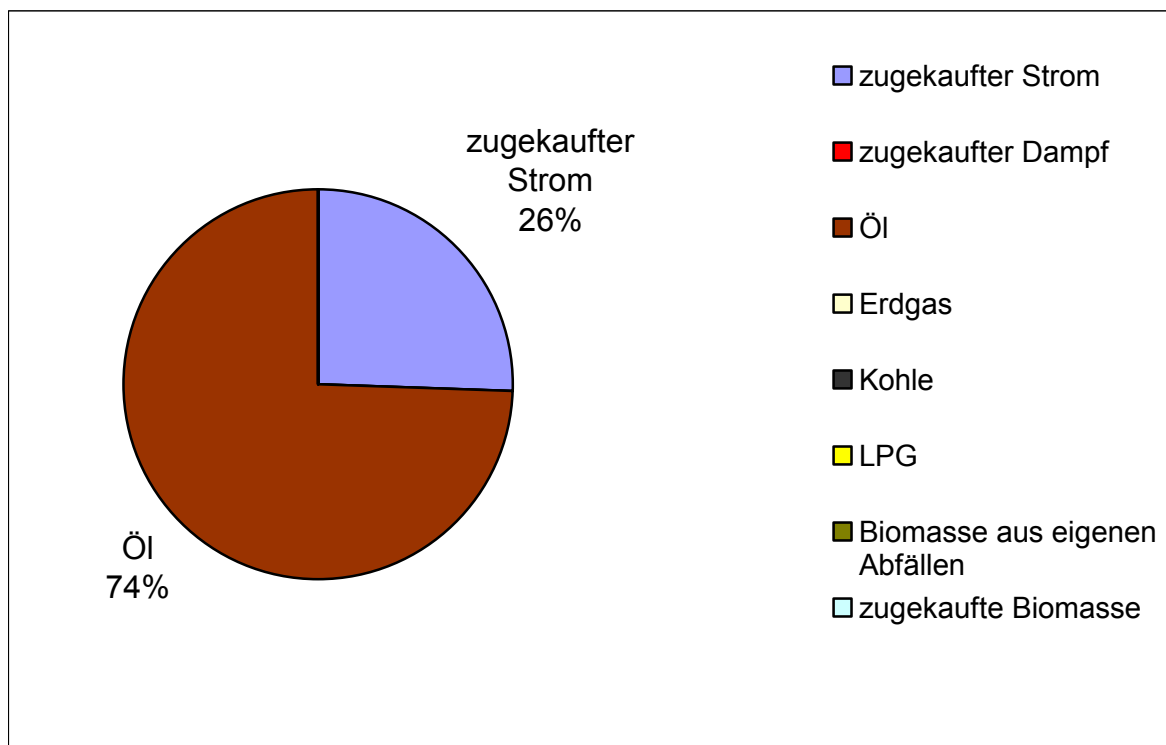


Abbildung 6-5: Anteile der zugekauften Energieträger am Gesamtenergieverbrauch

Abbildung 6-5 visualisiert die Anteile des zugekauften Stromes und des zugekauften Öls. Der spezifische Dampfverbrauch des Standortes USA5 liegt bei 2.780 kWh pro Tonne Papier, der spezifische Stromverbrauch bei 910 kWh pro Tonne Papier. Abbildung 6-6 stellt die spezifischen Werte des Standortes, der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung grafisch dar.

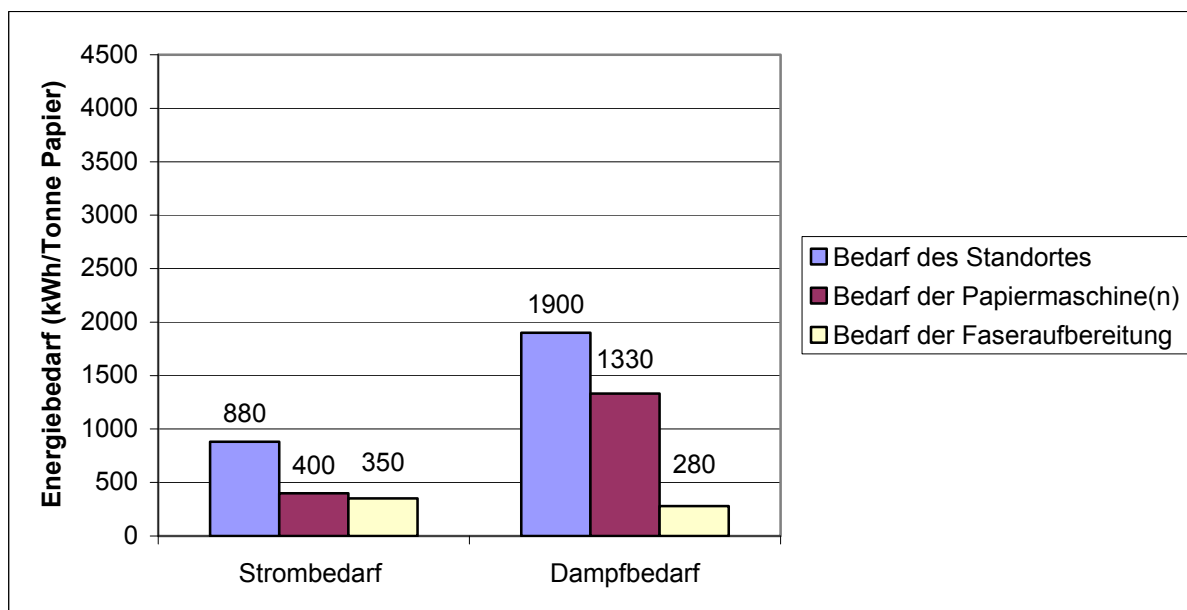


Abbildung 6-6: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA5

Der durchschnittliche Dampfprijs beträgt 0,043 Euro pro Kilowattstunde. Der durchschnittliche gemeinsame Energiepreis für Strom und Dampf ergibt sich zu 0,047 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.4 Brasilien4

In dieser Papierfabrik in Brasilien werden pro Jahr 177.000 Tonnen Spezialpapiere auf fünf Papiermaschinen hergestellt. Während der Dampfbedarf vor Ort mit Erdgas gedeckt wird, wird der Strom vollständig zugekauft. Abbildung 6-7 zeigt die Verteilung des Energieverbrauches auf die beiden genutzten Energieträger.

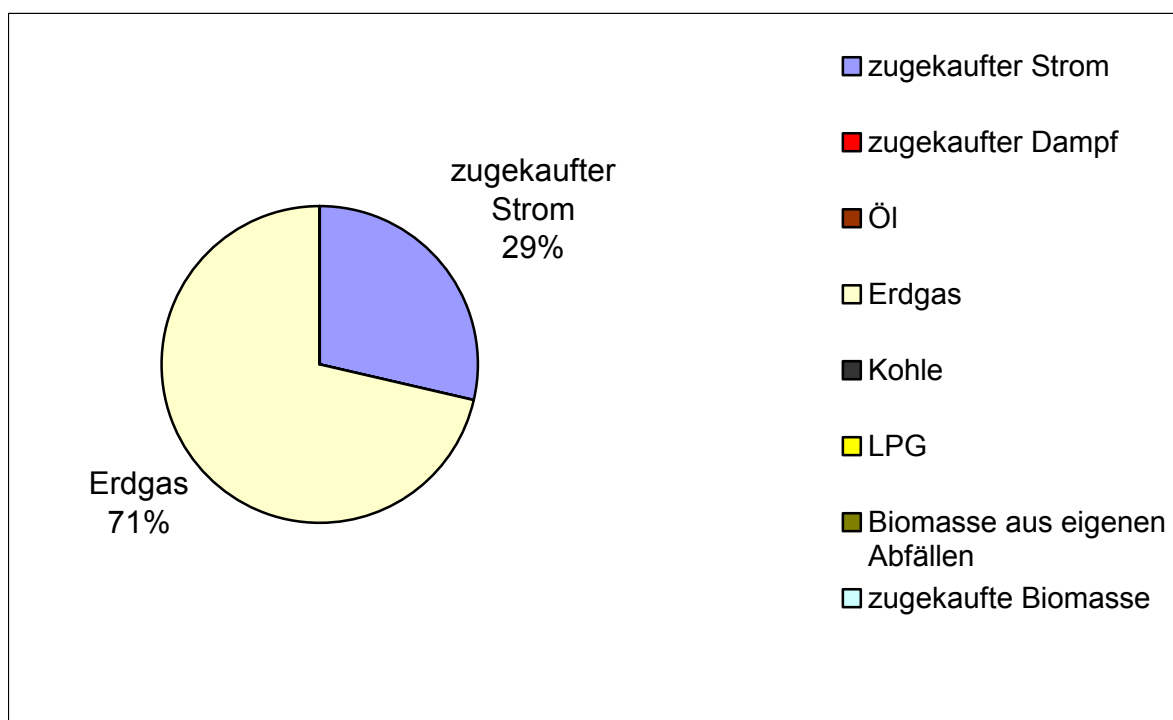


Abbildung 6-7: Energiemix des Standortes Brasilien4

Der Stromverbrauch beläuft sich auf 106.000 MWh pro Jahr, was zu einem spezifischen Stromverbrauch von 600 kWh pro Tonne Papier führt. 70 % davon kommen in der Papiermaschine zum Einsatz, 10 % in der Faseraufbereitung, der Rest verteilt sich auf Nebenanlagen. Daraus folgt ein spezifischer Stromverbrauch der Papiermaschinen von 420 kWh pro Tonne produzierten Papiers. Der Strom kostet im Einkauf 0,068 Euro pro Kilowattstunde.

Der Dampfbedarf von jährlich 247.000 MWh wird zu 100 % in der Papiermaschine eingesetzt. Dies führt zu identischen spezifischen Dampfverbräuchen von Papiermaschinen und gesamtem Standort von 1.400 kWh pro Tonne Papier. Abbildung 6-8 stellt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des Standortes, der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung grafisch dar.

Der Dampf wird in Dampfkesseln vor Ort mittels Erdgasverbrennung hergestellt. Dazu werden pro Jahr 264.000 MWh Erdgas zu einem Preis von 0,045 Euro pro kWh zugekauft.

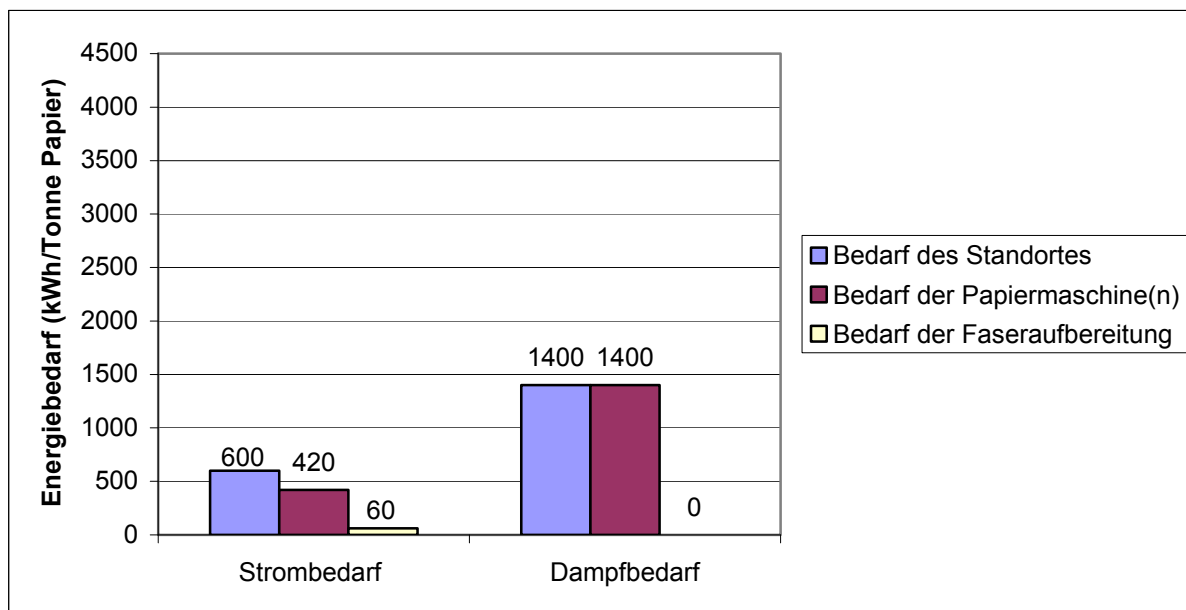


Abbildung 6-8: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Brasilien4

Der durchschnittliche Preis des Dampfes errechnet sich daraus zu 0,048 Euro pro Kilowattstunde. Der durchschnittliche gemeinsame Kilowattstundenpreis von Strom und Dampf beträgt 0,054 Euro.

6.1.5 Südafrika

Der Standort Südafrika stellt jedes Jahr rund 63.000 Tonnen grafische Papiere und 6.000 Tonnen Spezialpapiere auf zwei Papiermaschinen her. Zur Dampferzeugung, die vollständig vor Ort erfolgt, wird Kohle eingesetzt. Der benötigte Strom wird zu 100 % aus dem Stromnetz bezogen. Abbildung 6-9 stellt die Anteile der jeweiligen Energieträger am Gesamtenergieverbrauch dar.

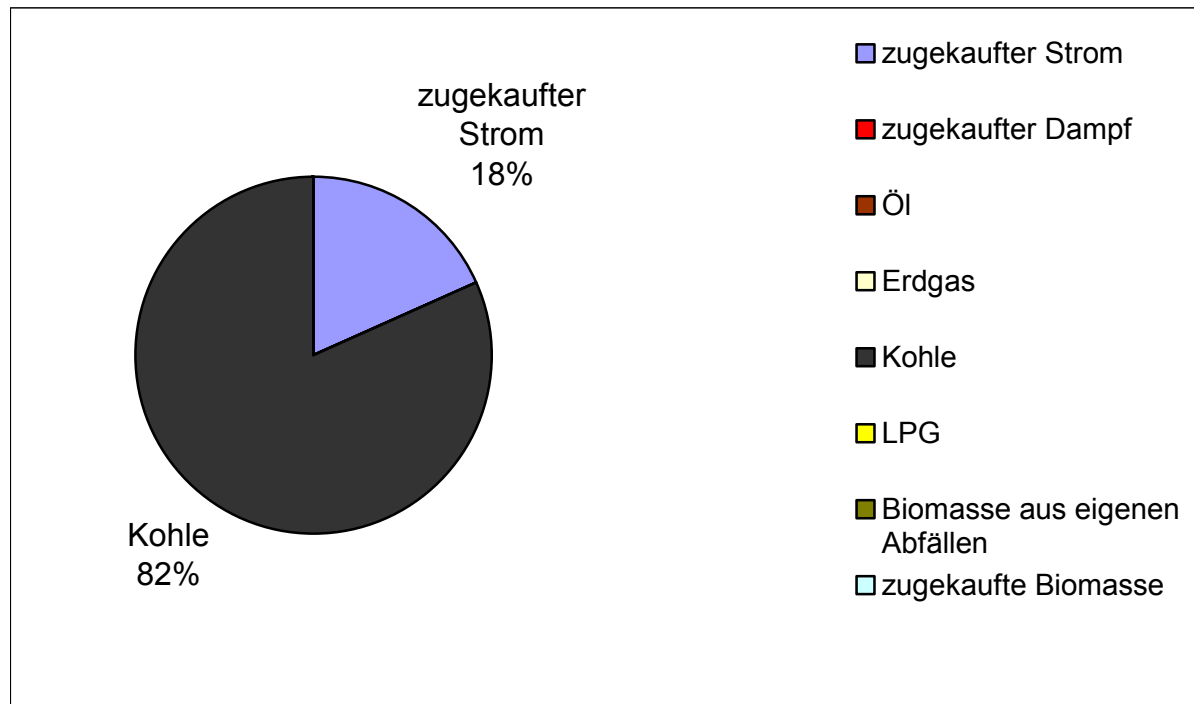


Abbildung 6-9: Zusammensetzung der Energieversorgung des Standortes Südafrika

158.000 MWh Strom werden pro Jahr zu einem Preis von 0,033 Euro pro Kilowattstunde zugekauft. Daraus errechnet sich ein spezifischer Stromverbrauch von 2.290 kWh pro Tonne produzierten Papiers. 40 % davon werden für die Papiermaschinen verwendet, 15 % für die Faseraufbereitung, der Rest entfällt auf Nebenaggregate. Der spezifische Strombedarf der Papiermaschinen beträgt somit 920 Kilowattstunden pro Tonne Papier.

Der Dampfbedarf von jährlich 282.000 MWh, oder 4.100 kWh pro Tonne Papier, der zu 60 % von den Papiermaschinen, zu 5 % von der Faseraufbereitung und zu 35 % von Nebenanlagen verursacht wird, wird durch die Verbrennung von 700.000 MWh Kohle gedeckt. Deren Zukaufspreis beträgt 0,009 Euro pro Kilowattstunde. Der spezifische Dampfverbrauch der Papiermaschinen errechnet sich somit zu 2.330 Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers.

Abbildung 6-10 stellt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des Standortes sowie der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung dar.

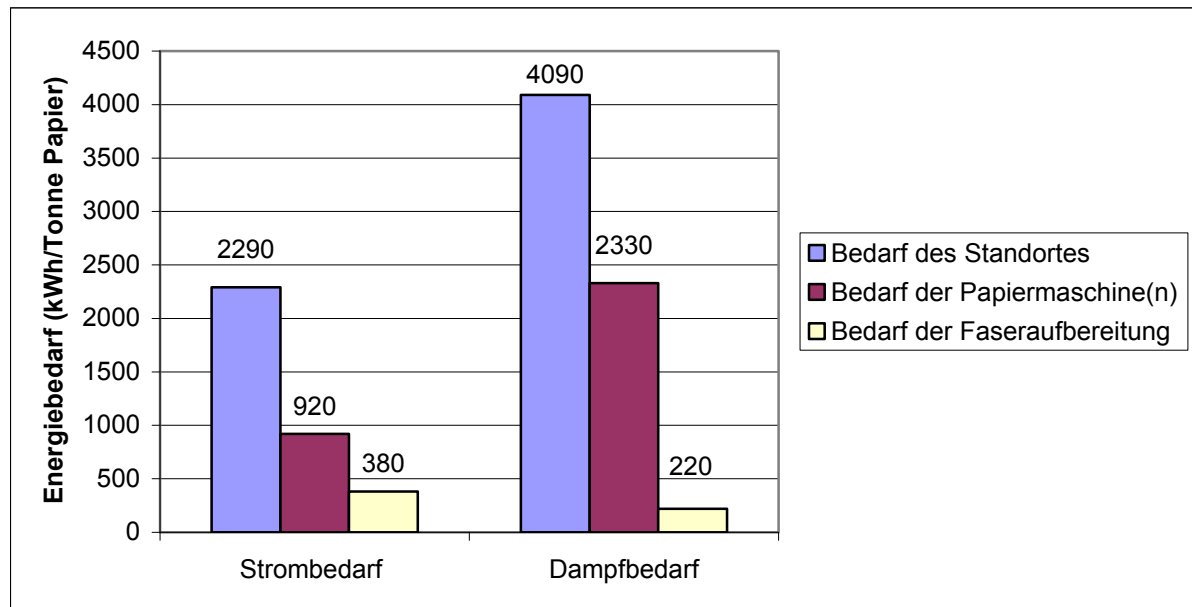


Abbildung 6-10: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Südafrika

Daraus ergibt sich ein Dampfpreis von 0,022 Euro und ein durchschnittlicher gemeinsamer Energiepreis für Strom und Dampf von 0,026 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.6 Schweiz

Am Standort Schweiz sind zwei Papiermaschinen in Betrieb, die jährlich 37.000 Tonnen Spezialpapiere produzieren.

Pro Jahr werden 36.700 MWh Strom (100 % des benötigten Stromes) zu einem Preis von 0,08 Euro pro Kilowattstunde aus dem lokalen Stromnetz zugekauft. Dies entspricht einem spezifischen Strombedarf des gesamten Standortes von 1.000 kWh pro Tonne Papier. 40 % dieses Stromes werden von den Papiermaschinen verwendet, was somit zu einem spezifischen Stromverbrauch von 390 Kilowattstunden pro Tonne Papier in den Papiermaschinen führt. 57 % des jährlichen Strombedarfes, 20.920 MWh, werden zur Dampferzeugung benötigt, die restlichen 3 % verteilen sich auf Nebenaggregate.

Der Dampfbedarf beläuft sich auf 59.000 MWh pro Jahr bzw. 1.600 kWh pro Tonne Papier. 80 % des Dampfes werden in den Papiermaschinen eingesetzt, 10 % in der Faseraufbereitung. Somit beträgt der spezifische Dampfverbrauch der Papiermaschinen 1.250 Kilowattstunden pro Tonne Papier. Zur Dampferzeugung werden jährlich 89.000 MWh Erdgas und 20.920 MWh Strom eingesetzt.

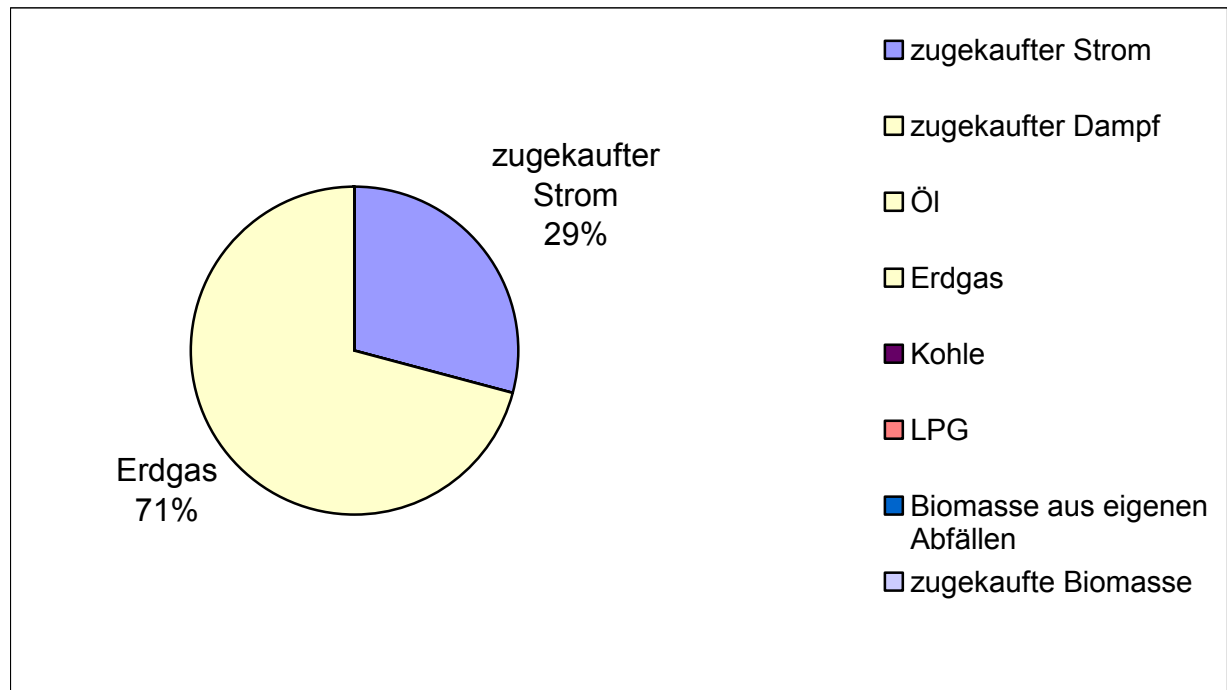


Abbildung 6-11: Anteile der Energieträger am Gesamtenergieverbrauch am Standort Schweiz

Abbildung 6-11 stellt die Anteile der eingesetzten Energieträger dar.

Der Erdgaspreis beträgt 0,022 Euro pro Kilowattstunde. Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Dampfprijs von 0,053 Euro pro Kilowattstunde, und ein durchschnittliche gemeinsamer Gesamtenergiepreis für Strom und Dampf von 0,06 Euro.

Abbildung 6-12 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfverbrauch der Papiermaschinen, der Faseraufbereitung sowie des gesamten Standortes.

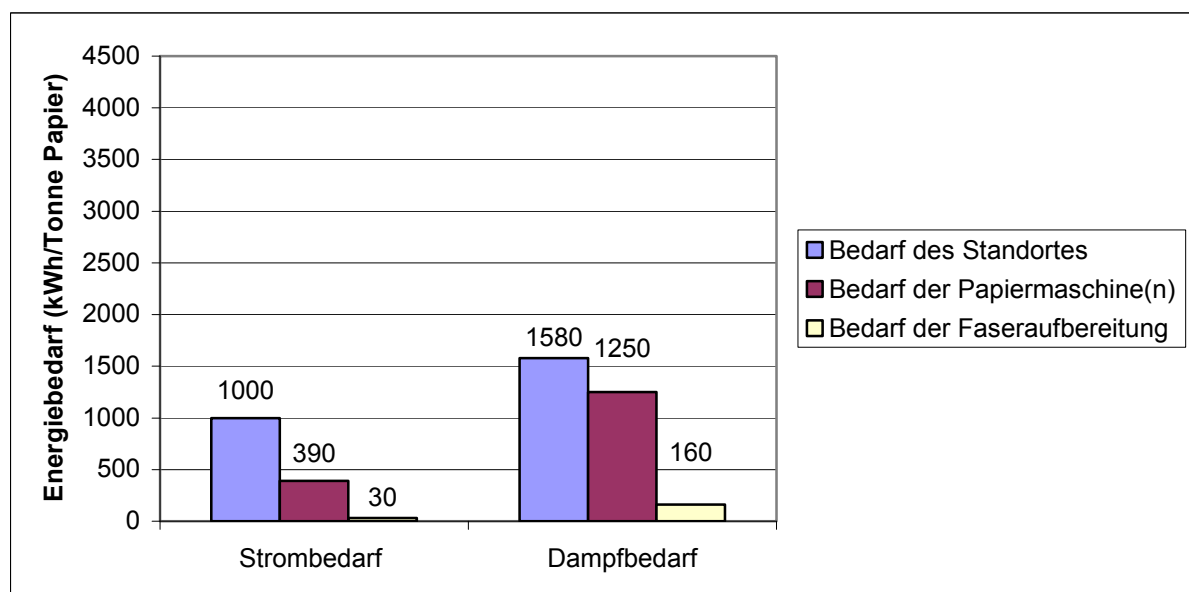


Abbildung 6-12: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Schweiz

6.1.7 Österreich1

125.000 Tonnen Spezialpapiere werden am Standort Österreich1 auf zwei Papiermaschinen hergestellt. Dabei werden jährlich 140.000 MWh Strom und 140.000 MWh Dampf verbraucht, was zu einem spezifischen Stromverbrauch sowie einem spezifischen Dampfverbrauch des Standortes von je 1120 kWh pro Tonne Papier führt.

Der Strombedarf wird zu 60 % aus Eigenproduktion gedeckt. 40 %, oder 56.000 MWh, werden zu einem Preis von 0,085 Euro pro kWh zugekauft. Der Strombedarf verteilt sich zu 65 % auf die Papiermaschinen und zu 20 % auf die Faseraufbereitung. Der spezifische Stromverbrauch der Papiermaschinen beträgt somit 720 kWh pro Tonne produzierten Papiers. Der restliche Strom wird von Nebenanlagen benötigt.

Abbildung 6-13 zeigt die Zusammensetzung der zugekauften Energie des Standortes Österreich1.

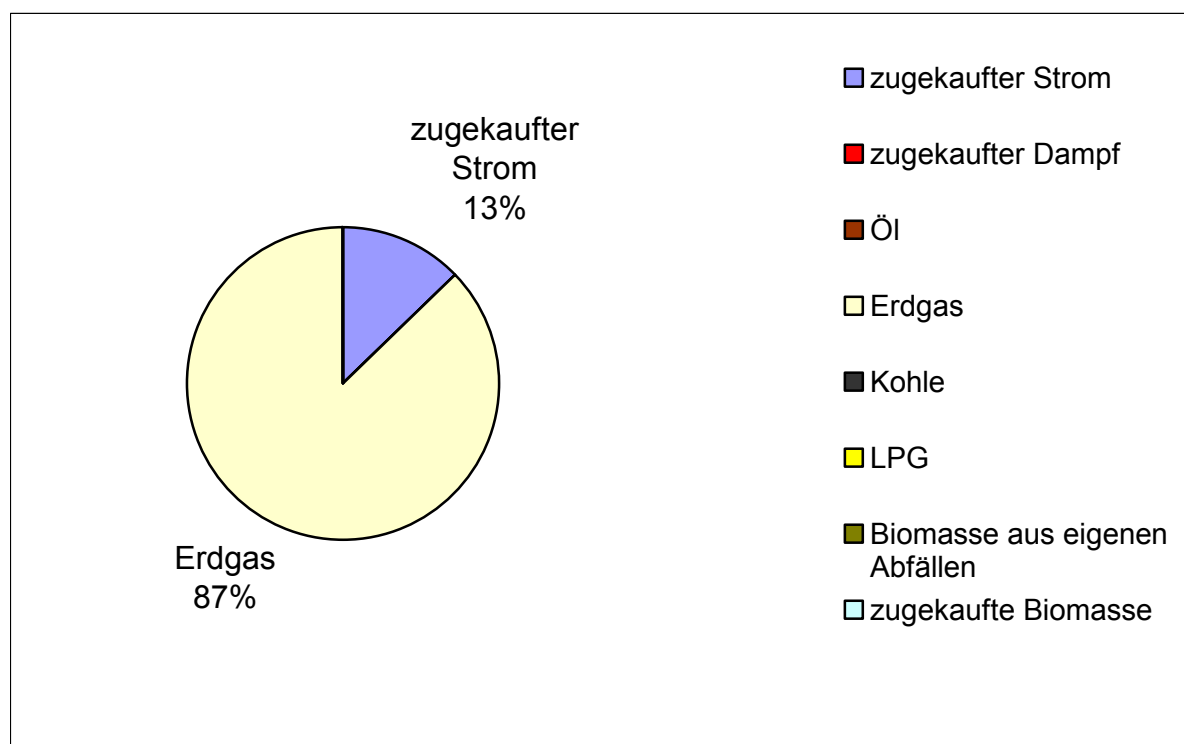


Abbildung 6-13: Zusammensetzung der zugekauften Energie am Standort Österreich1

Der Dampfbedarf, von dem 75 % die Papiermaschinen verursachen und 15 % die Faseraufbereitung, wird zur Gänze selbst gedeckt. Das führt zu einem spezifischen Dampfverbrauch der Papiermaschinen von 850 Kilowattstunden pro Tonne Papier. 380.000 MWh Erdgas werden jährlich um 0,025 Euro pro kWh zugekauft. 75 % dieses Erdgases werden in einem Kraftwerk zur Strom- und Dampfproduktion

verwendet, während 25 % direkt in den Papiermaschinen zum Einsatz kommen. Abbildung 6-14 visualisiert den spezifischen Strom- und Dampfbedarf der Papiermaschinen, der Faseraufbereitung sowie des gesamten Produktionsstandortes.

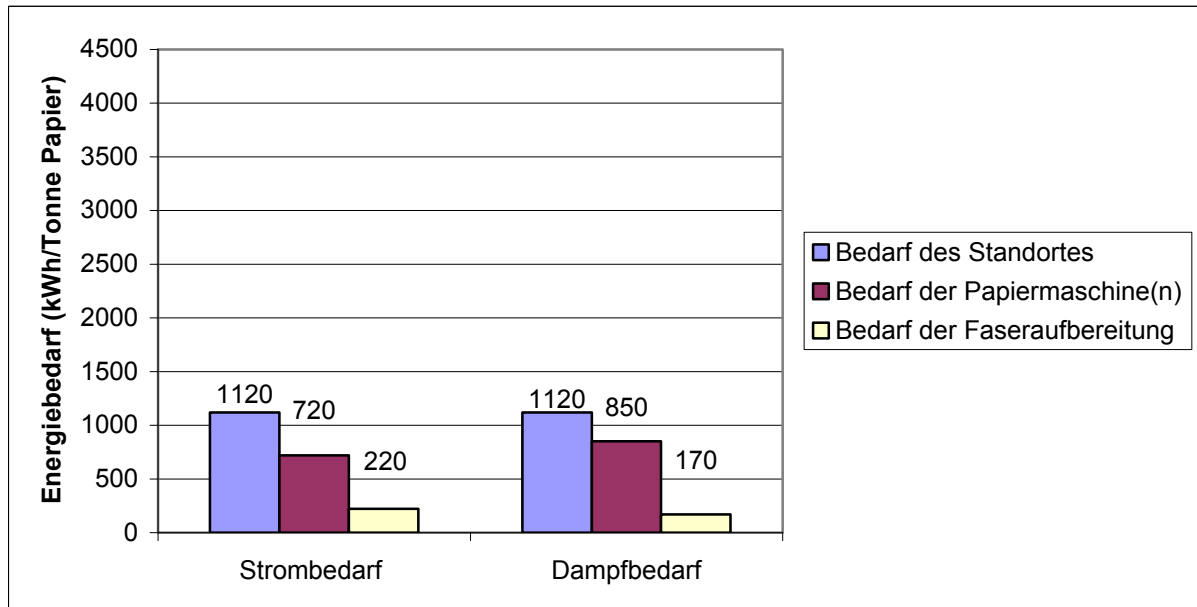


Abbildung 6-14: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Österreich1

Der durchschnittliche Energiepreis für eine Kilowattstunde aus der Kraft-Wärme-Kopplung beträgt 0,032 Euro, der durchschnittliche Gesamtenergiepreis des Standortes beläuft sich damit auf 0,05 Euro.

6.1.8 Österreich3

Auf zwei Papiermaschinen werden am Standort Österreich3 515.000 Tonnen grafische Papiere produziert.

40 % des jährlichen Strombedarfes von insgesamt 682.000 MWh werden in den Papiermaschinen eingesetzt, 60 % in der Faseraufbereitung. Dies entspricht einem spezifischen Strombedarf des Standortes von 1.330 kWh und einem spezifischen Strombedarf der Papiermaschinen von 440 kWh jeweils pro Tonne produzierten Papiers. Der Strom wird zu 65 % (443.000 MWh pro Jahr) in einer GuD-Anlage vor Ort produziert. 35 % bzw. 239.000 MWh werden um 0,059 Euro pro Kilowattstunde zugekauft.

0,4 % des vor Ort erzeugten Stromes (2.100 MWh jährlich) werden um 0,033 Euro pro Kilowattstunde in das örtliche Stromnetz eingespeist und verkauft.

Der benötigte Dampf (529.000 MWh) wird zu 100 % in der GuD-Anlage produziert. 80 % dieses Dampfes kommen in den Papiermaschinen zum Einsatz, der Rest wird

in Nebenanlagen verwendet. Daraus errechnet sich ein spezifischer Dampfbedarf des Standortes von 1.030 Kilowattstunden pro Tonne produziertem Papier. Der spezifische Dampfbedarf der Papiermaschinen beträgt 800 kWh pro Tonne Papier.

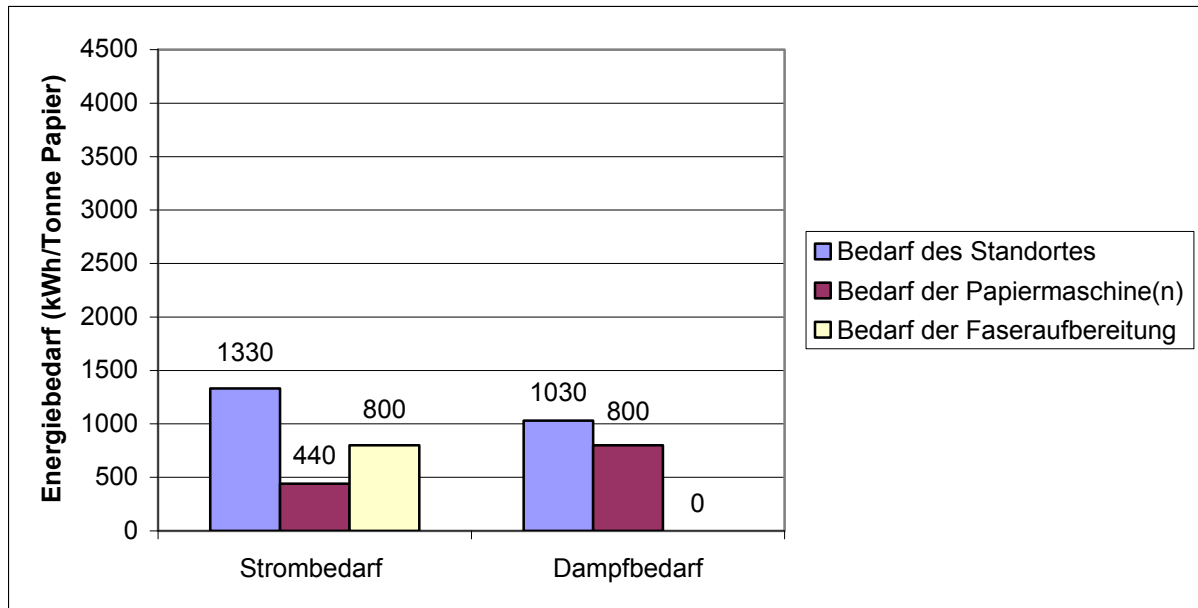


Abbildung 6-15: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Österreich3

Abbildung 6-15 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des gesamten Standortes sowie der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung.

In der GuD-Anlage kommen jährlich rund 1.210.000 MWh Erdgas zum Einsatz, wofür 0,027 Euro pro Kilowattstunde bezahlt werden. Abbildung 6-16 stellt die Anteile der extern zugekauften Energieträger dar.

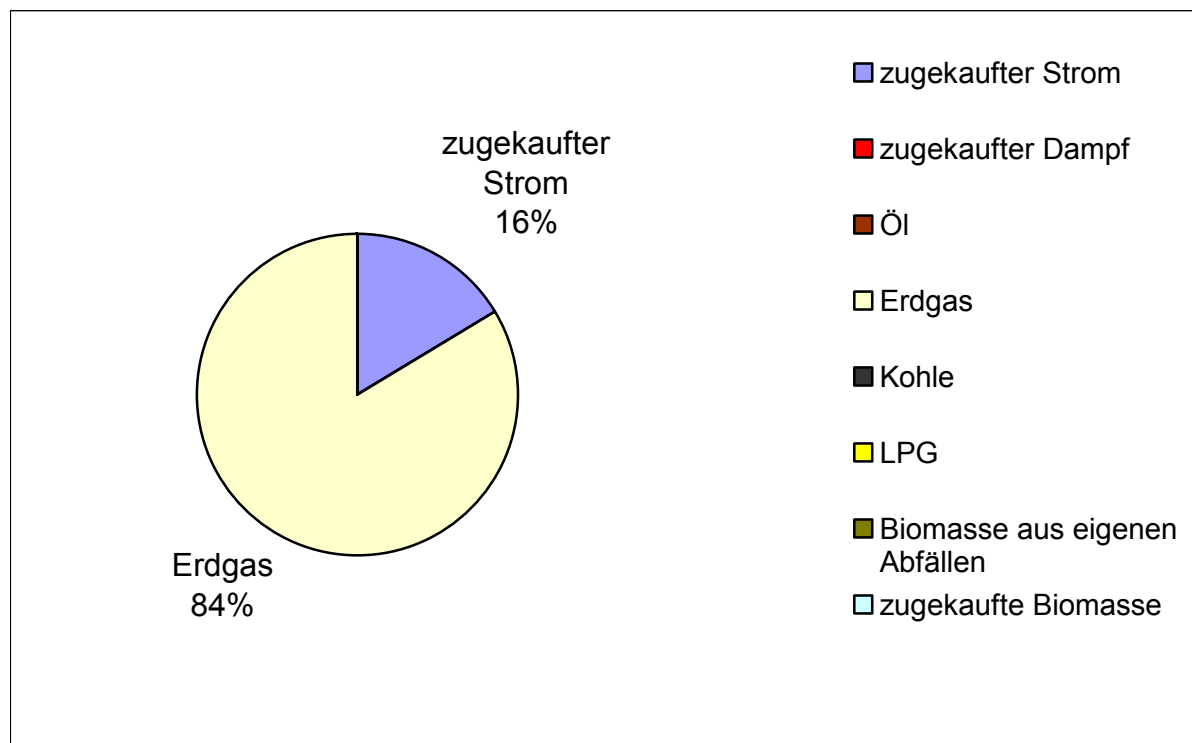


Abbildung 6-16: Energiemix des Standortes Österreich3

Damit ergibt sich der durchschnittliche Preis einer in der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage produzierten Kilowattstunde Strom oder Dampf zu 0,034 Euro. Der am Standort Österreich3 über Strom und Dampf errechnete Durchschnittspreis beträgt 0,038 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.9 Deutschland1

Dieser Standort produziert auf zwei Papiermaschinen Karton- und Verpackungspapiere, wobei der Ausstoß 640.000 Tonnen pro Jahr beträgt.

Der Strombedarf von 280.000 MWh wird zu 95 % aus Eigenproduktion gedeckt. Die restlichen 5 % werden um 0,12 Euro pro Kilowattstunde zugekauft. 98 % des Stromes werden in den Papiermaschinen eingesetzt. Somit beträgt der spezifische Stromverbrauch des Standortes 440 kWh pro Tonne Papier, während sich der spezifische Stromverbrauch der Papiermaschinen auf 430 kWh pro Tonne produzierten Papiers beläuft. 10.000 MWh (3,7 % des selbst produzierten Stromes) werden um 0,039 Euro pro kWh verkauft.

Der Dampfbedarf von 650.000 MWh, oder spezifisch dargestellt 1.020 kWh pro Tonne Papier, für den gesamten Standort, wird zur Gänze selbst produziert, und zu 80 % in den Papiermaschinen und zu 10 % in der Faseraufbereitung eingesetzt. Dies führt zu einem spezifischen Dampfverbrauch der Papiermaschinen von 810 Kilowattstunden pro Tonne Papier.

15.000 MWh an Wärme (dies entspricht 2,3 % der Dampfproduktion) werden jährlich an externe Kunden verkauft, wofür diese 0,039 Euro pro Kilowattstunde bezahlen.

Abbildung 6-17 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf für den gesamten Standort sowie für die Papiermaschinen und die Faseraufbereitung.

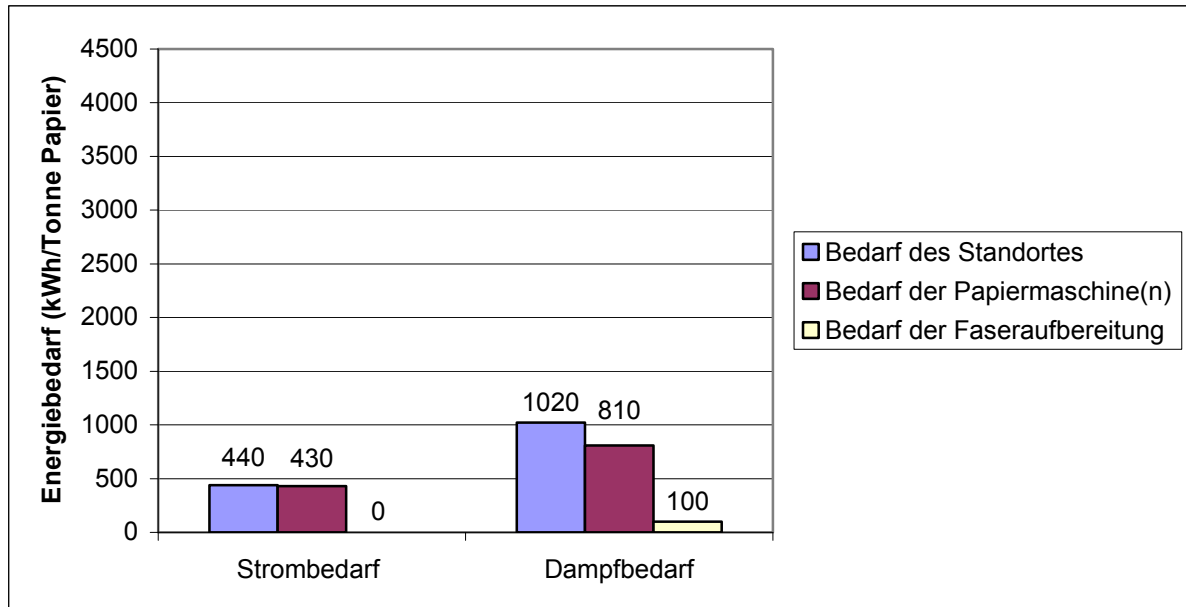


Abbildung 6-17: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Deutschland1

Die Strom- und Dampfproduktion erfolgt mit Erdgas, von dem um 0,022 Euro pro Kilowattstunde jährlich 1.200.000 MWh zugekauft werden. Abbildung 6-18 zeigt die Verteilung der zugekauften Energie.

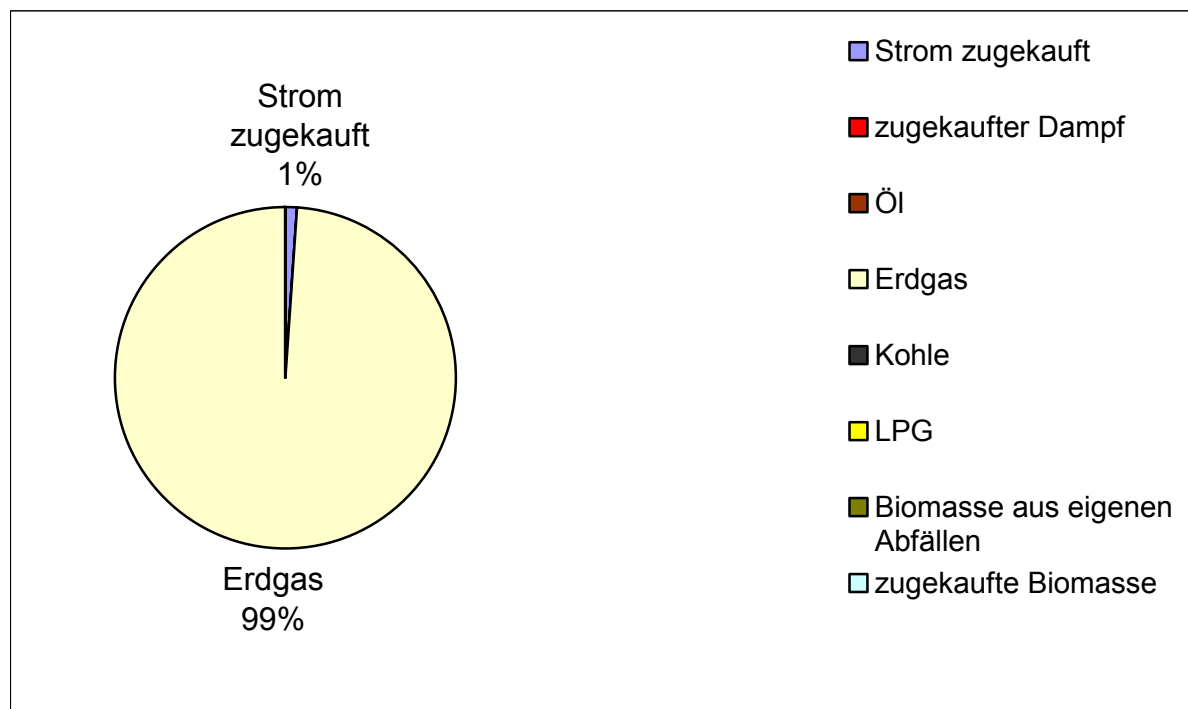


Abbildung 6-18: Verteilung der von außen zugekauften Energie

Aufgrund dieser Daten kommt der Durchschnittspreis für eine Kilowattstunde aus der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage bei 0,029 Euro zu liegen. Wird auch die elektrische Energie aus externem Zukauf in diese Durchschnittspreisberechnung mit einbezogen, so ergibt sich der durchschnittliche Energiepreis zu 0,03 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.10 Deutschland7

Am Standort Deutschland7 werden auf drei Papiermaschinen jährlich rund 75.000 Tonnen Spezialpapiere produziert.

Der Strombedarf von 72.000 MWh, oder 960 kWh pro Tonne Papier, wird zu 92 % in den Papiermaschinen eingesetzt, woraus sich ein spezifischer Strombedarf der Papiermaschinen von 880 kWh pro Tonne Papier ergibt. Der Rest wird in Nebenanlagen verwendet. 53 % (38.200 MWh) dieses Strombedarfes werden durch Eigenproduktion gedeckt, 47 % (34.000 MWh) werden zu einem Preis von 0,1 Euro pro kWh zugekauft. 176 MWh (0,5 % der Eigenproduktion) werden jährlich um 0,028 Euro pro Kilowattstunde an externe Kunden verkauft.

Der Dampfbedarf von 182.000 MWh wird zu 100 % selbst produziert. Jährlich werden dazu 256.000 MWh Kohle um 0,0125 Euro pro kWh zugekauft, und in einem Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerk verbrannt. 86 % des Dampfes werden in den

Papiermaschinen eingesetzt. Daraus errechnet sich ein spezifischer Dampfbedarf der Papiermaschinen von 2.080 kWh pro Tonne produziertem Papier.

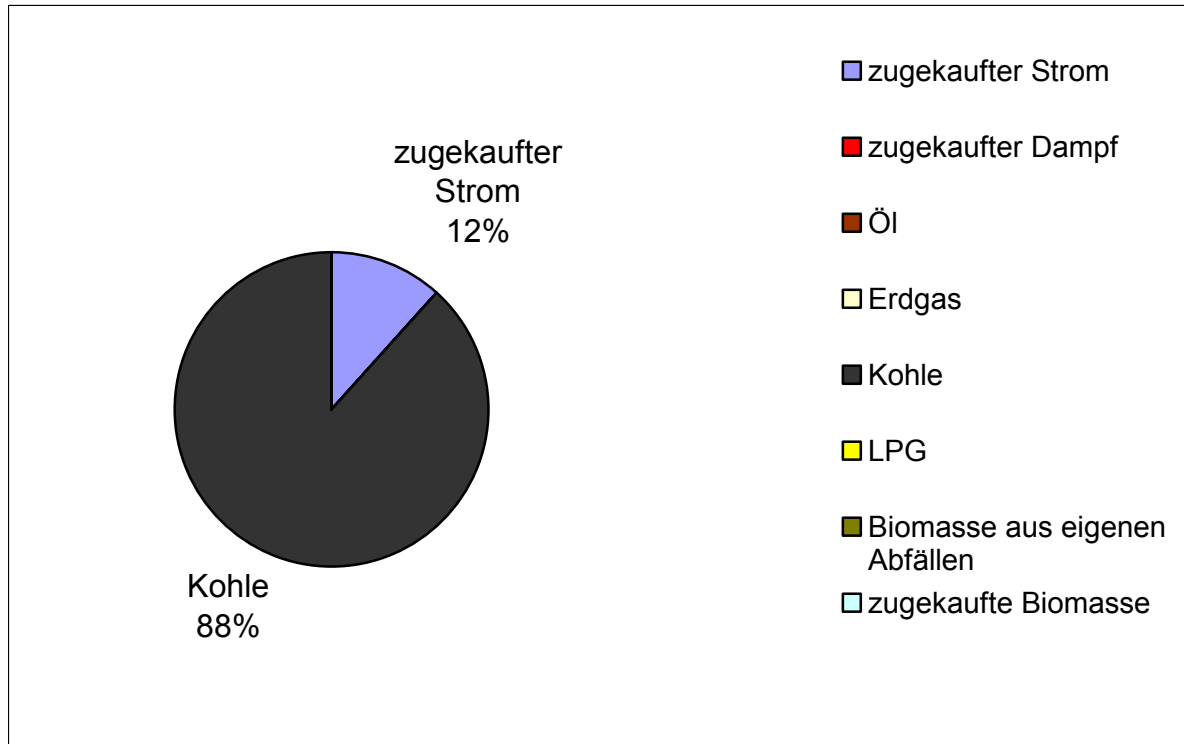


Abbildung 6-19: Energiemix der zugekauften Energiemengen des Standortes Deutschland7

Abbildung 6-19 stellt den Energiemix des Standortes grafisch dar, während Abbildung 6-20 die spezifischen Verbräuche von Strom und Dampf zeigt.

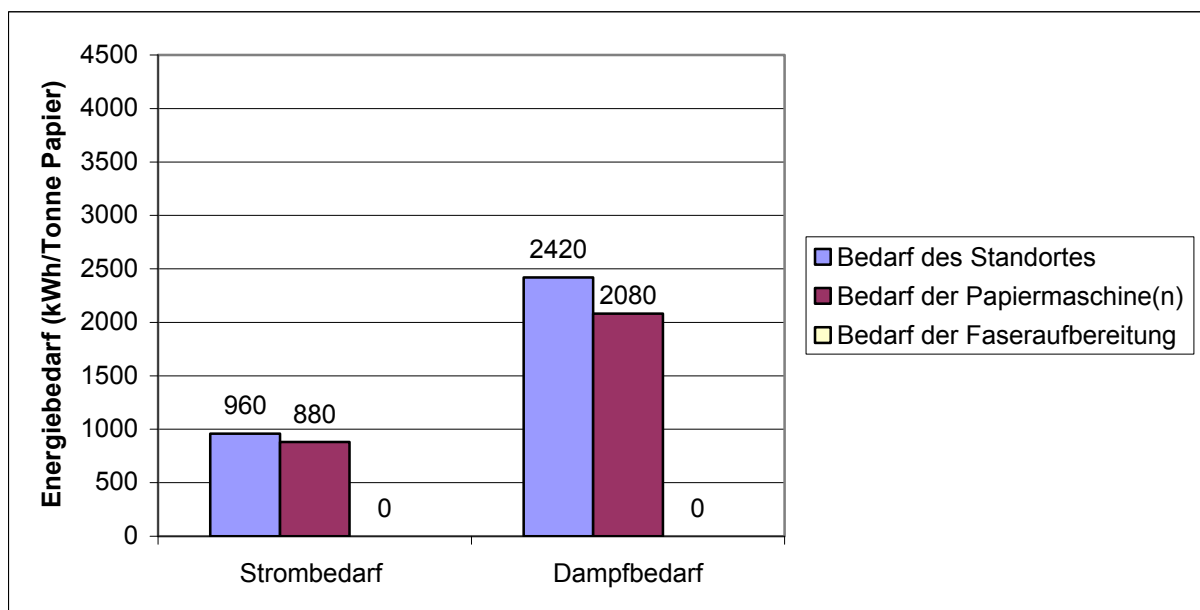


Abbildung 6-20: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Deutschland7

Dadurch ergibt sich ein Energiepreis aus der Kraft-Wärme-Kopplung von 0,015 Euro pro Kilowattstunde. Der Gesamtenergiedurchschnittspreis inklusive zugekauftem Strom beträgt 0,026 Euro.

6.1.11 Deutschland8

Auf drei Papiermaschinen werden hier 750.000 Tonnen grafische Papiere per anno hergestellt.

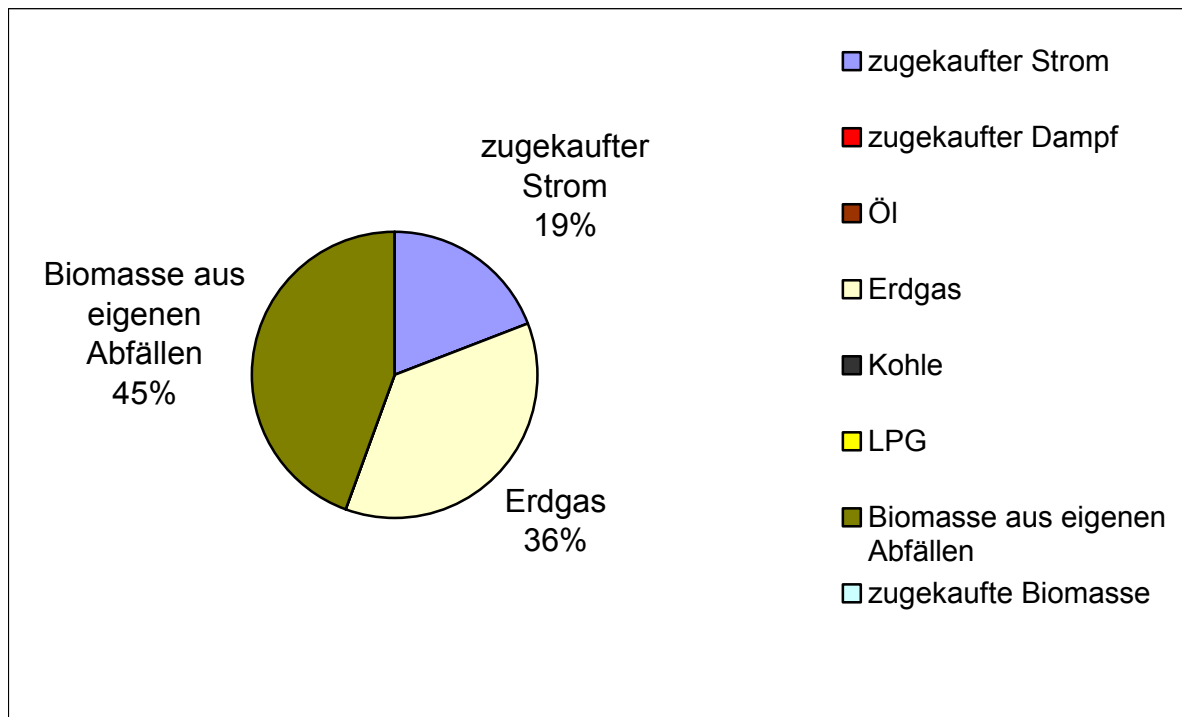


Abbildung 6-21: Anteile der verschiedenen Energieträger am Standort Deutschland8

Der damit verbundene Strombedarf von 900.000 MWh (1.200 kWh pro Tonne Papier) wird zu 35 % (315.000 MWh) aus eigener Produktion gedeckt, zu 65 % (585.000 MWh) durch Zukauf aus dem Netz. Dabei kostet die Kilowattstunde zugekaufter Strom 0,06 Euro. 25.000 MWh (8 % der Eigenproduktion) an elektrischem Strom werden jährlich an externe Kunden verkauft, wofür diese 0,065 Euro pro Kilowattstunde bezahlen.

Der Dampfbedarf von 780.000 MWh, oder 1.040 kWh pro Tonne Papier, wird vollständig durch die Verbrennung von Erdgas und Biomasse aus eigenen Abfällen gedeckt. Der Erdgasbedarf liegt bei 1.100.000 MWh, wobei die Kilowattstunde Erdgas um 0,025 Euro zugekauft wird. Der Biomasseverbrauch liegt bei 1.350.000 MWh pro Jahr. 55.000 MWh (7 % des Dampfbedarfes) an Wärme werden an externe Kunden verkauft.

Abbildung 6-21 stellt die Anteile der genutzten Energieträger am Gesamtenergiebedarf des Standortes Deutschland⁸ dar, während Abbildung 6-22 den spezifischen Strom- und Dampfbedarf zeigt.

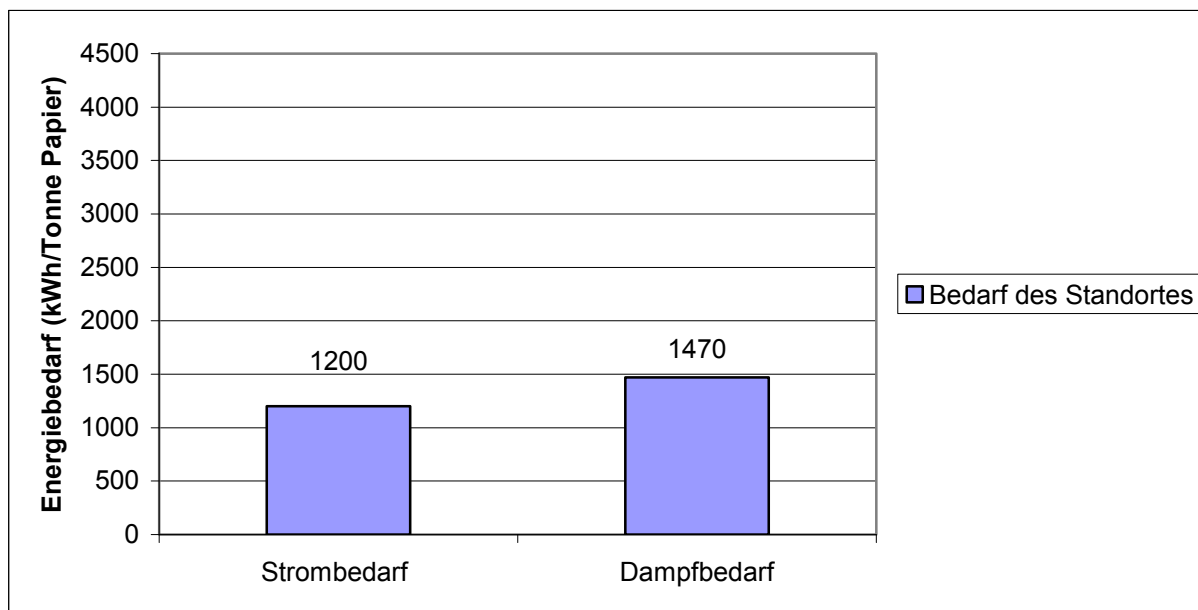


Abbildung 6-22: Spezifischer Strom und Dampfbedarf des Standortes Deutschland⁸

Der durchschnittliche Energiepreis für Strom und Dampf aus der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage errechnet sich zu 0,025 Euro pro Kilowattstunde. Der über Strom und Dampf gerechnete Durchschnittspreis beträgt 0,037 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.12 Schweden¹

Am Standort Schweden¹ sind zwei Papiermaschinen in Betrieb, die insgesamt 72.000 Tonnen Spezialpapier pro Jahr herstellen.

Der benötigte Strom von 100.000 MWh, oder 1.400 kWh pro Tonne Papier, wird aus dem Netz um 0,05 Euro pro Kilowattstunde zugekauft. 60 % davon werden in der Papiermaschine verbraucht, 20 % in der Faseraufbereitung. Hieraus ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch der Papiermaschine von 830 Kilowattstunden pro Tonne produziertem Papier.

Auch der Dampfbedarf wird zur Gänze durch Zukauf gedeckt. (90.000 Megawattstunden oder 1.250 Kilowattstunden pro Tonne Papier.) Der Dampf wird zu 70 % in der Papiermaschine und zu 15 % in der Faseraufbereitung verwendet, woraus sich ein spezifischer Dampfverbrauch der Papiermaschine von 880 Kilowattstunden pro Tonne produziertem Papier ergibt. Eine Kilowattstunde Dampf kostet 0,03 Euro.

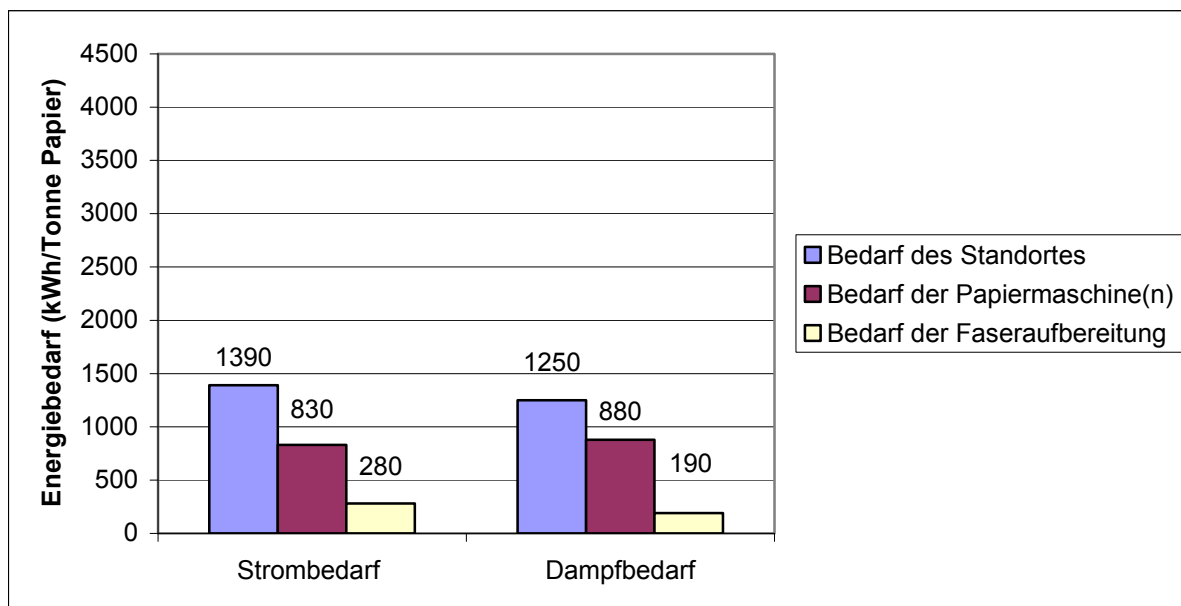


Abbildung 6-23: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Schweden1

Abbildung 6-23 visualisiert den spezifischen Strom- und Dampfbedarf der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung sowie des gesamten Standortes.

Zusätzlich kommen noch 48.000 MWh LPG (Flüssiggas) direkt in den Papiermaschinen zum Einsatz, die um 0,05 Euro pro Kilowattstunde zugekauft werden.

Abbildung 6-24 stellt diesen Energiemix grafisch dar.

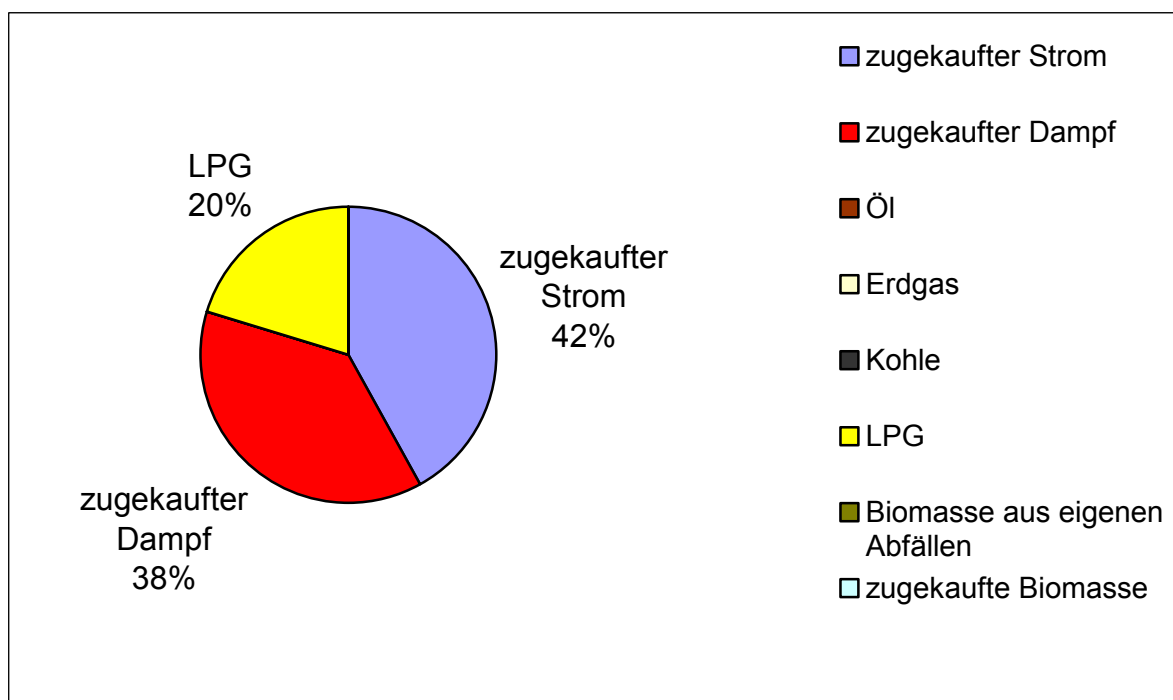


Abbildung 6-24: Energiemix des Standortes Schweden1

Der durchschnittliche Gesamtenergiepreis dieses Standortes liegt bei 0,042 Euro pro Kilowattstunde.

6.1.13 Finnland

Am Standort Finnland werden auf zwei Papiermaschinen rund 1.000.000 Tonnen grafische Papiere produziert.

Der Strombedarf von 900.000 MWh (900 kWh pro Tonne Papier) wird zu 60 % (540.000 MWh) aus eigener Produktion gedeckt, zu 40 % (360.000 MWh) durch Zukauf, wobei für eine Kilowattstunde Strom 0,045 Euro zu bezahlen sind.

Der Dampf (2.775.000 MWh pro Jahr oder 2.775 kWh pro Tonne Papier) wird zu 100 % selbst produziert. 150.000 MWh Wärme (5,4 % der erzeugten Dampfmenge) werden jährlich an externe Kunden für 0,018 Euro pro Kilowattstunde verkauft.

Abbildung 6-25 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des Standortes.

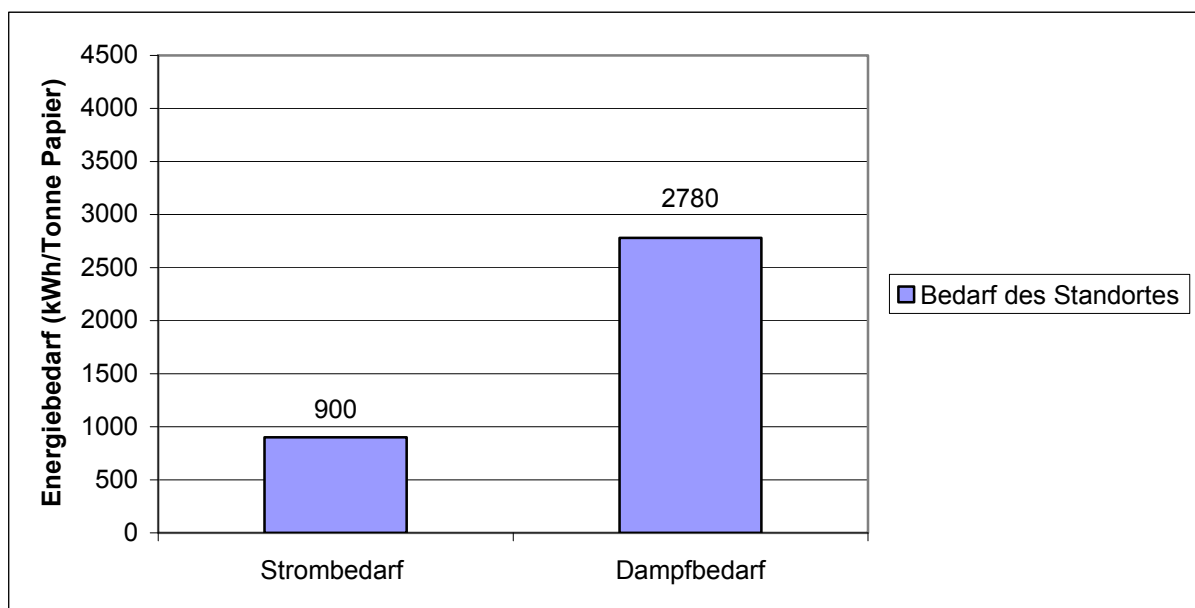


Abbildung 6-25: Spezifischer Strom- und Dampfverbrauch des Standortes Finnland

Am Standort werden 132.000 MWh Öl (0,036 Euro pro Kilowattstunde), 840.000 MWh Biomasse aus eigener Produktion und 100.000 MWh zugekaufte Biomasse (0,02 Euro pro Kilowattstunde) verbrannt, um Strom und Dampf zu produzieren. Ein Teil des Dampfes kommt von einem benachbarten Zellstoffwerk. Abbildung 6-26 stellt den Energiemix des Standortes dar.

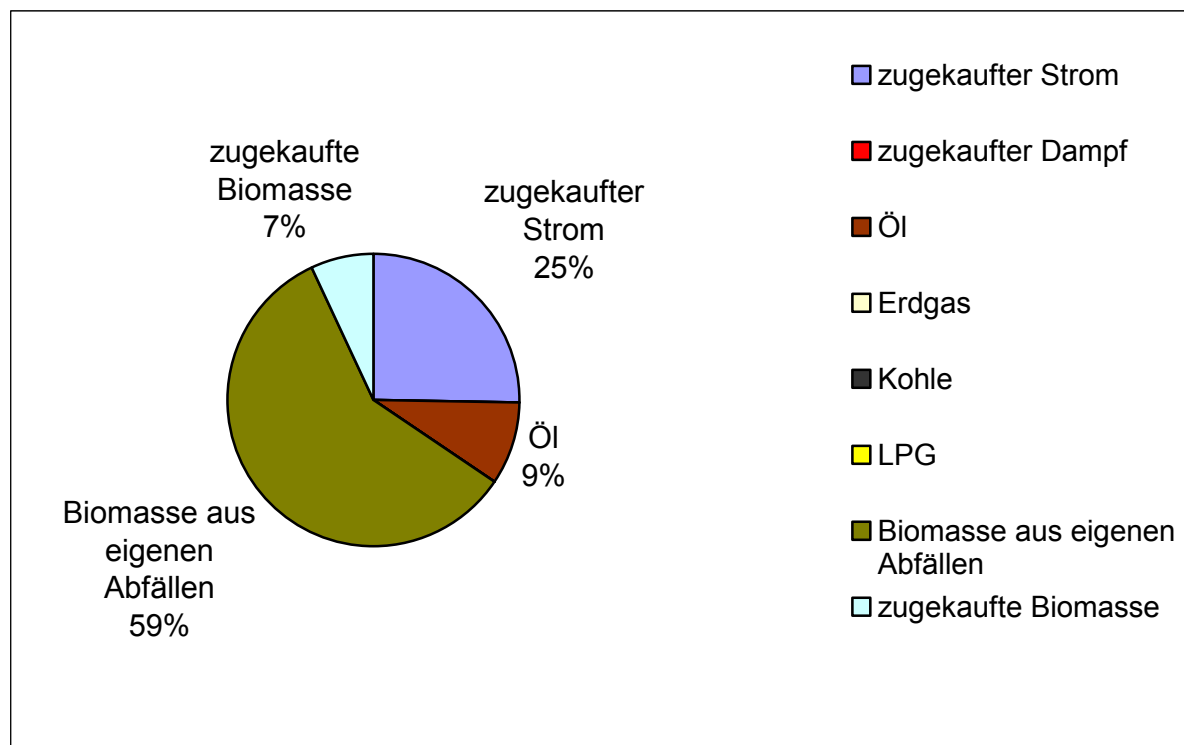


Abbildung 6-26: Energiemix des Standortes Finnland

Strom und Dampf aus Kraft-Wärme-Kopplung an diesem Standort kosten damit durchschnittlich 0,002 Euro. Der Gesamtdurchschnittspreis für eine Kilowattstunde Strom oder Dampf inklusive dem zugekauften Strom ergibt sich zu 0,006 Euro.

6.1.14 Tschechien

An diesem Standort befinden sich sechs Papiermaschinen in Betrieb. Insgesamt werden darauf 490.000 Tonnen Karton- und Verpackungspapiere sowie Spezialpapiere produziert.

Der Strombedarf von jährlich 580.000 MWh bzw. 1.200 kWh pro Tonne produzierten Papiers wird nahezu vollständig aus eigener Erzeugung gedeckt, während für Bedarfsspitzen Strom aus dem Stromnetz zu einem Preis von 0,096 Euro pro Kilowattstunde zugekauft wird. 30.000 MWh an elektrischer Energie (5,2 % der erzeugten Strommenge) werden um 0,043 Euro pro Kilowattstunde an externe Kunden verkauft.

Der Dampfbedarf beträgt jährlich 2.777.000 MWh oder 5.670 kWh pro Tonne Papier.

Strom- und Dampfbedarf werden vor Ort durch die Verbrennung von verschiedenen Brennstoffen gedeckt. Zum Einsatz kommen jährlich 42.000 MWh Gas (0,036 Euro pro Kilowattstunde), 1.520.000 MWh Kohle (0,004 Euro pro Kilowattstunde), 231.000

MWh Öl (0,02 Euro pro Kilowattstunde), 495.000 MWh Biomasse aus eigenen Abfällen und 540.000 MWh zugekaufte Biomasse (0,0049 Euro pro Kilowattstunde). Der restliche Dampf stammt aus einem benachbarten Zellstoffwerk. 72.000 MWh Wärme (2,6 % des Dampfbedarfes) werden jährlich an externe Kunden verkauft.

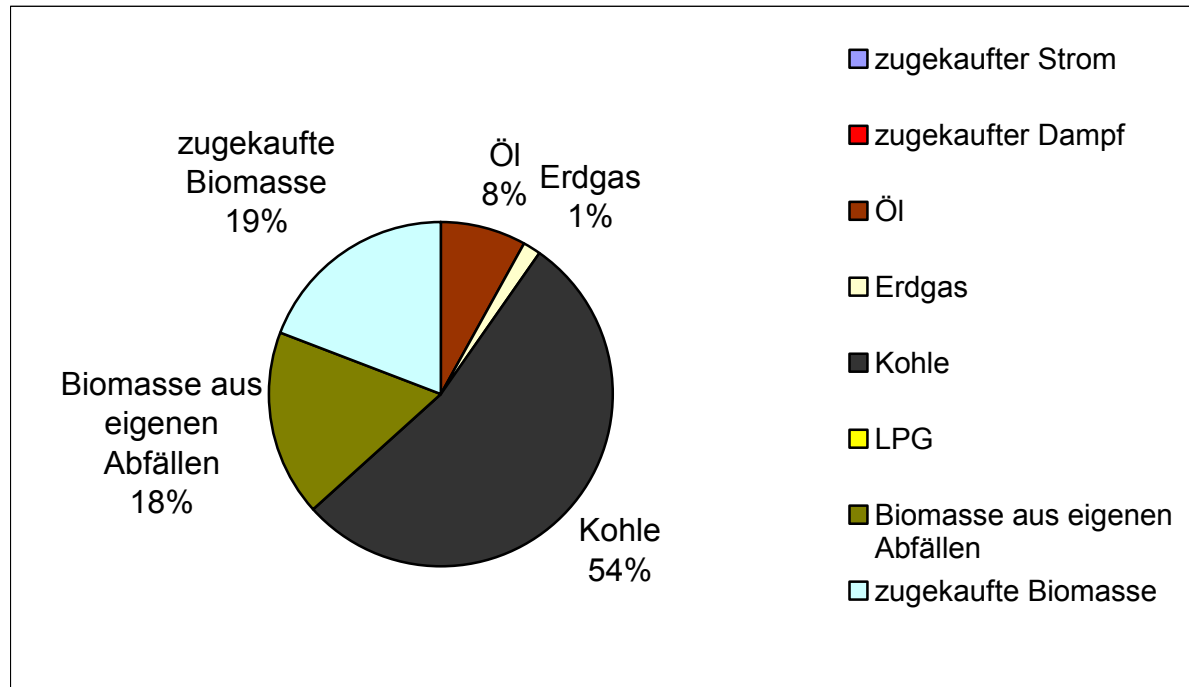


Abbildung 6-27: Verteilung der am Standort Tschechien eingesetzten Energieträger

Abbildung 6-27 stellt die Verteilung der einzelnen eingesetzten Energieträger am Standort Tschechien dar. Abbildung 6-28 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfverbrauch des Standortes.

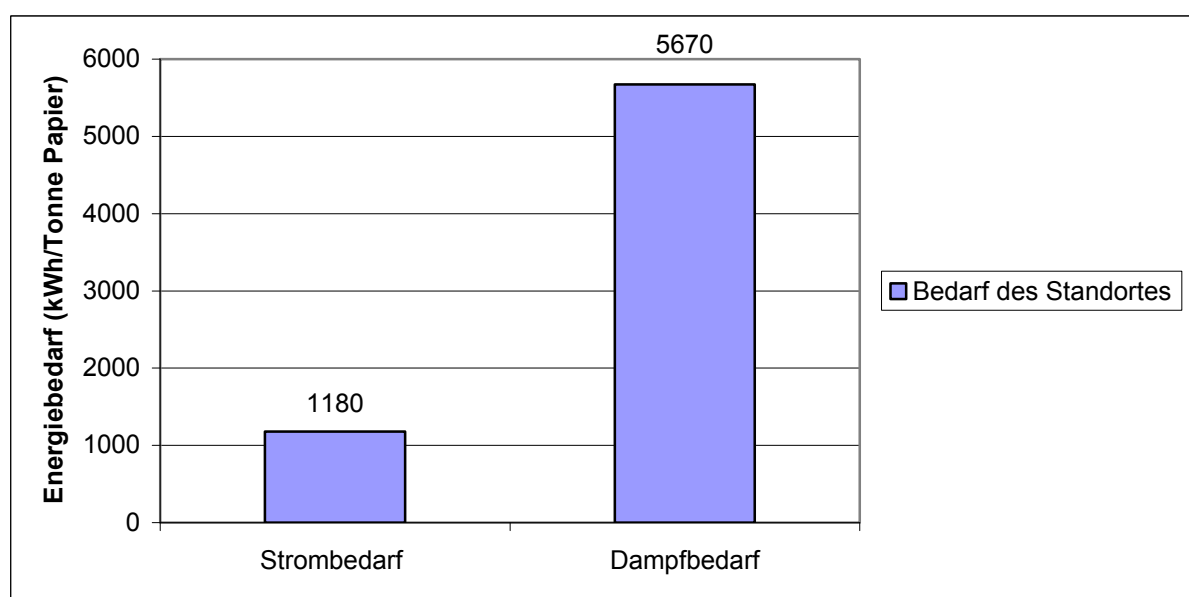


Abbildung 6-28: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Tschechien

Der durchschnittliche Preis für die in den Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzeugte Energie ergibt sich damit zu 0,005 Euro pro Kilowattstunde. Durch die vollständige Selbstversorgung des Standortes Tschechien mit Strom und Dampf gilt derselbe Wert auch für den Gesamtdurchschnittspreis.

6.1.15 Belgien

Am Standort Belgien werden auf zwei Papiermaschinen 72.000 Tonnen Spezialpapiere produziert.

Strom, Dampf und Erdgas für den Betrieb der Papiermaschinen werden zu 100 % zugekauft. Abbildung 6-29 stellt die Anteile der einzelnen Energieträger dar.

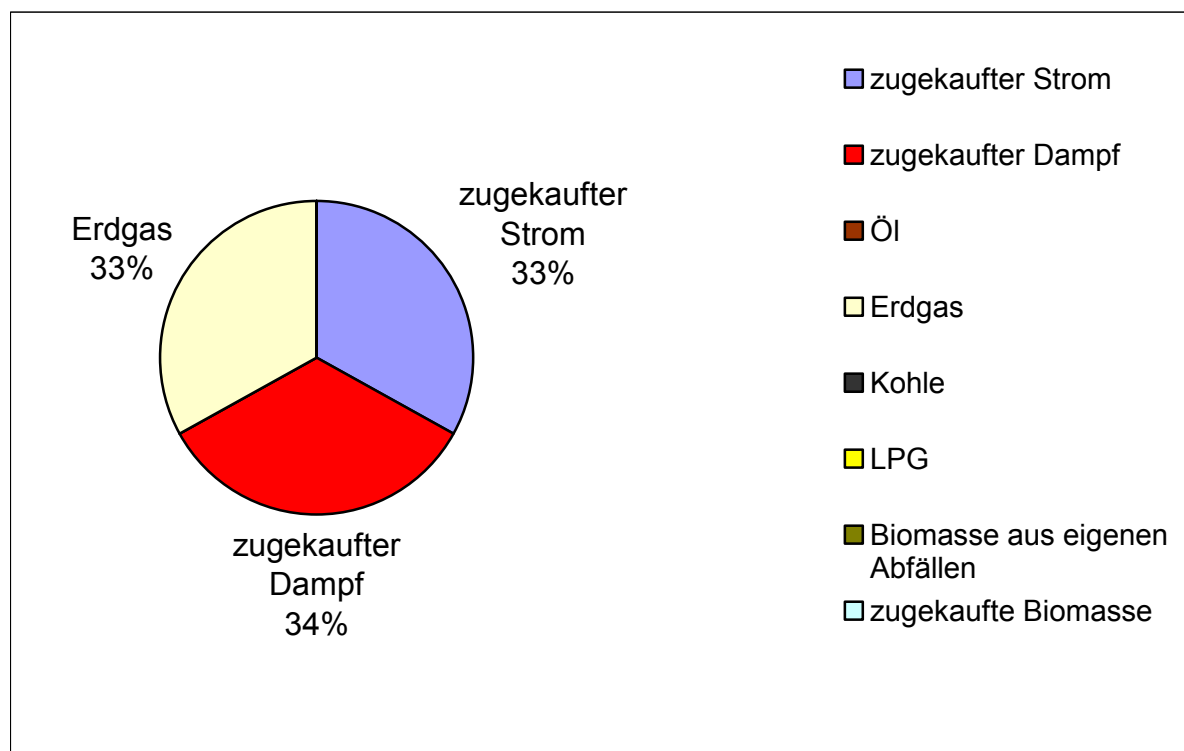


Abbildung 6-29: Anteile der einzelnen zugekauften Energieträger am Gesamtenergiebedarf

Der Strombedarf beträgt 80.000 MWh pro Jahr. Der sich daraus errechnende spezifische Strombedarf des Standortes pro Tonne produzierten Papiers beläuft sich auf 1.110 kWh. 87 % des Stromes werden in den Papiermaschinen eingesetzt, der Rest entfällt auf Nebenanlagen. Der spezifische Stromverbrauch der Papiermaschinen beträgt somit 970 kWh pro Tonne Papier. Der Stromzukauf erfolgt zu einem Preis von 0,09 Euro pro Kilowattstunde.

Der Dampfverbrauch liegt bei jährlich 82.000 MWh (1.140 kWh/Tonne Papier), wobei 95 % davon auf die Papiermaschinen entfallen. Somit ergibt sich ein spezifischer Dampfverbrauch der Papiermaschinen von 1.080 Kilowattstunden pro Tonne Papier.

Pro Kilowattstunde Dampf werden 0,043 Euro bezahlt. Abbildung 6-30 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfverbrauch des gesamten Standortes, der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung.

Zusätzlich werden direkt in den Papiermaschinen insgesamt 80.000 MWh Erdgas pro Jahr verbrannt, die um 0,039 Euro pro Kilowattstunde zugekauft werden.

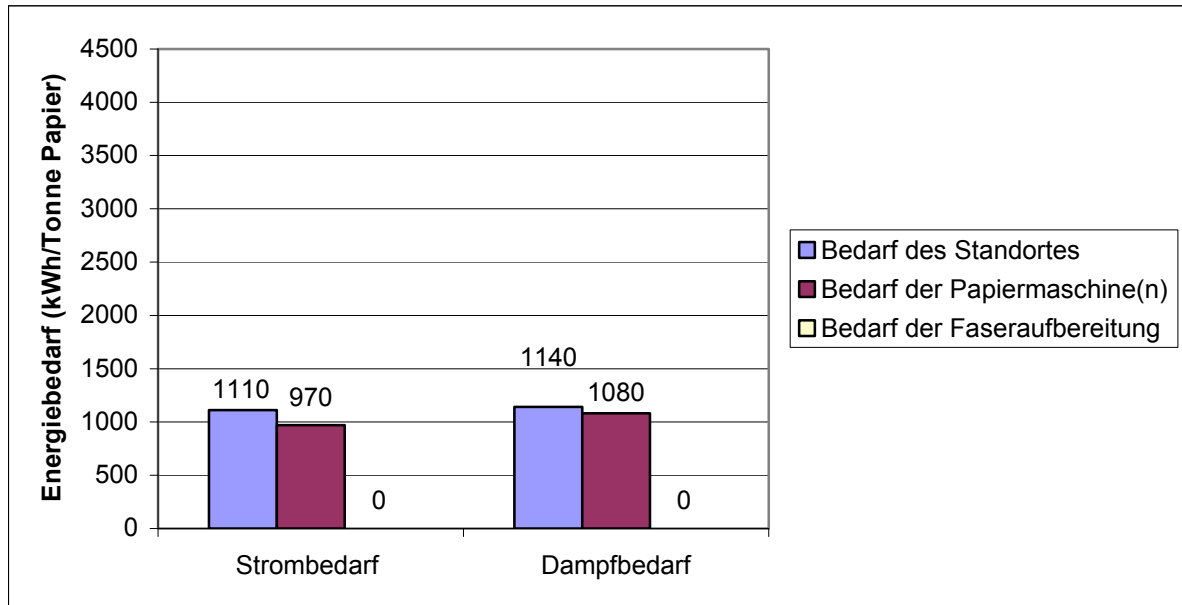


Abbildung 6-30: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Belgien

Der über Strom und Dampf errechnete Gesamtdurchschnittspreis pro Kilowattstunde beträgt 0,057 Euro.

6.1.16 Spanien

Am Standort Spanien werden auf zwei Papiermaschinen 50.000 Tonnen Spezialpapiere produziert.

Der jährliche Strombedarf beträgt 61.600 MWh, oder 1.230 kWh pro Tonne Papier, und wird um 0,068 Euro pro Kilowattstunde zugekauft.

Die benötigte Dampfmenge beträgt jährlich 71.300 MWh (1.430 MWh pro Tonne Papier) und wird selbst produziert. Das dazu eingesetzte Erdgas wird um 0,029 Euro pro Kilowattstunde zugekauft. Der Erdgasverbrauch liegt bei jährlich 105.500 MWh.

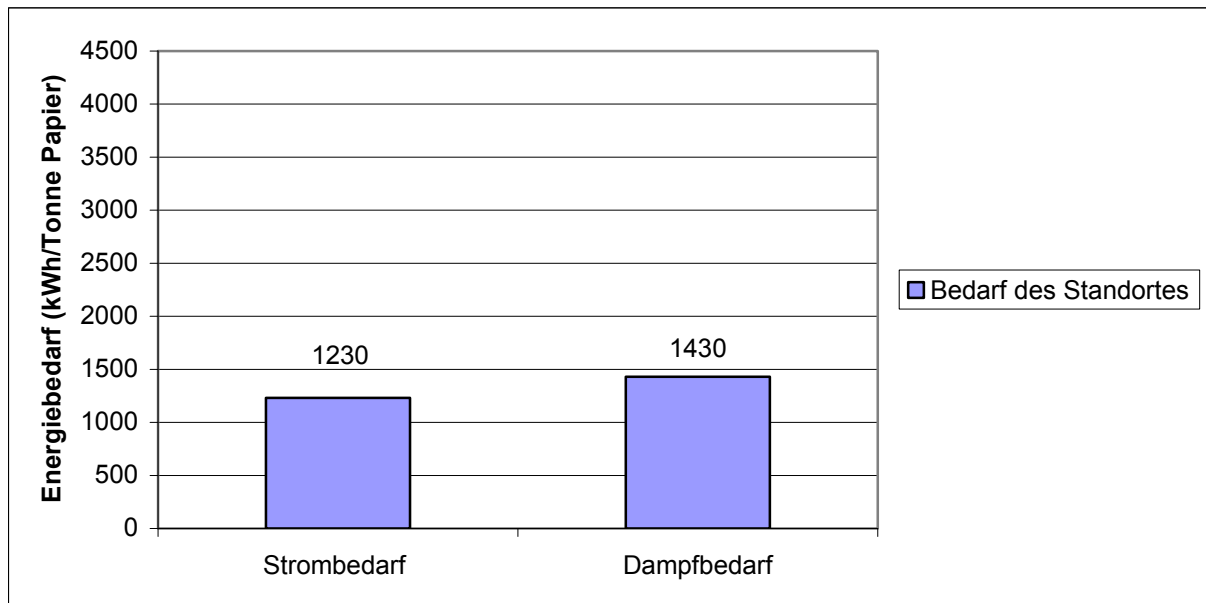


Abbildung 6-31: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Spanien

Abbildung 6-31 stellt den spezifischen Strom- und Dampfbedarf des Standortes in einem Diagramm dar. Abbildung 6-32 zeigt den Energiemix.

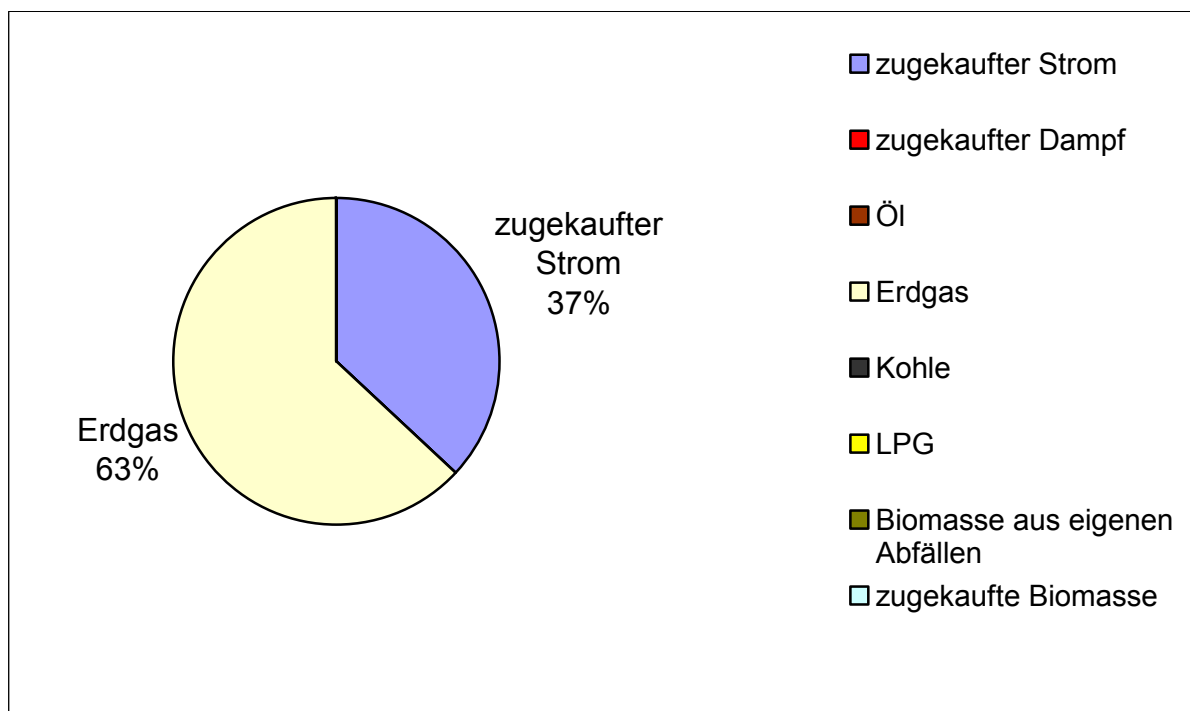


Abbildung 6-32: Energiemix des Standortes Spanien

Der Preis für eine Kilowattstunde Dampf errechnet sich aus diesen Werten zu 0,043 Euro. Der durchschnittliche Gesamtenergiepreis pro Kilowattstunde Energie beläuft sich auf 0,055 Euro.

6.1.17 England

Am Standort England werden auf zwei Papiermaschinen 88.000 Tonnen Spezialpapiere produziert.

Der Strombedarf wird zur Gänze durch Zukauf gedeckt. Dabei werden 146.000 MWh benötigt, was einem spezifischen Stromverbrauch des Standortes von 1.660 kWh pro Tonne Papier entspricht. 56 % des Stromes werden in den Papiermaschinen verwendet, 33 % in der Faseraufbereitung. Daraus ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch der Papiermaschinen von 930 Kilowattstunden pro Tonne Papier. Der Strompreis beträgt 0,07 Euro pro Kilowattstunde.

Der Dampfbedarf von 148.000 MWh oder 1.680 kWh pro Tonne Papier, wird zu 100 % aus eigener Produktion gedeckt. 57 % des Dampfes werden in den Papiermaschinen eingesetzt, 17 % in der Faseraufbereitung. Der spezifische Dampfverbrauch der Papiermaschinen beträgt somit 960 Kilowattstunden pro Tonne Papier.

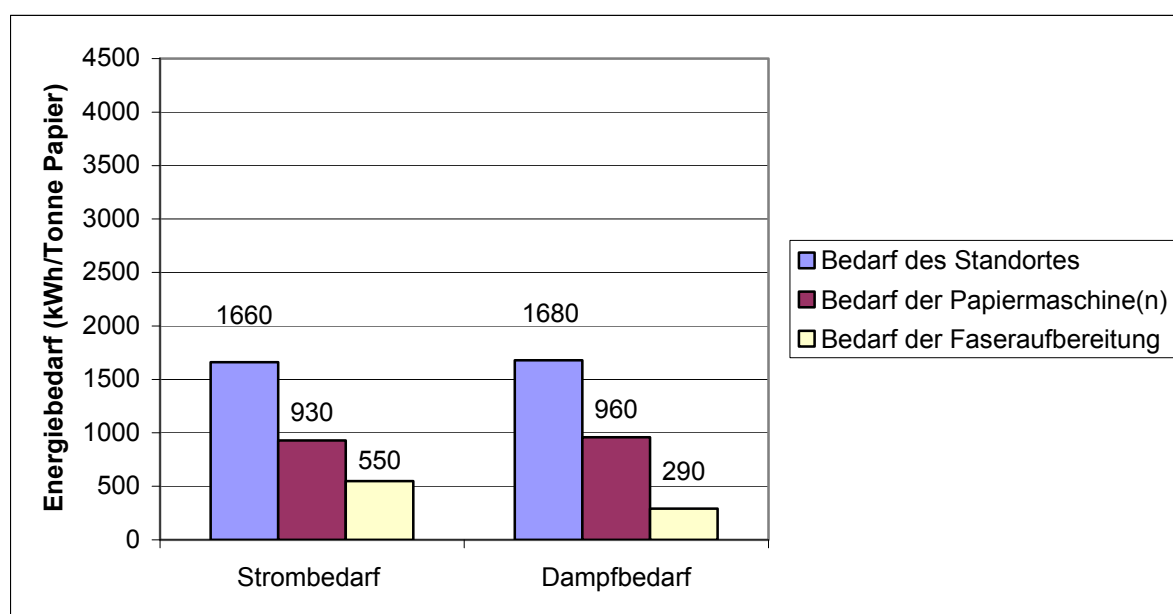


Abbildung 6-33: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes England

Abbildung 6-33 zeigt den spezifischen Strom- und Dampfverbrauch des Standortes sowie der Papiermaschinen und der Faseraufbereitung.

Zur Dampfproduktion (50 %) und direkt in den Papiermaschinen (42 %) werden pro Jahr 330.000 MWh Erdgas eingesetzt. 8 % des Erdgases benötigt die Faseraufbereitung. Das Erdgas wird um 0,028 Euro pro Kilowattstunde bezogen.

Abbildung 6-34 stellt den Energiemix des Standortes England grafisch dar.

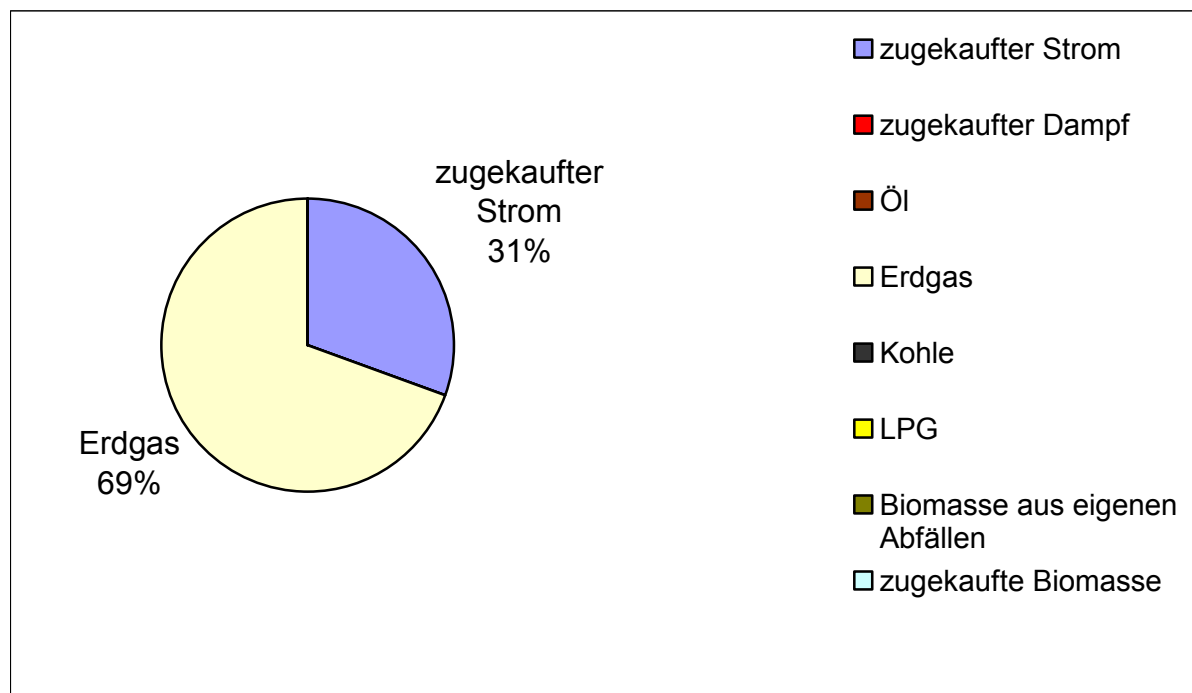


Abbildung 6-34: Energiemix des Standortes England

Mit diesen Werten ergibt sich ein Dampfpreis von 0,031 Euro pro Kilowattstunde. Der durchschnittliche Gesamtpreis der eingesetzten Energieformen beträgt 0,04 Euro.

6.2 Vergleich der Energiepreise ausgewählter Regionen

Die in den Standort-Portraits genannten Energieeinkaufspreise unterscheiden sich zum Teil deutlich. Niedrige Energiepreise stellen aus der Sicht eines Papierproduzenten einen wichtigen Standortvorteil dar.

Um die Berechnung regionaler Durchschnittspreise zu ermöglichen, werden jene an der Umfrage teilnehmenden Standorte, welche geografisch eng beieinander liegen und deren ähnliches Energieeinkaufspreis-Niveau es erlaubt, nach folgendem Schema zu Regionen zusammengefasst:

- Deutschland1 bis Deutschland9, Österreich1 bis Österreich3 und der Standort Schweiz werden in der Region „Deutschsprachiger Raum“ subsumiert.
- Schweden1 bis Schweden4 sowie der Standort Finnland werden zur Region „Skandinavien“ zusammengeführt.
- Die Standorte USA1 bis USA7 bilden die Region „USA“.

- Die Region „Benelux“ beinhaltet die Standorte Belgien und Niederlande.
- Brasilien1 bis Brasilien4 werden zur Region „Brasilien“ vereinigt.

Die Standorte Tschechien, England, Spanien und Südafrika werden keiner Region zugeordnet.

Von den genannten Regionen werden durch arithmetisches Mitteln durchschnittliche Energieeinkaufspreise errechnet. Diese werden gemeinsam mit den Preisen der Standorte, die keiner Region zugeteilt sind, nach ihrer Höhe in Euro pro Kilowattstunde gereiht. Dadurch werden Regionen mit niedrigem Preisniveau und solche mit hohem Preisniveau identifiziert.

6.2.1 Regionale Strompreise

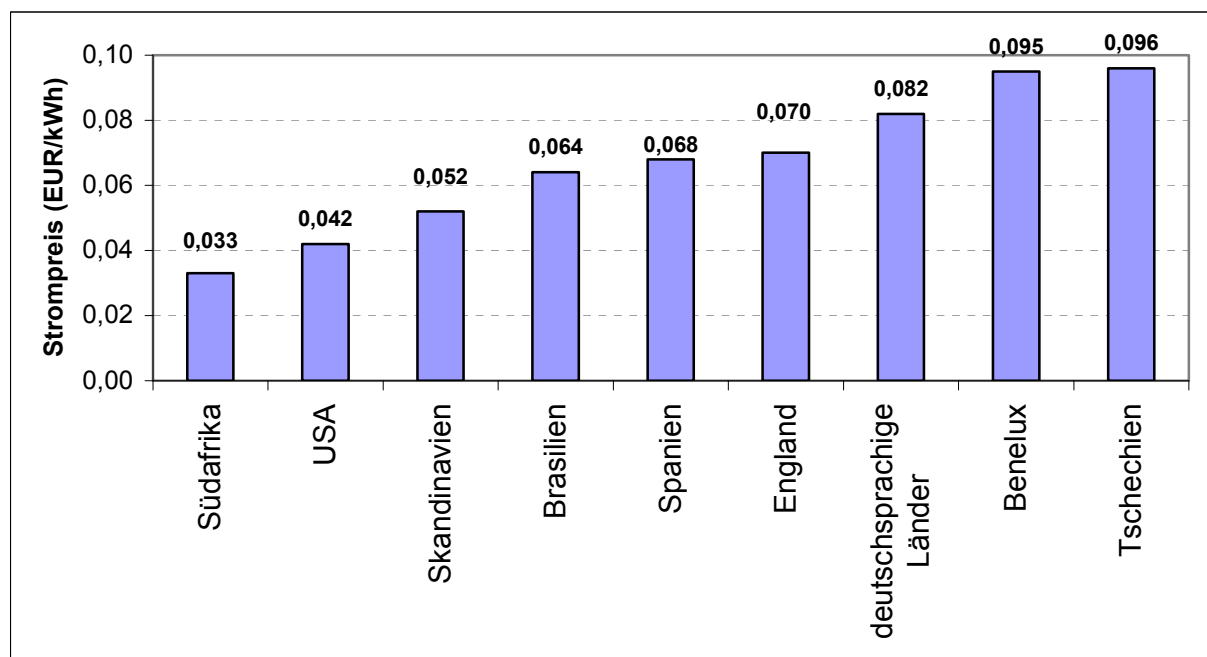


Abbildung 6-35: Reihung der regionalen Strompreise

Abbildung 6-35 zeigt, dass der Standort Südafrika und Standorte in den USA, aber auch in Skandinavien, mit 0,033 bis 0,052 Euro pro Kilowattstunde deutlich niedrigere Preise für zugekaufte elektrische Energie bezahlen als ihre Konkurrenten in den Benelux-Staaten oder Tschechien, deren Preise mit über 0,9 Euro pro Kilowattstunde rund doppelt so hoch liegen. Im preislichen Mittelfeld befinden sich die Region Brasilien und die Standorte Spanien und England mit Preisen zwischen 0,06 und 0,07 Euro pro Kilowattstunde. Nahe an den Hochpreisregionen liegen die deutschsprachigen Länder.

6.2.2 Regionale Gaspreise

Abbildung 6-36 zeigt die Reihung der in den einzelnen Regionen zu bezahlenden Gaspreise.

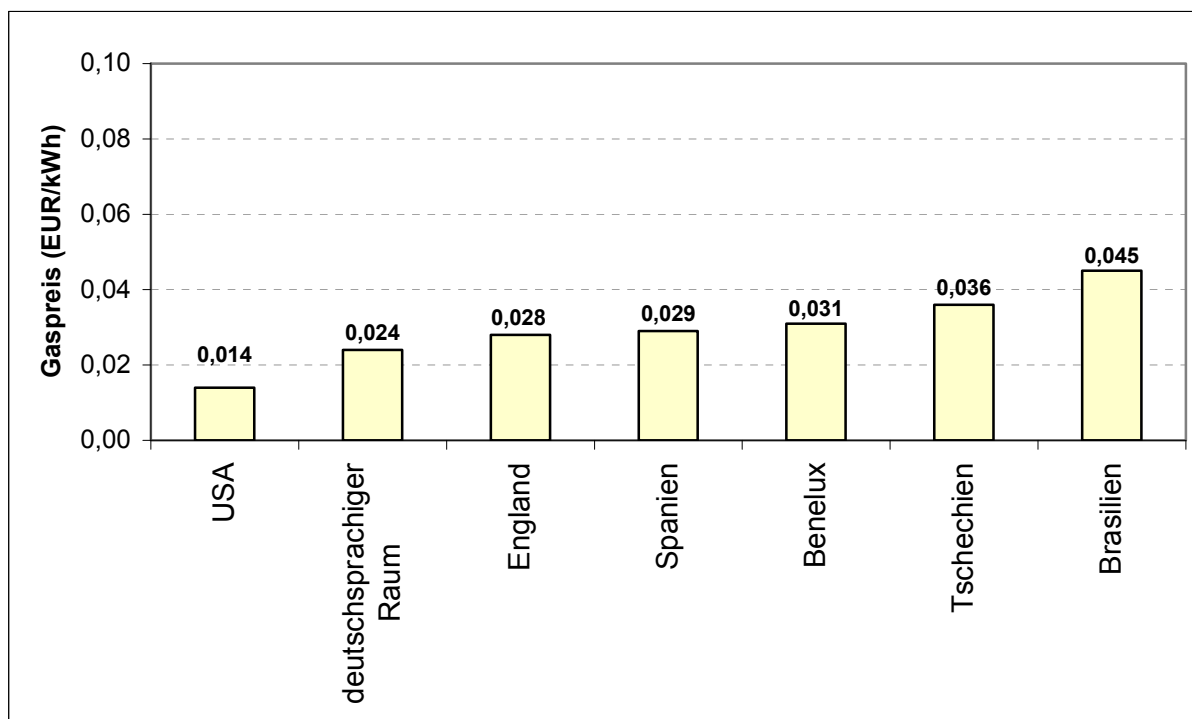


Abbildung 6-36: Reihung der regionalen Gaspreise

Erdgas ist in der Papierindustrie der meistgenutzte fossile Energieträger. Ein deutlicher Standortvorteil durch einen niedrigen Erdgaspreis von 0,014 Euro pro Kilowattstunde ergibt sich für die Region USA. Papierproduzenten in Brasilien, die Erdgas einsetzen, müssen mit durchschnittlich 0,045 Euro pro Kilowattstunde drei Mal so viel bezahlen.

Das preisliche Mittelfeld, in dem auch die Standorte England, Spanien und die Region Benelux liegen, wird nach unten, mit 0,024 Euro pro Kilowattstunde, durch den deutschsprachigen Raum und nach oben, mit 0,036 Euro, durch den Standort Tschechien begrenzt.

6.2.3 Regionale Kohlepreise

Kohle wird trotz ihres niedrigen Preises nur an einigen wenigen Standorten eingesetzt. Entsprechend liegen auch nur von diesen Standorten genaue Preisdaten vor. Abbildung 6-37 stellt die Kohlepreise in ansteigender Reihenfolge dar.

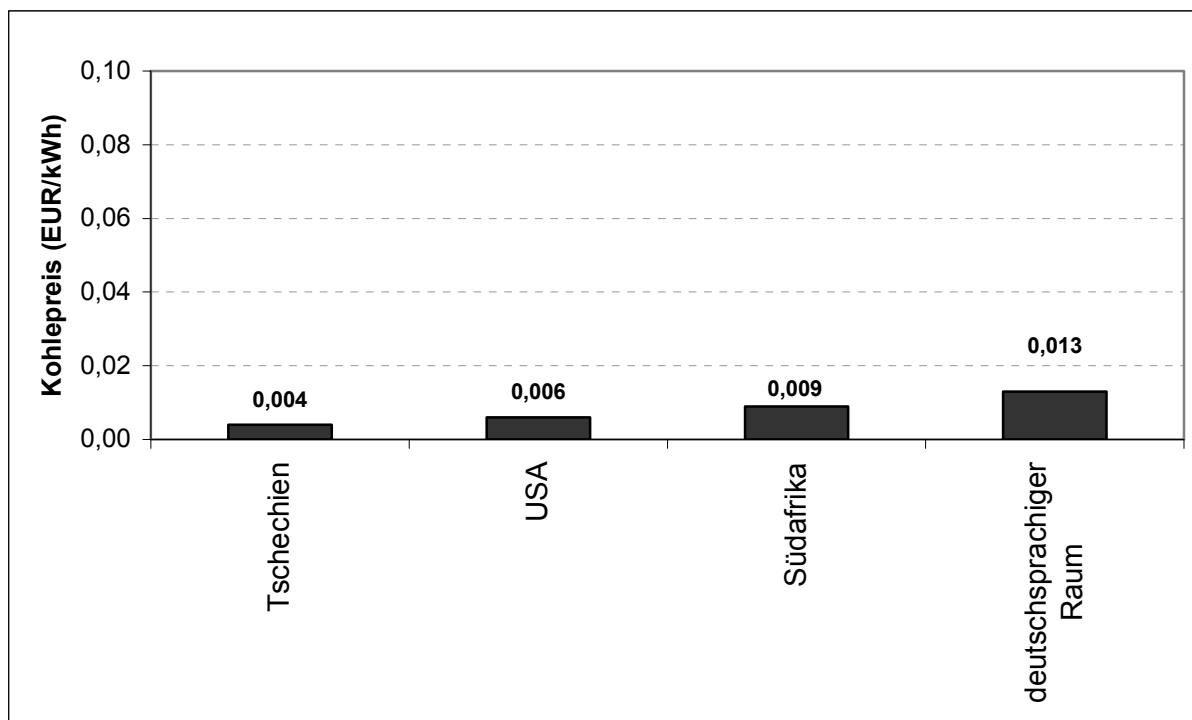


Abbildung 6-37: Reihung der regionalen Kohlepreise

Am Standort Tschechien ist der Kohleerwerb mit 0,004 Euro pro Kilowattstunde am preiswertesten, während in der Region deutschsprachiger Raum mit 0,013 Euro pro Kilowattstunde ein dreimal so hoher Preis bezahlt werden muss. Dazwischen liegt die Region USA mit 0,006 Euro pro Kilowattstunde und der Standort Südamerika mit 0,009 Euro pro Kilowattstunde.

6.2.4 Regionale Ölpreise

Die Einsatzhäufigkeit von Öl liegt in der Papierindustrie zwischen der von Erdgas und Kohle. Wie Abbildung 6-38 veranschaulicht, liegt der Standortvorteil des niedrigsten Preises im Falle von Öl bei der Region Brasilien, wo dieser Energieträger mit 0,006 Euro pro Kilowattstunde mit Abstand am preisgünstigsten ist. Im preislichen Mittelfeld liegt der Standort Tschechien mit 0,02 Euro je Kilowattstunde. Hochpreisregionen sind mit Preisen zwischen 0,03 und 0,036 Euro die Regionen deutschsprachiger Raum sowie USA und Skandinavien.

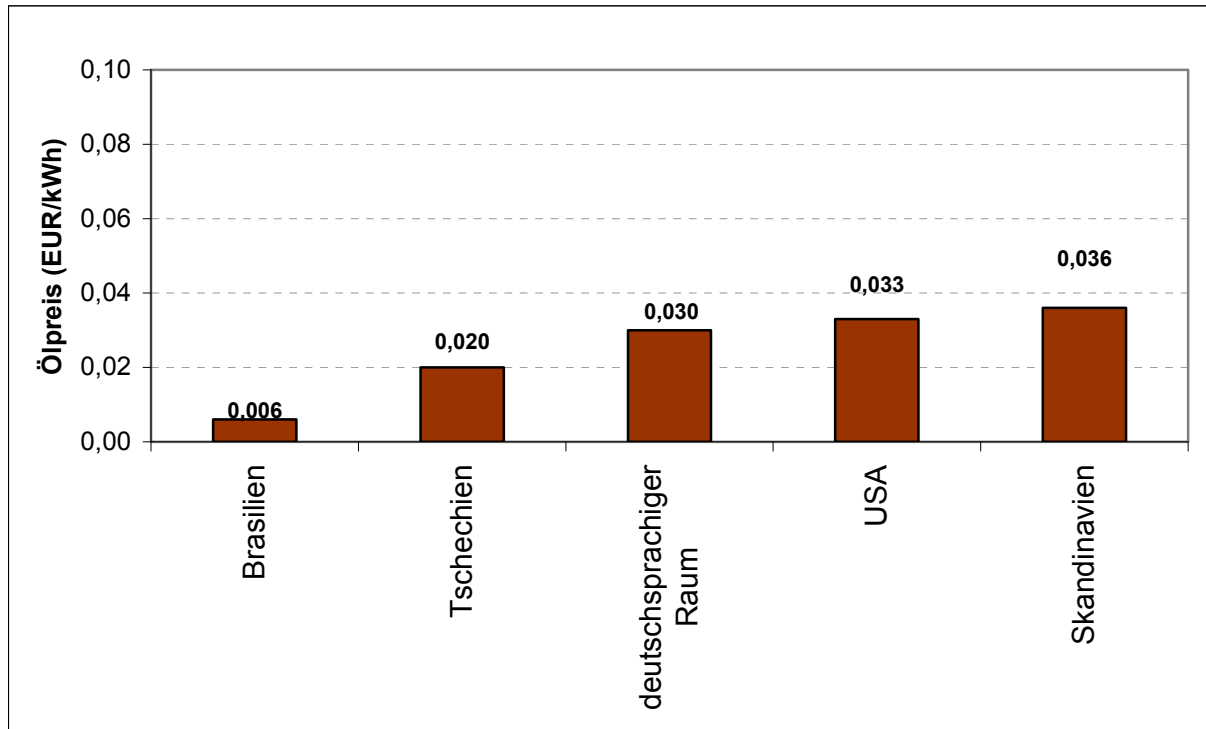


Abbildung 6-38: Reihung der regionalen Ölpreise

6.2.5 Regionale Biomassepreise

Biomasse, die von den Papierproduktionsstandorten zugekauft und direkt zur Erzeugung von Strom und Dampf verwendet wird, wird mit zunehmender Häufigkeit eingesetzt.

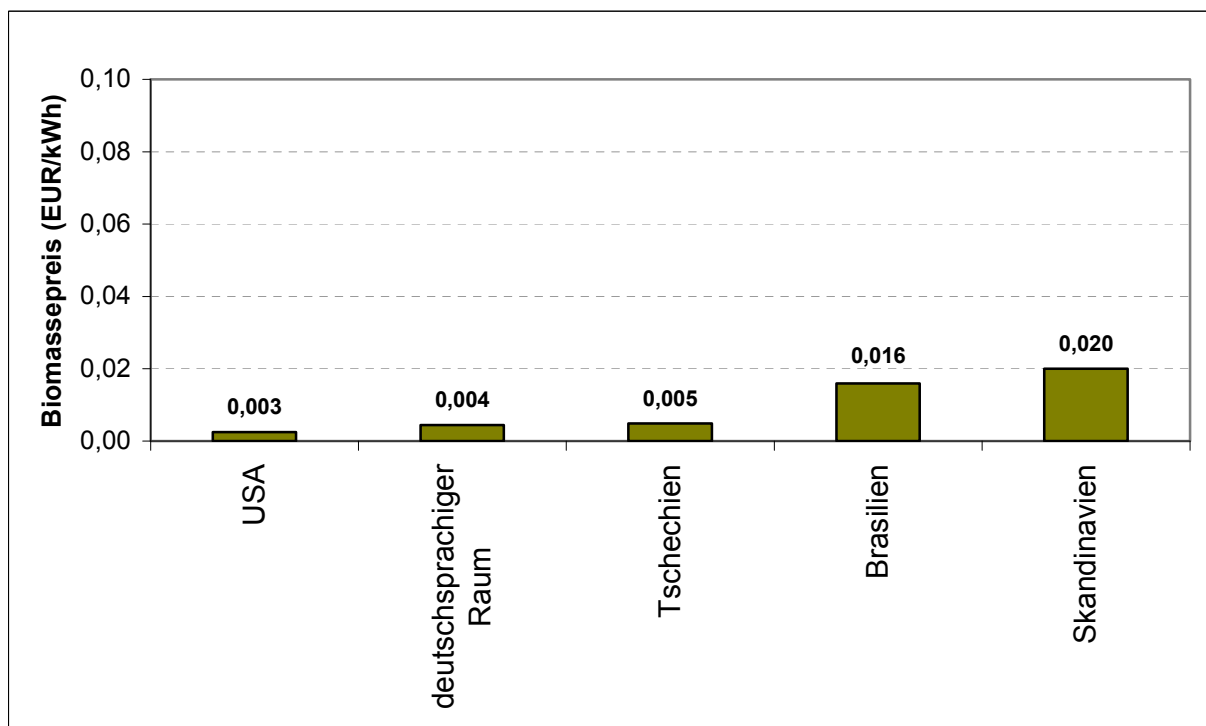


Abbildung 6-39: Reihung der regionalen Biomassepreise

Abbildung 6-39 zeigt die Reihung der Standorte und Regionen nach deren Einkaufspreisen für Biomasse.

Einen Standortvorteil durch tiefe Biomasse-Preise von 0,003 bis 0,005 Euro pro Kilowattstunde haben die Regionen USA und deutschsprachiger Raum, sowie der Standort Tschechien. Hohe Preise müssen Papierhersteller mit 0,016 bis 0,02 Euro pro Kilowattstunde in den Regionen Brasilien und Skandinavien bezahlen.

6.2.6 Ergebnisse der regionalen Energiepreisbetrachtung

Die Reihung der Regionen nach dem Preisniveau einzelner Energieträger zeigt, dass die Region USA einen eindeutigen Standortvorteil auf Grund der niedrigen Energiepreise vorweisen kann. Außer für Öl bewegen sich hier die Preise aller Energieträger auf niedrigem Level.

In den anderen Regionen liegen die Brennstoffkosten höher, wobei meist jeweils ein Energieträger das tiefe Preisniveau der Region USA erreicht. Für Skandinavien und Südafrika ist dies Strom, für Tschechien Kohle und für die Region deutschsprachigen Raum Biomasse.

Die Region deutschsprachiger Raum kommt bei den Energieträgern Strom, Kohle und Öl auf hohem Preisniveau zu liegen, der Gaspreis befindet sich hier im Mittelfeld.

Die Region Brasilien liegt bei Öl mit Abstand am günstigsten, jedoch befinden sich sowohl der Gas- als auch der Biomassepreis auf hohem Niveau. Der Strompreis liegt im Mittelfeld.

Die Energiepreise der Region Benelux sowie der Standorten England und Spanien sind jeweils im mittleren bis höhern Niveau einzuordnen.

Aus den Energiepreisen und den Energieverbrauchsmengen wird durch Anwendung der Formeln 6-2 (für getrennte Erzeugung von Strom und Dampf) und 6-3 (für die gemeinsame Erzeugung von Strom und Dampf in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen), der durchschnittliche Preis einer Energieeinheit, also einer Kilowattstunde, errechnet.

Wie aus Abbildung 6-40 ersichtlich ist, schlagen sich niedrige Energieeinkaufspreise teilweise in einem sehr niedrigen durchschnittlichen Preis pro Energieeinheit nieder. Dies gilt beispielsweise für die Standorte USA4 und USA2. Hingegen findet sich der Standort USA5 im Mittelfeld.

Einige Standorte, wie z. B. Tschechien oder Finnland erreichen trotz höherer Preise der verschiedenen Energieträger ebenfalls einen sehr niedrigen durchschnittlichen Preis je Energieeinheit.

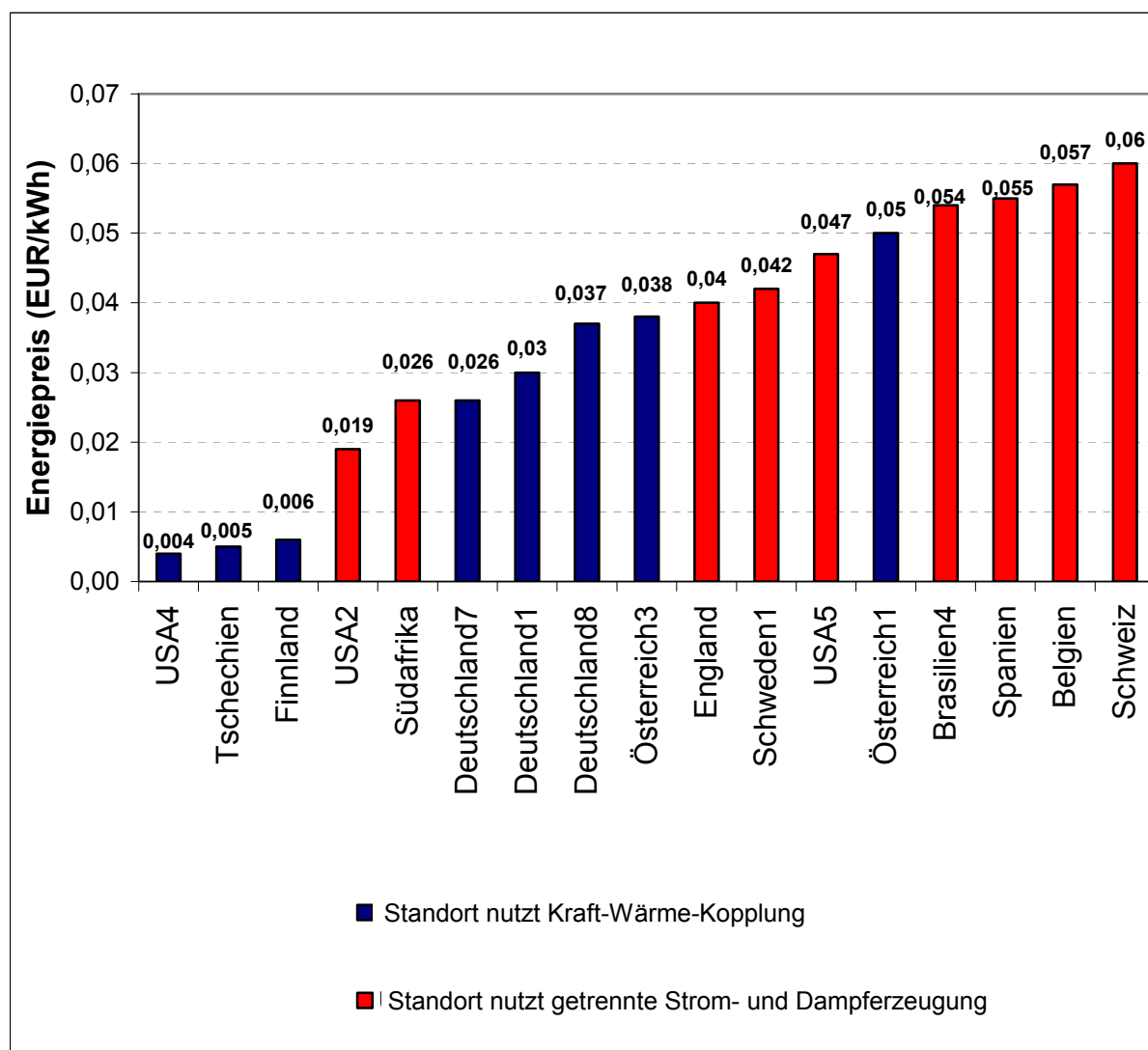


Abbildung 6-40: Durchschnittliche Gesamtenergiepreise ausgewählter Standorte

Einige Standorte aus Regionen mit einem generell hohen Energiepreinsniveau, wie beispielsweise der Region deutschsprachiger Raum, positionieren sich im Mittelfeld dieser Reihung. Das gilt z.B. für die Standorte Deutschland1, Deutschland7 und Deutschland8 sowie Österreich3. Alle diese Standorte erzeugen einen Großteil ihres Strombedarfes und ihren gesamten Dampfbedarf in Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerken vor Ort selbst.

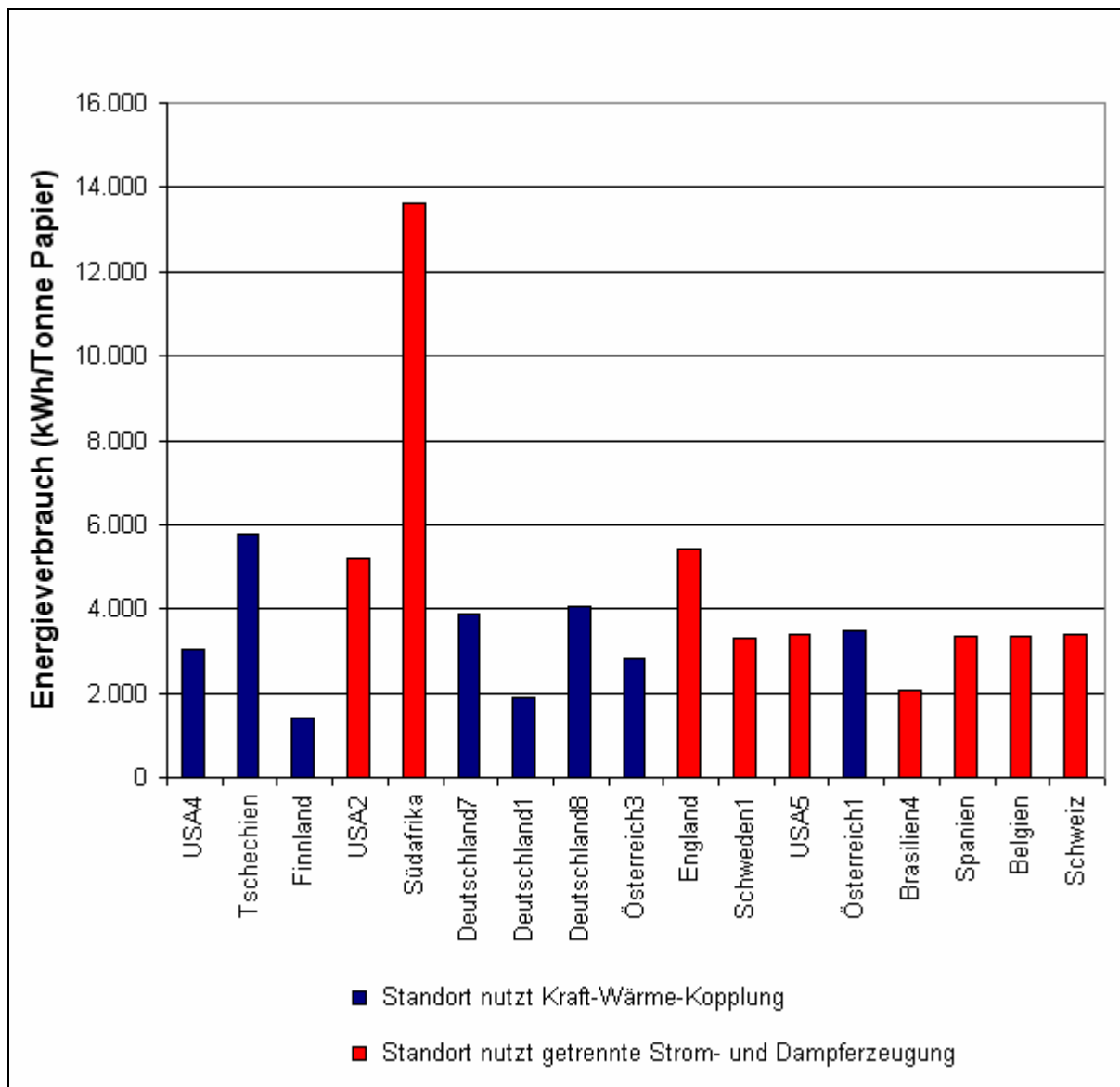


Abbildung 6-41: Gesamtenergieverbrauch ausgewählter Standorte

Abbildung 6-41 zeigt den Gesamtenergieverbrauch der Standorte, wobei diese in gleicher Reihenfolge gelistet sind wie in Abbildung 6-40. Eine Korrelation zwischen niedrigen Energiepreisen und hohem spezifischen Energieverbrauch ist demnach solcher Art feststellbar, dass Standorte mit hohen Energiepreisen einen spezifischen Energieverbrauch im unteren Mittelfeld aufweisen. Unter jenen Standorte mit den niedrigsten Energiepreisen findet sich sowohl der Standort mit dem höchsten spezifischen Energieverbrauch (Südafrika) also auch der Standort mit dem geringsten spezifischen Energieverbrauch (Finnland). Der hohe spezifische Energieverbrauch des Standortes Südafrika ergibt sich aus dem hohen Anteil der Nebenaggregate am Strom- und Dampfverbrauch.

Wird beispielsweise in der Region USA eine neue Papierfabrik errichtet, ist mit Blick auf die Energiepreise vor allem auf zugekaufte Biomasse sowie auf Kohle zur

Erzeugung von Strom und Dampf zu setzen. Jedenfalls zu empfehlen ist der Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage gegenüber dem Zukauf von Strom und der Beschränkung der Eigenerzeugung auf Dampf. In der Region deutschsprachiger Raum sind die Verhältnisse sehr ähnlich, weshalb auch hier zugekaufte Biomasse sowie Kohle aus Brennstoffkostensicht zu bevorzugen sind. In dieser Region ist die Eigenversorgung mit Strom aufgrund der hohen Strompreise von noch größerer Bedeutung als in der Region USA.

Allerdings werden dabei folgende Einflussgrößen außer Acht gelassen:

- Errichtungskosten der verschiedenen Kraftwerkstypen
- Wartungs- und Betriebskosten der verschiedenen Anlagen abseits der Brennstoffkosten
- Technische Eignung der verschiedenen Kraftwerkstypen für die Bedürfnisse des jeweiligen Standortes
- Verfügbarkeit der Energieträger
- Lokale Gesetze und Vorschriften
- Politische Umsetzbarkeit

Eine Betrachtung und Bewertung dieser Aspekte erfolgt in der Praxis naturgemäß bei der Entscheidung für ein Energieversorgungskonzept für einen Papierproduktionsstandort. Die Vielfalt der ausgeführten Anlagensysteme sowie der häufige Einsatz des relativ hochpreisigen Energieträgers Erdgas lässt vermuten, dass das ideale Konzept für jeden Standort neu gefunden werden muss, und dass es sich bei den Brennstoffkosten nicht um den bestimmenden Teil der Gesamtkosten handelt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Da in der Papierindustrie die Energiekosten einen hohen Anteil an den Betriebskosten einer Produktionsanlage haben, ist es für Voith Paper besonders wichtig, aktuelle und verlässliche Daten zu den Energiekosten der Papierindustrie zu haben.

Erdgas und Öl sind die teuersten, aber dennoch am häufigsten eingesetzten Energieträger in der Papierindustrie. Biomasse und Kohle sind im Einkauf deutlich preiswerter, werden aber weniger häufig verwendet.

Der Großteil der untersuchten Standorte deckt seinen Dampfbedarf durch den Betrieb eigener Dampferzeuger vollständig selbst, und etwa die Hälfte erzeugt auch einen Teil des Strombedarfes in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen vor Ort. Einige Standorte verkaufen Strom und Wärme an externe Kunden, wobei es sich dabei aber nur um geringe Anteile der vor Ort erzeugten Strom- und Dampfmengen handelt.

Die Energiepreise in den USA sind außer für Öl generell niedriger als in Europa und Südamerika. Die Berechnung des Durchschnittspreises einer Energiemengeneinheit zeigt, dass auch Standorte in Hochpreisregionen durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung ihre Energiekosten konkurrenzfähig halten. Zusätzlich liegt der spezifische Energieverbrauch pro Tonne produziertem Papier in diesen Regionen tendenziell niedriger als in Regionen mit tiefem Energiepreisniveau.

Das ideale Energieversorgungskonzept eines Papierproduktionsstandortes lässt sich ohne die Kenntnis von Kraftwerkserrichtungs- und Wartungskosten, sowie den Anforderungen an das Betriebsverhalten aus den vorhandenen Daten nicht ableiten. Die große Vielfalt der von den einzelnen Standorten verfolgten Strategien zur Energieversorgung lässt aber vermuten, dass die Frage nach dem optimalen Konzept für jeden Standort individuell beantwortet werden muss.

Mit Hilfe der vorliegenden Arbeit kann Voith Paper bei der Akquirierung von Neukunden bereits frühzeitig das Thema Energie je nach Standort der zukünftigen Anlage in geeigneter Weise ansprechen. Außerdem kann die Kundenorientierung bei der Planung von Referenzprozessen in Zukunft weiter gesteigert werden, indem für Regionen mit hohem Energiepreisniveau verstärkt Maßnahmen zur Energiebedarfssenkung vorgesehen werden.

Die International Energy Agency geht davon aus, dass die Energiepreise langfristig weiter steigen werden, wobei kurzfristig hohe Preisschwankungen zu erwarten sind. Papierproduktionsstandorte, die frühzeitig Energiesparmaßnahmen ergreifen, können Vorteile gegenüber der Konkurrenz aufbauen, wenn eine gute Balance zwischen den Kosten dieser Maßnahmen und den dadurch erfolgenden Einsparungen gefunden wird. Um diese Balance gewährleisten zu können, ist es für Voith Paper wichtig, möglichst genaue Daten jedes einzelnen Kunden über dessen Energieverbrauch und dessen Energieeinkaufspreise zu erlangen. Dies kann durch eine Intensivierung der Zusammenarbeit mit den Kunden über den gesamten Produktlebenszyklus erreicht werden.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Friedrich Voith	2
Abbildung 1-2: Zeitplan der Diplomarbeit	6
Abbildung 2-1: Ausgewählte Möglichkeiten der Umwandlung von Primär- in Tertiärenergie	9
Abbildung 2-2: Der grundsätzliche Aufbau des Grazer Modells für Industrielles Management	12
Abbildung 2-3: Das betriebliche Energiekonzept.....	14
Abbildung 3-1: Entwicklung der weltweiten Primärenergieversorgung von 1971 bis 2007 (Mtoe: Million Tons of Oil Equivalent), und Vergleich der Zusammensetzung des weltweiten Primär-energieverbrauches der Jahre 1973 und 2007.....	18
Abbildung 3-2: Weltweite Papierproduktion.....	19
Abbildung 3-3: Reduzierung des spezifischer Energieeinsatzes pro Tonne produzierten Papiers	20
Abbildung 3-4: Entwicklung des nominalen und des realen Rohölimportpreises seit 1980	21
Abbildung 3-5: Durchschnittlicher Importpreis von Erdgas in einzelnen Regionen verglichen mit dem Rohöl-Importpreis bezogen jeweils auf den Energieinhalt.....	22
Abbildung 3-6: Preisverlauf von Rohöl, Erdgas (nur Importpreise der EU) und Kohle von 1985 bis 2009	23
Abbildung 3-7: Marktpreise von Zeitungsdruckpapier und Industriestrom in den letzten Jahren.....	24
Abbildung 4-1: Einzelne Schritte des Papierproduktionsprozesses.....	26
Abbildung 4-2: Durchschnittliche Kostenstruktur einiger größerer Papierhersteller (verschiedene Papiersorten)	27
Abbildung 4-3: Anteile der einzelnen Papiermaschinen-Sektionen an der Entwässerungsleistung und Entwässerungskosten.....	32
Abbildung 4-4: Komplett von Voith gelieferte PM4 der Leipa Georg Leinfelder GmbH in Schwedt an der Oder in Deutschland. (Blick auf die Siebpartie)	33
Abbildung 4-5: Typische Energiebedarfsaufteilung einer Papiermaschine.....	34
Abbildung 4-6: Große Energieverbraucher in einer Zeitungsdruckmaschine	35
Abbildung 4-7: Energiebedarf ausgesuchter Papiersorten aufgeteilt in Strom- und Dampfbedarf.....	36
Abbildung 4-8: Konventionelle Dampfproduktionsanlage	38
Abbildung 4-9: Konventionelle Stromerzeugung mittels Dampfturbine: Schaltschema und Energie-flussdiagramm.....	39

Abbildung 4-10: Systemschema und Energieflussdiagramm einer Kondensations-Dampfturbine.....	40
Abbildung 4-11: Systemschema und Energieflussdiagramm einer Gasturbinen-KWK-Anlage	42
Abbildung 4-12: Systemschema und Energieflussdiagramm einer KWK-Anlage auf Basis einer Gegendruck-Dampfturbine	44
Abbildung 4-13: Mögliches Schaltschema und Energieflussdiagramm einer Anzapf- oder Entnahme-turbine.....	45
Abbildung 4-14: Mögliches Schaltschema und Energieflussdiagramm eines Kombikraftwerkes	47
Abbildung 4-15: Kraftwerksschema von Standort 1.....	49
Abbildung 4-16: Zusammensetzung des Primärenergieverbrauches von Standort 1 im Jahr 2006.....	51
Abbildung 4-17: Kraftwerksschema des Standortes Munksjö	53
Abbildung 4-18: Funktionsschema der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage von Standort 3	54
Abbildung 5-1: Energieflüsse eines beliebigen Papierproduktionsstandortes	57
Abbildung 5-2: Grafische Auswertung der Umfragezugriffe	61
Abbildung 6-1: Energiemix des Standortes USA2.....	66
Abbildung 6-2: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA2	67
Abbildung 6-3: Zusammensetzung der eingesetzten Energie	68
Abbildung 6-4: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA4	69
Abbildung 6-5: Anteile der zugekauften Energieträger am Gesamtenergieverbrauch	70
Abbildung 6-6: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes USA5	70
Abbildung 6-7: Energiemix des Standortes Brasilien4.....	71
Abbildung 6-8: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Brasilien4.....	72
Abbildung 6-9: Zusammensetzung der Energieversorgung des Standortes Südafrika	73
Abbildung 6-10: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Südafrika ...	74
Abbildung 6-11: Anteile der Energieträger am Gesamtenergieverbrauch am Standort Schweiz.....	75
Abbildung 6-12: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Schweiz	75
Abbildung 6-13: Zusammensetzung der zugekauften Energie am Standort Österreich1	76
Abbildung 6-14: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Österreich1	77
Abbildung 6-15: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Österreich3	78
Abbildung 6-16: Energiemix des Standortes Österreich3.....	79

Abbildung 6-17: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Deutschland1	80
Abbildung 6-18: Verteilung der von außen zugekauften Energie	81
Abbildung 6-19: Energiemix der zugekauften Energiemengen des Standortes Deutschland7	82
Abbildung 6-20: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Deutschland7	82
Abbildung 6-21: Anteile der verschiedenen Energieträger am Standort Deutschland8	83
Abbildung 6-22: Spezifischer Strom und Dampfbedarf des Standortes Deutschland8	84
Abbildung 6-23: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Schweden1	85
Abbildung 6-24: Energiemix des Standortes Schweden1	85
Abbildung 6-25: Spezifischer Strom- und Dampfverbrauch des Standortes Finnland	86
Abbildung 6-26: Energiemix des Standortes Finnland	87
Abbildung 6-27: Verteilung der am Standort Tschechien eingesetzten Energieträger	88
Abbildung 6-28: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Tschechien	88
Abbildung 6-29: Anteile der einzelnen zugekauften Energieträger am Gesamtenergiebedarf	89
Abbildung 6-30: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Belgien	90
Abbildung 6-31: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes Spanien	91
Abbildung 6-32: Energiemix des Standortes Spanien	91
Abbildung 6-33: Spezifischer Strom- und Dampfbedarf des Standortes England	92
Abbildung 6-34: Energiemix des Standortes England	93
Abbildung 6-35: Reihung der regionalen Strompreise	94
Abbildung 6-36: Reihung der regionalen Gaspreise	95
Abbildung 6-37: Reihung der regionalen Kohlepreise	96
Abbildung 6-38: Reihung der regionalen Ölpreise	97
Abbildung 6-39: Reihung der regionalen Biomassepreise	97
Abbildung 6-40: Durchschnittliche Gesamtenergiepreise ausgewählter Standorte	99
Abbildung 6-41: Gesamtenergieverbrauch ausgewählter Standorte	100

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1: Durchschnittliche Heizwerte	62
Tabelle 6-2: Bereitgestellte Energie im Sattedampf (abhängig vom Sattedampfdruck).63	
Tabelle 6-3: Verwendete Wechselkurse.....	65

10 Formelverzeichnis

Formel 4-1 Stromkennzahl	41
Formel 6-1 Durchschnittlicher Dampfpreis	63
Formel 6-2 Durchschnittlicher Energiepreis bei reiner Dampferzeugung	64
Formel 6-3 Durchschnittlicher Energiepreis aus KWK-Anlage	64

11 Literaturverzeichnis

Beitz, W.; Grote, K.-H.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 19. Auflage, Berlin Heidelberg 1997, ISBN: 978-3-54099-634-7

Bernstein, L. et al.: Climate Change 2007 - Synthesis Report, IPPC 2007.

Bos, J. H. et al: Das Papierbuch – Handbuch der Papierherstellung, 2. Auflage, Houten 2006.

Cedra, I.; Köster, S.; Staiger, M.: Energieeffizienzsteigerung durch innovative Prozesstechnologie, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 18/2007, S. 1000-1005.

Effenberger, H.: Dampferzeugung, Berlin 2000.

Färber, R.: Umsetzung eines regionalen Energiekonzeptes bei der Papierfabrik Munksjö Paper GmbH, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 15-16/2009, S. 708-710.

Göttsching, L.; Katz, C.: Papier-Lexikon Band 1 A-F, Band 2 G-Q, Band 3 R-Z, Gernsbach 1999.

International Energy Agency: Key World Energy Statistics 2009, Paris 2009.

International Energy Agency: Prices & Taxes 2nd Quarter 2009, Paris 2009.

International Energy Agency: World Energy Outlook 2009, Paris 2009.

Isometsä, J.: Energieeinsparungspotentiale in Papierproduktionslinien, in: Wochenblatt für Papierproduktion 18/2008, S. 1069-1072.

Kemmetmüller, W.; Bogensberger, S.: Handbuch der Kostenrechnung, 5. Auflage, Wien 1998.

Kail, C.; Haberberger, G.: Technik und Kosten der Kraft-Wärme-Kopplung bei GUD- und Dampfkraftwerken, in: VDI-Berichte Nr. 1495, 1999, S. 95-111.

Karlsson, M.: Papermaking Science and Technology; Helsinki 2000.

Kääpä, O.: "Energiesparen" als Pressenfilz-Leistung, in: Wochenblatt für Papierproduktion 1-2/2008, S. 24-29.

Kloock, J. et al: Kosten- und Leistungsrechnung, 9. Auflage, Stuttgart 2005.

Kugeler, K; Phlippen, P.-W.: Energietechnik, 2. Auflage, Berlin Heidelberg 1993.

Leigh, G.: Können Formationssiebe den Energieverbrauch reduzieren, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 11-12/2009, S. 560-563.

Meßmer, P.: Stand der Technik in modernen Stoffaufbereitungsanlagen – Chancen zur Energieeinsparung, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 11-12/2008, S. 687-693.

Morgan, T.; Emoto, H.: The Impact of Higher Energy Prices on Demand, in: International Energy Agency Energy Prices & Taxes Quarterly Statistics 1st Quarter 2007 (2007), S. xi-xxii.

Mühlstein, J.: Komplett-Lösung, in: Energie & Management KWK.kompakt, 15. April 2009.

Normann, I. M.: Neues Gasturbinen-Heizkraftwerk versorgt Papierhersteller Fripa mit Strom und Prozesswärme, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 8/2009, S. 338-339.

Oinonen, H.: Jüngste Fortschritte in der Zellstoff- und Papiertechnologie: Entwicklungen beim Verbrauch von Energie und Wasser, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 15-16/2009, S. 716-725.

Pettersson, H.: Energiekontrolle und Möglichkeiten zur Energieeinsparung mit Hilfe von Ventilationssystemen, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 7/2007, S. 319-325.

Pischinger, R.: Thermodynamik Studienblätter, Graz 1999.

Rembeck, R., Klein, K.-H.: Erfahrungen mit Energie-Audits an Fallbeispielen, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 18-19/2009, S. 850-853.

Schmitz, K.; Schaumann, G.: Kraft-Wärme-Kopplung 3. Auflage, Berlin Heidelberg 2005.

Seicht, G.: Moderne Kosten- und Leistungsrechnung, 9. Auflage, Wien 1997.

Solomon, S. et al.: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge 2007.

Suttor, W.: Praxis Kraft-Wärme-Kopplung, Band 4, Heidelberg 2004.

Thiel, R.: Aktuelle Energiepolitik – Auswirkungen auf die Papierindustrie, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 23-24/2007, S. 1275-1278.

Williams, C.: Management - 4th Edition, Mason 2007.

Wohinz, J. W.: Wertanalyse – Innovationsmanagement, Würzburg/Wien 1983.

Wohinz, J. W.; Moor, M.: Betriebliches Energiemanagement, Wien 1989.

Wohinz, J. W.: Industrielles Management - Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003.

Zahoransky, R. A.: Energietechnik, 4. Auflage, Wiesbaden 2009.

o. V.: Papiermacher Taschenbuch herausgegeben im Auftrag des Arbeitgeberverbandes Schweizerischer Papier-Industrieller, des Fachverbandes der Papierindustrie Österreichs und der Vereinigung der Arbeitgeberverbände der Deutschen Papierindustrie e.V., 7. Auflage, Heidelberg 1999.

12 Internetquellen

Birkner International Paper World: <http://www.paper-world.com/firmeninfo.php?sprache=uk&menue=10&keyfirma=1362208&AktuelleSeite=0>, Zugriffsdatum 23.02.2010.

Desai, P.; Brown, V.: Dollar to eventually lose grip on commodity trade, <http://www.reuters.com/article/GCA-Oil/idUSTRE58D2B220090914>, Zugriffsdatum 17.11.2009.

E.ON Bayern Wärme GmbH, Referenzanlagen, http://www.eon-bayern.com/pages/eby_waerme/Referenzen/Referenzen/Vt03_Fripa.pdf, Zugriffsdatum 23.02.2010.

Glatzer, A.: <http://wko.at/up/enet/energie/Vortrag-Glatzer020305.pdf>, CMOÖ – Cogeneration-Management Oberösterreich GmbH, 2005, Zugriffsdatum 19.11.2009.

Hakes, J. E.: <http://www.eia.doe.gov/emeu/25opec/anniversary.html>, Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the U.S. Government Zugriffsdatum: 17.11.2009.

Hathorn, D.; Traill, R.; Swart, R.: Investor Site Visit - 07/08 October 2008, 2008, http://www.mondigroup.com/PortalData/1/Resources/investor_relations/reports_presentations/Investors_Visit_David_Hathorn_Ron_Traill_Riaan_Swart.pdf, Zugriffsdatum 23.02.2010.

Mondi Group, <http://www.mondigroup.com/desktopdefault.aspx/tabid-534/>, Zugriffsdatum 23.02.2010.

Radner, D.: Standortfaktoren für die Papierindustrie, 2006, <http://www.papierholz-austria.at/co.hdl/1/2032/Dr.%20RadnerEuropaForumTurracherH%C3%B6he23.06.2006.pdf>, Zugriffsdatum 26.11.2009.

Vanasselt, W.: World Resources Institute: No End to Paperwork, 1998/2001 http://earthtrends.wri.org/features/view_feature.php?theme=6&fid=19, Zugriffsdatum 24.02.2010.

- o. V.: <http://www.sanktpoelten.voith.com>, Voith AG, Zugriffsdatum 11.01.2010.
- o. V.: <http://www.sanktpoelten.voithpaper.de>, Voith AG, Zugriffsdatum 11.01.2010.
- o. V.: http://www.voith.de/media/voith_de_geschichte.pdf, Voith, die Geschichte (2004), Zugriffsdatum 11.01.2010.
- o. V.: http://www.voithpaper.de/vp_de_produkte_neuanlagen_one-platform-concept.htm, Voith Paper, Zugriffsdatum 11.01.2010.
- o. V.: http://www.sanktpoelten.voithpaper.de/d_willkommen_automation.htm, Voith Paper St. Pölten, Zugriffsdatum 12.01.2010.
- o. V.:
<http://www.abb.com/cawp/seitp161/0f21350e6cd33e8ec1256d2400473fb3.aspx>,
ABB, Zugriffsdatum 01.01.2010.
- o. V.:
<http://www.energy.siemens.com/hq/de/stromerzeugung/kraftwerke/gasbefeuerte-kraftwerke/gas-und-dampfkraftwerke/scc5-8000h-1s.htm>, Siemens AG,
Zugriffsdatum 01.01.2010.
- o. V.: <http://www.ier.uni-stuttgart.de/lehre/skripte/versuche/KWK/KWK.pdf>, Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energienutzung, Universität Stuttgart, Zugriffsdatum 04.01.2009.
- o. V.:
<http://www.tuev.at/start/browse/Webseiten/TUV%20Austria%20Holding/T%C3%9CV%20TIMES/Ausgabe%2001%20M%C3%A4rz%202008/Portr%C3%A4t?localeChanged=true>, TÜV Österreich, Zugriffsdatum 02.01.2010.
- o. V.:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Tonnes_of_oil_equivalent_%28toe%29, Eurostat, Zugriffsdatum: 02.01.2010.
- o. V.: BP Statistical Review of World Energy June 2009, Zugriffsdatum 03.01.2009.
- o. V.: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/564463/steam-coal>, Encyclopedia Britannica, Zugriffsdatum 17.11.2009.

o. V.: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.htm>, IPCC, Zugriffsdatum 27.11.2009.

o. V.: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html#global>, Earth System Research Laboratory, Zugriffsdatum 29.11.2009.

o. V.:
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/796&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>, Europe (portal site of the European Union), Zugriffsdatum 30.11.2009.

o. V.:
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/05/84&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>, Europe (portal site of the European Union), Zugriffsdatum 10.01.2010.

o. V.: <http://www.bmu.bund.de/emissionshandel/kurzinfo/doc/4016.php>, Deutsches Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Zugriffsdatum 11.01.2010.

o. V.:, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:001:0010:0018:EN:PDF>, Commission Decision of 24 December 2009, Official Journal of the European Union, 05.01.2010, Zugriffsdatum 11.01.2009.

o. V.: Voith Paper, http://www.voith.com/e_productsandservices_paper.htm, Zugriffsdatum: 01.12.2009.

o. V.: www.2ask.at, Amundis GmbH, Felix Wankel Straße 4, 78467 Konstanz, Deutschland, Zugriffsdatum 02.12.2009.

o. V.: http://www.fluessiggas.net/was_ist_fluessiggas.php, Österreichischer Verband für Flüssiggas, Zugriffsdatum: 11.12.2009.

o. V.: <http://www.epa.gov/osw/conserva/materials/tires/tdf.htm>, United States Environmental Protection Agency, Zugriffsdatum: 11.12.2009.

o. V.: <http://www.environment-agency.gov.uk/research/library/position/41215.aspx>, Environment Agency, Zugriffsdatum 11.12.2009.

o. V.: finance.yahoo.com/currency-converter, Zugriffsdatum 11.12.2009.

Anhang

Anhang



Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 1/18 0%

1. Please choose your Language. *

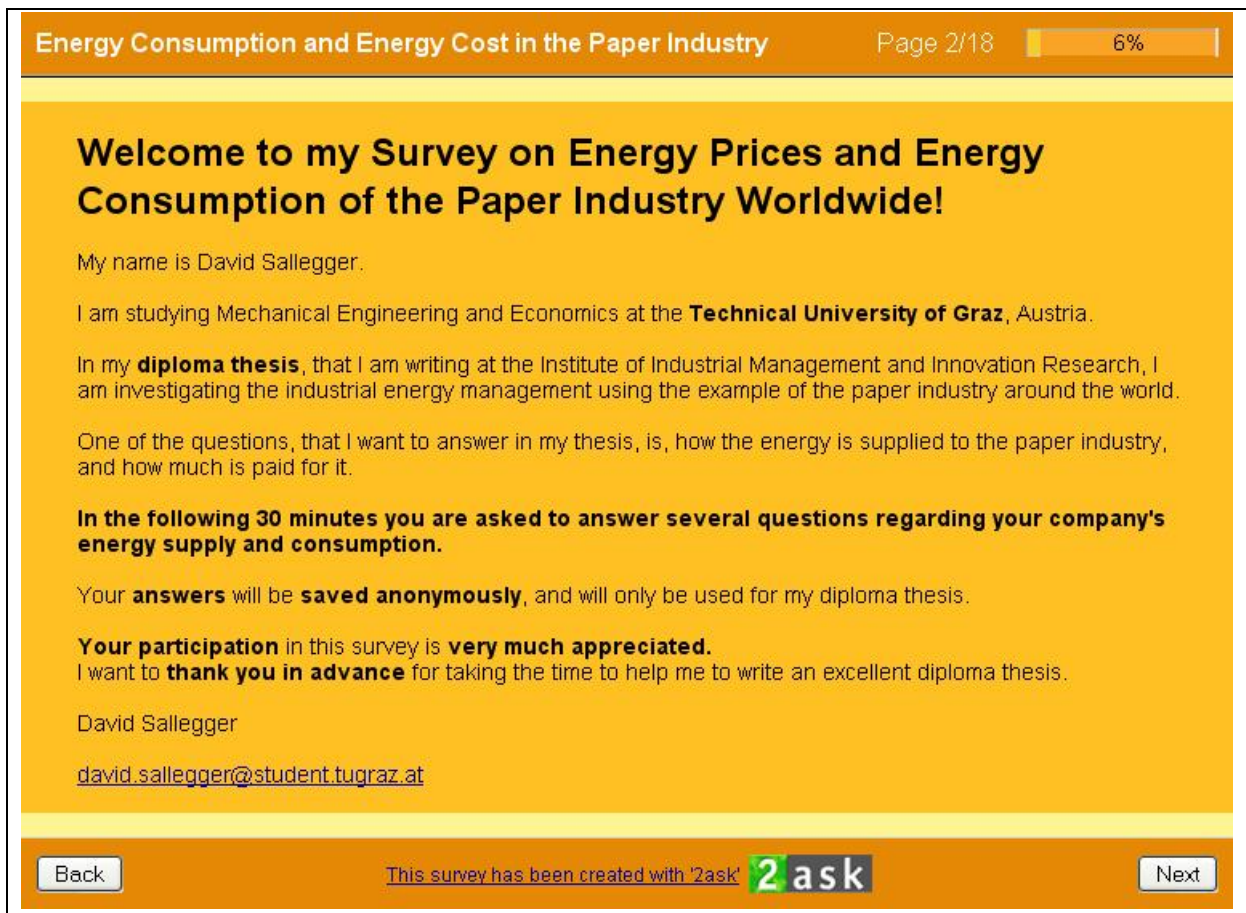
English

Deutsch

Back This survey has been created with '2ask' 2ask Next

Abbildung 1: Frage 1

Der Fragebogen wurde sowohl in englischer als auch in deutscher Sprache erstellt. Am Beginn der Umfrage wurde der Teilnehmer daher gebeten, die Sprache auszuwählen.



Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 2/18 6%

Welcome to my Survey on Energy Prices and Energy Consumption of the Paper Industry Worldwide!

My name is David Sallegger.

I am studying Mechanical Engineering and Economics at the **Technical University of Graz**, Austria.

In my **diploma thesis**, that I am writing at the Institute of Industrial Management and Innovation Research, I am investigating the industrial energy management using the example of the paper industry around the world.

One of the questions, that I want to answer in my thesis, is, how the energy is supplied to the paper industry, and how much is paid for it.

In the following 30 minutes you are asked to answer several questions regarding your company's energy supply and consumption.

Your **answers** will be **saved anonymously**, and will only be used for my diploma thesis.

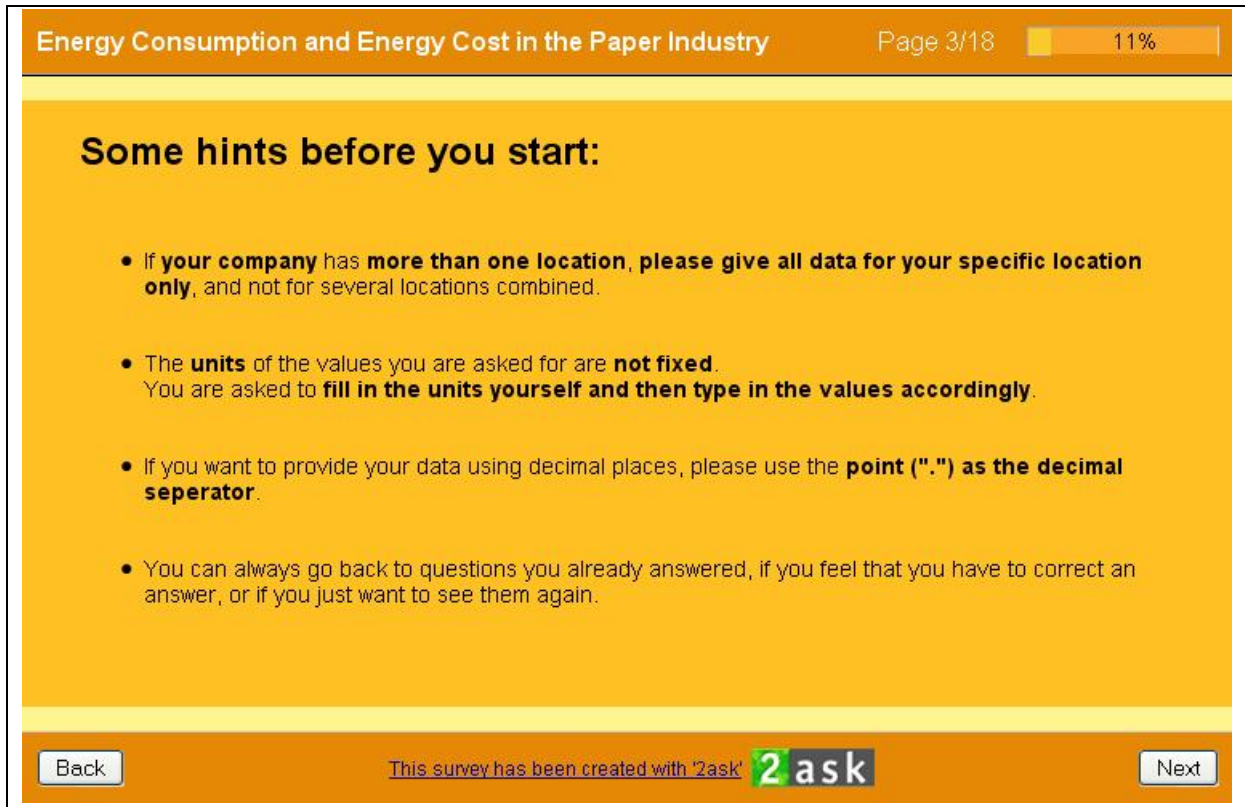
Your participation in this survey is **very much appreciated**.
I want to **thank you in advance** for taking the time to help me to write an excellent diploma thesis.

David Sallegger
david.sallegger@student.tugraz.at

Back This survey has been created with '2ask' 2ask Next

Abbildung 2: Einleitende Worte und Erklärungen

Auf dieser Seite wurde erklärt, dass die abgefragten Daten für eine Diplomarbeit benötigt werden, die an der Technischen Universität Graz am Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung geschrieben wird. Es wurde über den Zeitrahmen für das Ausfüllen von etwa 30 Minuten informiert, und darüber, dass die Umfrage anonym durchgeführt wird, und die Daten nur in statistischer Form für die Diplomarbeit verwendet wird. Außerdem wurde bereits an dieser Stelle für die Teilnahme an der Umfrage gedankt. Die Firma Voith wurde mit keinem Wort erwähnt.



Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 3/18 11%

Some hints before you start:

- If **your company** has **more than one location**, please give all data for your specific location **only**, and not for several locations combined.
- The **units** of the values you are asked for are **not fixed**. You are asked to **fill in the units yourself and then type in the values accordingly**.
- If you want to provide your data using decimal places, please use the **point (".") as the decimal seperator**.
- You can always go back to questions you already answered, if you feel that you have to correct an answer, or if you just want to see them again.

Back This survey has been created with '2ask' Next

Abbildung 3: Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens

Auf dieser Seite wurden einige Hinweise zum Ausfüllen des Fragebogens gegeben. So wurde der Umfrageteilnehmer darauf aufmerksam gemacht, dass die Fragen nur für den jeweiligen Produktionsstandort beantwortet werden sollten und nicht etwa den gesamten Konzern, dem der Produktionsstandort möglicherweise gehört. Auch wurde mitgeteilt, dass die Einheiten zu den Werten, die abgefragt werden, nicht vorgegeben sind. Dem Umfrageteilnehmer war es also möglich, jene Werte samt Einheiten einzufüllen, die er bei der Hand hatte. Ihm wurde nicht zugemutet, Werte umzurechnen, da dies die Zahl der Umfrageteilnehmer, die die Teilnahme an der Umfrage abbrechen, erhöht hätte.

The screenshot shows a survey interface with an orange header bar. The title 'Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry' is on the left, and 'Page 4/18' and a progress indicator '17%' are on the right. Question 2 is highlighted in a yellow bar: '2. Where is your company located? If your company is part of a business with more than one location, please give your answers only for your specific location.' Below it is a text input field labeled 'Location of your company:'. Question 3 is also highlighted: '3. How many paper machines are in operation at your company's location?' with a corresponding number input field. At the bottom, there are 'Back' and 'Next' buttons, and a '2ask' logo with the text 'This survey has been created with 2ask'.

Abbildung 4: Frage 2 bis Frage 3

In **Frage 2** wurde nach dem Standort des Unternehmens, oder, falls es sich bei dem Unternehmen um einen Konzern mit mehreren Produktionsorten handelt, nach dem jeweils eigenen Standort, gefragt.

In **Frage 3** sollte der Umfrageteilnehmer die Anzahl der am Standort in Betrieb befindlichen Papiermaschinen angeben.

The screenshot shows a survey interface with an orange header bar. The title 'Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry' is on the left, and 'Page 5/18' and a progress indicator '22%' are on the right. Question 4 is highlighted in a yellow bar: '4. What type(s) of paper does your company produce? (At your location)'. Below it are three radio button options: 'Board / Packaging', 'Graphical Papers', and 'Specialty Papers'. At the bottom, there are 'Back' and 'Next' buttons, and a '2ask' logo with the text 'This survey has been created with 2ask'.

Abbildung 5: Frage 4

In **Frage 4** sollte der Umfrageteilnehmer den Typ des produzierten Papiers angeben. Der Umfrageteilnehmer konnte eine oder mehrere der folgenden Antwortmöglichkeiten auswählen:

- Board / Packaging (z.B. Karton)
- Grafische Papiere (z.B. Klassisches Kopierpapier)
- Spezialpapiere (z.B. Hygienepapiere, Zigarettenpapier)

Insgesamt nahmen 37 Unternehmen an der Umfrage teil, davon 17 Hersteller von Spezialpapieren, 8 Hersteller von grafischen Papieren und 12 Hersteller von Verpackungspapieren (Board / Packaging). Je ein Hersteller grafischer Papiere und Verpackungspapiere stellt zusätzlich Spezialpapiere her.

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry
Page 6/18
28%

5. Please type in your company's yearly production of board / packaging papers.
(For your location only)

Value: tons/year

6. Please type in your company's yearly production of graphical papers.
(For your location only)

Value: tons/year

7. Please type in your company's yearly production of specialty papers.
(For your location only)

Value: tons/year

Back
This survey has been created with '2ask'
2ask
Next

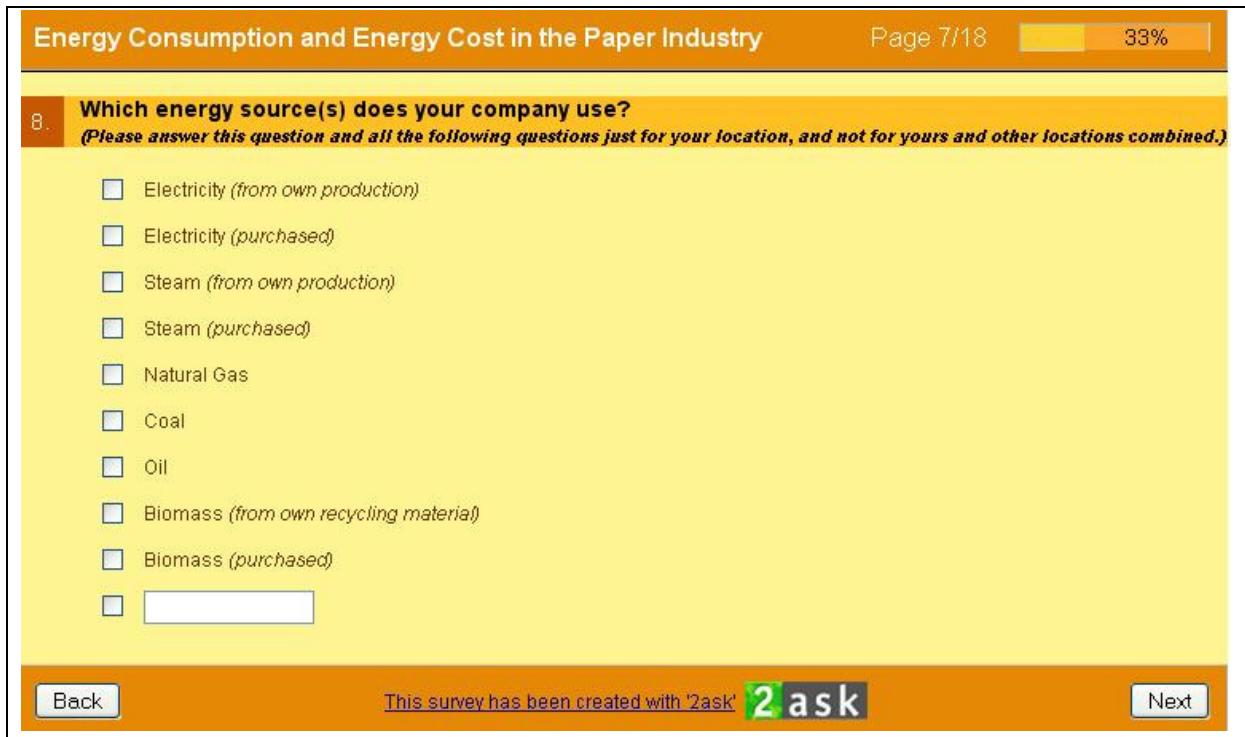
Abbildung 6: Frage 5 bis Frage 7

In **Frage 5 bis 7** wurde nach dem Jahresproduktionsausstoß der jeweils ausgewählten Papiersorte gefragt. In Tabelle 1 werden die Antworten dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Jährlicher Produktionsmenge in Tonnen
USA1	Spezialpapiere	471.000
USA2	Grafische Papiere	268.000
USA3	Board / Packaging	530.000
USA4	Board / Packaging	1.100.000
USA5	Board / Packaging	28.000
USA6	Board / Packaging	310.000
USA7	Spezialpapiere	400.000
Canada	Spezialpapiere	485.000
Brasilien1	Board / Packaging	1.100.000

Standort	Produzierter Papiertyp	Jährlicher Produktionsmenge in Tonnen
Brasilien2	Spezialpapiere	54.000
Brasilien3	Spezialpapiere	200.000
Brasilien4	Spezialpapiere	177.000
Chile	Board / Packaging	300.000
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	69.000
Schweiz	Spezialpapiere	37.000
Österreich1	Spezialpapiere	125.000
Österreich2	Grafische Papiere	393.000
Österreich3	Grafische Papiere	514.450
Deutschland1	Board / Packaging	640.000
Deutschland2	Spezialpapiere	240.000
Deutschland3	Spezialpapiere	50.000
Deutschland4	Board / Packaging	400.000
Deutschland5	Board / Packaging	333.500
Deutschland6	Grafische Papiere	550.000
Deutschland7	Spezialpapiere	75.000
Deutschland8	Grafische Papiere	750.000
Deutschland9	Grafische Papiere	900.000
Italien	Spezialpapiere	30.000
Schweden1	Spezialpapiere	72.000
Schweden2	Board / Packaging	350.000
Schweden3	Spezialpapiere	73.000
Schweden4	Board / Packaging	607.000
Finnland	Grafische Papiere	1.000.000
Niederlande	Spezialpapiere	40.000
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	490.000
Belgien	Spezialpapiere	72.000
Spanien	Spezialpapiere	50.000
England	Spezialpapiere	88.000

Tabelle 1: Antworten zu Frage 5 bis 7



The screenshot shows a survey interface with an orange header. The header contains the text 'Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry', 'Page 7/18', and a progress indicator '33%'. Below the header, question 8 is displayed on a yellow background. The question asks 'Which energy source(s) does your company use?' and includes a note: '(Please answer this question and all the following questions just for your location, and not for yours and other locations combined.)'. There are ten radio button options: Electricity (from own production), Electricity (purchased), Steam (from own production), Steam (purchased), Natural Gas, Coal, Oil, Biomass (from own recycling material), Biomass (purchased), and an empty text input field. At the bottom of the survey area, there are 'Back' and 'Next' buttons, and a logo for '2ask' with the text 'This survey has been created with 2ask'.

Abbildung 7: Frage 8

In **Frage 8** sollte angegeben werden, mit welchen Energieträgern die Energieversorgung des Produktionsstandortes erfolgt.

Zur Auswahl standen folgende Energieträger:

- Strom (aus eigener Produktion)
- Strom (zugekauft)
- Dampf (aus eigener Produktion)
- Dampf (zugekauft)
- Erdgas
- Kohle
- Öl
- Biomasse (aus eigenem Recyclingmaterial)
- Biomasse (zugekauft)
- Textfeld, in das der Umfrageteilnehmer selbst einen weiteren, nicht zur Auswahl stehenden Energieträger einfügen konnte.

Zugekaufter Strom wird von allen an der Umfrage teilnehmenden Produktionsstandorten verwendet, während Strom aus eigener Produktion zusätzlich von 26, also 68 %, der 37 teilnehmenden Unternehmen verwendet wird.

Ausschließlich Dampf aus eigener Produktion wird von 30 Produktionsstandorten verwendet, während 6 Unternehmen ausschließlich Dampf von externen Anbietern

einkaufen. Ein an der Umfrage teilnehmendes Unternehmen machte keine Angaben zur Herkunft des eingesetzten Dampfes.

Erdgas wird von 27 der 37 teilnehmenden Standorte verwendet, Kohle von 8 und Öl von 14 Standorten.

Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial wird von 14 Standorten verwendet, zugekaufte Biomasse wird ebenfalls von 14 Standorten verwendet.

In dem vom Umfrageteilnehmer selbst auszufüllenden Textfeld wurden folgende Brennstoffe angeführt: 3 Unternehmen verwenden Biogas, 3 Unternehmen verwenden LPG (Liquefied Petroleum Gas, ein vor allem aus Propan und Butan bestehendes Flüssiggas, welches bei der Erdgasförderung und bei der Erdölraffinierung anfällt), je ein Unternehmen verwendet Tire Derived Fuel (geschredderte Altreifen), Torf und RDF (Refuse Derived Fuel, ein aus Hausmüll gewonnener Brennstoff)

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry		Page 8/18	39%
9.	What is your company's total electricity consumption?		
	Value:	<input type="text"/>	
	Unit (kWh/year, ...):	<input type="text"/>	
10.	How is your company's total electricity consumption distributed over each step of the paper making process?		
	Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
	Paper Machine	<input type="text"/>	%
	Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
	Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
	Sum	0	
11.	What percentage of your company's total electricity consumption does your company produce on its own?		
	Value:	<input type="text"/>	%
12.	What price does your company charge internally for electricity from own production?		
	Value:	<input type="text"/>	
	Unit (EUR/kWh, USD/kWh, ...):	<input type="text"/>	
13.	What price does your company pay for purchased electricity?		
	Value:	<input type="text"/>	
	Unit (EUR/kWh, USD/kWh, ...):	<input type="text"/>	

Abbildung 8: Frage 9 bis 13

In **Frage 9** wurde nach dem jährlichen Stromverbrauch des gesamten Standortes gefragt. Um die Zahlen vergleichbar zu machen, wird der jährliche Stromverbrauch des jeweiligen Standortes auf die jährliche Produktionsmenge des Standortes bezogen. Daraus ergibt sich folgender Stromverbrauch pro Tonne produzierten Papiers für den gesamten Produktionsstandort, der zusammen mit dem jährlichen Stromverbrauch des Standortes

Standort	Produzierter Papiertyp	Stromverbrauch des gesamten Standortes in MWh/Jahr	Stromverbrauch des gesamten Standortes in kWh / Tonne
USA2	Grafische Papiere	747.000	2.787
USA4	Board / Packaging	880.000	800
USA5	Board / Packaging	24.500	875
USA6	Board / Packaging	297.000	960
USA7	Spezialpapiere	464.000	1.160
Brasilien1	Board / Packaging	1.140.932	1.037
Brasilien2	Spezialpapiere	84.000	1.556
Brasilien3	Spezialpapiere	150.677	753
Chile	Board / Packaging	395.986	1.320
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	158.000	2.290
Schweiz	Spezialpapiere	36.718	992
Österreich1	Spezialpapiere	140.000	1.120
Österreich2	Grafische Papiere	438.000	1.115
Österreich3	Grafische Papiere	682.100	1.326
Deutschland1	Board / Packaging	280.000	438
Deutschland2	Spezialpapiere	580.000	2.400
Deutschland3	Spezialpapiere	85.000	1.700
Deutschland4	Board / Packaging	163.500	409
Deutschland5	Board / Packaging	116.556	350
Deutschland6	Grafische Papiere	660.000	1.200
Deutschland7	Spezialpapiere	72.000	960
Deutschland8	Grafische Papiere	900.000	1.200
Deutschland9	Grafische Papiere	720.000	800
Italien	Spezialpapiere	28.000	933

Standort	Produzierter Papiertyp	Stromverbrauch des gesamten Standortes in MWh/Jahr	Stromverbrauch des gesamten Standortes in kWh / Tonne
Schweden1	Spezialpapiere	100.000	1.389
Schweden2	Board / Packaging	335.000	957
Schweden3	Spezialpapiere	100.000	1.370
Schweden4	Board / Packaging	718.400	1.184
Finnland	Grafische Papiere	900.000	909
Niederlande	Spezialpapiere	37.600	940
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	580.000	1.184
Belgien	Spezialpapiere	80.000	1.111
Spanien	Spezialpapiere	61.600	1.232
England	Spezialpapiere	146.000	1.659

Tabelle 2: Stromverbrauch des gesamten Standortes

In **Frage 10** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der Stromverbrauch auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt.

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Standort	Produzierter Papiertyp	Stromverbrauch der Papiermaschine(n) in kWh / Tonne
USA2	Grafische Papiere	697
USA5	Board / Packaging	394
USA6	Board / Packaging	240
Brasilien1	Board / Packaging	415
Brasilien2	Spezialpapiere	1.245
Brasilien3	Spezialpapiere	437

Standort	Produzierter Papiertyp	Stromverbrauch der Papiermaschine(n) in kWh / Tonne
Chile	Board / Packaging	375
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	916
Schweiz	Spezialpapiere	387
Österreich1	Spezialpapiere	728
Österreich3	Grafische Papiere	725
Deutschland4	Board / Packaging	286
Deutschland6	Grafische Papiere	576
Deutschland7	Spezialpapiere	883
Italien	Spezialpapiere	420
Schweden1	Spezialpapiere	833
Schweden2	Board / Packaging	507
Schweden3	Spezialpapiere	685
Schweden4	Board / Packaging	592
Niederlande	Spezialpapiere	329
Belgien	Spezialpapiere	967
England	Spezialpapiere	929

Tabelle 3: Stromverbrauch der Papiermaschine

In **Frage 11** sollte der Umfrageteilnehmer den Anteil der eigenen, am Standort stattfindenden Stromproduktion am gesamten Strombedarf der Papierfabrik angeben. In Tabelle 4 ist der prozentuale Anteil der Stromeigenproduktion am gesamten Strombedarf dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil der Stromeigenproduktion am gesamten Strombedarf des Standortes in %
USA1	Spezialpapiere	80
USA3	Board / Packaging	60
USA4	Board / Packaging	95
USA6	Board / Packaging	65
USA7	Spezialpapiere	30
Brasilien1	Board / Packaging	65
Österreich1	Spezialpapiere	60
Österreich2	Grafische Papiere	95
Österreich3	Grafische Papiere	64
Deutschland1	Board / Packaging	95
Deutschland2	Spezialpapiere	50
Deutschland3	Spezialpapiere	110
Deutschland4	Board / Packaging	27
Deutschland5	Board / Packaging	98
Deutschland6	Grafische Papiere	15
Deutschland7	Spezialpapiere	53
Deutschland8	Grafische Papiere	35
Deutschland9	Grafische Papiere	105
Schweden1	Spezialpapiere	2
Schweden2	Board / Packaging	50
Schweden3	Spezialpapiere	2
Schweden4	Board / Packaging	45
Finnland	Grafische Papiere	60
Niederlande	Spezialpapiere	74
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	100

Tabelle 4: Anteil der eigenen Stromproduktion am Gesamtbedarf des Standortes

In **Frage 12** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, welche Kosten intern für den am Standort produzierten Strom verrechnet werden. Diese Frage haben 15

Umfrageteilnehmer beantwortet. Um die angegebenen Preise vergleichbar zu machen, wurden sämtliche Angaben in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet. Dabei wurden für die Umrechnung folgende Wechselkurse verwendet:

1 Euro = 1,47 USD (United States Dollars)

1 Euro = 2,6 BRL (Brasilianische Real)

1 Euro = 11 ZAR (Südafrikanische Rand)

1 Euro = 0.9 GBP (Großbritannienische Pfund)

Die Wechselkurse wurden jeweils am 14.12.2009 von finance.yahoo.com abgerufen.

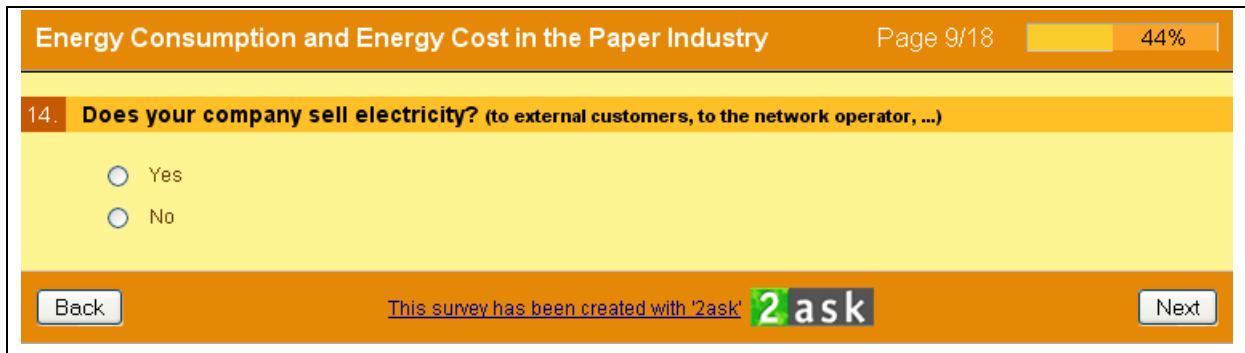
Standort	Produzierter Papiertyp	Intern verrechneter Preis für Strom aus Eigenproduktion in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	0,025
USA4	Board / Packaging	0,020
USA6	Board / Packaging	0,020
USA7	Spezialpapiere	0
Brasilien1	Board / Packaging	0,035
Österreich1	Spezialpapiere	0,045
Österreich3	Grafische Papiere	0,059
Deutschland1	Board / Packaging	0,037
Deutschland5	Board / Packaging	0,038
Deutschland7	Spezialpapiere	0,075
Deutschland8	Grafische Papiere	0,060
Schweden1	Spezialpapiere	0,050
Finnland	Grafische Papiere	0,025
Niederlande	Spezialpapiere	0,100
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,034

Tabelle 5: Intern verrechneter Strompreis

In **Frage 13** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten Strom zugekauft wird. In Tabelle 6 sind die Strompreise, die die verschiedenen Standorte für extern zugekauften Strom bezahlen, dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für extern zugekauften Strom in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	0,030
USA2	Grafische Papiere	0,030
USA3	Board / Packaging	0,048
USA4	Board / Packaging	0,044
USA5	Board / Packaging	0,060
USA6	Board / Packaging	0,037
Brasilien1	Board / Packaging	0,071
Brasilien2	Spezialpapiere	0,050
Brasilien3	Spezialpapiere	0,065
Brasilien4	Spezialpapiere	0,068
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	0,033
Schweiz	Spezialpapiere	0,080
Österreich1	Spezialpapiere	0,085
Österreich3	Grafische Papiere	0,059
Deutschland1	Board / Packaging	0,120
Deutschland5	Board / Packaging	0,072
Deutschland7	Spezialpapiere	0,100
Deutschland8	Grafische Papiere	0,060
Schweden1	Spezialpapiere	0,050
Schweden3	Spezialpapiere	0,062
Finnland	Grafische Papiere	0,045
Niederlande	Spezialpapiere	0,100
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,096
Belgien	Spezialpapiere	0,090
Spanien	Spezialpapiere	0,068
England	Spezialpapiere	0,070

Tabelle 6: Preise für zugekauften Strom



Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 9/18 44%

14. **Does your company sell electricity? (to external customers, to the network operator, ...)**

Yes

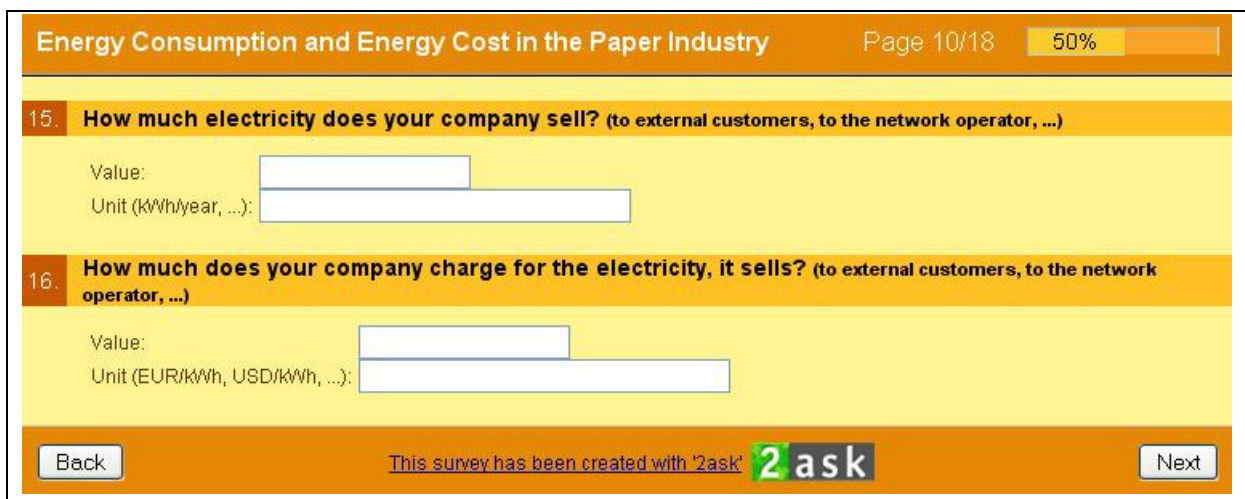
No

Back This survey has been created with '2ask' 2ask Next

Abbildung 9: Frage 14

In **Frage 14** sollen die Umfrageteilnehmer angeben, ob Strom an externe Kunden verkauft wird.

11 Umfrageteilnehmer gaben an, Strom an externe Kunden bzw. das örtliche Stromnetz zu verkaufen.



Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 10/18 50%

15. **How much electricity does your company sell? (to external customers, to the network operator, ...)**

Value:

Unit (kWh/year, ...):

16. **How much does your company charge for the electricity, it sells? (to external customers, to the network operator, ...)**

Value:

Unit (EUR/kWh, USD/kWh, ...):

Back This survey has been created with '2ask' 2ask Next

Abbildung 10: Frage 15 bis 16

In **Frage 15** sollte der Umfrageteilnehmer die Menge des Stromes angeben, der eventuell vom Unternehmen an externe Kunden verkauft wird. Die Angaben zu den verkauften Strommengen sind in Tabelle 7 dargestellt, daneben werden außerdem noch einmal die selbst produzierte Strommenge und der Anteil der verkauften an der selbst produzierten Strommenge in Prozent angegeben.

Standort	Produzierter Papiertyp	an externe Kunden verkaufte Strommenge in MWh / Jahr	In Eigenproduktion hergestellte jährliche Menge an Strom in MWh/Jahr	Anteil der verkauften an der selbst produzierten Strommenge in %
Österreich2	Grafische Papiere	11.000	416.100	2,5
Österreich3	Grafische Papiere	2.102	437.908	0,5
Deutschland1	Board / Packaging	10.000	266.000	4,0
Deutschland2	Spezialpapiere	120.000	290.000	41,0
Deutschland5	Board / Packaging	26.500	114.808	23,0
Deutschland6	Grafische Papiere	3.500	99.000	3,5
Deutschland7	Spezialpapiere	176	38.160	0,5
Deutschland8	Grafische Papiere	2.500	315.000	1,0
Deutschland9	Grafische Papiere	70.000	756.000	9,0
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	30.000	580.000	5,0

Tabelle 7: An externe Kunden verkaufte jährliche Strommenge

In **Frage 16** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie viel externe Kunden für den Strom bezahlen, der eventuell an sie verkauft wird. Tabelle 8 stellt die angegebenen Preise für verkauften Strom und zum Vergleich (sofern Daten vorhanden) die Preise für extern zugekauften Strom sowie die intern verrechneten Preise für Strom aus Eigenproduktion dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für an externe Kunden verkaufte Strom in EUR/kWh	Intern verrechneter Preis für Strom aus Eigenproduktion in EUR/kWh	Preis für extern zugekauften Strom in EUR/kWh
Österreich3	Grafische Papiere	0,033	0,059	0,059
Deutschland1	Board / Packaging	0,004	0,037	0,120
Deutschland2	Spezialpapiere	0,085	-	-

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für an externe Kunden verkauften Strom in EUR/kWh	Intern verrechneter Preis für Strom aus Eigenproduktion in EUR/kWh	Preis für extern zugekauften Strom in EUR/kWh
Deutschland7	Spezialpapiere	0,028	0,075	0,100
Deutschland8	Grafische Papiere	0,065	0,060	0,060
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,043	0,034	0,096

Tabelle 8: Preise für an externe Kunden verkauften Strom

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 11/18 56%

17. What is your company's total consumption of steam?

Value:

Unit (kWh/year, tons/year, ...):

18. How is your company's total steam consumption distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
Paper Machine	<input type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
Sum		0

19. What percentage of the total steam consumption does your company produce on its own?

Value: %

20. What price does your company charge internally for the steam from own production?

Value:

Unit (USD/kWh, EUR/kWh, ...):

21. What price does your company pay for purchased steam?

Value:

Unit (EUR/ton, USD/kWh, ...):

Back
This survey has been created with '2ask'
2ask
Next

Abbildung 11: Frage 17 bis 21

In **Frage 17** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Dampfverbrauch ist Standortes ist. Dabei sollte nicht nach Hoch- und

Niederdruckdampf unterschieden werden. Einerseits deshalb, weil dies die Umfrage zu sehr verkompliziert hätte, aber auch deshalb weil derart genaue Daten nur von wenigen Unternehmen weitergegeben werden.

Tabelle 9 stellt den Dampfverbrauch des gesamten Standortes in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Dampfverbrauch des gesamten Standortes in kWh/Tonne Papier
USA2	Grafische Papiere	1892
USA4	Board / Packaging	3653
USA5	Board / Packaging	1757
USA6	Board / Packaging	5405
USA7	Spezialpapiere	2659
Canada	Spezialpapiere	1546
Brasilien1	Board / Packaging	2747
Brasilien3	Spezialpapiere	488
Brasilien4	Spezialpapiere	1395
Chile	Board / Packaging	1104
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	4090
Schweiz	Spezialpapiere	1581
Österreich1	Spezialpapiere	1120
Österreich2	Grafische Papiere	1870
Österreich3	Grafische Papiere	1028
Deutschland1	Board / Packaging	1016
Deutschland2	Spezialpapiere	6667
Deutschland3	Spezialpapiere	5400
Deutschland4	Board / Packaging	1326
Deutschland5	Board / Packaging	1305
Deutschland6	Grafische Papiere	1091
Deutschland7	Spezialpapiere	2422
Deutschland8	Grafische Papiere	1040

Standort	Produzierter Papiertyp	Dampfverbrauch des gesamten Standortes in kWh/Tonne Papier
Deutschland9	Grafische Papiere	3667
Italien	Spezialpapiere	693
Schweden1	Spezialpapiere	1250
Schweden2	Board / Packaging	3586
Schweden3	Spezialpapiere	1233
Schweden4	Board / Packaging	4504
Finnland	Grafische Papiere	2775
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	5669
Belgien	Spezialpapiere	1139
Spanien	Spezialpapiere	1426
England	Spezialpapiere	1682

Tabelle 9: Dampfverbrauch des gesamten Standortes

In **Frage 18** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der Dampfverbrauch auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt.

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Tabelle 10 stellt die Antworten zum Anteil der Papiermaschine am gesamten Dampfverbrauch dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Dampfverbrauch der Papiermaschine(n) in kWh pro Tonne Papier	Anteil des Dampfverbrauchs der Papiermaschine am Dampfverbrauch des gesamten Standortes in %
USA2	Grafische Papiere	1.135	60
USA5	Board / Packaging	1.230	70
USA6	Board / Packaging	1.676	31
USA7	Spezialpapiere	1.462	55
Canada	Spezialpapiere	1.144	74
Brasilien1	Board / Packaging	1.574	57
Brasilien3	Spezialpapiere	473	97
Brasilien4	Spezialpapiere	1.353	97
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	2.331	57
Schweiz	Spezialpapiere	1.249	79
Österreich1	Spezialpapiere	851	76
Österreich2	Grafische Papiere	1.496	80
Österreich3	Grafische Papiere	802	78
Deutschland1	Board / Packaging	813	80
Deutschland4	Board / Packaging	1.154	87
Deutschland5	Board / Packaging	1.188	91
Deutschland6	Grafische Papiere	982	90
Deutschland7	Spezialpapiere	2.083	86
Italien	Spezialpapiere	693	100
Schweden1	Spezialpapiere	875	70
Schweden2	Board / Packaging	1.112	31
Schweden3	Spezialpapiere	863	70
Schweden4	Board / Packaging	1.216	27
Belgien	Spezialpapiere	1.082	95
England	Spezialpapiere	959	57

Tabelle 10: Anteil des Dampfverbrauches der Papiermaschine(n) am gesamten Dampfverbrauch

In **Frage 19** sollte der Umfrageteilnehmer den Anteil der eigenen, am Standort stattfindenden Dampfproduktion am gesamten Dampfbedarf der Papierfabrik angeben. Diese Frage haben 30 der 37 Umfrageteilnehmer beantwortet. Demnach produzieren alle Standorte mit eigener Dampfproduktion 100% ihres Dampfbedarfes selbst. Aufgrund der Einheitlichkeit aller Antworten auf diese Frage wird auf eine tabellarische Darstellung verzichtet.

In **Frage 20** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, welche Kosten intern für den am Standort produzierten Dampf verrechnet werden. Tabelle 11 stellt die intern verrechneten Preise für selbst produzierten Dampf in Euro pro Megawattstunde Dampf dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Intern verrechneter Dampfpreis für selbst produzierten Dampf in EUR/MWh	Intern verrechneter Dampfpreis für selbst produzierten Dampf in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	8	0,008
USA2	Grafische Papiere	3	0,003
USA6	Board / Packaging	32	0,032
USA7	Spezialpapiere	0	0
Brasilien2	Spezialpapiere	31	0,031
Brasilien3	Spezialpapiere	94	0,094
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	19	0,019
Schweiz	Spezialpapiere	38	0,038
Österreich1	Spezialpapiere	30	0,030
Deutschland1	Board / Packaging	41	0,041
Deutschland5	Board / Packaging	12	0,012
Deutschland7	Spezialpapiere	46	0,046
Deutschland8	Grafische Papiere	25	0,025
Finnland	Grafische Papiere	15	0,015

Tabelle 11: Intern verrechneter Dampfpreis

In **Frage 21** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten Dampf eventuell von extern zugekauft wird. Tabelle 12 stellt die Preise für extern zugekauften Dampf in Euro pro Megawattstunde dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für extern zugekauften Dampf in EUR/MWh	Preis für extern zugekauften Dampf in EUR/kWh
Österreich3	Grafische Papiere	32	0,032
Schweden1	Spezialpapiere	30	0,030
Schweden3	Spezialpapiere	30	0,030
Belgien	Spezialpapiere	43	0,043

Tabelle 12: Preis für zugekauften Dampf

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 12/18 61%

22. Does your company get paid for condensate, that it returns to the steam supplier?

Yes

No

Back This survey has been created with '2ask' Next

Abbildung 12: Frage 22

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 13/18 67%

23. How much condensate does your company return to the steam supplier?

Value:

Unit (tons/year, kg/year, ...):

24. What price does your company get paid for condensate, it returns to the steam supplier?

Value:

Unit (EUR/kg, USD/ton, ...):

Back This survey has been created with '2ask' Next

Abbildung 13: Frage 23 bis 24

In **Frage 23** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie viel Kondensat an den externen Lieferanten zurückgeliefert wird, von dem Dampf eingekauft wird. Hier

geben zehn Umfrageteilnehmer an, Kondensat zurückzuliefern. Da aber fünf dieser Umfrageteilnehmer angeben, 100 % ihres Dampfbedarfes selbst zu erzeugen, ist anzunehmen, dass die Frage nicht von allen Umfrageteilnehmern so interpretiert wurde, dass sie nur auf Kondensat bezogen ist, das an den externen Dampfversorger zurückgeliefert wird, von dem Dampf zugekauft wird.

Es scheint, als hätten viele Umfrageteilnehmer die Frage so interpretiert, als ob sie hier generell die Menge des an den Dampferzeuger rückgeführten Kondensates angeben sollten, auch wenn dieser Dampferzeuger Teil des Produktionsstandortes ist. Um vergleichbare Zahlen zu erlangen, wurden die Antworten der Umfrageteilnehmer in Kilowattstunden zurück geliefertes Kondensat pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Diese umgerechneten Antworten sind in Tabelle 13 dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Zurückgeführtes Kondensat in kWh/Tonne produzierten Papiers
Brasilien4	Spezialpapiere	183
Österreich3	Grafische Papiere	132
Deutschland2	Spezialpapiere	537
Deutschland4	Board / Packaging	131
Deutschland6	Grafische Papiere	109
Schweden1	Spezialpapiere	194
Schweden3	Spezialpapiere	178
Finnland	Grafische Papiere	313
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	657
Belgien	Spezialpapiere	83

Tabelle 13: Menge des rückgeführten Kondensates

In **Frage 24** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, welchen Preis der externe Lieferant für an ihn zurück geliefertes Kondensat bezahlt. Diese Frage haben 3 Umfrageteilnehmer beantwortet. Die Antworten sind in Tabelle 14 in Euro pro Kilowattstunde rückgelieferten Kondensates dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für rückgeliefertes Kondensat in EUR/MWh	Preis für rückgeliefertes Kondensat in EUR/kWh
Schweden1	Spezialpapiere	30	0,030
Schweden3	Spezialpapiere	30	0,030
Belgien	Spezialpapiere	5	0,005

Tabelle 14: Preis für rückgeliefertes Kondensat

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 14/18 72%

25. Does your company sell heat to external customers?

Yes

No

Back This survey has been created with '2ask' Next

Abbildung 14: Frage 25

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry Page 15/18 78%

26. How much heat does your company sell to external customers?

Value:

Unit (kWh/year, ...):

27. How much does your company charge for the heat it sells to external customers?

Value:

Unit (EUR/kWh, USD/kWh, ...):

Back This survey has been created with '2ask' Next

Abbildung 15: Frage 26 bis 27

In **Frage 26** sollte der Umfrageteilnehmer die Menge der Wärme angeben, die eventuell vom Unternehmen an externe Kunden verkauft wird. 9 Umfrageteilnehmer gaben an Wärme an externe Kunden zu verkaufen. Die von den Umfrageteilnehmern angegebenen Mengen wurden in Megawattstunden pro Jahr umgerechnet, wobei von teilweise in Masseneinheiten pro Stunde angegebenen Dampfmengen in Energiemengen umgerechnet wurde, indem ein Energieinhalt von 650 Kilowattstunden pro Tonne Dampf angenommen wurde. Um die angegebenen

Zahlen in Relation zur produzierten Papiermenge zu bringen, wurden diese außerdem in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Diese Zahlen werden in Tabelle 15 dargestellt. Zusätzlich wird noch der Anteil der verkauften Wärme in Prozent der gesamten am Standort verbrauchten Dampfmenge dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Verkaufte Wärme in MWh/Jahr	Verkaufte Wärme in kWh/Tonne Papier	Anteil der verkauften Wärme am gesamten Dampfverbrauch des Standortes in %
USA4	Board / Packaging	35.455	32	1
Deutschland1	Board / Packaging	15.000	23	2
Deutschland2	Spezialpapiere	320.000	133	2
Deutschland8	Grafische Papiere	55.000	73	7
Deutschland9	Grafische Papiere	30.000	33	1
Schweden2	Board / Packaging	278.000	794	22
Schweden4	Board / Packaging	111.667	184	4
Finnland	Grafische Papiere	150.000	150	5
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	72.222	147	3

Tabelle 15: Verkaufte Wärme

In **Frage 27** sollte der Umfrageteilnehmer den Preis für die an externe Kunden verkaufte Wärme angeben. Diese Frage wurde von drei Umfrageteilnehmern beantwortet. In Tabelle 16 werden die in den Antworten angegebenen Preise in Euro pro Kilowattstunde dargestellt. Außerdem werden, wo aus Frage 20 bekannt, zum Vergleich zusätzlich noch einmal die intern verrechneten Preise für selbst produzierten Dampf angeführt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis für verkaufte Wärme in EUR/kWh	Intern verrechneter Preis für selbst produzierten Dampf in EUR/kWh
USA4	Board / Packaging	0,064	-
Deutschland1	Board / Packaging	0,039	0,041
Finnland	Grafische Papiere	0,018	0,015

Tabelle 16: Preis für verkaufte Wärme

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry
Page 16/18
83%

28. What is your company's total consumption of natural gas?

Value:

Unit (EUR/m³, USD/cubic feet, ...):

29. How is your company's total natural gas consumption distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input style="width: 50px;" type="text"/>	%
Paper Machine	<input style="width: 50px;" type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input style="width: 50px;" type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input style="width: 50px;" type="text"/>	%
Sum		0

30. What price does your company pay for natural gas?

Value:

Unit (USD/kWh, USD/cubic feet, ...):

31. What is your company's total consumption of coal?

Value:

Unit (tons/year, ...):

Abbildung 16: Frage 28 bis 31

In **Frage 28** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Erdgasverbrauch des Standortes ist. Erdgas wird von 28 der 37 Umfrageteilnehmer am jeweiligen Standort als Energiequelle verwendet. Die Frage 28 nach dem Erdgasverbrauch haben 19 Umfrageteilnehmer beantwortet. Um die Angaben in Relation zur Produktionsmenge zu bringen, wurden diese in Kilowattstunden eingesetztes Erdgas pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet, wobei dort wo

nötig ein Heizwert von zehn Kilowattstunden pro Kubikmeter Erdgas angenommen wurde. Diese Zahlen werden in Tabelle 17 dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Erdgasverbrauch in MWh/Jahr	Erdgasverbrauch in kWh/Tonne Papier
USA2	Grafische Papiere	35.900	134
USA3	Board / Packaging	559.100	1.055
USA4	Board / Packaging	267.300	243
USA6	Board / Packaging	632.100	2.039
Brasilien4	Spezialpapiere	263.550	1.489
Schweiz	Spezialpapiere	88.990	2.405
Österreich1	Spezialpapiere	380.000	3.040
Österreich2	Grafische Papiere	1.000.000	2.545
Österreich3	Grafische Papiere	1.210.500	2.353
Deutschland1	Board / Packaging	1.200.000	1.875
Deutschland2	Spezialpapiere	1.296.000	5.400
Deutschland6	Grafische Papiere	519.000	944
Deutschland9	Grafische Papiere	1.100.000	1.222
Italien	Spezialpapiere	60.000	2.000
Niederlande	Spezialpapiere	130.000	3.250
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	41.990	86
Belgien	Spezialpapiere	80.000	1.111
Spanien	Spezialpapiere	105.500	2.110
England	Spezialpapiere	330.000	3.750

Tabelle 17: Erdgasverbrauch

In **Frage 29** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der Erdgasverbrauch auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt.

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Tabelle 18 stellt die Antworten dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Erdgasverbrauchs der Papiermaschinen am gesamten Erdgasverbrauch des Standortes in %	Erdgasverbrauch der Papiermaschine in kWh/Tonne Papier
USA2	Grafische Papiere	0	0
USA6	Board / Packaging	2	41
Brasilien4	Spezialpapiere	15	223
Schweiz	Spezialpapiere	10	241
Österreich1	Spezialpapiere	26	790
Österreich2	Grafische Papiere	5	127
Österreich3	Grafische Papiere	1	24
Deutschland6	Grafische Papiere	0	0
Italien	Spezialpapiere	55	1.100
Niederlande	Spezialpapiere	18	585
Belgien	Spezialpapiere	100	1.111
England	Spezialpapiere	60	2.250

Tabelle 18: Anteil der Papiermaschine am gesamten Erdgasverbrauch des Standortes

In **Frage 30** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten Erdgas eingekauft wird. Diese Frage beantworteten 14 der 28 Umfrageteilnehmer, an deren Standort Erdgas eingesetzt wird. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten wurden alle Angaben in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet. Dabei wurden ein Heizwert von 10 Kilowattstunden pro Kubikmeter Erdgas sowie folgende Wechselkurse angenommen: 1 EUR = 11 ZAR (Südafrikanische Rand), 1 EUR = 2,6 BRL (Brasilianische Real), 1 EUR = 1,47 USD (US Dollar), 1 EUR = 0,91 GBP (Groß Britannische Pfund). Die Antworten reichen von 0,013 Euro pro Kilowattstunde am Standort USA2 bis 0,045 Euro in Brasilien. Tabelle 19 stellt die Angaben dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Erdgaspreis in EUR/kWh
USA2	Grafische Papiere	0,013
USA3	Board / Packaging	0,014
USA4	Board / Packaging	0,015
Brasilien4	Spezialpapiere	0,045
Schweiz	Spezialpapiere	0,022
Österreich1	Spezialpapiere	0,025
Österreich3	Grafische Papiere	0,027
Deutschland1	Board / Packaging	0,022
Deutschland8	Grafische Papiere	0,025
Niederlande	Spezialpapiere	0,023
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,036
Belgien	Spezialpapiere	0,039
Spanien	Spezialpapiere	0,029
England	Spezialpapiere	0,028

Tabelle 19: Erdgaspreis

In **Frage 31** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Kohleverbrauch des Standortes ist. Dabei sollte nicht zwischen unterschiedlichen Kohlesorten unterschieden werden. Eine Unterscheidung würde den Aufbau der Umfrage und somit die Beantwortung der Fragen deutlich verkomplizieren. Dadurch würde der Anreiz zum vorzeitigen Abbrechen der Teilnahme stark steigen. Andererseits wurden die Teilnehmer durch Antwortbeispiele dazu angeregt, diese Frage in Geldeinheiten pro Energieeinheit zu beantworten, was eine einfache Vergleichbarkeit ermöglicht. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurde der Kohleverbrauch sowohl in Megawattstunden pro Jahr als auch in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Dabei wurde ein Heizwert von acht Kilowattstunden pro Kilogramm Kohle angenommen. In Tabelle 20 werden diese Zahlen dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Kohleverbrauch in MWh/Jahr	Kohleverbrauch in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	2.639.955	5.605
USA4	Board / Packaging	1.919.500	1.745
Canada	Spezialpapiere	82450	170
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	699.660	10.140
Deutschland7	Spezialpapiere	255.975	3.413
Deutschland9	Grafische Papiere	559.800	622
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	1.519.980	3.102

Tabelle 20: Kohleverbrauch des Standortes

32. How is your company's total coal consumption distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
Paper Machine	<input type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
Sum	0	

33. What price does your company pay for coal?

Value:

Unit (EUR/ton, USD/ton, ...):

34. What is your company's total consumption of oil?

Value:

Unit (tons/year, barrels/year, ...):

35. How is your company's total oil consumption distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
Paper Machine	<input type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
Sum	0	

Abbildung 17: Frage 32 bis 35

In **Frage 32** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der Kohleverbrauch auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt:

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil

- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Diese Frage beantworteten 2 der 8 Umfrageteilnehmer, die angeben Kohle am Standort einzusetzen. Demnach wird Kohle hauptsächlich in der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung eingesetzt, aber auch in der Papiermaschine. Tabelle 21 stellt den Kohleverbrauch in der Papiermaschine sowohl in Prozent des jährlichen Kohleverbrauchs des Standortes als auch in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Kohleverbrauchs der Papiermaschinen am gesamten Kohleverbrauch des Standortes in %	Kohleverbrauch der Papiermaschine in kWh/Tonne Papier
Canada	Spezialpapiere	74	126
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	57	5.780

Tabelle 21: Verteilung des Kohleverbrauchs

In **Frage 33** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten Kohle eingekauft wird. Diese Frage wurde von 4 Umfrageteilnehmern beantwortet. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten wurden alle Angaben in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet. Dabei wurden ein Heizwert von 8 Kilowattstunden pro Kilogramm Kohle sowie folgende Wechselkurse angenommen: 1 EUR = 11 ZAR (Südafrikanische Rand), 1 EUR = 2,6 BRL (Brasilianische Real), 1 EUR = 1,47 USD (US Dollar), 1 EUR = 0.91 GBP (Groß Britannische Pfund). Die Antworten reichen von 0,004 Euro pro Kilowattstunde in Tschechien bis 0,013 Euro an einem Standort in Deutschland. Tabelle 22 stellt die Angaben dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Kohlepreis in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	0,006
Südafrika	Grafische Papiere, Spezialpapiere	0,009
Deutschland7	Spezialpapiere	0,013
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,004

Tabelle 22: Kohlepreis

In **Frage 34** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Ölverbrauch des Standortes ist. Dabei sollte nicht zwischen unterschiedlichen Ölarten unterschieden werden. Eine Unterscheidung würde den Aufbau der Umfrage und somit die Beantwortung der Fragen deutlich verkomplizieren. Dadurch würde der Anreiz zum vorzeitigen Abbrechen der Teilnahme stark steigen. Andererseits wurden die Teilnehmer durch Antwortbeispiele dazu angeregt, diese Frage in Geldeinheiten pro Energieeinheit zu beantworten, was eine einfache Vergleichbarkeit ermöglicht. Diese Frage beantworteten 11 der 14 Umfrageteilnehmer, die angaben dass Öl am Standort als Energiequelle eingesetzt wird. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurden die angegebenen Werte sowohl in Megawattstunden pro Jahr als auch in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Dabei wurde ein Heizwert von elf Kilowattstunden pro Kilogramm Öl, bzw. zehn Kilowattstunden pro Kubikdezimeter Öl angenommen. In Tabelle 23 werden diese Zahlen dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Ölverbrauch des Standortes in MWh/Jahr	Ölverbrauch des Standortes in kWh/Tonne Papier
USA5	Board / Packaging	71.442	2.552
Canada	Spezialpapiere	112.520	232
Brasilien1	Board / Packaging	1.130.800	1.028
Brasilien3	Spezialpapiere	152.800	764
Österreich3	Grafische Papiere	6.687	13
Deutschland6	Grafische Papiere	245.850	447

Standort	Produzierter Papiertyp	Ölverbrauch des Standortes in MWh/Jahr	Ölverbrauch des Standortes in kWh/Tonne Papier
Deutschland9	Grafische Papiere	54.900	61
Schweden2	Board / Packaging	87.850	251
Schweden4	Board / Packaging	153.571	253
Finnland	Grafische Papiere	132.000	132
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	230.790	471

Tabelle 23: Ölverbrauch des Standortes

In **Frage 35** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der gesamte Ölverbrauch auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt:

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Diese Frage wurde von 4 der 14 Umfrageteilnehmer, die angaben, dass Öl am Standort verwendet wird. Demnach wird Öl hauptsächlich in der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung eingesetzt, aber auch in der Papiermaschine. Tabelle 24 stellt den Ölverbrauch in der Papiermaschine sowohl in Prozent des jährlichen Ölverbrauchs des Standortes als auch in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Ölverbrauchs der Papiermaschine(n) am gesamten Ölverbrauch des Standortes in %	Ölverbrauch der Papiermaschine in kWh/Tonne Papier
USA5	Board / Packaging	70	1.786
Canada	Spezialpapiere	74	172
Deutschland6	Grafische Papiere	2	9
Schweden4	Board / Packaging	30	76

Tabelle 24: Ölverbrauch der Papiermaschine

Tabelle 25 stellt den Ölverbrauch in der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung sowohl in Prozent des jährlichen Ölverbrauchs des Standortes als auch in Megawattstunden pro Jahr dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Ölverbrauchs der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung am gesamten Ölverbrauch des Standortes in %	Ölverbrauch der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung in MWh/Jahr
USA5	Board / Packaging	0	0
Canada	Spezialpapiere	4	4.501
Brasilien1	Board / Packaging	80	904.640
Brasilien3	Spezialpapiere	100	152.800
Österreich3	Grafische Papiere	100	6.688
Deutschland6	Grafische Papiere	98	240.933
Schweden2	Board / Packaging	10	8.785
Schweden4	Board / Packaging	4	6.143

Tabelle 25: Ölverbrauch der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung

36. What price does your company pay for oil?

Value:

Unit (EUR/ton, USD/barrel, ...):

37. What is your company's total consumption of biomass from own recycling material?

Value:

Unit (tons/year, m³/year, ...):

38. How is your company's total consumption of biomass from own recycling material distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
Paper Machine	<input type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
Sum	0	

39. What price does your company charge internally for biomass from own production?

Value:

Unit (EUR/ton, USD/ton, ...):

40. What is your company's total consumption of purchased biomass?

Value:

Unit (tons/year, m³/year, ...):

Abbildung 18: Frage 36 bis 40

In **Frage 36** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten Öl eingekauft wird. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurden die Angaben der Umfrageteilnehmer in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet. Diese Frage wurde von 6 der 14 Umfrageteilnehmer beantwortet, die angaben, dass Öl an ihrem Standort verwendet wird. Die Angaben sind in Tabelle 26 dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Ölpreis in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	0,036
USA5	Board / Packaging	0,030
Brasilien3	Spezialpapiere	0,006
Österreich3	Grafische Papiere	0,030
Finnland	Grafische Papiere	0,036
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	0,020

Tabelle 26: Ölpreis

In **Frage 37** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Verbrauch an Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial am Standort ist. Dabei sollte nicht

zwischen unterschiedlichen Biomassesorten unterschieden werden. Eine Unterscheidung würde den Aufbau der Umfrage und somit die Beantwortung der Fragen deutlich verkomplizieren. Diese Frage wurde von 12 der 14 Umfrageteilnehmer beantwortet, die angaben, Biomasse aus eigener Produktion als Energiequelle am Standort zu verwenden. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten wurden die Angaben der Umfrageteilnehmer sowohl in Megawattstunden pro Jahr als auch in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Dabei wurde ein Heizwert von 4,5 Kilowattstunden per Kilogramm Biomasse angenommen. Die Zahlen werden in Tabelle 27 dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Gesamtverbrauch an Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial in MWh/Jahr	Gesamtverbrauch an Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	114.920	244
USA2	Grafische Papiere	303.640	1.133
USA4	Board / Packaging	1.080.200	982
Brasilien1	Board / Packaging	3.441.900	3.129
Österreich2	Grafische Papiere	360.000	916
Deutschland2	Spezialpapiere	1.150.080	4.792
Deutschland8	Grafische Papiere	1.350.000	1.800
Deutschland9	Grafische Papiere	360.000	400
Schweden2	Board / Packaging	192.150	549
Schweden4	Board / Packaging	3.278.400	5.401
Finnland	Grafische Papiere	840.000	840
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	494.900	1.010

Tabelle 27: Verbrauch von Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial

In **Frage 38** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der gesamte Biomasseverbrauch aus eigenem Recyclingmaterial auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt:

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)

- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Diese Frage haben 5 der 14 Umfrageteilnehmer beantwortet, die angaben, Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial am Standort zu verwenden. Bis auf einen Umfrageteilnehmer gaben alle an, die Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial zu 100 Prozent in der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung zu verwenden. Daher wird bei dieser Frage auf eine tabellarische Darstellung verzichtet.

In **Frage 39** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, welche Kosten intern für die am Standort produzierte Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial verrechnet werden. Diese Frage wurde von 6 der 14 Umfrageteilnehmer beantwortet, die angaben, Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial an ihrem Standort zu verwenden. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurden die angegebenen Werte in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet, wobei die unter Frage 37 genannten Annahmen verwendet.

Dabei gaben 4 Umfrageteilnehmer an, dass intern keine Kosten für Biomasse aus eigenem Recyclingmaterial verrechnet werden. 2 Standorte, der eine in USA4 (Board/Packaging) und der andere in Finnland (grafische Papiere) verrechnen intern jeweils 0,01 Euro pro Kilowattstunde. Auf eine tabellarische Darstellung wird bei dieser Frage verzichtet.

In **Frage 40** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie hoch der gesamte Verbrauch an zugekaufter Biomasse ist. Die von den Umfrageteilnehmern angegebenen Daten wurden, um vergleichbare Zahlen zu erhalten, in Megawattstunden pro Jahr und in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Die Ergebnisse werden in Tabelle 28 dargestellt.

Standort	Produzierter Papiertyp	Gesamtverbrauch an zugekaufter Biomasse in MWh/Jahr	Gesamtverbrauch an zugekaufter Biomasse in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	1.035.000	2.197
USA2	Grafische Papiere	303.750	1.133
USA3	Board / Packaging	3.600.000	6.792
Canada	Spezialpapiere	577.635	1.191
Brasilien2	Spezialpapiere	108	2
Deutschland9	Grafische Papiere	13.500	150
Schweden4	Board / Packaging	198.611	327
Finnland	Grafische Papiere	100.000	100
Tschechien	Board / Packaging, Spezialpapiere	540.000	1.102

Tabelle 28: Verbrauch des Standortes an zugekaufter Biomasse

41. How is your company's total consumption of purchased biomass distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input type="text"/>	%
Paper Machine	<input type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input type="text"/>	%
Sum	0	

42. What price does your company pay for purchased biomass?

Value:

Unit (EUR/ton, USD/m³, ...):

This survey has been created with '2ask'

Abbildung 19: Frage 41 bis 42

In **Frage 41** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der gesamte Verbrauch von zugekaufter Biomasse auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt:

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)

- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Tabelle 29 stellt den Verbrauch an Biomasse aus externem Zukauf in der Papiermaschine in % des gesamten Biomasseverbrauchs aus externem Zukauf und in Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Verbrauchs der extern zugekauften Biomasse der Papiermaschine(n) am gesamten Biomasseverbrauch aus externem Zukauf des Standortes in %	Verbrauch von extern zugekaufter Biomasse der Papiermaschine in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	0	0
USA2	Grafische Papiere	0	0
Canada	Spezialpapiere	74	881
Brasilien2	Spezialpapiere	90	2

Tabelle 29: Anteil der Papiermaschine am Verbrauch von Biomasse aus externem Zukauf

Tabelle 30 stellt den Verbrauch an Biomasse aus externem Zukauf in der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung in % des gesamten Biomasseverbrauchs aus externem Zukauf und in Megawattstunden pro Jahr dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Anteil des Verbrauchs der extern zugekauften Biomasse der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung am gesamten Biomasseverbrauch aus externem Zukauf des Standortes in %	Verbrauch von extern zugekaufter Biomasse der standorteigenen Strom- und Dampferzeugung in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	100	1.035.000
USA2	Grafische Papiere	100	303.750
Canada	Spezialpapiere	4	23.105
Brasilien2	Spezialpapiere	0	0

Tabelle 30: Anteil der standorteigenen Strom und Dampfproduktion am Verbrauch von Biomasse aus externem Zukauf

In **Frage 42** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten zugekaufte Biomasse eingekauft wird. Diese Frage haben 6 der 15 Umfrageteilnehmer beantwortet, die angaben, zugekaufte Biomasse an ihrem Standort zu verwenden. Um vergleichbare Werte zu erhalten wurden die angegebenen Zahlen in Euro pro Kilowattstunde umgerechnet. Tabelle 31 stellt die angegebenen Preise dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Preis der zugekauften Biomasse in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	0,004
USA2	Grafische Papiere	0,003
USA3	Board / Packaging	0,003
Brasilien2	Spezialpapiere	0,016
Deutschland8	Grafische Papiere	0,004
Finnland	Grafische Papiere	0,020

Tabelle 31: Preis für zugekaufte Biomasse

Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry
Page 17/18
89%

43. If your company uses an energy source, that was not already mentioned: What is your company's total consumption of the energy from that energy source?

Name of this energy source:

Value:

Unit (tons/year, m³/year, ...):

44. How is your company's total consumption of energy from that energy source distributed over each step of the paper making process?

Stock Preparation and Wet End	<input style="width: 100%;" type="text"/>	%
Paper Machine	<input style="width: 100%;" type="text"/>	%
Power House (for electricity and/or steam production)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	%
Processing Facilities and Other	<input style="width: 100%;" type="text"/>	%
Sum		0

45. What price does your company pay for the energy from that energy source?

Value:

Unit (USD/ton, EUR/m³, ...):

46. If you want to add more information regarding that energy source, you are very welcome to do so in the field below.

More information regarding this energy source:

Back
This survey has been created with '2ask'
2ask
Next

Abbildung 20: Frage 43 bis 46

In **Frage 43** sollte der Umfrageteilnehmer den gesamten Verbrauch eines Energieträgers angeben, der von den bisherigen Fragen noch nicht abgedeckt worden war. Drei Umfrageteilnehmer gaben an, LPG (Liquefied Petroleum Gas) also Flüssiggas einzusetzen. Ein Umfrageteilnehmer nannte tire derived fuel, also geschredderte Autoreifen. Um vergleichbare Werte zu erhalten wurden die angegebenen Zahlen in Megawattstunden pro Jahr und Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers umgerechnet. Dabei wurde für geschredderte Autoreifen ein Heizwert von 9 Kilowattstunden pro Kilogramm und für LPG von 12,7 Kilowattstunden pro Kilogramm angenommen. Tabelle 32 stellt die Angaben mitsamt den jährlichen Verbräuchen in Megawattstunden pro Jahr und Kilowattstunden pro Tonne produzierten Papiers dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Energiequelle	Durch diese Energiequelle gedeckter Bedarf in MWh/Jahr	Durch diese Energiequelle gedeckter Bedarf in kWh/Tonne Papier
USA1	Spezialpapiere	Tire derived fuel	117.000	248
Brasilien2	Spezialpapiere	LPG	54	1
Schweden1	Spezialpapiere	LPG	48.000	667
Schweden3	Spezialpapiere	LPG	60.000	822

Tabelle 32: Verbrauch einer bisher nicht genannten Energiequelle

In **Frage 44** sollte der Umfrageteilnehmer angeben, wie sich der gesamte Verbrauch dieses durch die bisherigen Fragen noch nicht abgedeckten Energieträgers auf die einzelnen Abschnitte des Produktionsprozesses aufteilt.

Der Produktionsprozess wurde dazu in vier Teilabschnitte eingeteilt:

- Stoffaufbereitung und konstanter Teil
- Papiermaschine
- Kraftwerk (für Strom- und Dampfproduktion)
- Verarbeitungslinien und Sonstiges

Während ein Umfrageteilnehmer (USA1) angab, dass die geschredderten Autoreifen zu 100% im standorteigenen Kraftwerk zur Strom- und Dampferzeugung eingesetzt wird, gaben jene drei Umfrageteilnehmer, an deren Standort LPG eingesetzt wird, an, dieses zu 100% in der Papiermaschine zu verwenden. Auf eine tabellarische Darstellung wird bei dieser Antwort verzichtet.

In Frage 39 sollte der Umfrageteilnehmer angeben, zu welchen Kosten dieser durch die bisherigen Fragen noch nicht abgedeckte Energieträger zugekauft wird. Tabelle 33 stellt die Antworten der Umfrageteilnehmer dar.

Standort	Produzierter Papiertyp	Energiequelle	Preis der Energiequelle in EUR/kWh
USA1	Spezialpapiere	Tire derived fuel	0,002
Brasilien2	Spezialpapiere	LPG	0,051
Schweden1	Spezialpapiere	LPG	0,050
Schweden3	Spezialpapiere	LPG	0,032

Tabelle 33: Preise für diese bisher nicht genannte Energiequelle

In **Frage 46** sollte der Umfrageteilnehmer eventuell zusätzliche Informationen anfügen, die den durch die bisherigen Fragen noch nicht abgedeckten Energieträger betreffen.

Auf diese Frage wurden von den Umfrageteilnehmern keine für die Umfrage relevanten Anmerkungen angeführt.

The screenshot shows the end of a survey titled "Energy Consumption and Energy Cost in the Paper Industry". The page number is 18/18 and the completion rate is 94%. A yellow banner indicates that the survey is over. Question 47 prompts the user to add comments, additional information, or criticism in a text box. The survey was created using the '2ask' platform.

Abbildung 21: Ende der Umfrage

Preisdaten der OECD

Da nicht aus allen Regionen der Welt Papier produzierende Unternehmen an der durchgeführten Umfrage teilgenommen haben, wurden auch Daten aus anderen Quellen gesammelt. Die International Energy Agency bietet in ihrer vierteljährlich erscheinenden Ausgabe von „Energy Prices and Taxes“ eine Auflistung des Preisniveaus verschiedener Energieträger, das in den Mitgliedsstaaten der OECD und auch in einigen Nicht-OECD-Mitgliedsländern herrscht. Dabei werden die für Industriekunden wirklich zu bezahlenden Preise erhoben. (Rabatte, Steuern und Lieferkosten werden berücksichtigt.) Die in den Berichten angegebenen Preise sind Durchschnittspreise, sowohl zeitlich als auch was die Preishöhe in Abhängigkeit von der bezogenen Menge betrifft, die vom Industriesektor des jeweiligen Landes zu bezahlen sind. Bei der Erhebung der Kohlepreise wird ein gewichteter Mittelwert über die verschiedenen Sorten errechnet.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit war die Ausgabe vom zweiten Quartal 2009 von „Energy Prices and Taxes“¹ aktuell. Darin werden zwar aus einigen Mitgliedsstaaten der OECD Preise für das zweite Quartal 2009 gelistet, allerdings gelten die neuesten Zahlen der meisten Länder für das erste Quartal 2009. Um die Vergleichbarkeit der Angaben zu gewährleisten, werden in den folgenden Tabellen daher die Preise des ersten Quartals 2009 angeführt.

Preise in OECD-Mitgliedsstaaten

Die folgenden Tabellen stellen jeweils die Preise der einzelnen Energieträger in den Mitgliedsländern der OECD dar.

Land	High Sulphur Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)	Low Sulphur Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)	Light Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)
Austria		0,022	0,039
Belgium		0,018	0,033
Canada	0,019		0,032

¹ International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009)

Land	High Sulphur Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)	Low Sulphur Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)	Light Fuel Oil for Industry (EUR/kWh)
Czech Republic	0,013	0,018	0,033
Denmark		0,024	0,044
Finland		0,024	0,040
France	0,018	0,019	0,037
Germany		0,019	0,034
Greece		0,023	0,037
Hungary		0,019	
Ireland	0,018		0,041
Italy		0,022	0,075
Japan	0,023	0,035	0,034
Korea	0,024	0,026	0,054
Mexico	0,012		0,018
Netherlands		0,016	
New Zealand	0,026		0,024
Norway			0,054
Poland	0,014	0,022	0,037
Portugal		0,029	
Slovak Republic		0,017	0,030
Spain		0,022	0,038
Sweden		0,049	0,032
Switzerland		0,016	0,031
Turkey	0,039		
United States	0,017		0,025

Tabelle 34: Ölpreise in den OECD-Mitgliedsstaaten (1st quarter 2009)

Die Preisangaben für Öl von fünf Umfrageteilnehmern (USA1, USA5, Österreich3, Finnland, Tschechien) aus vier Ländern (USA, Österreich, Finnland, Tschechien) können mit den von der IEA erhobenen Preisen für von Industriekunden im ersten Quartal 2009 verglichen werden, da zu diesen Ländern sowohl Daten aus der Umfrage als auch Daten der IEA vorliegen.

Dabei zeigt sich, dass die von der IEA ermittelten Ölpreise für Industriekunden bis auf ein Land jeweils zwischen den von der IEA ermittelten Preisen für Heizöl schwer und Heizöl leicht liegen. Die in der Umfrage angegebenen Preise sind möglicherweise Durchschnittspreise der verschiedenen Ölsorten, da die Standorte,

die Öl verwenden, möglicherweise mehrere Sorten einkaufen. Nur in den USA liegen die in der Umfrage angegebenen Preise um 40% über den von der IEA erhobenen Preisen für die verschiedenen Heizölsorten. Das könnte daran liegen, dass die von der IEA erhobenen Preise Steuern nicht berücksichtigen, die von den jeweiligen Bundesstaaten der USA eingehoben werden. (Die IEA weist im Vorwort ihres Berichtes auf diese Gegebenheit hin.²⁾)

Land	Natural Gas for Industry (EUR/kWh)
Czech Republic	0,037
Finland	0,022
France	0,032
Greece	0,025
Hungary	0,042
Ireland	0,036
Korea	0,027
Mexico	0,015
Poland	0,024
Portugal	0,033
Slovak Republic	0,038
Spain	0,030
Switzerland	0,049
Turkey	0,036
United States	0,016

Tabelle 35: Gaspreise in den einzelnen OECD-Mitgliedsstaaten (1st quarter 2009)³

Die Preisangaben für Gas von sechs Umfrageteilnehmern (USA1, USA2, USA3, Schweiz, Tschechien, Spanien) aus vier Ländern (USA, Schweiz, Tschechien, Spanien) können mit den von der IEA erhobenen Preisen für von Industriekunden eingekauftem Gas im ersten Quartal 2009 verglichen werden, da zu diesen Ländern sowohl Daten aus der Umfrage als auch Daten der IEA vorliegen.

Dabei zeigt sich, dass die von der IEA ermittelten Gaspreise für Industriekunden zum Teil erheblich von den in der Umfrage angegebenen Preisen abweichen. Die maximale Abweichung beträgt über 100% bei einem Standort in der Schweiz (Schweiz, Angabe in Umfrage: 0,022 EUR/kWh, IEA: 0,049 EUR/kWh). Die in der Umfrage von den drei anderen Standorten angegebenen Preise weichen dagegen

² International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 47

³ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 342

nur geringfügig von den von IEA erhobenen Preisen ab. Die Abweichung beträgt bei diesen drei Standorten jeweils unter 10%.

Land	Steam Coal for Industry (EUR/kWh)	Coking Coal for Industry (EUR/kWh)
Austria	0,020	
Finland	0,018	0,030
Japan	0,015	0,022
Korea	0,010	0,022
Poland	0,009	0,016
Switzerland	0,014	
Turkey	0,011	0,021
United States	0,007	0,012

Tabelle 36: Kohlepreise in den einzelnen OECD-Mitgliedsstaaten (1st quarter 2009)⁴

Die Preisangabe für Kohle von einem Umfrageteilnehmer (USA1) kann mit dem von der IEA erhobenen Preis verglichen werden, da zu diesem Land sowohl Daten aus der Umfrage als auch Daten der IEA vorliegen.

Dabei zeigt sich, dass der von der IEA ermittelte Kohlepreis für Industriekunden nur geringfügig von dem in der Umfrage angegebenen Preis abweicht. Die Abweichung beträgt 15% bei Standort USA1.

⁴ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 345ff

Land	Electricity for Industry (EUR/kWh)
Czech Republic	0,088
Finland	0,061
Hungary	0,109
Ireland	0,116
Italy	0,177
Korea	0,034
Mexico	0,054
New Zealand	0,041
Norway	0,041
Poland	0,075
Portugal	0,082
Slovak Republic	0,122
Switzerland	0,061
Turkey	0,088
United States	0,048

Tabelle 37: Strompreise in den einzelnen OECD-Mitgliedsstaaten

Die Preisangaben für Strom aus externem Zukauf von acht Umfrageteilnehmern (USA1, USA2, USA3, USA4, USA5, USA6, Schweiz, Finnland, Tschechien) aus vier Ländern (USA, Schweiz, Finnland, Tschechien) können mit den von der IEA erhobenen Preisen für von Industriekunden verglichen werden, da zu diesen Ländern sowohl Daten aus der Umfrage als auch Daten der IEA vorliegen.

Dabei zeigt sich, dass die von der IEA ermittelten Strompreise für Industriekunden nur geringfügig von den in der Umfrage angegebenen Preisen abweichen. Die maximale Abweichung beträgt 30% bei dem Standort Finnland.

Preise in Nicht-OECD-Mitgliedsstaaten

Die OECD listet in ihren Berichten auch Daten aus Ländern auf, die nicht OECD-Mitglied sind. Die neuesten vergleichbaren Daten für diese Länder sind allerdings Preise aus dem Jahr 2008. Da keines der an der Umfrage teilnehmenden Unternehmen seinen Standort in einem der in den folgenden Tabellen gelisteten Länder hat, können die Preise nicht auf ihre Übereinstimmung mit den in der Umfrage erhobenen Daten überprüft werden.

Die folgenden Tabellen stellen die OECD-Daten aus Ländern die nicht OECD-Mitglied sind, dar.

Land	Heavy Fuel Oil for Industry, EUR/kWh	Light Fuel Oil for Industry EUR/kWh
Bulgaria	0,04	0,09
Taiwan	0,03	0,03
Cyprus	0,05	0,08
Estonia		0,07
India	0,04	0,05
Indonesia	0,04	0,06
Kazakhstan	0,02	0,04
Latvia	0,01	0,07
Lithuania	0,03	0,06
Malta	0,03	0,08
Romania	0,04	0,08
Russian Federation	0,02	
Slovenia	0,04	0,07
Thailand	0,04	

Tabelle 38: Ölpreise in Nicht-OECD-Ländern (2008)⁵

Land	Natural Gas for Industry (EUR/kWh)
Taiwan	0,034
Kazakhstan	0,004
Russian Federation	0,006

Tabelle 39: Erdgaspreise in Nicht-OECD-Staaten (2008)⁶

Land	Steam Coal for Industry (EUR/kWh)	Coking Coal for Industry (EUR/kWh)
India	0,004	0,0062
Kazakhstan	0,001	0,0025
Russian Federation	0,004	0,0157

Tabelle 40: Kohlepreise in Nicht-OECD-Staaten (2008)⁷

⁵ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 481ff

⁶ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 490

⁷ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 493ff

Land	Electricity for Industry (EUR/kWh)
Taiwan	0,048
Kazakhstan	0,027
Russian Federation	0,034

Tabelle 41: Industriestrompreise in Nicht-OECD-Ländern (2008)⁸

Von Südamerika liegen nur Zahlen für 2006 vor. Diese stammen von der lateinamerikanischen Energieagentur OLADE⁹. Die Daten sind bereits 3 Jahre alt, und angesichts der sehr instabilen Preissituation der letzten Jahre kann daraus nicht auf das derzeitige Preisniveau geschlossen werden. Daher werden die Zahlen in dieser Arbeit aus Gründen der Vollständigkeit ohne weitere Erläuterungen angeführt.

Land	Heavy Fuel Oil for Industry, EUR/kWh	Light Fuel Oil for Industry EUR/kWh
Argentina	0,029	0,042
Barbados	0,007	0,024
Bolivia	0,023	0,031
Brazil	0,017	0,056
Chile	0,030	0,057
Colombia	0,022	0,034
Costa Rica	0,022	0,046
Cuba	0,021	0,034
Dominican Republic	0,032	0,053
Ecuador	0,012	0,016
El Salvador	0,028	0,049
Grenada		0,028
Guatemala	0,020	0,047
Guyana	0,019	0,042
Haiti	0,006	0,026
Honduras	0,029	0,052
Jamaica	0,024	0,051
Nicaragua	0,030	0,053

⁸ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 496

⁹ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 478

Land	Heavy Fuel Oil for Industry, EUR/kWh	Light Fuel Oil for Industry EUR/kWh
Panama	0,025	0,043
Paraguay	0,021	0,050
Peru	0,044	0,058
Suriname	0,005	0,030
Trinidad und Tobago	0,017	0,016
Uruguay	0,027	0,062
Venezuela	0,002	0,002

Tabelle 42: Industrie-Ölpreise aus Südamerika (2006)¹⁰

Land	Natural Gas for Industry (EUR/kWh)
Argentina	0,004
Barbados	0,049
Bolivia	0,004
Brazil	0,029
Chile	0,025
Colombia	0,018
Cuba	0,008
Peru	0,012
Trinidad und Tobago	0,006
Venezuela	0,001

Tabelle 43: Erdgaspreise in Südamerika (2006)¹¹

Land	Steam Coal for Industry (EUR/kWh)	Coking Coal for Industry (EUR/kWh)
Argentina	0,003	0,0031
Brazil	0,004	0,0091
Chile	0,007	0,0059
Colombia	0,002	0,0029
Costa Rica	0,008	
Cuba	0,007	
Jamaica	0,006	
Panama		0,0057

¹⁰ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 481ff

¹¹ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 490

Land	Steam Coal for Industry (EUR/kWh)	Coking Coal for Industry (EUR/kWh)
Peru	0,003	
Venezuela		0,0001

Tabelle 44: Kohlepreise in Südamerika (2006)¹²

Land	Electricity for Industry (EUR/kWh)
Argentina	0,027
Barbados	0,150
Bolivia	0,034
Brazil	0,082
Chile	0,061
Colombia	0,061
Costa Rica	0,048
Cuba	0,061
Dominican Republic	0,129
Ecuador	0,048
El Salvador	0,095
Grenada	0,129
Guatemala	0,075
Guyana	0,156
Haiti	0,068
Honduras	0,068
Jamaica	0,129
Nicaragua	0,116
Panama	0,068
Paraguay	0,027
Peru	0,048
Suriname	0,088
Trinidad und Tobago	0,034
Uruguay	0,048
Venezuela	0,020

Tabelle 45: Industriestrompreise in Südamerika (2006)¹³

¹² Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 493ff

¹³ Vgl. International Energy Agency, Energy Prices and Taxes Quarterly Statistics 2nd quarter 2009, (2009), S. 496