

Werner Duer, BSc

# Energiecontrolling als Teil des Energiemanagements zur optimalen Prozesssteuerung

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

der Studienrichtung Verfahrenstechnik

an der

Technischen Universität Graz



Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Schnitzer

Institut für Prozess- und Partikeltechnik

Technische Universität Graz

Graz, Pöls, im Juli 2012

### **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Ich versichere, dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, die auf unterschiedliche Weise einen wesentlichen Beitrag zur Durchführung und Vollendung dieser Masterarbeit geleistet haben.

Seitens der Zellstoff Pöls AG gilt mein Dank meinem Betreuer, Herrn Dipl.-Ing. Peter Herk, der mit seinem Fachwissen und seiner Erfahrung zur Umsetzung des Energiecontrollings beigetragen hat. Herrn Ing. Kurt Haberl gebührt mein Dank für sein Engagement rund um die behandelte Thematik, wodurch diese Masterarbeit erst zustande gekommen ist. Des Weiteren möchte ich dem Vorstandsvorsitzenden der Zellstoff Pöls AG, Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Kurt Maier, meinen Dank für die Unterstützung dieser Masterarbeit aussprechen und mich für die Möglichkeit bedanken, dass ich bereits während meiner Studienzeit im Zuge von Ferialarbeit Erfahrungen im Zellstoffwerk Pöls sammeln durfte.

Für die Betreuung seitens der Technischen Universität Graz gilt mein Dank Herrn Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Schnitzer vom Institut für Prozess- und Partikeltechnik, der mit seiner Bereitschaft, seinem Interesse an der Thematik und seiner Erfahrung wertvolle Beiträge zur der Umsetzung dieser Masterarbeit geleistet hat.

Besonderer Dank gilt meiner Familie und meiner Freundin Stefanie, die mich während meiner Studienzeit auf vielfältige Weise unterstützt und motiviert haben und allesamt wichtige Stützen für mich in meinem Leben sind.

Meinen Studienkollegen und Freunden danke ich für die interessante, ereignisreiche und schöne gemeinsame Studienzeit!

## KURZFASSUNG

Die effiziente Nutzung vorhandener Energiequellen sowie die Reduktion von Verbräuchen sind für Industrieunternehmen in Zeiten steigender Preise für fossile Energieträger und strenger werdender gesetzlicher Rahmenbedingungen Themen von zunehmender Relevanz. Aus diesen und weiteren Gründen ist die Anwendung eines zuverlässigen und anpassungsfähigen Erfassungssystems für Verbrauchsdaten in Betrieben mit hoher energiebezogener Leistung unerlässlich. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden EDV-gestützte Werkzeuge zur Ermittlung der monatlichen Erzeugungs- und Verbrauchsmengen an Dampf und elektrischem Strom sowie der Frisch- und Abwasserströme in der Zellstoff Pöls AG entwickelt und angewandt. Die mit Hilfe dieser Systeme erfassten Mengen und Verbräuche werden verursachungsgerecht auf die innerbetrieblich bestehenden Kostenstellen verteilt und in Form einer Übersicht ausgegeben. Der Einsatz dieser Erfassungssoftware erleichtert den Kostenstellenverantwortlichen den Einblick in die Verbrauchsdaten ihres Verantwortungsbereiches. Dabei erkannte Abweichungen vom energetischen Ausgangszustand können korrigierende Maßnahmen zur Folge haben, die bei kontinuierlicher Anwendung der Erfassungssysteme rasch ergriffen werden können. Zur Kompensation von auftretenden Messfehlern und Bilanzungenauigkeiten wird in der Software mit Anpassungsfaktoren gearbeitet, deren Höhe von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Messwerte abhängt. Das Erfassungssystem für Dampf ist am umfangreichsten und führt mit einem annähernd durchgängigen Messstellennetz zu einer sehr genauen Aufteilung der Mengen innerhalb der Kostenstellenstruktur. Ähnlich genau arbeitet die Software zur Erfassung der Erzeugung und des Verbrauchs von elektrischem Strom, wobei darin vermehrt mit Schätzwerten und prozentuellen Aufteilungsschlüsseln gearbeitet wird. Zur Erfassung der Frisch- und Abwassermengen stehen im Vergleich zu den anderen betrachteten Medien wenig Messungen zur Verfügung, weshalb die gemessenen Volumenströme in höherem Ausmaß korrigiert werden müssen, um geschlossene Bilanzen zu erreichen. Bestimmte Elemente aus der Software wurden erfolgreich dazu verwendet, Energieeinsparungspotentiale bei Modifikation von bestehenden Anlagen abzuschätzen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können einen wesentlichen Beitrag zu Investitionsentscheidungen leisten. Mit Hilfe des frei definierbaren Erfassungszeitraumes wurden Monatsverbräuche aus dem aktuellen Jahr mit jenen desselben Monats im Vorjahr verglichen und die erkannten Abweichungen aufgezeigt. Weiterer Inhalt dieser Arbeit ist ein Vergleich zwischen den ermittelten Verbrauchsdaten und den im letztgültigen BAT-Dokument veröffentlichten Werten. Für den Aufbau und die Einführung eines Energiemanagementsystems in der Zellstoff Pöls AG können die erstellten Systeme ebenfalls hilfreich sein.

## **ABSTRACT**

The efficient use of existing energy sources and the reduction of the energy consumption are topics of increasing relevance for many kinds of industries. Two reasons for this matter of fact are increasing prices for fossil fuels and stricter legal regulations. Therefore, the use of a reliable and adaptable acquisition system for consumption data is very important to companies with a high demand of energy.

Computerised tools for the determination of the produced and used quantities of steam and electrical power and the flows of fresh and waste water in the Zellstoff Pöls AG have been developed and applied in this thesis. The values collected by these systems are allocated to the internal existing cost centres according to their cause and are combined in the form of a list. The use of these programs provides an easier access for the staff to the consumption data of their responsibility. Recognized differences from an energetic base can lead to corrective measures which can be taken very quickly when the software is used continuously. To compensate occurring measurement errors and imbalances adjustment factors are used in the programs. These factors depend on the usable amount of measurement values.

The system for steam is the most extensive tool and provides a very accurate allocation of quantities to the cost centres using a nearly continuous network of measurements. The program for the determination of the produced and consumed amount of electrical power works with similar accuracy but more estimated values and partitioning factors are used. For the acquisition of the flows of fresh and waste water less measurement values are available. Because of this fact the measured flows must be changed in a higher degree to achieve closed balances.

Some elements of the software have been successfully used for the estimation of potentials for energy saving due to the modification of existing equipment. The results of these analyses can make an essential contribution to investment decisions. By the use of the free definable acquisition period in the software monthly consumption data of the current year have been determined and compared with data from the same month in the previous year. The discovered differences have been highlighted and discussed in this thesis. Further content of the following pages is the comparison of the established consumption data with the values which are published in the newest BAT document. The developed software tools can also be helpful for the design and implementation of an energy management system in the Zellstoff Pöls AG.

# INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG .....	III
ABSTRACT .....	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	IX
TABELLENVERZEICHNIS .....	X
ABKÜRZUNGEN .....	XI
1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung .....	2
1.3 Der Auftraggeber .....	3
1.4 Umfang der Arbeit .....	3
2 DIE ZELLSTOFF PÖLS AG.....	4
2.1 Das Zellstoffwerk Pöls .....	4
2.1.1 Holzaufbereitung .....	4
2.1.2 Faserlinie .....	5
2.1.3 Laugenlinie .....	7
3 STAND DER TECHNIK.....	12
3.1 Das Sulfatverfahren .....	12
3.2 Literatur .....	12
4 AUFBAU UND ANWENDUNG DES ENERGIECONTROLLINGS.....	17
4.1 Konzepterstellung .....	17
4.1.1 Betrachtete Medien .....	17
4.1.2 Rahmenbedingungen.....	17
4.1.3 Zielsetzung.....	17

4.1.4	Erfassungssoftware .....	18
4.2	Schaffung einer Datenbasis für das Energiecontrolling .....	18
4.2.1	Dampf.....	19
4.2.1.1	Bilanzierung.....	19
4.2.1.2	Verbrauchszuteilung.....	21
4.2.1.3	Speisewasservorwärmung im LK II.....	21
4.2.1.4	Verbrennungsluftvorwärmung im LK II .....	23
4.2.1.5	Sonstige Verbraucher .....	26
4.2.1.6	Anpassung der Verbräuche .....	26
4.2.1.7	Darstellung der Verbräuche als Energiemengen.....	31
4.2.1.8	Zusammenfassung der Verbräuche .....	32
4.2.1.9	Energiemenge im Kondensat.....	35
4.2.1.10	Aktuelle Datenerfassung.....	36
4.2.1.11	Anwendung des Energiecontrollings für Dampf.....	37
4.2.2	Strom .....	40
4.2.2.1	Bilanzierung.....	40
4.2.2.2	Alternative Ermittlung der Antriebsleistung .....	41
4.2.2.3	Verbrauchszuteilung.....	45
4.2.2.4	Anpassung der Verbräuche .....	47
4.2.2.5	Zusammenfassung der Verbräuche .....	50
4.2.2.6	Aktuelle Datenerfassung.....	52
4.2.2.7	Anwendung des Energiecontrollings für Strom.....	52
4.2.3	Frischwasser.....	61
4.2.3.1	Bilanzierung.....	61
4.2.3.2	Verbrauchszuteilung.....	62
4.2.3.3	Anpassung der Verbräuche .....	63
4.2.3.4	Änderungen und Verbesserungsmaßnahmen.....	65

4.2.3.5	Zusammenfassung der Verbräuche .....	66
4.2.4	Abwasser .....	68
4.2.4.1	Bilanzierung.....	68
4.2.4.2	Verbrauchszuteilung.....	69
4.2.4.3	Anpassung der Verbräuche .....	71
4.2.4.4	Änderungen und Verbesserungsmaßnahmen.....	74
4.2.4.5	Zusammenfassung der Verbräuche .....	74
5	WEITERFÜHRENDES OPTIMIERUNGSKONZEPT .....	77
5.1	Einführung eines Energiemanagementsystems .....	77
5.1.1	Grundlegendes [18].....	78
5.1.2	Anforderungen an ein Energiemanagementsystem .....	80
5.1.2.1	Allgemeine Anforderungen [18].....	80
5.1.2.2	Verantwortung des Managements [18].....	81
5.1.2.3	Energieplanung [18] .....	84
5.1.2.4	Einführung und Umsetzung [18] .....	86
5.1.3	Einführung eines EnMS in der Zellstoff Pöls AG .....	90
5.1.3.1	Aufgaben des Managements .....	90
5.1.3.2	Aufgaben des Managementbeauftragten.....	90
5.1.3.3	Zusammenfassung.....	93
5.2	Optimierung der Datenbasis .....	94
5.2.1	Revision und Erneuerung von Messungen .....	94
5.2.2	Installation von neuen Messungen.....	94
5.2.3	Anforderungen der Norm .....	95
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN, RESULTATE UND AUSBLICK .....	96
6.1	Die Erfassungssysteme.....	96
6.1.1	Energiecontrolling für Dampf .....	96



6.1.2	Energiecontrolling für Strom .....	97
6.1.3	Controlling für Frischwasser .....	97
6.1.4	Controlling für Abwasser.....	98
6.1.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	99
6.2	Der Standort Pöls im Vergleich .....	101
6.2.1	Wärmeenergie.....	101
6.2.2	Elektrische Energie.....	105
6.2.3	Zusammenfassung .....	107
LITERATURVERZEICHNIS .....		XII
ANHANG.....		XIV

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Schema des Laugenrückgewinnungskreislaufs; frei nach [3].....	8
Abbildung 2-2: Grundlegende chemische Reaktionen im Laugenkessel; frei nach [3].....	10
Abbildung 4-1: Bilanzraum Speisewasservorwärmung .....	22
Abbildung 4-2: Prinzipskizze Verbrennungsluftvorwärmung.....	24
Abbildung 4-3: Hilfskondensatoren im DND-Netz .....	28
Abbildung 4-4: Sankey-Diagramm: Dampfverteilung in der Zellstoff Pöls AG .....	34
Abbildung 4-5: Zu- und Abläufe des Hauptkondensatbehälters.....	36
Abbildung 4-6: Sankey-Diagramm: Verteilung der elektrischen Energie .....	51
Abbildung 4-7: Prinzipskizze der Stoffstromführung in den Sortierstufen I bis III .....	53
Abbildung 4-8: Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs des Primärsortierers 1 (P1).....	56
Abbildung 4-9: Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs des P2, S1 und T1 .....	57
Abbildung 4-10: Vorgabedaten für die Erfassung der Messwerte.....	60
Abbildung 4-11: Ausgabefeld für den Vergleich der Stromverbräuche.....	60
Abbildung 4-12: Prinzipschema der Frischwasserverteilung.....	62
Abbildung 4-13: Sankey-Diagramm: Verteilung der Frischwassermengen .....	67
Abbildung 4-14: Prinzipschema des Verlaufs der Abwasserlinien .....	69
Abbildung 4-15: Auszug aus dem Vergleich zwischen Ist- und Budgetwerten.....	75
Abbildung 4-16: Sankey-Diagramm: Verteilung der Abwassermengen.....	76
Abbildung 5-1: Modell eines EnMS nach dem PDCA-Zyklus; frei nach [18].....	80
Abbildung 5-2: Konzeptdiagramm des energetischen Planungsprozesses; frei nach [18] .....	86
Abbildung A-1: Übersicht Dampfverbräuche in [t] laut Energiecontrolling .....	XV
Abbildung A-2: Übersicht Dampfverbräuche in [GJ] laut Energiecontrolling.....	XVI
Abbildung A-3: Übersicht Stromverbräuche in [MWh] laut Energiecontrolling .....	XVII
Abbildung A-4: Übersicht Frischwassermengen in [m <sup>3</sup> ] laut Controlling.....	XVIII
Abbildung A-5: Übersicht Abwassermengen in [m <sup>3</sup> ] laut Controlling.....	XIX

Abbildung A-6: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 1.....	XX
Abbildung A-7: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 2.....	XXI

## **TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 2-1: Dampfstufen im Zellstoffwerk Pöls.....	9
Tabelle 4-1: Dampferzeuger im Zellstoffwerk Pöls.....	19
Tabelle 4-2: Mittlere DHD-Produktionen, 1. Quartal 2011 und 2012 .....	38
Tabelle 4-3: Spezifische mittlere DHD-Produktionen, 1. Quartal 2011 und 2012.....	39
Tabelle 4-4: Berechnete Antriebe, Departement Nachbleiche.....	42
Tabelle 4-5: Berechnete Antriebe, Departement Frischwasser/Kühltürme .....	43
Tabelle 4-6: Nennleistungen einiger Antriebe der Tallölanlage .....	47
Tabelle 4-7: Nennleistungen der Antriebe von Sortierstufe I bis III .....	54
Tabelle 4-8: Abs. und spez. Energiebedarf von P1 und P2 im Betrachtungszeitraum.....	55
Tabelle 4-9: Abs. und spez. Energiebedarf von S1 und T1 im Betrachtungszeitraum.....	56
Tabelle 4-10: Schätzwerte für den Frischwasserbedarf in einigen Kostenstellen.....	63
Tabelle 6-1: Kondensatmengen im 1. Quartal 2012, umgerechnet in Energiemengen.....	102
Tabelle 6-2: Erdgasmengen am DRO, umgerechnet in Energiemengen.....	102
Tabelle 6-3: Monatlicher Prozesswärmeenergiebedarf im 1. Quartal 2012.....	104
Tabelle 6-4: Monatlicher Prozesswärmeenergiebedarf im 2. Quartal 2012.....	105
Tabelle 6-5: Monatlicher elektrischer Energiebedarf im 1. Halbjahr 2012.....	106

## ABKÜRZUNGEN

ARA	Abwasserreinigungsanlage
DHD	Hochdruckdampf
DMD	Mitteldruckdampf
DND	Niederdruckdampf
DRO	Drehrohrofen
ECF	Elemental Chlorine Free (Elementar-Chlor-Frei)
EDA	Eindampfanlage
EnC	Energiecontrolling
EnMS	Energiemanagementsystem
EnPI	Energy Performance Indicator (Energieleistungskennzahl)
EVP	Energievertrauensperson
GVP	Gesundheitsvertrauensperson
HILKO	Hilfskondensator
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LK	Laugenverbrennungskessel
LUVO	Luftvorwärmer
PDCA	Plan-Do-Check-Act
SVP	Sicherheitsvertrauensperson
TS	Trockensubstanzgehalt

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 MOTIVATION

Das Themengebiet rund um den effizienten Einsatz von Energie gewinnt in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung. Steigende Rohöl- und Erdgaspreise erfordern ein Handeln im Bereich der effizienten und wirtschaftlichen Nutzung dieser Energieträger. Im Hinblick auf die schwindenden Ressourcen und die Problematik der Treibhausgase sind ein Umdenken und ein stetiger Wechsel von fossilen auf erneuerbare Energiequellen notwendig. Der Beschluss der EU sieht vor, dass der Anteil an erneuerbarer Energie am Bruttoendenergieverbrauch aller Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2020 auf 20 % angehoben wird. In Österreich lag dieser Anteil im Jahr 2010 bereits bei 31 %, muss aber, um den Vorgaben der EU gerecht zu werden, bis 2020 auf 34 % erhöht werden [10]. Ausgehend vom aktuellen Verbrauch an Erdöl und Erdgas sowie von den bekannten Reserven ergibt sich eine rechnerische Reichweite für Erdöl von ca. 43 Jahren. Für Erdgas beträgt dieser Wert in etwa 63 Jahre [15]. Natürlich werden im Laufe der Zeit die Technologien zur Förderung von Erdöl und Erdgas immer besser, weshalb diese Zahlen in ähnlicher Größenordnung schon seit Jahren und Jahrzehnten publiziert werden. Jedoch ist der Einsatz von immer aufwändigeren Fördermethoden mit höheren Kosten verbunden und geht langfristig auch mit einem Preisanstieg der fossilen Brennstoffe einher.

Egal ob aus Gründen der Kosteneinsparung oder der Reduktion von Treibhausgasen, die gemeinsamen Ziele zur Erreichung dieser Vorgaben lauten: Energieverbrauch senken, fossile Brennstoffe reduzieren und effiziente Technologien anwenden.

Die Basis für die Umsetzung jeder einzelnen genannten Maßnahme stellt eine solide und nachvollziehbare Aufzeichnung von Verbrauchsdaten dar. Im Privathaushalt reichen hierfür meist ein Stromzähler und Erfassungsgeräte zur Ermittlung der über die Heizkörper abgegebenen Wärmemenge aus. In Industrieunternehmen ist die Erfassung von Verbräuchen in den meisten Fällen aufwändiger. Abhängig von der Branche wird beispielsweise mit mehreren unterschiedlichen Energieträgern gearbeitet (Erdgas, Heizöl, Kohle, etc.) oder es steht verwertbare Energie in unterschiedlichen Formen zur Verfügung (Heizdampf, Abwärme, elektrischer Strom, etc.).

Ein Energiecontrolling-System kann in diesen Fällen ein hilfreiches Werkzeug darstellen und eine Vielzahl nützlicher Vorteile bieten. Durch Visualisierung der Verbrauchsdaten können Potentiale zur Energieeinsparung gefunden werden. Eine Analyse der Verbräuche über längere Zeiträume kann Trends sichtbar machen und beispielsweise Investitionen in Neuanlagen

mit prognostiziertem niedrigerem Energieverbrauch rechtfertigen. Durch Bildung von spezifischen Energiekennzahlen können Aussagen über die Energieeffizienz bestimmter Prozesse und Produktionsschritte getroffen werden. Die Anwendung eines Energiecontrolling-Systems kann wesentlich zur energieoptimalen Prozesssteuerung beitragen. Des Weiteren stellt eine solide Verbrauchsdatenbasis die Grundlage für den Aufbau und die Implementierung eines Energiemanagementsystems (EnMS) dar und bildet somit auch die Basis für eine mögliche Zertifizierung durch autorisierte Stellen.

## **1.2 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG**

Die zentrale Aufgabe dieser Masterarbeit ist es, ein EDV-gestütztes Erfassungssystem für Verbrauchsdaten sowie ein Energiecontrolling-System aufzubauen und anzuwenden. Mit diesem Werkzeug soll es möglich sein, neben der Erzeugung und dem Bedarf an elektrischem Strom und Dampf auch die Frisch- und Abwasserströme verursachungsgerecht den betreffenden Kostenstellen zuzuweisen. Jeweils am Monatsbeginn sollen damit die Verbräuche aus dem Vormonat dargestellt werden können. Ein separates Software-Tool zur Anzeige des aktuellen Energiestatus soll ebenfalls erstellt werden.

Nach der Fertigstellung des Energiecontrolling-Systems sollen die Verbrauchswerte mit dem aktuellen BAT-Dokument (BAT = Best Available Technique) für die Papier- und Zellstoffindustrie verglichen und eine Aussage über die Energieeffizienz des Standortes Pöls getroffen werden.

Einen weiteren Bestandteil der Aufgabenstellung bildet die Definition der Anforderungen und notwendigen Maßnahmen für den Aufbau und die Einführung eines Energiemanagementsystems nach ISO 50001:2011 in der Zellstoff Pöls AG.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Werkzeug zu erstellen, das es ermöglicht, jedem Kostenstellenverantwortlichen im Betrieb einen einfachen Zugang zu den Verbrauchsdaten der Anlagen in seinem Verantwortungsbereich zu geben. Durch Anwendung des Energiecontrolling-Systems sollen schnell Abweichungen vom Normalbetrieb erkannt werden, um zeitgerecht Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Die zentrale Datenerfassung und die monatliche Auflistung der Verbrauchswerte nach Kostenstellen sollen gewährleisten, dass es in Zukunft innerhalb des Betriebes nur mehr eine „Datenwahrheit“ gibt und alle Abteilungen mit diesen Werten arbeiten.

### 1.3 DER AUFTRAGGEBER

Diese Masterarbeit wurde im Auftrag der Zellstoff Pöls AG verfasst. Das Unternehmen stellt den größten Produzenten von Elementar-Chlor-Freiem (ECF) Langfaser-Sulfatzellstoff in Mittel- und Südosteuropa dar. Neben dem Hauptprodukt Zellstoff, der im Bogenformat und als in Ballen gepresste Flockenware vertrieben wird, werden 14.000 Jahrestonnen Papier hergestellt. Im Jahr 2011 wurde *Energie* neben Zellstoff und Papier als weiteres Produkt der Zellstoff Pöls AG definiert und als Produktgruppe für *Strom* und *Wärme* eingeführt. Mit Hilfe einer neuen Kondensationsturbine wird neben der Befriedigung des Eigenbedarfs der Fabrik zusätzlich elektrischer Strom in das öffentliche 110 kV-Netz eingespeist.

Durch Nutzung der Abwärme des Brüdendampfsystems der Eindampfanlage wird seit Dezember 2011 das örtliche Fernwärmenetz mit thermischer Energie versorgt. Über eine ca. 18 km lange Versorgungsleitung werden Haushalte und Firmen im Aichfeld mit Wärmeenergie beliefert.

Die Investitionen im Energiebereich und die zusätzlichen Produkte *Strom* und *Wärme* unterstreichen die Wichtigkeit eines Erfassungssystems für Erzeugungs- und Verbrauchsdaten. Diese und jene unter Punkt 1.1 erwähnten Tatsachen gaben den Ausschlag zur Bearbeitung der Thematik in Form einer Masterarbeit.

### 1.4 UMFANG DER ARBEIT

Im folgenden Kapitel 2 dieser Arbeit werden die produktionsinternen Abläufe der Zellstoff Pöls AG näher erläutert. Kapitel 3 befasst sich mit dem Stand der Technik in der Zellstoffherstellung und in den Bereichen Energiecontrolling bzw. Energiemanagement. Darin werden das Sulfatverfahren behandelt sowie ausgewählte Literaturquellen zitiert, die in Verbindung mit der Thematik dieser Masterarbeit stehen. Das Kapitel 4 bildet den Hauptteil der Arbeit, in welchem zu Beginn auf die Konzepterstellung und die Rahmenbedingungen eingegangen wird. Anschließend werden die erstellten Erfassungssysteme für jedes betrachtete Medium separat vorgestellt und deren Details näher beschrieben. Am Ende der Unterkapitel zu den jeweiligen Medien werden konkrete Beispiele für die Anwendung der Software gegeben. In Kapitel 5 wird auf die Anforderungen für den Aufbau und die Umsetzung eines Energiemanagementsystems gemäß der bestehenden Norm eingegangen. Des Weiteren werden Möglichkeiten zur Optimierung der vorhandenen Datenbasis aufgezeigt. Kapitel 6 bildet den Abschluss dieser Masterarbeit und enthält Schlussfolgerungen zu den erstellten Erfassungssystemen sowie einen Ausblick auf weiterführende Tätigkeiten im Themengebiet Energiecontrolling und Energiemanagement.

## 2 DIE ZELLSTOFF PÖLS AG

### 2.1 DAS ZELLSTOFFWERK PÖLS

Am Standort Pöls wird seit dem Jahr 1700 Papier erzeugt. In der *Reifensteiner Papiermühle* wurden zur damaligen Zeit Hadern (verschiedenste Textilien und Stoffreste) als Rohstoff verwendet. Im Laufe der Zeit veränderte sich nicht nur das äußere Erscheinungsbild der Fabrik, es erfolgte eine Verlagerung des Produktionsfokus auf Zellstoff. Bis zum Jahr 1984 wurde in Pöls Zellstoff im Sulfit-Verfahren hergestellt. Danach erfolgte die Umstellung auf den Sulfat-Prozess, der bis heute zur Herstellung von Langfaser-Zellstoff genutzt wird [1].

Im Zuge von Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen wurde die Fabrik permanent erweitert. Während 1984 noch ca. 600 Tagedonnen Zellstoff produziert wurden, kann die Anlage heute mit über 1.200 t/d gefahren werden. Parallel zur Steigerung der Produktionskapazität wurden auch Maßnahmen zur Verringerung der Schadstoffemissionen und zur Förderung des Umweltschutzes umgesetzt.

Neben der Holzaufbereitung kann das Zellstoffwerk Pöls grundsätzlich in zwei Hauptbereiche eingeteilt werden. Diese sind die *Faserlinie* und die *Laugenlinie*. Innerhalb dieser Produktionslinien erfolgt innerbetrieblich eine Einteilung in Departements (Abteilungen). Im Folgenden wird, beginnend mit der Holzaufbereitung anhand der Hauptbereiche ein kurzer Überblick über die Produktionsprozesse innerhalb des Zellstoffwerks gegeben. Die Informationen in den nachstehenden Unterkapiteln stammen aus diversen firmeninternen Schulungsunterlagen, Betriebshandbüchern, Gesprächen mit Mitarbeitern und basieren auf persönlichen Erfahrungswerten. Aus diesen Gründen kann für den folgenden Teil dieser Arbeit keine eindeutige Literaturquelle angegeben werden.

#### 2.1.1 Holzaufbereitung

Der Rohstoff Holz für die Zellstoffproduktion wird per Bahn bzw. per LKW angeliefert und am Holzplatz übernommen. Die Zellstoff Pöls AG verarbeitet täglich in etwa 5.500 fm Rund- und Sägerestholz, das sich vorwiegend aus regionalem Durchforstungsholz und Abfallholz der österreichischen Sägeindustrie zusammensetzt. Die in Pöls verarbeiteten Holzsorten sind Fichte, Kiefer und Lärche in Anteilen von ca. 72 %, 23 % und 5 %. Das Rundholz, d.h. die Stämme in unterschiedlichen Längen, werden zunächst auf ein passendes Maß zurechtgeschnitten und anschließend in einer Entrindungsstrommel von der Rinde befreit. Danach wird das Holz zu Hackschnitzeln mit einer für den Kochprozess optimalen Größe zerkleinert und



auf einem sogenannten Pile zwischengelagert. Das Sägerestholz wird bereits in Form von Hackschnitzeln angeliefert und auf einem separaten Pile deponiert. Ein Grund für die getrennte Lagerung sind Qualitätsunterschiede zwischen dem Eigen- und dem Fremdhackgut. Um eine optimale Kochung zu erreichen, müssen die eingesetzten Hackschnitzel bestimmte Abmessungen und Schnittwinkel aufweisen, die durch das Hacken des Rundholzes am Holzplatz erreicht werden. Das angelieferte Sägerestholz weist nicht immer die gewünschten Eigenschaften auf, wodurch es zu Problemen während des Kochvorgangs kommen kann. Daher wird das Rund- und Restholz separat gelagert, damit es in einem frei definierbaren Verhältnis dem Produktionsprozess zugeführt werden kann.

Die Hackschnitzel gelangen über ein Gurtband-Fördersystem von den Piles zur Dickensortierung, wo das Holz in zwei Fraktionen aufgeteilt wird. Der Feinstoff, der eine für die Weiterverarbeitung zu geringe Größe aufweist, wird aus dem Prozess entfernt. Zu grobe Holzstücke und Spanholz werden mit Hilfe zweier Quetschwalzen innerhalb der Sortieranlage gebrochen und somit auf das notwendige Maß gebracht.

Von der Hackschnitzel-Dickensortierung gelangt das Hackgut über beheizte Förderbänder zum Imprägnierbehälter der Kocherei, der den Beginn der *Faserlinie* darstellt.

### **2.1.2 Faserlinie**

Die *Faserlinie* ist in folgende Hauptabteilungen gegliedert:

- Kocherei
- Vorsortierung
- O<sub>2</sub>-Bleiche
- Nachbleiche
- Nachsortierung
- Zellstoffentwässerung, -trocknung und -verpackung

Den Beginn der Kocherei bildet der Imprägnierbehälter (IMPBIN), in welchem die Hackschnitzel mit einem Gemisch aus Weiß- und Schwarzlauge erwärmt und imprägniert werden. Mit Hilfe von Entspannungs- bzw. Niederdruckdampf wird das Holz zusätzlich erwärmt, gleichzeitig erfolgt eine Entgasung des Hackgutes über den gesamten Querschnitt des Behälters. Die gequollenen und imprägnierten Hackschnitzel werden anschließend mittels einer Hochdruckschleuse zur Spitze des Kochers befördert, dem Anlagenkern der Kocherei. In diesem ca. 52 m hohen und 6 m breiten zylindrischen Behälter wird das vorbehandelte Hackgut bei einem Druck von etwa 7 bar und Temperaturen zwischen 160 und 170 °C in so ge-

nannter Weißlaugung aufgeschlossen. Weißlaugung ist eine wässrige, stark alkalische Lösung und beinhaltet die aktiven Kochchemikalien Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) und Natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), sowie die inaktiven Chemikalien Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Soda), Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), Natriumthiosulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) und Natriumsulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Während der Kochung wird das in der Laugung lösliche Lignin von den Zellstofffasern im Holz getrennt. Die Hackschnittelsäule im Kocher wird durch ihr Eigengewicht nach unten bewegt, aufgrund des Druckunterschiedes aus dem Behälter entfernt und gelangt in den Druckdiffuseur, der ersten Stufe der Zellstoffwäsche. Das gelöste Lignin verleiht der Kochlaugung eine dunkle Färbung, weshalb sie nach der Kochung auch Schwarzlaugung genannt wird. Diese wird nach dem Kochprozess zur Eindampfanlage gepumpt. Die in der Kocherei entstehenden terpeninhaltigen Dämpfe werden mit Hilfe von drei Terpenkondensatoren kondensiert, über einen Dekanter geleitet und gelangen anschließend in einen Lagertank.

In der Vorsortierung werden übergroße Holzstücke und andere feste Verunreinigungen aus dem aufgeschlossenen Zellstoff entfernt. Dies geschieht in einem dreistufigen Prozess, wobei aussortiertes Holzmaterial in einem Refiner zerkleinert und dem Zellstoff wieder beigemischt wird. In zwei hintereinander geschalteten Waschpressen wird der Zellstoff weiter aufgereinigt, bevor er in die  $\text{O}_2$ -Bleiche gelangt.

Um das restliche Lignin aus dem Zellstoff zu entfernen und somit dessen Weiße zu erhöhen, wird dieser mit Sauerstoff beaufschlagt und zu zwei in Serie angeordneten Reaktoren geleitet. Anschließend durchläuft der Zellstoff eine weitere Waschpresse sowie ein Filter, wo er unter Verwendung von Brüdenkondensat aus der Eindampfanlage bzw. Warm- oder Heißwasser gewaschen wird.

Nach der  $\text{O}_2$ -Bleiche gelangt der Zellstoff in die mehrstufige Nachbleiche, um das verbleibende Restlignin vollständig aus dem Produktstrom zu entfernen. Durch die selektive Wirkung unterschiedlicher Bleichchemikalien wird in diesem Prozess der gewünschte Weißegrad des Zellstoffs erreicht. In der Nachbleiche wird Chlordioxid ( $\text{ClO}_2$ ) verwendet, das in der werksinternen Bleichchemikalienaufbereitung aus Natriumchlorat ( $\text{NaClO}_3$ ) und Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) in einer stark schwefelsauren Lösung hergestellt wird. Des Weiteren kommt Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) als Bleichchemikalie zum Einsatz. Zwischen den einzelnen Stufen der Bleiche wird der Zellstoff in speziellen Filtern gewaschen. Das delignifizierte Produkt wird am Ende dieses Produktionsbereiches in zwei Stapelbehältern mit jeweils  $3.000 \text{ m}^3$  Fassungsvermögen zwischengelagert.

In diesen Tanks wird der Zellstoff verdünnt und anschließend in eine Stoffbütte gepumpt. Von dort gelangt dieser in einen Schwerteilsortierer und wird im Anschluss in einer 7-stufigen Sortieranlage in Gutstoff und Rejekt aufgetrennt. Das Accept jeder Sortierstufe wird jeweils der vorherigen Stufe zugeführt, das Rejekt wird in der jeweils darauf folgenden Stufe behandelt. Der Gutstoff der Sortierstufe I wird mit Hilfe eines Druckeindickers aufkonzentriert und danach in zwei separaten Stoffbüetten zwischengelagert. Das Rejekt aus der Stufe VII gelangt in den Kanal und wird in der werksinternen Abwasserreinigungsanlage nachbehandelt.

Aus den beiden Stoffbüetten der Nachsortierung wird der Zellstoff zu zwei unterschiedlichen Entwässerungs- und Trocknungsanlagen geführt: zum Flockentrockner und zum Bahntrockner. Vor dem Eintritt in den Flockentrockner wird der Zellstoff auf einer Doppelsiebpresse mechanisch entwässert und im Anschluss in einer speziellen Anlage in Flocken gerissen. Diese werden in einem heißen Luftstrom mehrstufig getrocknet und über Schächte zu einer Presskammer geführt. Dort werden die Flocken zu Ballen verpresst, anschließend mit einem Zellstoffbogen (auch Emballageblatt genannt) umhüllt und mit Draht verschnürt. Der verpackte Zellstoff wird danach zum Zellstofflager transportiert.

Bevor der Zellstoff in den Bahntrockner gelangt, erfolgt ebenfalls eine mechanische Entwässerung auf einer Doppelsiebpresse. Die vorentwässerte Zellstoffbahn wird im Bahntrockner durch einen beheizten Luftstrom in Schwebelage gehalten und mehrmals umgelenkt. Am Austritt des Trockners wird die Bahn in das gewünschte Format geschnitten, in Ballen verpackt und für die Lagerung vorbereitet.

### **2.1.3 Laugenlinie**

Dieser Hauptbereich der Produktion dient der Rückgewinnung der zur Kochung eingesetzten aktiven Chemikalien sowie der Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie. Die Kernprozesse dieses Bereiches sind in Abbildung 2-1 dargestellt.

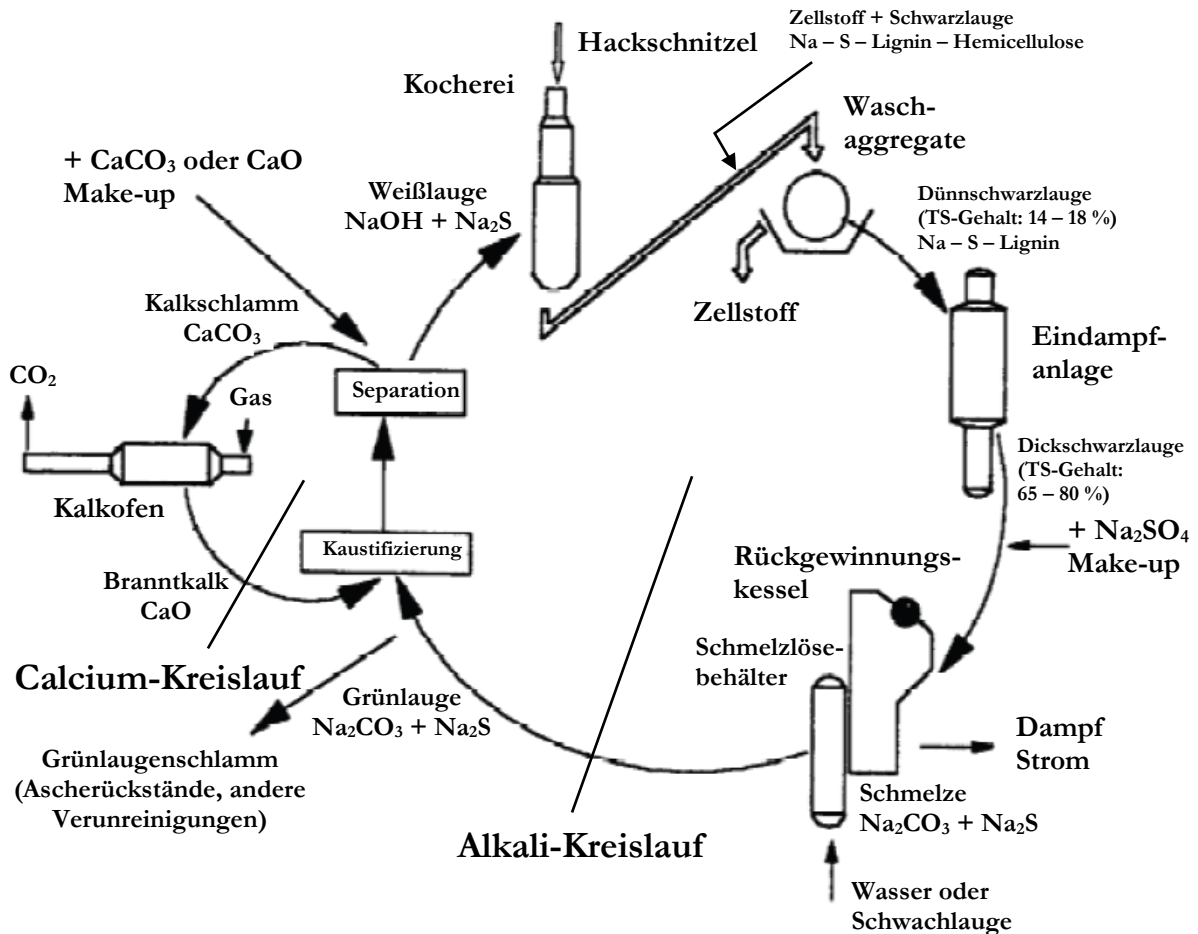


Abbildung 2-1: Schema des Laugenrückgewinnungskreislaufs; frei nach [3]

Die Laugenlinie besteht aus folgenden wesentlichen Hauptbereichen:

- Eindampfanlage
- Laugenverbrennungskessel
- Dampfturbinen
- Kaustifizierung
- Kalkofen

Wie bereits erwähnt werden die Hackschnitzel im Kocher durch die aktiven Chemikalien Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) und Natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) aufgeschlossen. Dabei wird das Lignin von der Zellstofffaser getrennt und geht in Lösung. Diese Dünnschwarzlauge wird aus der Anlage abgezogen und mit einem Trockensubstanzgehalt (TS) zwischen 17 und 18 % zur Eindampfanlage gepumpt. In neun Verdampfern und fünf Konzentratoren, die insgesamt sechs thermische Stufen bilden, wird die Trockensubstanz in der Lauge auf 78 – 80 % erhöht. Die Eindampfanlage ist auf eine Wasserverdampfungsleistung von 450 t/h ausgelegt und verarbeitet im Normalbetrieb an die 500 m<sup>3</sup> Dünnschwarzlauge in der Stunde.

Die eingedickte Schwarzlauge (Dicklauge) gelangt von der Eindampfanlage zum Laugenverbrennungskessel (LK), wird dort über insgesamt acht Zerstäuberlanzen in die Brennkammer eingespritzt und im aufsteigenden heißen Rauchgasstrom getrocknet. Anschließend sammelt sich die Schwarzlauge am Boden des Feuerraumes, wo die Verbrennung erfolgt. Dabei wird das in der Dicklauge enthaltene Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) zu Natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) reduziert und sammelt sich mit anderen Reaktionsprodukten in Form einer Schmelze am Kesselboden. Die bei der Reaktion freiwerdende Wärmeenergie wird zur Erzeugung von Hochdruckdampf genutzt. Eine schematische Darstellung des Laugenkessels sowie die grundlegenden darin ablaufenden chemischen Reaktionen sind in Abbildung 2-2 auf Seite 10 dargestellt.

Die reduzierende Atmosphäre am Brennkammerboden wird durch Einstellung der Verbrennungsluftmenge erreicht. Dieser Bereich wird über das Primärluftgebläse versorgt, welches 30 % der gesamten Luftmenge in den Feuerraum einbringt. Vergaste und unvollständig verbrannte Stoffe werden in der Sekundärluftebene, welche sich etwa einen Meter über dem Primärluftgebläse befindet, verbrannt. Durch das über den Sekundärluftdüsen installierte Tertiärluftgebläse soll gewährleistet werden, dass alle gasförmigen Komponenten verbrannt werden. Dieses Gebläse versorgt die Brennkammer mit etwa 30 % der gesamten Verbrennungsluft. Starkgase, welche während der Kochung und Eindampfung entstehen, sowie Terpentin und Methanol werden ebenfalls im Laugenkessel verbrannt.

Der erzeugte Hochdruckdampf (DHD) wird von den Überhitzern zu einer Gegendruck- und einer Kondensationsturbine geführt, wo ein Teil seines Energieinhaltes für die Stromerzeugung verwendet wird. Der Abdampf der Turbinen wird in zwei Druckstufen entnommen und im Werk in Form von Mitteldruckdampf (DMD) und Niederdruckdampf (DND) als Heizmedium in den einzelnen Departements genutzt. Tabelle 2-1 zeigt die in der Zellstofffabrik anfallenden und verwendeten Dampfstufen sowie deren Druck  $p$ , Temperatur  $T$  und spezifische Enthalpie  $h$  [2].

**Tabelle 2-1:** Dampfstufen im Zellstoffwerk Pöls

<b>Dampfstufe</b>	<b>p</b> [bar <sub>v</sub> ]	<b>T</b> [°C]	<b>h</b> [G]/t
DHD	68,6	468	3,33
DMD	11,0	206	2,83
DND	4,5	172	2,79

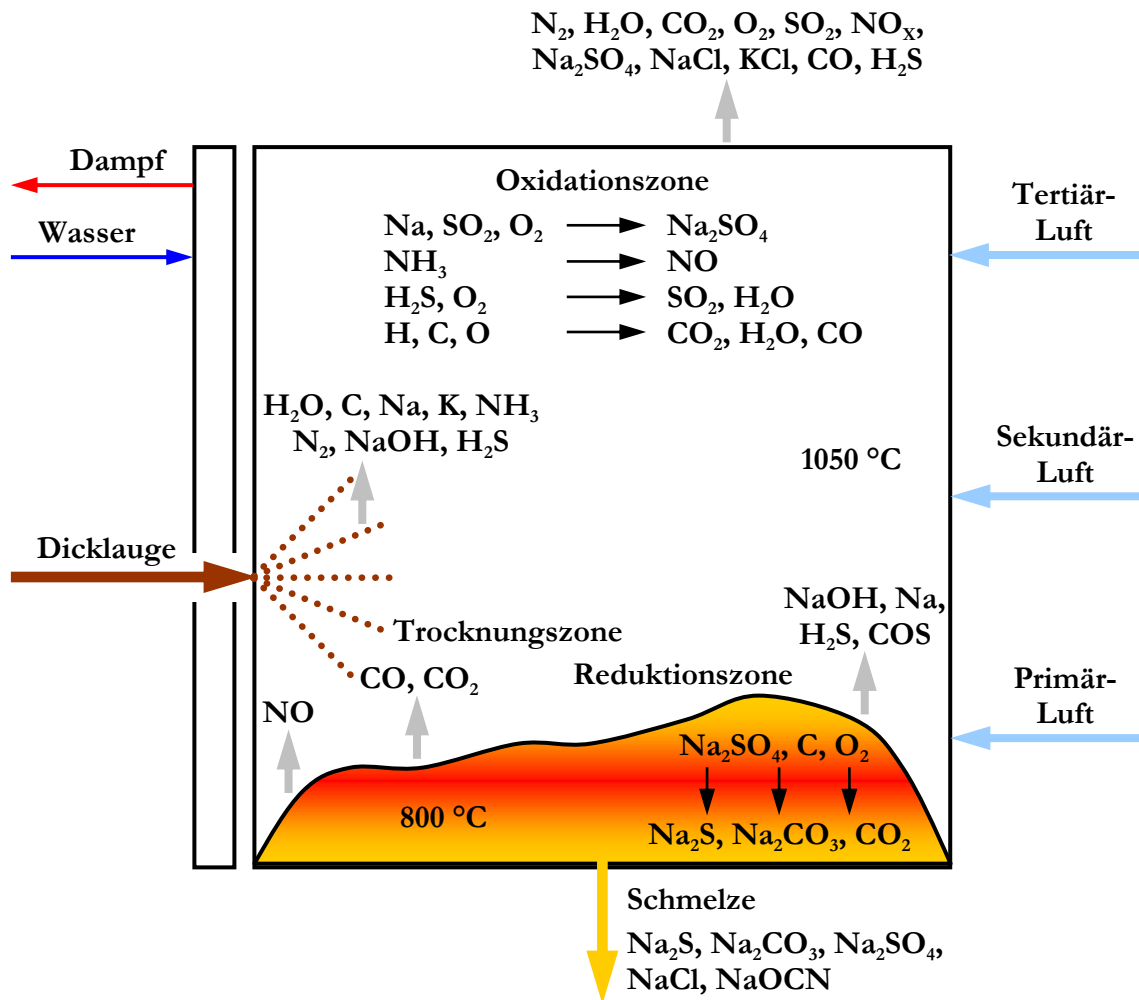


Abbildung 2-2: Grundlegende chemische Reaktionen im Laugenkessel; frei nach [3]

Die Gegendruckturbine arbeitet im Normalbetrieb bei einem konstanten Zulauf von 130 t DHD pro Stunde und erzeugt dabei zwischen 16 und 17 MW elektrische Energie. In der Kondensationsturbine wird der Hochdruckdampf unter Abgabe von Energie für die Verstromung sowie in das Mittel- und Niederdruckdampfnetz bis ins Nassdampfgebiet entspannt. Die Kondensationsturbine wird je nach Verfügbarkeit von DHD betrieben und weist eine maximale Leistung von 50 MW auf.

Die rotglühende Schmelze am Boden des Laugenkessels beinhaltet hauptsächlich Natriumsulfid ( $Na_2S$ ) und Natriumcarbonat ( $Na_2CO_3$ ), wird über wassergekühlte Schmelzrinnen aus dem Feuerraum entfernt und anschließend mit Schwachlauge zur sogenannten Grünlauge verdünnt. Nach der Verdünnung im Schmelzlösebehälter wird die Grünlauge in die Kaustifizierung geleitet.

In diesem Anlagenteil findet mit Hilfe von kontrolliert ablaufenden chemischen Reaktionen die Rückgewinnung der für den Kochprozess erforderlichen Natronlauge ( $NaOH$ ) statt. Die vom Laugenkessel kommende Grünlauge gelangt in zwei parallel geschaltete Klärer, wo sich Feststoffe aus der Flüssigkeit absetzen können. Nach anschließender Kühlung der Lauge wird

diese in den Kalklöcher geleitet, worin unter Zugabe von Calciumoxid ( $\text{CaO}$ , Branntkalk) die erste chemische Reaktion abläuft. Dabei reagiert der wässrige Anteil der Grünlauge unter Freisetzung von Wärme mit dem Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ) zu Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Diese Reaktion wird als Kalklöschung bezeichnet, das Produkt Calciumhydroxid nennt man daher auch Löschkalk. Vom Kalklöcher wird die  $\text{Ca(OH)}_2$ -Lösung (Kalkmilch) in drei hintereinander geschaltete Kaustifizierbehälter geführt, wo die zweite chemische Reaktion stattfindet, nach welcher der gesamte Prozess benannt ist. Dabei reagiert das Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) mit dem Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) in der Lauge zu Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ ) und Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Diese Reaktionsprodukte werden als Suspension zum Weißlaugenfilter gepumpt, in dem die Weißlauge ( $\text{NaOH}$ ) vom Kalkschlamm ( $\text{CaCO}_3$ ) getrennt wird. Die regenerierte Weißlauge wird in der Kocherei verwendet, der Kalkschlamm wird mit Hilfe eines Vakuumfilters von der Flüssigphase getrennt. Die abgezogene Flüssigkeit wird im Laugenkessel als Schwachlauge zur Auflösung der Schmelze bzw. zur Grünlaugenvorbereitung eingesetzt. Der Kalkschlamm weist nach dem Filter einen Trockenstoffgehalt von 75 bis 78 %, wird anschließend im Kalktrockner auf annähernd 100 % TS entwässert und in den Kalkofen eingebracht.

Der Kalkofen ist als Drehrohrofen ausgeführt und dient dazu, das Calciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) wieder in Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ) zu überführen. Die zugrunde liegende Reaktion ist stark endotherm und beginnt erst bei einer Temperatur von ca. 850 °C. Im Drehrohrofen wird daher die notwendige Wärmeenergie über einen Gasbrenner eingebracht, der eine Temperatur in der Brennzone von 1100 °C ermöglicht. Der gebrannte Kalk wird nach dem Ofen in einem Silo zwischengelagert und erneut für die Kalklöschung in der Kaustifizierung eingesetzt.

Die Chemikalienrückgewinnung geht in einem hydraulisch geschlossenen Kreislauf vonstatten. Im Laufe des Betriebs ist es jedoch notwendig, Kalkschlamm auszuschleusen, um verbrauchtes und inertes Material aus dem Kreislauf zu entfernen. Dabei wird der Drehrohrofen für einen bestimmten Zeitraum nicht mit Kalkschlamm beschickt und somit auch kein Branntkalk produziert. In der Zeit des Ausschleusens und auch während des Normalbetriebs wird der Kalklöcher mit Branntkalk und zugekauftem Fremdkalk in einem definierten Verhältnis gespeist.

## 3 STAND DER TECHNIK

### 3.1 DAS SULFATVERFAHREN

Ungefähr 80 % des weltweit hergestellten Zellstoffs werden nach dem Sulfat- bzw. Kraftverfahren erzeugt. Dieser Prozess stellt damit die am häufigsten verwendete chemische Aufschlussmethode in diesem Industriesektor dar. Das Sulfatverfahren zur Zellstoffherstellung verlor in den letzten Jahren kontinuierlich an Bedeutung, was zur Folge hatte, dass der Anteil an Sulfatzellstoff an der weltweiten Produktion heute in etwa bei 10 % liegt. Die Bezeichnung *Sulfatverfahren* ist auf die Chemikalie Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , auch Glaubersalz genannt) zurückzuführen, welche im Laugenrückgewinnungskreislauf als „Make-up-Chemikalie“ eingebracht wird, um auftretende Verluste zu kompensieren [3].

Aufgrund des effizienten Chemikalienrückgewinnungssystems und der hervorragenden Festigkeitseigenschaften des produzierten Zellstoffs ist das Sulfatverfahren in der Zellstoffindustrie dominierend [3].

### 3.2 LITERATUR

In diesem Kapitel werden Literaturquellen zu den Themen Energiecontrolling bzw. Energiemanagement angegeben und deren wesentlicher Inhalt kurz zusammengefasst.

Nach PAUL lautet das oberste Ziel im industriellen Energiecontrolling folgendermaßen: „Senken der Energiekosten ohne Gefährdung der Verbrauchsanforderungen und ohne Qualitätsminderung der Produkte“. Ohne geeignete Hilfsmittel sind die Verantwortlichen mit dieser Aufgabe meist überfordert, da es hierfür nicht genügt, die monatlichen Verbrauchszähler abzulesen oder durch eine Online-Messung zu erfassen. Eine Grundfunktion des industriellen Energiecontrollings ist daher die verursachergerechte Zuweisung von Mengen, Leistungen und Kosten auf die betreffenden Kostenstellen. Durch ein derartiges Kostenstellenmanagement wird dem Einzelnen ein Überblick über die in seiner Verantwortung liegenden Energieverbraucher und die dadurch verursachten Arbeits- und Leistungskosten für das Unternehmen ermöglicht. Das Energiecontrolling im eigentlichen Sinn beginnt im Anschluss durch das Aufspüren von Verlusten, das Erkennen von unnötigen Maschinenlaufzeiten, die Bildung von Verbrauchskennzahlen, die dynamische Sollwertvorgabe, die Lastregelung und Lastspitzenverlagerung und weiteren im Einzelfall geeigneten Maßnahmen. PAUL definiert 12 Grundfunktionen eines Energiecontrolling-Systems, einige davon werden im Folgenden kurz beschrieben. Mit einem derartigen System müssen Mess- und Zählerwerte aus inhomogenen Datenquellen



erfasst und in weiterer Folge in geeigneter Form verwaltet werden können. Um Daten miteinander vergleichen zu können, die mit unterschiedlichem Takt abgefragt werden, ist eine automatische Verdichtung zu höheren Archivklassen erforderlich. Des Weiteren muss das System über Methoden zur Plausibilitätsprüfung und Ersatzwertbildung verfügen, um die Gesamtfunktion bei einzelnen Messwertausfällen erhalten zu können. Messfehler und Netzverluste sind ebenfalls zu berücksichtigen. Das Energiecontrolling-System muss hierbei die Flexibilität bieten, die Verluste entweder auf alle Verbraucher anteilig zu verteilen oder diese gesondert für den Netzbetreiber auszuweisen. Die Verteilfunktionen auf die bestehenden Kostenstellen sollten auch nach Änderungen in der Kostenstellenstruktur frei konfiguriert werden können. Neben einer Monitoring-Funktion zur grafischen und tabellarischen Wertedarstellung über beliebige Zeiträume und Archivklassen muss im Energiecontrolling-System die Möglichkeit bestehen, mathematische Funktionen zur Abbildung von Targets und Benchmarks definieren zu können. Vorteilhaft ist auch die Konfiguration von Alarmen und Meldungen bei Grenzwertverletzungen. Das System sollte über die Möglichkeit einer intelligenten Mengen- und Kostenabfrage verfügen, d.h. der Bediener muss die gewünschten Werte erhalten können, ohne Detailkenntnisse über die Kostenstellenstruktur, die Energietarife, usw. zu benötigen. Mit dem Energiecontrolling-System müssen Berichte erstellt werden können, wobei die freie Definition beliebiger Formate, Layouts und Inhalte möglich sein sollte [5].

LEVEN zeigt am Beispiel einer Lackiererei in der Automobilindustrie ein mögliches Vorgehen zur Erfassung energierelevanter Daten als Basis für ein effizientes Energiemanagement. Ziel dieser Untersuchungen ist die Entwicklung eines Konzepts, mit dem unter Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses die Voraussetzungen für eine verbesserte Transparenz in Bezug auf den Energieverbrauch und dessen Zuordnung zu einzelnen Verantwortungsbereichen geschaffen werden kann. Hierfür werden die Möglichkeiten einer kontinuierlichen Überwachung der Effizienz und des ordnungsgemäßen Betriebs von Anlagen, die wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, ebenfalls analysiert. Weitere Inhalte des Konzepts sind die Identifikation von Einsparpotentialen und die Bewertung der Zielerreichung und damit des Erfolgs umgesetzter Energiesparmaßnahmen. LEVEN vergleicht verschiedene Verfahren zur Datenerfassung und zeigt auf, dass eine kontinuierliche Datenerfassung gegenüber weniger aufwändigen Verfahren deutliche Vorteile aufweist. Er schlägt weiters vor, unter Beachtung folgender Kriterien ein individuelles Konzept für die einzelnen betrachteten Medien zu erstellen:

- Energiekostenanteil der einzelnen Medien
- Struktur der Versorgungsnetze und Verbraucher
- Energiekosten pro Jahr und Zähler
- Möglichkeiten einer theoretischen Bestimmung des Anlagenverbrauchs
- Möglichkeiten zur Beeinflussung des Energieverbrauchs

Aufgrund der verzweigten Netzgestaltung und der vielen Verbraucher führen diese Betrachtungen beim Energieträger Strom in der Regel zu einer spezifisch höheren Anzahl von Messstellen (pro € Stromverbrauch und Jahr) als bei anderen Energieträgern. Die Anschaffung von Messgeräten für Erdgas und Wärme ist mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden, weswegen bei wenigen großen Verbrauchern die Installation weniger Messgeräte empfohlen wird [6].

PROST ET AL untersuchten unterschiedliche Methoden zur innerbetrieblichen Verrechnung von Energiekosten anhand der Leichtmetallgießerei eines Automobilkonzerns. Im Zuge ihrer Arbeit wurden fünf Verrechnungsmodelle für elektrische Energie miteinander verglichen, welche von „streng verursachergerecht“ bis „pauschal“ eingestuft werden können. In Modell 1 werden die Verbräuche aller Öfen und Maschinen als Eingangsdaten verwendet sowie der Stromverbrauch für Beleuchtung und Belüftung in Abhängigkeit ihrer Flächennutzungsart zugeordnet. Der restliche Stromverbrauch wird auf die einzelnen Kostenstellen abhängig von ihrem Maschinenverbrauch am Gesamtmaschinenverbrauch des Gebäudeabschnitts verteilt. Während das Modell 1 die tatsächliche Verbrauchsstruktur am genauesten abbildet und dabei zugleich am aufwändigsten ist, nehmen Kosten und Nutzen bis zum Modell 5 stetig ab. Auch der Aufwand für die Erstellung des Verrechnungsmodells sinkt mit aufsteigender Nummerierung. Beispielsweise werden für das Modell 5 lediglich der Stromverbrauch des betrachteten Gebäudeabschnitts und die Flächenangaben der Kostenstellen als Verrechnungsbasis verwendet. Die Ergebnisse der Untersuchungen führten zur Empfehlung, für die Energiekostenverrechnung das Modell 1 bzw. Modell 2 zu verwenden. Mit einmalig hohen Investitionskosten ist ein hoher Nutzensgewinn möglich, da eine elektronische Messwertaufnahme und eine zentrale technische Datenbank weitere Vorteile bringen können. Beim Fehlen einer technischen Datenbank könnte eine Abwandlung des weniger genauen Modells 4 zur Verrechnung verwendet werden. Die Anwendung von Modell 5 ist nach PROST ET AL nicht sinnvoll, da damit ein vollständiger Informationsverlust auf Kostenstellenebene einhergehen würde. Die daraus gewonnenen Daten könnten lediglich für Umwelterklärungen oder Energieberichte auf Werks- bzw. Centerebene genutzt werden [7].

Auch MOOR beschrieb bereits 1985 in seiner Dissertation ein Energiecontrolling-Konzept, das als Subsystem des betrieblichen Energiemanagements die Faktoren Energieplanung, Energieflusssteuerung und -kontrolle sowie ein funktionspezifisches Energieinformationsversorgungssystem systembildend und systemkoppelnd koordiniert und auf diese Weise zur Unterstützung einer rationellen betrieblichen Energiebewirtschaftung beiträgt. MOOR bezeichnet das Energiecontrolling als Servicefunktion des Energiemanagements. Um die als relevant erkannten Problemfelder der betrieblichen Energiebewirtschaftung - z.B. den ineffizienten betrieblichen Energieeinsatz und die ungenügende Anpassungsfähigkeit an Veränderungen in der Energieumwelt – zu bewältigen, bieten sich verschiedene Lösungsansätze an. Diese können sein: Eine systematische Auseinandersetzung mit der Energieumwelt, eine laufende Überwachung des betrieblichen Energieflusses und eine Abstimmung aller unternehmerischen Aktivitäten unter dem Aspekt rationeller Energiebewirtschaftung. MOOR leitet in seiner Arbeit folgende Hauptziele der Tätigkeiten des Energiecontrollers ab [8]:

- Verbesserung der Reaktionsfähigkeit auf Störungen und Ineffizienzen im betrieblichen Energiefluss
- Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an die sich ändernde Energieumwelt
- Verbesserung der innerbetrieblichen Koordinationsfähigkeit unter dem Aspekt rationaler Energiebewirtschaftung
- Förderung der Motivation der Mitarbeiter zu energiesparendem Denken und Handeln

In Bezug auf diese Zielsetzungen können die Tätigkeitsschwerpunkte des Energiecontrollers in folgende Funktionsbereiche zusammengefasst werden: *Planungsfunktion*, *Kontrollfunktion*, *Informationsfunktion* und *Beratungs- und Sonderfunktionen*. Diese Funktionen führen zu einem umfangreichen Aufgabenkatalog, der von der Erstellung und laufenden Betreuung eines Planungssystems bis hin zu verschiedenen Beratungs- und Schulungstätigkeiten reicht. Auch schreibt MOOR in seiner Arbeit über die Wichtigkeit geeigneter Messsysteme zur Erfassung von Ist-Werten bzw. zur Erstellung von energetischen Soll-Ist-Vergleichen. Ein solches Messsystem muss dem Energiecontroller alle zur Aufbereitung der Steuerungs- und Kontrollinformationen wichtigen Daten liefern. Nach MOOR zählt die systembildende Erarbeitung und laufende Wartung eines derartigen Messkonzeptes zu den Hauptaufgaben des Energiecontrollers [8].

PFEIFER beschreibt in seinem Werk die notwendigen Maßnahmen für den Aufbau und die Umsetzung eines Energiemanagementsystems und orientiert sich dabei an den Normen ÖNORM EN 16001 und ISO 50001. Das Buch bietet Hilfestellung bei der Identifikation von

wesentlichen Energieaspekten, wobei die Themen Datenerhebung und Kennzahlenermittlung mit Beispielen umrahmt werden. Des Weiteren wird auf Fördermöglichkeiten eingegangen, die im Zusammenhang mit betrieblichem Energiemanagement bestehen. Neben allgemeinen Informationen zu dieser Thematik gibt PFEIFER auch Auskunft über die Situation in den jeweiligen Bundesländern. Der *Zertifizierung* des Energiemanagementsystems ist ein eigenes Kapitel gewidmet, in welchem die einzelnen Schritte des Zertifizierungsverfahrens ausführlich beschrieben werden [9].

Die Anforderungen für den Aufbau und die Anwendung eines Energiemanagementsystems sind in der Internationalen Norm ISO 50001:2011 festgehalten [18]. Diese Norm ersetzt die zuvor gültige EN 16001:2009. Auf die Inhalte der ISO 50001:2011 wird in Kapitel 5.1 dieser Arbeit im Detail eingegangen, daher wird an dieser Stelle auf eine Kurzbeschreibung verzichtet.

## 4 AUFBAU UND ANWENDUNG DES ENERGIECONTROLLINGS

### 4.1 KONZEPTERSTELLUNG

Bevor mit dem Aufbau des Energiecontrollings begonnen wurde, musste ein Konzept für die Umsetzung erstellt werden. Darin wurden die Rahmenbedingungen des Projektes und die Art der Darstellung definiert, sowie die zu erreichenden Ziele festgelegt.

#### 4.1.1 Betrachtete Medien

Die zu betrachtenden Medien waren:

- Dampf
- Elektrischer Strom
- Frischwasser
- Abwasser

#### 4.1.2 Rahmenbedingungen

Die Vorgabe lautete, ein EDV-gestütztes Erfassungssystem für die innerbetriebliche Erzeugung sowie für den Verbrauch von Dampf und elektrischem Strom zu erstellen. Des Weiteren sollte der Bedarf an Frischwasser bzw. der Anfall von Abwasser über eine Software erfasst und dargestellt werden. Diese Verbrauchsdaten sollten verursachungsgerecht den betreffenden Kostenstellen innerhalb der Organisation zugeordnet werden.

Die Erfassung des Verbrauchs, des Bedarfs bzw. der Erzeugung sollte für den Betrachtungszeitraum von einem Monat möglich sein. Außerdem sollte ein Werkzeug für die Darstellung des momentanen Energiestatus geschaffen werden, das es dem Benutzer ermöglicht, schnell Aussagen über den Verbrauch bzw. die Energieeffizienz innerhalb der Fabrik zu treffen. Diese Möglichkeit sollte für die Medien Dampf und Strom bestehen. Die Mengen an Frisch- und Abwasser sollten monatlich erfasst werden.

#### 4.1.3 Zielsetzung

Die Zielvorgabe lautete ein System zu kreieren, das den Verantwortlichen der Produktion einen einfachen Zugang zu den Verbrauchsdaten der Kostenstellen in ihrem Verantwortungsbereich bietet. Des Weiteren sollte eine solide und dokumentierte Datenbasis geschaffen werden, die in weiterer Folge für den Aufbau und die Implementierung eines Energiemanagementsystems verwendet werden kann. Diese Werkzeuge sollten ab Beginn des Jahres 2012 die Grund-

lage für die Erstellung der monatlichen Verbrauchsberichte bilden und die Daten aller relevanten Anlagenelemente berücksichtigen.

#### **4.1.4 Erfassungsoftware**

In der Zellstoff Pöls AG wird die Software *Aspen Process Explorer*<sup>®</sup> in der Version 2004.2 (8.0.0) zur Betriebsdatenerfassung und Prozessvisualisierung verwendet. Dieses Programm greift auf Anzeigewerte von Messungen in der gesamten Fabrik zurück, die in vielfältiger Form dargestellt werden können. Hierfür werden die Messdaten vom Prozessleitsystem erfasst und in einer separaten Datenbank abgelegt, auf welche mit dieser Software zugegriffen wird. Damit ist es beispielsweise möglich, aktuelle Messwerte anzuzeigen und Trends bestimmter Messungen grafisch darzustellen. Daneben verfügt dieses Programm über ein Add-In für *Microsoft*<sup>®</sup> *Excel*<sup>®</sup>, mit dem Messwerte in *Excel*<sup>®</sup> importiert werden können. Auf diesem Wege können Mittelwerte von Messwerten über vordefinierte Zeiträume gebildet, die Maxima und Minima bestimmter Anzeigewerte ausgegeben und andere Optionen des Programms genutzt werden. Daneben stehen dem Nutzer alle Funktionen von *Excel*<sup>®</sup> zur Verfügung, was das Anwendungsspektrum dieser Softwarekombination erweitert. Aus den beschriebenen Gründen wurde festgelegt, dass die Umsetzung der EDV-gestützten Erfassung bzw. des Energiecontrollings mit der Software *Microsoft*<sup>®</sup> *Excel*<sup>®</sup> in Kombination mit dem Add-In für das Programm *Aspen Process Explorer*<sup>®</sup> durchgeführt wird.

## **4.2 SCHAFFUNG EINER DATENBASIS FÜR DAS ENERGIECONTROLLING**

Um ein durchgängiges Verbrauchserfassungssystem erstellen zu können, war es zu Beginn notwendig, die Anlagen und Prozesse im Zellstoffwerk den jeweiligen Kostenstellen zuzuordnen. Unter Zuhilfenahme von R&I-Schemata und nach Rücksprache mit den jeweiligen Abteilungsleitern und Kostenstellenverantwortlichen wurden Bilanzräume erstellt und innerhalb dieser die vorhandenen und für das Energiecontrolling wichtigen Messungen recherchiert. Im Anschluss wurden die Anzeigewerte dieser Messungen in *Excel*<sup>®</sup> geeignet verknüpft, um eine Darstellung des Verbrauchs und der Erzeugung nach Kostenstellen zu erreichen.

Aufgrund der Tatsache, dass nicht jeder Anlagenteil im Werk über eine Wirkleistungsmessung oder über eine Durchflussmessung für Dampf oder Wasser verfügt, konnte die beschriebene Vorgehensweise nicht für alle Medien durchgängig angewendet werden. Auf die Details zum Aufbau des Energiecontrollings für jedes einzelne der betrachteten Medien wird im folgenden Teil dieser Arbeit näher eingegangen.

## 4.2.1 Dampf

### 4.2.1.1 Bilanzierung

Am Beginn der Umsetzung des Energiecontrollings für Dampf stand die Erstellung einer Bilanz zwischen Erzeugungs- und Verbrauchsmengen. Innerhalb des Zellstoffwerks stellen die Laugenkessel (LK I und LK II) die Haupt-Dampferzeuger dar. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, mit Hilfe eines erdgasbefeuerten Steamblocks zusätzlich Mittel- oder Niederdruckdampf herzustellen, sollten aufgrund von Störungen die mit den Turbinen umgeformten Dampfmen gen für die Aufrechterhaltung des Normalbetriebs nicht ausreichen. In Tabelle 4-1 sind diese Anlagenteile mit den zugehörigen erzeugten Dampfstufen angeführt.

**Tabelle 4-1:** Dampferzeuger im Zellstoffwerk Pöls

Anlagenteil	Dampfstufe
Laugenkessel (LK I, LK II)	DHD
Dampfturbine 3 (DT 3)	DMD, DND
Dampfturbine 4 (DT 4)	DMD, DND
Steamblock	DMD, DND

Die Zellstoff Pöls AG verfügt über zwei separate Laugenverbrennungskessel, wobei im Normalbetrieb der neuere LK II in Betrieb ist. Der LK I wird während länger andauernden Revisionsstillständen angefahren, um die innerbetriebliche Dampfversorgung aufrecht zu erhalten. Der im Laugenkessel II erzeugte Hochdruckdampf gelangt im Standardbetriebsfall in den DHD-Verteiler und wird von dort zu den beiden Dampfturbinen geführt. Nach den Überhitzern des Laugenkessels befindet sich eine Dampfdurchflussmessung, welche die erzeugte Nettodampfmenge an DHD registriert. Im Zulauf des Hochdruckteils von Turbine 3 als auch von Turbine 4 sind ebenfalls DHD-Mengenmessungen installiert. Im Idealfall sollte die Summe der Rückgabewerte dieser beiden Messungen jenem der Nettodampfmessung aus dem LK entsprechen. Dieser Fall tritt in der Praxis jedoch nicht ein, daher wurde für das Energiecontrolling der Mittelwert aus der Summe an DHD zu den Turbinen und der Nettodampfmenge aus dem Laugenkessel gebildet. Dieser Wert ( $Erzeugung_{LK}$ ) stellt in weiterer Folge die Ausgangsbasis für die Aufteilung der Dampfmen gen auf die Erzeuger und Verbraucher in der Fabrik dar.

Die Mengen an DMD und DND aus den beiden Dampfturbinen werden mittels Durchflussmessungen erfasst. Ist eine oder sind beide Turbinen außer Betrieb, kann der Hochdruckdampf durch Einspritzung von Speisewasser über Reduzierstationen zu Mittel- bzw. Nieder-

druckdampf umgeformt werden. Diese Dampfmengen werden ebenfalls messtechnisch erfasst. Die Summe an Dampf aus den Turbinen bzw. über die Umformungen muss der erzeugten Menge an DHD entsprechen. Der Vergleich der Anzeigewerte im Betrieb zeigt, dass dieser Anforderung nicht nachgekommen werden kann. Durch unterschiedliche Messbereiche sowie aufgrund von wechselnden Druck- und Temperaturverhältnissen kommt es zu Messwertabweichungen, die im Normalbetrieb nicht vollständig eliminiert werden können. Um eine geschlossene Bilanz über die Turbinenanlage zu erreichen, wurden im Energiecontrolling die Dampfmengen aus den Turbinen an die Nettodampfmenge an DHD aus dem Laugenkessel angepasst. Hierfür wurde ein Faktor ermittelt, der sich nach folgender Berechnung ergibt.

$$DMD_{\text{gesamt}} [t] = DMD_{DT3} [t] + DMD_{DT4} [t] \quad (4-1)$$

$$DND_{\text{gesamt}} [t] = DND_{DT3} [t] + DND_{DT4} [t] \quad (4-2)$$

$$\text{Erzeugung}_{DT} [t] = DMD_{\text{gesamt}} [t] + DND_{\text{gesamt}} [t] \quad (4-3)$$

$$f_{LK/DT} = \frac{\text{Erzeugung}_{LK} [t]}{\text{Erzeugung}_{DT} [t] + \text{Kondensat}_{DT4} [t]} \quad (4-4)$$

$DMD_{DT3}$  in (4-1) ist die Summe der Mengen an DMD aus Turbine 3 und über die Umformstationen.  $DMD_{DT4}$  in Gleichung (4-1) beschreibt die Summe an Mitteldruckdampf aus Turbine 4 und über die Umformung. Für die Niederdruckdampfmenge gilt dasselbe analog für  $DND_{DT3}$  und  $DND_{DT4}$  in (4-2).  $\text{Erzeugung}_{LK}$  in (4-4) stellt die Bezugsmenge an DHD dar und errechnet sich wie zu Beginn von Kapitel 4.2.1.1 beschrieben. Die Dampfturbine 4 ist als Kondensationsturbine ausgeführt und benötigt für den ordnungsgemäßen Betrieb eine definierte Mindestmenge an Dampf, der als Kondensat im Kondensationsteil abgeführt wird. Dieser Massenstrom wird aus der Dampfbilanz entfernt und als Kondensat direkt zum Mischwasserbehälter bzw. zur Kondensatreinigung geleitet. Bei der Berechnung der Dampfbilanz um die Turbinen und des Korrekturfaktors muss die Kondensatmenge allerdings berücksichtigt werden.

Durch Multiplikation der gemessenen DND-, DMD- und Kondensatmengen aus den Turbinen mit  $f_{LK/DT}$  erfolgt die Anpassung an die erzeugte Nettodampfmenge im Laugenkessel. Für die Verbrauchserfassung im März 2012 beträgt dieser Faktor laut Energiecontrolling 0,996. Das bedeutet, dass die Messwerte der produzierten DND-, DMD- und Kondensatmengen im Vergleich zur Netto-DHD-Menge um 0,4 % geringer sind. Diese korrigierten Mengen an Mittel- und Niederdruckdampf werden in den einzelnen Departements verbraucht. Die Verteilung auf die Kostenstellen wird im folgenden Kapitel 4.2.1.2 näher erläutert.



#### **4.2.1.2 Verbrauchszuteilung**

Durch Überprüfung von R&I-Schemata und anderer betriebsinterner Dokumente wurden sämtliche Dampfverbraucher und Dampferzeuger innerhalb jedes einzelnen Departments ermittelt. Soweit Durchflussmessungen vorhanden waren, wurden deren Messwerte in die Excel<sup>®</sup>-Datei für das Energiecontrolling importiert und in geeigneter Weise verknüpft. Die genaue Beschreibung der Zuteilung von Messungen zu den jeweiligen Kostenstellen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, daher wird nur auf jene Sonderfälle eingegangen, in denen keine Messungen zur Dampfverbrauchsermittlung zur Verfügung standen. Diese sind:

- Speisewasservorwärmung im Laugenkessel II
- Verbrennungsluftvorwärmung im Laugenkessel II
- Diverse Heizungen, Vorwärmungen und sonstige Verbraucher

Im Zuge der Arbeiten rund um die Erfassungssysteme wurde eine Daten- und Wertesammlung erstellt, die ausführliche Angaben über die Zuteilung der verfügbaren Messungen innerhalb der bestehenden Kostenstellenstruktur enthält. Dieses Dokument liegt in der Zellstoff Pöls AG auf.

#### **4.2.1.3 Speisewasservorwärmung im LK II**

Das aus den verschiedenen Produktionsbereichen rückgeführte Frischdampfkondensat wird im Hauptkondensatbehälter gesammelt und im Anschluss in die Kondensatreinigungsstraße gepumpt. Das aufbereitete Kondensat gelangt danach den Mischwasserbehälter. Das Kondensat aus der Dampfturbine 4 wird – abhängig von seiner Leitfähigkeit – entweder direkt in den Mischwasserbehälter oder in den Hauptkondensatbehälter geführt. Die Kondensatverluste und somit die Differenz auf die erforderliche Speisewassermenge und in weiterer Folge auf die erzeugte Hochdruckdampfmenge werden im Mischwasserbehälter durch vollentsalztes Wasser ausgeglichen, welches in der Speisewasseraufbereitung aus Uferfiltrat und Frischwasser hergestellt wird. Frischdampfkondensat bzw. aufbereitetes Frischdampfkondensat und vollentsalztes Wasser werden als *Mischwasser* zum Speisewasserbehälter gepumpt und darin durch direktes Eindüsen von Niederdruckdampf vorgewärmt. In der DND-Zuleitung zum Speisewasserbehälter wurde keine Durchflussmessung vorgesehen, daher muss der Dampfverbrauch für die Vorwärmung berechnet werden, damit dieser im Energiecontrolling verwendet werden kann.

Abbildung 4-1 zeigt schematisch den Bilanzraum für die Berechnung der DND-Menge zur Speisewasservorwärmung.

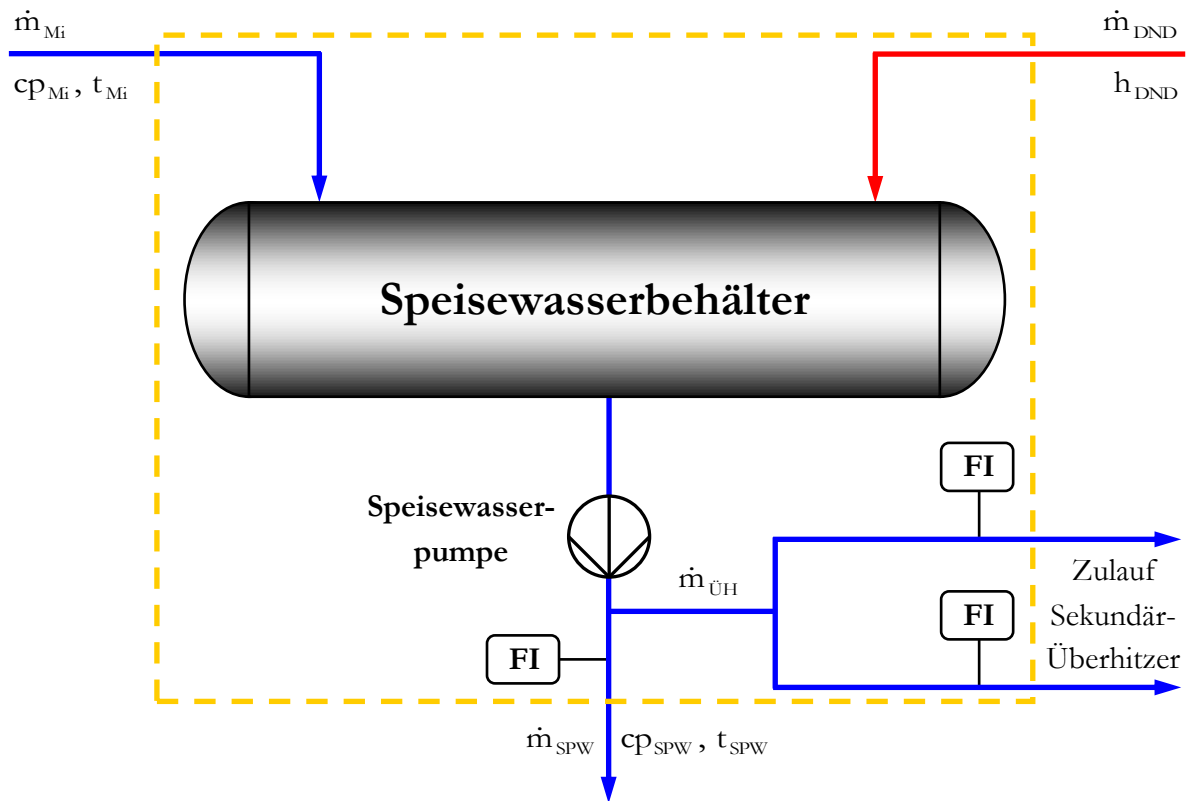


Abbildung 4-1: Bilanzraum Speisewasservorwärmung

Wie in Abbildung 4-1 ersichtlich, wird auch die in den Speisewasserbehälter eintretende Mischwassermenge im Betrieb nicht messtechnisch erfasst. Nach der Speisewasserpumpe wird ein Teil des Wassers zu zwei HD-Kühlern geführt, die in den Zuleitungen des Sekundärüberhitzers installiert sind. Mit Hilfe dieser Kühler wird Speisewasser in die Dampfleitung eingespritzt, wodurch dem überhitzten Dampf durch Verdampfung der Wassertröpfchen Energie entzogen wird. Auf diese Weise wird die Temperatur des DHD am Austritt aus dem Sekundärüberhitzer geregelt.

Für die Massenbilanz um den Speisewasserbehälter gilt:

$$\dot{m}_{Mi} + \dot{m}_{DND} = \dot{m}_{SPW} + \dot{m}_{ÜH} \quad (4-5)$$

Daraus ergibt sich für den Massenstrom an Mischwasser:

$$\dot{m}_{Mi} = \dot{m}_{SPW} + \dot{m}_{ÜH} - \dot{m}_{DND} \quad (4-6)$$

Die Wärmebilanz um den Speisewasserbehälter lautet:

$$\dot{m}_{Mi} \cdot cp_{Mi} \cdot t_{Mi} + \dot{m}_{DND} \cdot h_{DND} = \dot{m}_{SPW} \cdot cp_{SPW} \cdot t_{SPW} + \dot{m}_{ÜH} \cdot cp_{SPW} \cdot t_{SPW} \quad (4-7)$$

Setzt man für den unbekanntem Mischwasserstrom den Ausdruck aus (4-6) in die Gleichung (4-7) ein, ergibt sich folgende Form der Wärmebilanz:

$$(\dot{m}_{\text{SPW}} + \dot{m}_{\text{ÜH}} - \dot{m}_{\text{DND}}) \cdot c_{p_{\text{Mi}}} \cdot t_{\text{Mi}} + \dot{m}_{\text{DND}} \cdot h_{\text{DND}} = (\dot{m}_{\text{SPW}} + \dot{m}_{\text{ÜH}}) \cdot c_{p_{\text{SPW}}} \cdot t_{\text{SPW}} \quad (4-8)$$

Durch Umformen der Beziehung in (4-8) erhält man für den Massenstrom an Niederdruckdampf zur Vorwärmung des Speisewassers folgenden Zusammenhang:

$$\dot{m}_{\text{DND}} = \frac{(\dot{m}_{\text{SPW}} + \dot{m}_{\text{ÜH}}) \cdot (c_{p_{\text{SPW}}} \cdot t_{\text{SPW}} - c_{p_{\text{Mi}}} \cdot t_{\text{Mi}})}{h_{\text{DND}} - c_{p_{\text{Mi}}} \cdot t_{\text{Mi}}} \quad (4-9)$$

Der Massenstrom an Speisewasser sowie die Einspritzwassermengen zum Sekundärüberhitzer werden mittels Durchflussmessungen erfasst und wurden im Energiecontrolling implementiert. Für die in (4-9) vorkommenden Stoffdaten gilt:

$$t_{\text{SPW}} = 120 \text{ °C}$$

$$t_{\text{Mi}} = 75 \text{ °C}$$

$$h_{\text{DND}} = 2.790 \text{ kJ/kg (siehe Tabelle 2-1)}$$

Die Zahlenwerte von  $c_{p_{\text{SPW}}}$  und  $c_{p_{\text{Mi}}}$  wurden nach folgender Beziehung ermittelt [17]:

$$c_{p_i}(t_i) = 4,175 + \left(1 - \frac{t_i}{50}\right) \cdot 0,04 \quad (4-10)$$

Für  $t_i$  ist die Temperatur in [°C] einzusetzen, bei welcher die spezifische Wärmekapazität berechnet werden soll. Im vorliegenden Fall ergeben sich folgende Werte:

$$c_{p_{\text{SPW}}} = 4,253 \text{ kJ/kg K}$$

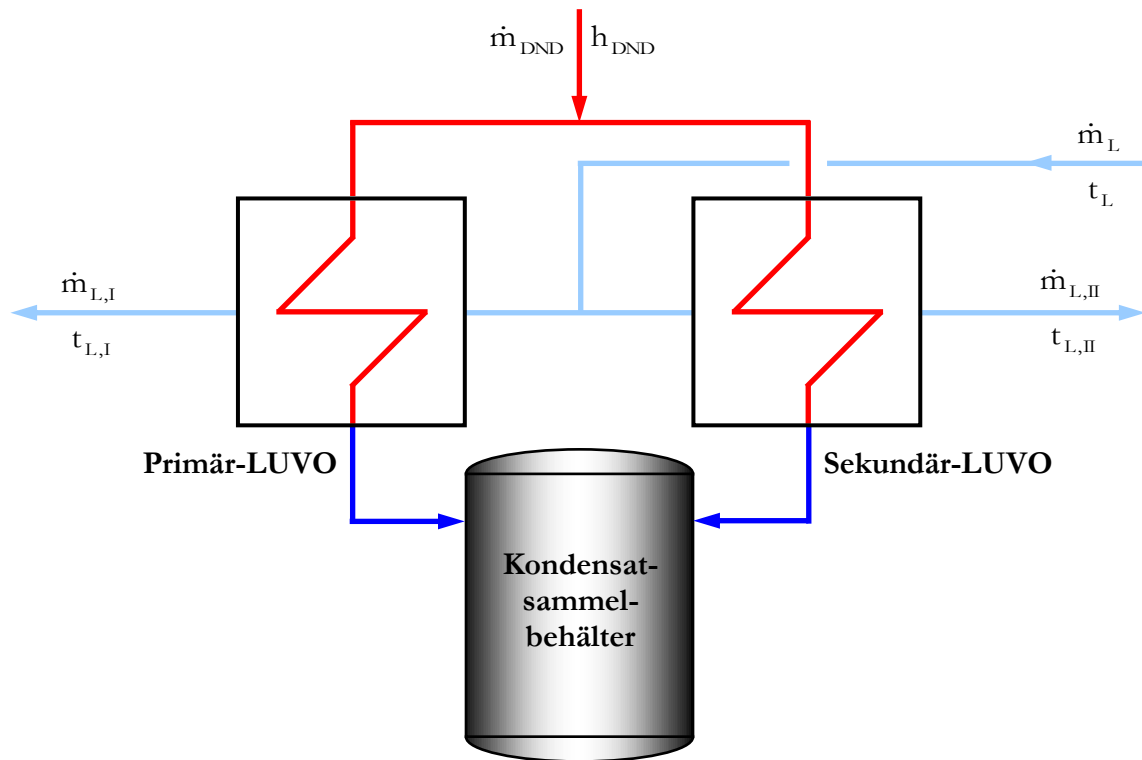
$$c_{p_{\text{Mi}}} = 4,185 \text{ kJ/kg K}$$

Laut Energiecontrolling wurden im März 2012 232.753,55 t Speisewasser zur Dampferzeugung in den Laugenkessel gepumpt. 5.771,78 t pro Monat wurden als Einspritzwasser für die HD-Kühler verwendet. Addiert man diese beiden Werte, so ergibt sich eine Gesamtsumme von 238.525,33 t Wasser pro Monat, das dem Speisewasserbehälter entnommen wurde. Nach dem Einsetzen dieses Wertes und der angegebenen Stoffdaten in (4-9) ergibt sich ein Massenstrom an DND von 18.932,0 t/m, der im März 2012 zur Speisewasservorwärmung benötigt wurde. Das entspricht einer durchschnittlichen Menge von 25,4 t/h.

#### 4.2.1.4 *Verbrennungsluftvorwärmung im LK II*

Neben dem Speisewasser wird auch die Primär- und Sekundärverbrennungsluft für den Laugenkessel mit Niederdruckdampf vorgewärmt. In der DND-Zuleitung zu den Luftvorwärmern (LUVO) wurde keine Durchflussmessung installiert, weshalb der Dampfverbrauch dieser Anlage berechnet werden muss, um diesen im Energiecontrolling verwenden zu können. Nachfolgende Abbildung 4-2 zeigt eine Prinzipskizze der Verbrennungsluftvorwärmung mit

den Bezeichnungen der für die Berechnung der Dampfmenge wichtigen Ströme und Temperaturen.



**Abbildung 4-2:** Prinzipskizze Verbrennungsluftvorwärmung

Der Volumenstrom an Verbrennungsluft wird im Bereich des Primär-, Sekundär- und Tertiärluftgebläses über separate Messungen erfasst. Die gesamte Verbrennungsluftmenge in [kNm<sup>3</sup>/h] wird in Form eines einzelnen Messwertes in das Energiecontrolling importiert. Im Betrieb der Laugenverbrennung wird mit Hilfe der Durchflussmessungen der Anteil der Verbrennungsluft in den jeweiligen Ebenen geregelt. Bei Normalbetrieb des Kessels wird mit folgender Aufteilung gearbeitet:

Primärluft:	30 %
Sekundärluft:	40 %
Tertiärluft:	30 %

Der Anteil der Tertiärluft an der gesamten Verbrennungsluft in [%] wird ebenfalls in Form eines Messwertes an das Energiecontrolling übergeben. Aus der Gesamtluftmenge und diesem Anteil wird im EnC jener Volumenstrom an Luft ermittelt, der die Vorwärmung durchläuft und über Primär- und Sekundärluftgebläse in die Brennkammer eingebracht wird.

Am Beginn wird der gemessene Luftvolumenstrom in einen Massenstrom umgerechnet. Die Dichte von Luft bei Normbedingungen beträgt 1,28 kg/Nm<sup>3</sup> [2].

$$\dot{m}_L = \dot{V}_L \cdot \rho_L \quad (4-11)$$

Die Enthalpie von feuchter Luft wird nach folgender Formel berechnet [16]:

$$h_{1+x} = c_{pL} \cdot t + x \cdot (r_0 + c_{pD} \cdot t) \quad (4-12)$$

Für die spezifischen Wärmekapazitäten von Luft und Dampf gelten folgende Werte [16]:

$$c_{pL} = 1,006 \text{ kJ/kg K}$$

$$c_{pD} = 1,850 \text{ kJ/kg K}$$

$r_0$  bezeichnet die Verdampfungswärme bei 0 °C und beträgt 2.500 kJ/kg [16]. Mit  $x$  wird die Beladung der trockenen Luft mit Wasser angegeben. Für den betrachteten Fall wurde für  $x$  ein Wert von 0,01 kg H<sub>2</sub>O/kg tr. Luft angenommen. Die Temperatur der unvorgewärmten Verbrennungsluft  $t_L$  beträgt 30 °C, jene der vorgewärmten Luft  $t_{L,I} = t_{L,II} = 120$  °C. Mit diesen Vorgaben ergibt sich aus (4-12) die spezifische Enthalpie der „kalten“ Verbrennungsluft zu

$$h_{L,K} = 55,74 \text{ kJ/kg.}$$

Für die Enthalpie der vorgewärmten Verbrennungsluft resultiert

$$h_{L,W} = 147,94 \text{ kJ/kg.}$$

Der zum Aufheizen der Luft nötige Wärmestrom wird aus der Enthalpiedifferenz und dem Luftmassenstrom berechnet:

$$\dot{Q}_{VW} = \dot{m}_L \cdot \Delta h = \dot{m}_L \cdot (h_{L,W} - h_{L,K}) \quad (4-13)$$

Das Frischdampfcondensat aus den beiden Verbrennungsluftvorwärmern wird im Kondensatsammelbehälter bei atmosphärischem Druck zwischengelagert. Die Enthalpie  $h_K$  des Kondensats beträgt 417 kJ/kg [2]. Es wird angenommen, dass die Enthalpiedifferenz zwischen den Zuständen DND und Kondensat zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt wird. Auftretende Wärmeübertragungsverluste werden durch Einführung eines Wirkungsgrades kompensiert.

Für den Wärmestrom, der in Form von DND in das System eingebracht wird, gilt somit:

$$\dot{Q}_{DND} = \frac{\dot{Q}_{VW}}{\eta_{VW}} \quad (4-14)$$

$$\dot{Q}_{DND} = \dot{m}_{DND} \cdot \Delta h = \dot{m}_{DND} \cdot (h_{DND} - h_K) \quad (4-15)$$

Ersetzt man den Wärmestrom an DND in (4-14) durch den Ausdruck in (4-15), so erhält man für den zur Luftvorwärmung nötigen Massenstrom an DND folgende Berechnungsgleichung:

$$\dot{m}_{\text{DND}} = \frac{\dot{Q}_{\text{VW}}}{(h_{\text{DND}} - h_{\text{K}}) \cdot \eta_{\text{VW}}} \quad (4-16)$$

Im März 2012 wurden laut Energiecontrolling 194.464,32 kNm<sup>3</sup> Verbrennungsluft in der Primär- und Sekundärluftebene eingesetzt. Dies entspricht nach (4-11) einem Massenstrom von 248.914,33 t/m bzw. einem mittleren Durchfluss von 334.562,3 kg/h. Mit den nach (4-12) errechneten spezifischen Enthalpien ergibt sich nach Gleichung (4-13) ein zur Vorwärmung nötiger Wärmestrom von 8.568,98 kW. Mit einem Wirkungsgrad von  $\eta_{\text{VW}} = 0,95$  resultiert aus (4-16) ein Massenstrom an DND von 10.180,8 t/m, der zur Vorwärmung der Verbrennungsluft im März 2012 eingesetzt wurde. Dieser Wert entspricht einem mittleren stündlichen Niederdruckdampfbedarf von 13,7 t.

#### 4.2.1.5 *Sonstige Verbraucher*

Neben der Speisewasser- und Verbrennungsluftvorwärmung, welche die größten, nicht messtechnisch erfassten Dampfverbraucher darstellen, gibt es noch weitere kleinere Abnehmer von DND und DMD, deren Dampfbedarf nicht gemessen wird. Nicht erfasste DND-Verbraucher sind:

- Hackschnitzel-Förderband-Heizungen
- Speise- und Dicklaugenbehälter-Heizungen
- Seifebehälter-Heizungen
- Einige Gebäude-Heizungen

Um diese Abnehmer von DND im Energiecontrolling zu berücksichtigen, wird im Zuge der Monatserfassung ein Verbrauchswert gewählt und der Kostenstelle *Zellstoffproduktion allgemein* zugerechnet. Für die Wintermonate Jänner und Februar 2012 liegt dieser Verbrauch bei 6,7 t/h. Abhängig von Jahreszeit und von Betriebsbedingungen wird dieser Wert kalkuliert und in der Software vorgegeben.

Ein DMD-Verbraucher, der messtechnisch nicht erfasst wird, ist die Schmelzezerstäubung im Laugenkessel. Für den Dampfbedarf dieser Anlage wurde beziehungsweise auf die Auslegungsdaten ein Wert von 4 t/h herangezogen und im EnC vorgegeben.

#### 4.2.1.6 *Anpassung der Verbräuche*

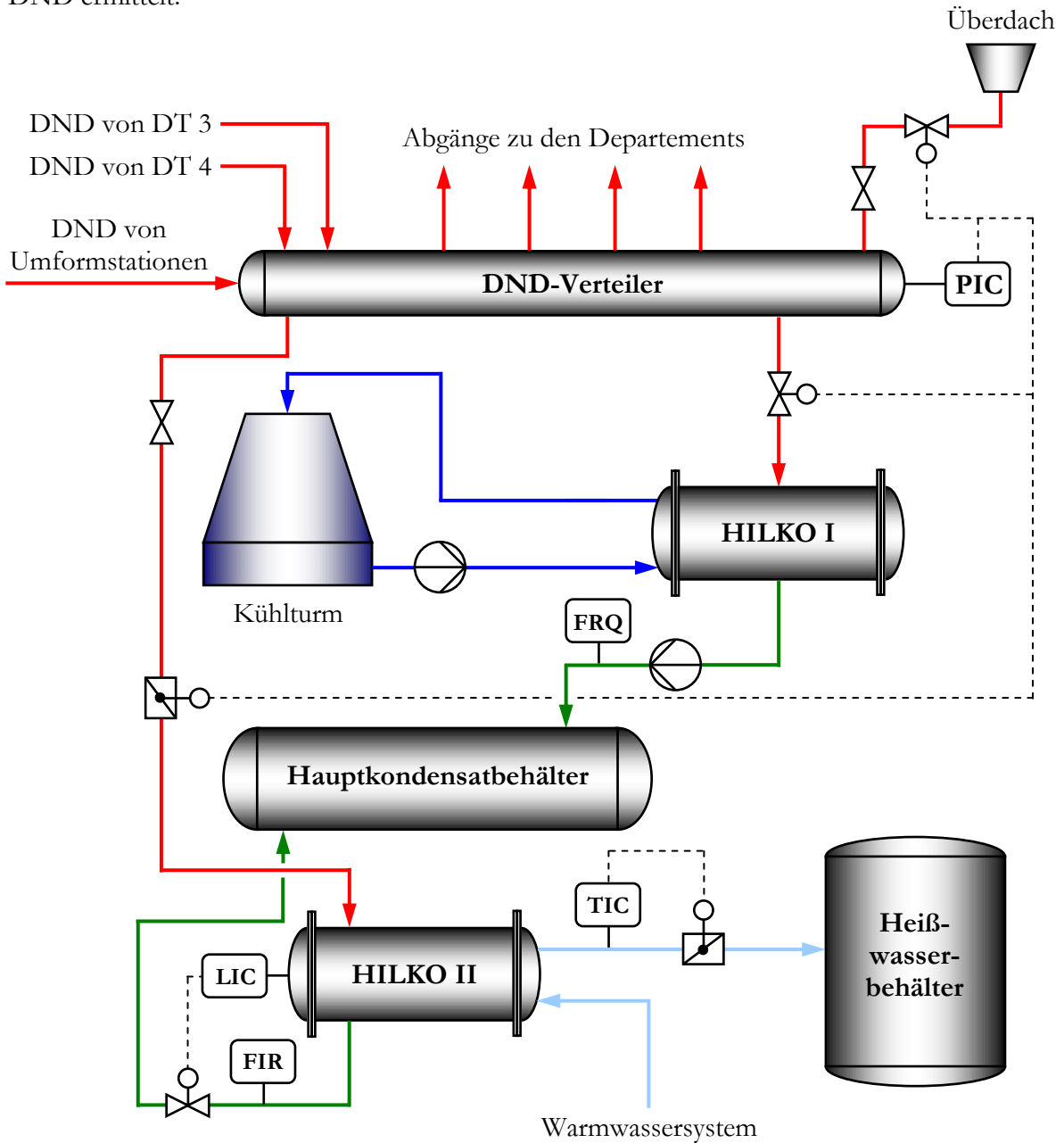
Wie bereits in Kapitel 4.2.1.2 erwähnt, werden im Energiecontrolling sämtliche notwendige Dampfmessungen in geeigneter Form kombiniert und als Gesamtverbrauch der jeweiligen Kostenstelle ausgegeben. Unter Punkt 4.2.1.1 wurde die Korrektur der erzeugten Mengen an

DMD und DND auf die im Laugenkessel produzierte DHD-Menge erläutert. Idealerweise sollten die erzeugten Dampfmengen und die den einzelnen Kostenstellen zugewiesenen Dampfverbräuche unter Berücksichtigung der berechneten (siehe Kapitel 4.2.1.3 und 4.2.1.4) sowie der kleineren, nicht durch Messungen erfassten Verbraucher eine geschlossene Bilanz ergeben. In der Praxis kommt es allerdings zu abweichenden Messwerten durch sich ändernde Durchflüsse, unterschiedliche Betriebsfahrweisen und andere Störfaktoren. Daher werden im Energiecontrolling die Dampfverbräuche an DMD und DND über Korrekturfaktoren an die vom Laugenkessel bzw. von den Turbinen und vom Steamblock zur Verfügung gestellten Dampfmengen angepasst, um eine geschlossene Bilanz zu erhalten.

Hierzu werden für die Monatserfassung zunächst alle DND- und DMD-Verbräuche der einzelnen Kostenstellen laut Messungen in der Anlage aufsummiert. Im nächsten Schritt wird die vom Laugenkessel produzierte und verteilte Menge an DHD gebildet. Um einen Überschuss an DND abzubauen und dabei Frischdampfkondensat rückgewinnen zu können, werden im Zellstoffwerk zwei Hilfskondensatoren (HILKO) verwendet, die an den DND-Verteiler angeschlossen sind (siehe Abbildung 4-3). Der HILKO I ist in den Kühlwasserkreislauf integriert und gewährleistet die Wärmeübertragung vom Niederdruckdampf in das Kühlwasser, dessen Temperatur im Anschluss in der fünfzelligen Kühlturmanlage auf Vorfluter-Einleitbedingungen gesenkt wird. Im HILKO II wird die Energie aus dem DND zur Erzeugung von Heißwasser verwendet und auf diese Weise einer Nutzung im Werk zugeführt. Seit der Inbetriebnahme der Dampfturbine 4 ist es nicht mehr nötig, überschüssigen DND über die beiden HILKOs zu leiten, da diese Menge nun über den Kondensationsteil der Turbine gefahren werden kann. Auf diesem Weg wird mit der Energie aus dem Niederdruckdampf Strom erzeugt, anstatt sie über den Kühlturm abzubauen. Beim An- und Abfahren des LK II bzw. während des Betriebs des LK I kann es jedoch vorkommen, dass die DT 4 außer Betrieb ist und somit DND über den HILKO I gefahren werden muss. Diese Menge wird von der DND-Messung nach der DT 3 miterfasst, steht jedoch im Werk nicht mehr als DND zur Verfügung. Die Kondensatmengen aus den beiden Hilfskondensatoren sowie jene aus der DT 4 werden über Messungen registriert.

In gewissen Betriebssituationen ist es erforderlich, überschüssigen Niederdruckdampf im DND-Verteiler über ein Ablassventil am Dach des Laugenkessels in die Atmosphäre abzugeben. In solchen Fällen kann weder die Energie im Niederdruckdampf genutzt, noch Kondensat rückgeführt werden. Die abgeblasene Menge muss in weiterer Folge auch durch vollentsalztes Wasser in der Speisewasseraufbereitung ersetzt werden. Aus diesen Gründen muss die über Dach freigesetzte DND-Menge als Verlust im Energiecontrolling Berücksichtigung fin-

den. Hierfür wird die mittlere Stellung des Ablassventils im betrachteten Zeitraum in [%] gebildet und in die Erfassungssoftware importiert. Aufgrund der gegebenen Druckverhältnisse und des Rohrleitungsquerschnitts wurde ein maximal möglicher Durchfluss von 50 t/h an DND bei zu 100 % geöffnetem Ventil berechnet. Durch Multiplikation dieses Wertes mit der tatsächlichen mittleren Ventilstellung wird im EnC die über Dach abgegebene Menge an DND ermittelt.



- Legende:**
- Niederdruckdampf (DND)
  - Kondensat
  - Kühlwasser
  - Warm- bzw. Heißwasser

Abbildung 4-3: Hilfskondensatoren im DND-Netz



Um die zu verbrauchende Dampfmenge zu erhalten, wird daher von der erzeugten Menge an DHD (siehe Kapitel 4.2.1.1) die Kondensatmenge aus HILKO I, HILKO II und DT 4, sowie die über Dach abgeblasene Menge an DND abgezogen und zu diesem Wert die – wenn vorhanden – mittels Steamblock produzierte Menge an DMD bzw. DND addiert und somit der Wert für  $Erzeugung_{DHD\ netto}$  ermittelt. Auf diese Dampfmenge wird anschließend der Verbrauch in allen Kostenstellen mit Hilfe eines Faktors, dessen Berechnungsformel in (4-17) angegeben ist, korrigiert.

$$f_{DHD} = \frac{Erzeugung_{DHD\ netto}}{Verbrauch_{Dampf\ gesamt}} \quad (4-17)$$

Unter der Annahme, dass die Messfehler und die nicht erfassten Verluste in allen Kostenstellen gleich bzw. ähnlich groß sind, wird mit einem Korrekturfaktor für alle Kostenstellen gerechnet.  $f_{DHD}$  beträgt für die Verbrauchserfassung im März 2012 laut Energiecontrolling 1,015. Das bedeutet, dass die gemessenen und den jeweiligen Kostenstellen zugewiesenen Dampfverbräuche um 1,5 % nach oben korrigiert werden, um eine geschlossene Bilanz zu erhalten.

In weiterer Folge werden die Summen der aus den Turbinen entnommenen Mengen an Mittel- und Niederdruckdampf gebildet. Die Menge an DND, welche über den HILKO I kondensiert wird und die über Dach abgegebene Menge ist im Messwert der DND-Messung nach der DT 3 enthalten. Daher wird das Kondensat aus dem HILKO I und die über Dach gefahrene Menge von der aus Turbine 3 entnommenen DND-Menge abgezogen, um den effektiven Massenstrom an DND zu erhalten.

Die erzeugten und verbrauchten Dampfmenen werden im Anschluss in folgender Form ins Verhältnis gesetzt:

$$f_{DND} = \frac{Erzeugung_{DND}}{Verbrauch_{DND}} \quad (4-18)$$

$$f_{DMD} = \frac{Erzeugung_{DMD}}{Verbrauch_{DMD}} \quad (4-19)$$

Mit Hilfe der in (4-18) und (4-19) angegebenen Faktoren werden die im Werk verbrauchten Mengen an DMD bzw. DND an die aus den Turbinen entnommenen Mengen angepasst. Dies geschieht wiederum unter der Annahme, dass die vorhandenen Messfehler in allen Departements von gleicher bzw. ähnlicher Größe sind. Durch die Anpassung wird gewährleistet, dass neben der übergeordneten Bilanz zwischen DHD-Erzeugung und Verbrauch auch die untergeordneten DMD- und DND-Bilanzen erfüllt sind. Für die Erfassung im März 2012

beträgt der Faktor  $f_{DND}$  laut EnC 1,010, für  $f_{DMD}$  ergibt sich 0,979. In Summe werden die durch Messungen erfassten DND-Mengen in den einzelnen Kostenstellen durch die Faktoren in (4-17) und (4-18) um 2,56 % nach oben korrigiert. Die gemessenen DMD-Verbräuche der jeweiligen Kostenstellen werden durch die angewandten Faktoren um 0,63 % nach unten korrigiert.

In einigen Ausnahmefällen wird die Mengenkorrektur mittels Faktoren nicht angewandt. Diese sind:

- Kondensatmenge aus HILKO I
- Kondensatmenge aus HILKO II
- Kondensatmenge aus DT 4
- Über Dach abgeblasene DND-Menge
- Erzeugte Dampfmenge im Steamblock
- Verbrauch DND für Fernwärme

Diese Mengen werden im EnC laut Messwerten verwendet, die Begründungen hierfür sind unterschiedlich. Zum einen wurde angenommen, dass die Messung einer Kondensatmenge eine höhere Genauigkeit aufweist, als eine Dampfmenagemessung. Des Weiteren wurden zur Ermittlung der Nettodampfmengen für die Verteilung auf die Kostenstellen die Kondensatmengen laut Messwert von der gesamten DHD- bzw. DND-Produktion abgezogen und dadurch die Basis für die Faktorenermittlung gelegt. Das Kondensat aus dem HILKO I wird als „Verstromung“ der Kostenstelle von Dampfturbine 3 zugerechnet. Im Produktionsbereich der Nachbleiche ist ein Wärmetauscher installiert, mit Hilfe dessen unter Verwendung von DND Heißwasser erzeugt werden kann. Ist der HILKO II in Betrieb, wird dieser Wärmetauscher entlastet und die Heißwassererzeugung vom HILKO II übernommen. Daher wird die Kondensatmenge aus dem HILKO II laut Messung als DND-Verbrauch der Nachbleiche verbucht.

Die Kondensatmenge aus der Dampfturbine 4 wird als „Verstromung“ auf die Kostenstelle der DT 4 verrechnet. Diese Menge wird am Beginn der Berechnung auf die Gesamtmenge an DHD korrigiert, ist aber von der anschließenden Faktorenkorrektur ausgenommen. Dieser Wert trägt ebenfalls zur Ermittlung der Berechnungsbasis bei und darf in weiterer Folge nicht geändert werden.

Die über Dach abgeblasene DND-Menge sollte im Normalbetrieb Null sein, da überschüssiger Dampf über die DT 4 gefahren werden kann. In bestimmten Situationen wird jedoch das Ablassventil geöffnet und DND in die Umgebung freigesetzt. Laut EnC wurden im März

2012 101,18 t Niederdruckdampf auf diese Weise aus dem Prozess entfernt. Dieser Wert wird am Beginn der Berechnung zur Ermittlung der verwertbaren DHD-Menge verwendet und darf daher nicht mit Faktoren behaftet werden. Die über Dach abgegebene DND-Menge wird der Kostenstelle von Turbine 3 in Form von Verlust zugerechnet.

Die im Steamblock erzeugte Dampfmenge wird in den DMD- bzw. DND-Verteiler eingespeist, von dort zu den verschiedenen Verbrauchern geführt und analog zur Messung verbucht. Diese Dampfmenge muss mit der zugeführten Speisewassermenge in Bilanz stehen, ansonsten gibt es dafür aber keinen Vergleichswert. Daher wird die Menge laut Messung im Energiecontrolling verwendet.

Die Fernwärmanlage bezieht zum einen Energie aus dem Brühdampfsystem der Eindampfanlage, zum anderen ist es bei Störungen in der EDA möglich, Frischdampf zum Aufheizen des Fernwärmewassers zu verwenden. Der Mehrverbrauch an DND der Eindampfanlage durch die Fernwärme, aber auch die zur Aufheizung des Vorlaufwassers verwendete Frischdampfmenge werden über eine im Prozessleitsystem hinterlegte Berechnung ermittelt. Die zugeführte Frischdampfmenge wird zusätzlich für Kontrollzwecke über eine Messung erfasst. Die aus dieser Berechnung resultierende Summe ist sehr exakt, da die Kalkulation auf Wasserdurchfluss- und Temperaturmessungen beruht. Diese Dampfverbräuche werden daher auch für die Weiterverrechnung der abgegebenen Wärmeleistung herangezogen und aus diesem Grund auch nicht mittels Faktoren im Energiecontrolling korrigiert.

Zusätzlich zur Dampfverbrauchsübersicht in Tonnen pro Monat wird in der Zellstoff Pöls AG auch eine Energiebilanz in [GJ] benötigt. Die hierfür notwendigen Schritte sind im folgenden Kapitel 4.2.1.7 beschrieben.

#### ***4.2.1.7 Darstellung der Verbräuche als Energiemengen***

Die im Energiecontrolling ermittelten Verbräuche in [t/m] werden durch Multiplikation mit den in Tabelle 2-1 angegebenen Enthalpien in die Einheit [GJ]/m umgerechnet. Dasselbe gilt für die erzeugten Dampfmenen an DHD, DMD und DND. Die Energieinhalte der erfassten Kondensatmengen werden auf unterschiedliche Weise ermittelt. Beim Kondensat aus dem HILKO I handelt es sich ursprünglich um Niederdruckdampf, dessen Energieinhalt im Werk keine weitere Anwendung findet. Die gemessene Menge wird mit der Enthalpie von DND bewertet und als Verlust der Kostenstelle von Dampfturbine 3 zugewiesen. Mit der über Dach abgegebenen DND-Menge wird in gleicher Weise verfahren.

Im Kondensationsteil der Dampfturbine 4 wird der zugeführte Dampf unter Vakuum entspannt. Dabei erreicht dieser den Nassdampfzustand bei einem Druck von  $0,1 \text{ bar}_{\text{abs}}$  und einem Massenanteil von Dampf an der Gesamtmenge von  $x = 0,9$ . Bei diesem Zustand weist der Nassdampf eine spezifische Enthalpie von  $2,36 \text{ GJ/t}$  auf. Die gemessene Kondensatmenge aus der Dampfturbine 4 wird im EnC mit diesem Energieinhalt bewertet und der Kostenstelle von Turbine 4 zugerechnet.

Um eine geschlossene Energiebilanz zu erhalten, muss jene Energiemenge des Hochdruckdampfs, die für die Verstromung in den beiden Dampfturbinen verwendet wird, in geeigneter Form berücksichtigt werden. Dabei werden im ersten Schritt die von den Turbinen produzierten Dampf- und Kondensatmengen mit der Enthalpie von DHD bewertet und getrennt für DT 3 und DT 4 aufsummiert. Auf diese Weise wird die gesamte, den Turbinen als Hochdruckdampf zugeführte Energiemenge ermittelt. Von diesem Wert wird anschließend die in Form von DMD, DND bzw. Kondensat aus den Dampfturbinen austretende Energiemenge subtrahiert. Das Ergebnis dieser Berechnung stellt jenen Teil der Hochdruckdampfenergie dar, die in der DT 3 und DT 4 zur Stromerzeugung genutzt wird. Die Umrechnung von [GJ] auf [MW] und ein Vergleich mit den tatsächlich erzeugten Strommengen zeigen, dass die beschriebene Berechnungsweise unter Berücksichtigung von auftretenden mechanischen Verlusten eine ausreichende Genauigkeit aufweist. Diese beiden Werte werden im Energiecontrolling den Kostenstellen von Turbine 3 und Turbine 4 als *Energie zur Verstromung* zugerechnet, wodurch sich eine geschlossene Energiebilanz ergibt.

#### **4.2.1.8 Zusammenfassung der Verbräuche**

Nach der monatlichen Ermittlung der Verbrauchsdaten mit Hilfe des Energiecontrollings werden diese in [t] bzw. in [GJ] in eine separate Übersichtsdatei exportiert. Diese wird firmenintern an die Controlling-Abteilung weitergeleitet, welche die Daten im Intranet der Zellstoff Pöls AG veröffentlicht. Auf diese Weise haben alle Mitarbeiter Zugriff auf die aktuellen und gültigen Verbrauchsdaten. Diese Übersicht der Dampfverbräuche für die Monate Jänner bis März 2012 ist auf den Seiten XV und XVI im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Abbildung 4-4 auf Seite 34 zeigt die werksinterne Verteilung der Dampfströme in Form eines Sankey-Diagrammes. Die darin angegebenen mittleren stündlichen Durchflüsse wurden aus den Monatswerten laut EnC für März 2012 (vgl. Abbildung A-1) rückgerechnet. Jene Mengen, die nicht im Energiecontrolling berücksichtigt sind (Rußbläserdampf, rückgeführtes Kondensat, vollentsalztes Wasser), wurden aus dem produktionsinternen Monatsprotokoll entnom-

men. Auftretende geringe Bilanzungenauigkeiten zwischen diesen protokollierten Durchflüssen aufgrund von Messfehlern wurden für die Darstellung im Diagramm korrigiert.

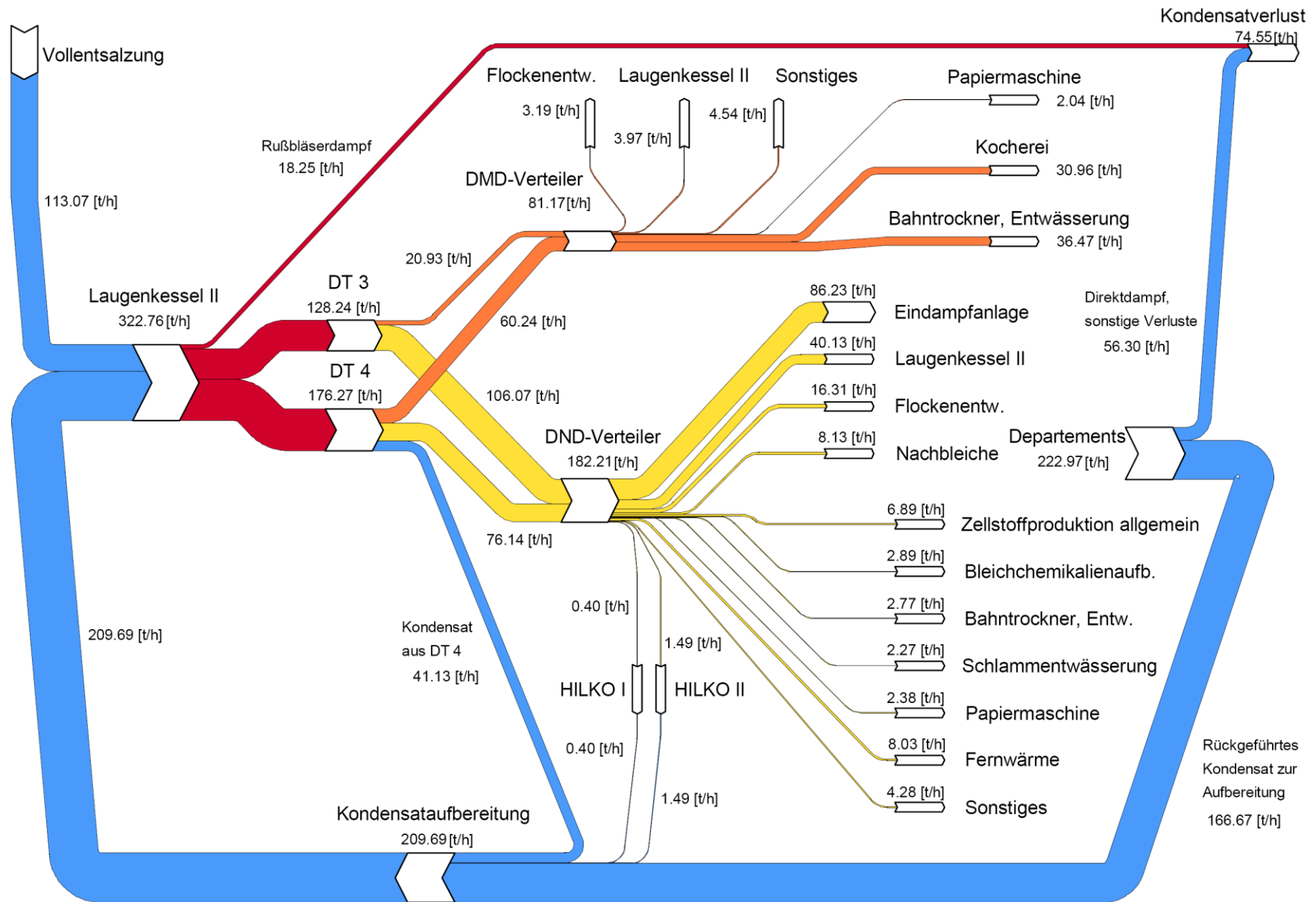


Abbildung 4-4: Sankey-Diagramm: Dampfverteilung in der Zellstoff Pöls AG

#### **4.2.1.9 Energiemenge im Kondensat**

In der für das Energiecontrolling angewandten Verbrauchserfassung und im Besonderen in der nachfolgenden energetischen Betrachtung wurde angenommen, dass der gesamte Energieinhalt der verwendeten Dampfstufen in den jeweiligen Abteilungen der Fabrik verwendet und umgewandelt wird. Dies gilt jedoch nur bedingt, da das Kondensat von Mittel- und Niederdruckdampf aus einigen Produktionsbereichen rückgeführt, gesammelt und erneut als Speisewasser im Laugenkessel verwendet wird. Überall dort, wo dem Dampf Wärmeenergie bis zur Kondensation entzogen und das Kondensat im Anschluss rückgeführt wird, darf zur Ermittlung des effektiven Energiebedarfs im jeweiligen Anlagenteil nur die Enthalpiedifferenz zwischen Dampf- und Kondensatzustand verwendet werden.

Es wird bereits an einer Möglichkeit gearbeitet, um die Energiemenge im Kondensat, das aus den einzelnen Anlagenbereichen rückgeführt wird, in der Erfassung zu berücksichtigen. Das Ziel dabei ist, diese Wärmeenergie analog zur Verteilung der Dampfmen gen den betreffenden Kostenstellen zuzuweisen. Diese Aufgabe ist jedoch nicht einfach zu bewältigen, da derzeit nicht alle Kondensatmengen, die aus den einzelnen Anlagenbereichen zum Hauptkondensatbehälter geführt werden, messtechnisch erfasst werden. Dazu kommt die Problematik der Unterscheidung, ob das Kondensat wirklich in den Hauptkondensatbehälter gelangt oder aufgrund von zu hoher Leitfähigkeit in den Kanal geschalten wird.

Einfacher gestaltet sich die Erfassung in jenen Bereichen der Anlage, wo Dampf zur direkten Wärmeübertragung verwendet wird und somit die dessen gesamter Energieinhalt den betreffenden Kostenstellen als Verbrauch zugerechnet werden kann. Beispiele hierfür sind: Erwärmung des Hackschnitzel-Lauge-Gemisches im Kocher durch Eindüsen von Mitteldruckdampf; Erzeugung von Heißwasser durch Einblasen von DND in den Behälter; Speisewasservorwärmung durch DND-Direktdampf (vgl. Kapitel 4.2.1.3).

Die Bilanz der gemessenen Mengen in den bzw. aus dem Hauptkondensatbehälter ist aufgrund der beschriebenen Problematik unausgeglichen, was derzeit eine ausreichend genaue Zuteilung der Kondensatenergie auf die entsprechenden Kostenstellen erschwert. Jedoch ist es möglich, die gesamte rückgeführte Energiemenge auf Basis der in die Kondensatreinigungsanlage gepumpten Mengen zu ermitteln. Dies wurde im Zuge der energetischen Bewertung des Standorts Pöls durchgeführt. Weitere Informationen hierzu sind in Kapitel 6.2 dieser Arbeit zu finden.

Eine ausreichend exakte Erfassung der Kondensatmengen ist derzeit nicht möglich, daher wird vorerst auf die Differenzkalkulation im Energiecontrolling verzichtet, da es keinen steu-

ernden Vorteil bringen würde. Relevant wird die Berücksichtigung der Kondensatmengen erst, wenn im Zuge einer geschlossenen Prozesskostenrechnung exakte Kosten für die Dampfenergie verrechnet werden. Für weiterführende Betrachtungen ist es daher unbedingt erforderlich, im Energiecontrolling eine genaue Erfassung zu installieren.

Abbildung 4-5 zeigt eine schematische Darstellung des Hauptkondensatbehälters mit dessen Zu- und Abläufen. Darin sind die Kondensatquellen und -ziele angegeben, sowie die Positionen der installierten Durchflussmessungen gekennzeichnet.

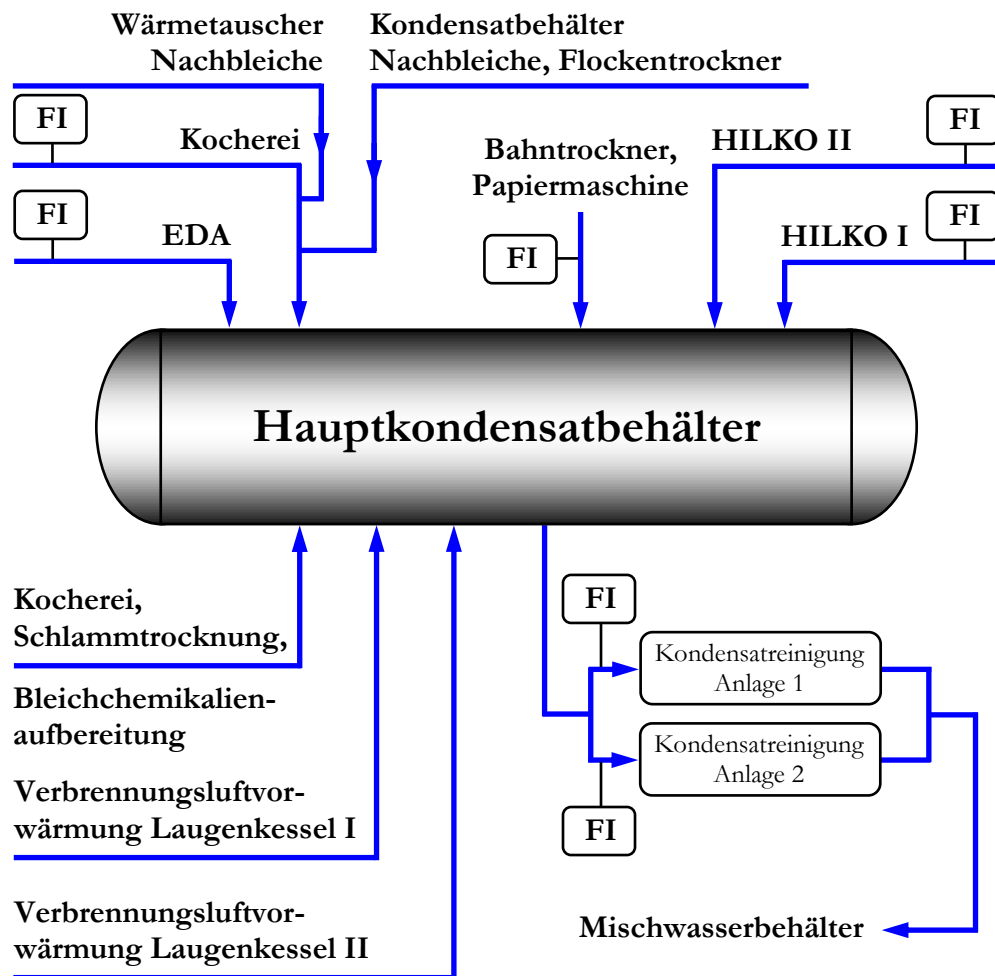


Abbildung 4-5: Zu- und Abläufe des Hauptkondensatbehälters

#### 4.2.1.10 Aktuelle Datenerfassung

Neben der Software zur Erfassung der monatlichen Dampfverbräuche wurde auch ein System zur Ermittlung der aktuellen Energiesituation im Zellstoffwerk Pöls aufgebaut. Basierend auf der für die Monatserfassung angewandten Kostenstellenstruktur und den zugeordneten Messungen werden mit diesem Werkzeug Mittelwerte der vorhergehenden Stunde erfasst. Bei



Programmstart wird hierfür vom Stundenwert der aktuellen Uhrzeit eine Stunde abgezogen, der Minuten- und Sekundenwert auf Null gesetzt und als Startzeitpunkt vorgegeben. Der Endzeitpunkt für die Wertermittlung wird aus „Startzeitpunkt + 1 Stunde“ gebildet. Zur Verdeutlichung der Definition des Erfassungszeitraums dient nachfolgendes Beispiel.

Uhrzeit bei Programmstart [hh:mm:ss]: **10:49:52**

Startzeitpunkt der Erfassung: **10 – 1 = 9**; Minutenwert: **00**; Sekundenwert: **00**

→ Startzeitpunkt [hh:mm:ss]: **09:00:00**

Endzeitpunkt der Erfassung: **9 + 1 = 10**

→ Endzeitpunkt [hh:mm:ss]: **10:00:00**

Auf Basis dieser Vorgabe werden in weiterer Folge Mittelwerte der verknüpften Messungen im definierten Betrachtungszeitraum gebildet. Diese werden anschließend in geeigneter Form kombiniert und als Verbrauch in den jeweiligen Kostenstellen ausgegeben.

#### ***4.2.1.11 Anwendung des Energiecontrollings für Dampf***

Seit Anfang Februar 2012 wird das im Zuge dieser Masterarbeit aufgebaute Energiecontrolling für Dampf in der Zellstoff Pöls AG zur Erfassung der monatlichen Verbräuche angewandt. Am Anfang eines neuen Monats wird hierfür als Betrachtungszeitraum der Vormonat in der Software vorgegeben. Danach erfolgt die automatische Aktualisierung der Messwerte auf Basis des vorgegebenen Zeitraums. Aufgrund der hohen Anzahl der verknüpften Messungen liegt die Dauer für die Neuberechnung der Datei bei ca. 25 Minuten.

Neben der monatlichen Verbrauchsdatenerfassung wurde das Energiecontrolling für Dampf in abgeänderter Form für weitere Anwendungen verwendet. Diese werden nachfolgend beschrieben.

#### **VERGLEICH MIT VORJAHRESWERTEN**

Um einen aussagekräftigen Vergleich von Verbrauchsdaten zu erhalten ist es notwendig, die Betrachtung der zu vergleichenden Zeiträume mit demselben Erfassungsmodell durchzuführen. In der Zellstoff Pöls AG bestand das Interesse, den mittels EnC ermittelten Monatsverbrauch mit jenem des gleichen Monats im Vorjahr zu vergleichen. Im Zuge der Arbeiten zu dieser Thematik wurde ein Vergleich für die Monate Jänner, Februar und März angestellt. Dabei mussten die unterschiedlichen technischen Gegebenheiten in der Erfassungssoftware berücksichtigt werden. Beispielweise wurde der Bahntrockner im Frühjahr 2011 mit Mittel- und Hochdruckdampf versorgt, indem Hochdruckdampf mit Niederdruckdampf in einem Thermokompressor vermischt und anschließend als DMD Richtung Bahntrockner geleitet wurde.

Heute wird der Bahntrockner über einen separaten Abgang aus dem DMD-Verteiler mit Mitteldruckdampf beliefert. Dies hat den Vorteil, dass die Enthalpiedifferenz zwischen den Zuständen Hochdruck- und Mitteldruckdampf zur Stromerzeugung verwendet kann, was eine Erhöhung der Energieeffizienz bewirkt.

Des Weiteren war im ersten Quartal des Jahres 2011 die Dampfturbine 4 noch nicht in Betrieb, d.h. die DT 3 stellt in der Erfassungssoftware neben dem Steamblock den einzigen Produzenten von DMD und DND dar.

Neben den Verbräuchen in den einzelnen Kostenstellen wurde auch die Netto-DHD-Produktion einem Vergleich unterzogen. Hierfür wurde die zur Verfügung stehende Menge an DHD in den Monaten von 2011 errechnet, indem von der im LK erzeugten Dampfmenge die Verluste subtrahiert wurden. Als Verluste gelten in dieser Betrachtung die Kondensate aus HILKO I und HILKO II sowie die über Dach abgegebene Menge DND. Für das Jahr 2012 zählt neben den Kondensaten aus den Hilfskondensatoren und dem Überdachverlust auch die Kondensatmenge aus der Dampfturbine 4 zu den Verlusten.

Tabelle 4-2 zeigt die mittleren Netto-DHD-Produktionen der Monate Jänner, Februar und März in den Jahren 2011 und 2012 in [t/h].

**Tabelle 4-2:** Mittlere DHD-Produktionen, 1. Quartal 2011 und 2012

<b>Jan 11</b>	<b>Jan 12</b>	<b>Feb 11</b>	<b>Feb 12</b>	<b>Mrz 11</b>	<b>Mrz 12</b>
[t/h]	[t/h]	[t/h]	[t/h]	[t/h]	[t/h]
251,5	271,8	257,7	268,3	245,7	261,4

In Tabelle 4-2 ist ersichtlich, dass im Jahr 2012 im Mittel mehr Hochdruckdampf produziert wurde, als in denselben Monaten des Vorjahres. Konkret betrachtet ergeben sich folgende absolute Mehrproduktionen:

Jänner 2012:	+ 20,2 t/h
Februar 2012:	+ 10,6 t/h
März 2012:	+ 15,6 t/h

Durch Vergleich der nach Kostenstellen geordneten Monatsverbräuche (vgl. Abbildung A-1) für 2011 und 2012 wurden die Verursacher des Mehrbedarfs ermittelt. Für Jänner 2012 trägt die Fernwärme mit ca. 15,5 t/h den Großteil zum erhöhten Verbrauch bei. Weiters ist ein erhöhter DMD-Bedarf am Kocher von ca. 4,6 t/h zu erkennen, der aller Wahrscheinlichkeit nach auf den erhöhten Wasseranteil im Holz durch gefrorene Hackschnitzel zurückzuführen

ist. Im Jänner 2012 wurde mit Hilfe eines DND-beaufschlagten Wärmetauschers zusätzliches Heißwasser erzeugt, was sich ebenfalls in einem Mehrbedarf an Dampf widerspiegelt.

Der erhöhte mittlere Dampfverbrauch im Februar 2012 kann auf die Fernwärme und die Zellstofftrocknung zurückgeführt werden. Der Dampfbedarf der Fernwärme betrug in diesem Monat im Mittel 11,6 t/h, der Bahntrockner benötigte 6 t/h mehr als im Februar des Vorjahres. Der über die DHD-Produktion hinausgehende Mehrbedarf wurde durch den Steamblock abgedeckt, mit dem im Februar 2012 in etwa 8,2 t/h an DND erzeugt wurden.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Betrachtung der spezifischen Mehrproduktion an DHD, d.h. die auf die Monatsproduktion an Zellstoff bezogene Dampfmenge. In den Monaten Jänner und Februar 2012 wurden im Vergleich zu denselben Monaten des Vorjahres 1.482 bzw. 887 Tonnen Zellstoff mehr produziert. Im März 2012 betrug die Mehrproduktion im Vergleich zum Vorjahr 3.811 Tonnen. Bezieht man die Netto-DHD-Produktion der jeweiligen Monate auf die zugehörige Monatsproduktionsmenge an Zellstoff, so ergeben sich die in Tabelle 4-3 dargestellten Werte.

**Tabelle 4-3:** Spezifische mittlere DHD-Produktionen, 1. Quartal 2011 und 2012

<b>Jan 11</b>	<b>Jan 12</b>	<b>Feb 11</b>	<b>Feb 12</b>	<b>Mrz 11</b>	<b>Mrz 12</b>
[t/t <sub>ZS</sub> ]	[t/t <sub>ZS</sub> ]	[t/t <sub>ZS</sub> ]	[t/t <sub>ZS</sub> ]	[t/t <sub>ZS</sub> ]	[t/t <sub>ZS</sub> ]
5,675	5,868	5,523	5,793	5,744	5,456

Die Bildung der Differenz zwischen den Daten des Jahres 2012 und jenen des Vorjahres ergibt für die Monate Jänner und Februar positive Werte. Im März 2012 beträgt die spezifische Mehrproduktion an DHD -0,288 t/t<sub>ZS</sub> und ist somit negativ. Die Nachrechnung mit Absolutwerten führt – wie zuvor angegeben – zu einer DHD-Mehrproduktion im März 2012 von 15,6 t/h. Rechnet man nun den spezifischen Wert -0,288 t/t<sub>ZS</sub> mit Hilfe der Monatsproduktion auf einen Absolutwert in [t/h] um, erhält man -13,8 t/h.

Dieses Beispiel zeigt, dass im März 2012 definitiv mehr Hochdruckdampf als im selben Monat des Vorjahres produziert wurde, in Relation zur Zellstoffproduktion jedoch ein Minderverbrauch an Dampf bestand. Der Mehrbedarf an Dampf für die Fernwärme und den Bahntrockner wird im März 2012 durch den niedrigeren Verbrauch in anderen Departements kompensiert.

Die niedrigere spezifische DHD-Produktion lässt mehrere Interpretationen zu. Zum einen gilt das Argument, dass mit weniger Dampf mehr Zellstoff produziert werden konnte und damit der Dampf als Prozessmedium effizienter eingesetzt wurde. Zum anderen kann eine schlech-

tere DHD-Produktion im Laugenkessel unterstellt werden, wodurch Potential zur Verstromung über die Turbinen ungenutzt geblieben ist. Längerfristiges Ziel sollte es daher sein, Dampf für die Produktion von Zellstoff und Papier effizient zu nutzen und Verbräuche überall dort, wo es möglich ist, zu reduzieren.

## **4.2.2 Strom**

### ***4.2.2.1 Bilanzierung***

Analog zur Vorgehensweise beim Medium Dampf stand auch am Beginn der Erstellung des Energiecontrollings für Strom eine Bilanzierung zwischen Erzeugung und Verbrauch. Im Zuge dessen wurden in einem Übersichtsschaltbild der Gesamtanlage alle elektrischen Verbraucher recherchiert und entsprechend der bestehenden Kostenstellenstruktur aufgeteilt. Diese wurden in einem Dokument zusammen mit den vorhandenen Wirkleistungsmessungen festgehalten.

Zur Überprüfung der Zuordenbarkeit der elektrischen Verbraucher zu den jeweiligen Kostenstellen diente eine Auflistung der im Werk vorhandenen Schaltanlagen mit den daran angeschlossenen Antrieben. Aufgrund von Umbau- und Erneuerungsmaßnahmen in diversen Anlagenbereichen wurde die tatsächliche Anschlusssituation teilweise vor Ort überprüft. Durch diese Vorgangsweise konnten fehlende Wirkleistungsmessungen und nicht erfasste Antriebe aufgezeigt werden.

Jene Schaltanlagen, an denen Wirkleistungsmessungen installiert sind, deren Messwerte auch in die Erfassungssoftware importiert werden können, werden vom Programm erfasst. Die gemessenen Verbräuche werden in weiterer Folge verursachungsgerecht den betreffenden Kostenstellen zugewiesen. Im Zuge der Recherchen wurden einige Leistungsmessungen aufgezeigt, deren Anzeigewerte zwar in das Prozessleitsystem übertragen werden, jedoch nicht in der Datenbank der Software Aspen Process Explorer<sup>®</sup> verfügbar waren. Diese wurden von Fachleuten der Leittechnik-Abteilung in der Zellstoff Pöls AG nachträglich eingebunden und konnten in der letzten Version des Energiecontrollings für Strom verwendet werden.

Überall dort, wo keine Wirkleistungsmessungen zur Verfügung standen, wurde zur Ermittlung des Stromverbrauchs der Antriebe anders vorgegangen. Diese Vorgehensweise wird im folgenden Kapitel genauer erläutert.

#### 4.2.2.2 Alternative Ermittlung der Antriebsleistung

Im Idealfall sind alle Antriebe, deren Verbräuche einer Kostenstelle zuzuordnen sind, an einer Schaltanlage angeschlossen, die mit einer Wirkleistungsmessung ausgestattet ist. In diesem Fall kann der Stromverbrauch einfach erfasst und weiterverrechnet werden. In vielen Fällen ist es jedoch so, dass im Betrieb die Wirkleistung einer Schaltanlage gemessen wird, die Antriebe unterschiedlicher Kostenstellen versorgt. Um eine kostenstellengerechte Aufteilung zu erreichen ist es hierbei notwendig, den Verbrauch dieser Antriebe auf anderem Wege zu ermitteln und von der Gesamtleistung der Schaltanlage in Abzug zu bringen.

Von den meisten Antrieben innerhalb der Zellstoff Pöls AG, insbesondere von jenen im höheren Leistungsbereich, ist die prozentuelle Stromaufnahme als Messwert über die Software Aspen Process Explorer<sup>®</sup> abrufbar. Dieser Wert kann in Excel<sup>®</sup> importiert und für weitere Berechnungen verwendet werden. In (4-20) ist die Definition dieses Rückgabewertes mit den zugehörigen Einheiten angeführt.

$$f_I [\%] = \frac{I_{\text{akt}} [\text{A}]}{I_{\text{max}} [\text{A}]} \cdot 100 \quad (4-20)$$

In (4-20) wird mit  $I_{\text{akt}}$  die Strommenge in [A] bezeichnet, die vom elektrischen Antrieb zum betrachteten Zeitpunkt aufgenommen wird.  $I_{\text{max}}$  entspricht dem maximal möglichen Strom, mit dem die Nennleistung des Motors erreicht werden kann.

Die Wirkleistung von Drehstromverbrauchern wird auf folgende Weise berechnet [4]:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4-21)$$

Für die aktuelle Wirkleistung eines Drehstrommotors gilt unter Berücksichtigung der unter (4-20) angegebenen prozentuellen Stromaufnahme folgende Beziehung:

$$P_{\text{akt}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{f_I}{100} \cdot I_{\text{max}} \cdot \cos \varphi \quad (4-22)$$

Bei Zufuhr der maximalen Strommenge  $I_{\text{max}}$  erreicht ein elektrischer Drehstromantrieb seine Nennleistung  $P_N$ . Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen ist in (4-23) dargestellt.

$$P_N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{\text{max}} \cdot \cos \varphi \quad (4-23)$$

Unter der Voraussetzung, dass die Spannung  $U$  unverändert konstant bleibt sowie unter der Annahme, dass sich der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  in den betrachteten Leistungsbereichen nicht

maßgeblich ändert, ergibt sich folgender Ausdruck für die Division der aktuellen Wirkleistung  $P_{\text{akt}}$  durch die Nennleistung  $P_{\text{N}}$ :

$$\frac{P_{\text{akt}}}{P_{\text{N}}} = \frac{f_{\text{I}}}{100} \quad (4-24)$$

Nach Umformung von (4-24) erhält man für  $P_{\text{akt}}$ :

$$P_{\text{akt}} = \frac{f_{\text{I}}}{100} \cdot P_{\text{N}} \quad (4-25)$$

Überall dort, wo keine Messung zur Bestimmung der Wirkleistung von Drehstromantrieben vorhanden ist, wird die Leistung im Energiecontrolling nach (4-25) ermittelt. Die in der folgenden Tabelle 4-4 angeführten Motoren werden zusammen mit Antrieben der Kostenstelle *Vorsortierung/Sauerstoffbleiche* von Wirkleistungsmessungen erfasst, müssen jedoch zum Gesamtverbrauch der Kostenstelle *Nachbleiche* addiert werden. Aus diesem Grund werden die Leistungen dieser Antriebe nach der oben beschriebenen Methode ermittelt und getrennt weiterverrechnet.

**Tabelle 4-4:** Berechnete Antriebe, Departement Nachbleiche

<b>Bezeichnung</b>	<b>Interne Kennung</b>	<b>Nennleistung [kW]</b>
NASH Pumpe	04.063 M1	5,5
MC Mischer 1	04.251 M1	132,0
MC Mischer 2	04.251 M2	132,0
MC Pumpe	04.451 M1	315,0
Kondensatpumpe	04.463 M1	5,5
Warmwasserpumpe 3	09.436 M1	75,0

Die errechnete Gesamtleistung der in Tabelle 4-4 angegebenen Antriebe beträgt im März 2012 286,85 MWh.

Die elektrischen Hauptverbraucher der fünfzelligen Kühlturmanlage sind zusammen mit Antrieben der Kostenstelle *Nachbleiche* an einer gemeinsamen Schaltanlage angeschlossen. Diese vier Kühlwasserpumpen und fünf Ventilatoren liefern einen großen Beitrag zur per Messung erfassten Gesamtleistung und müssen daher ebenfalls getrennt betrachtet und der richtigen Kostenstelle zugewiesen werden. Tabelle 4-5 zeigt die erwähnten Motoren samt werksinterner Kennung und Nennleistung.

**Tabelle 4-5:** Berechnete Antriebe, Departement Frischwasser/Kühltürme

<b>Bezeichnung</b>	<b>Interne Kennung</b>	<b>Nennleistung [kW]</b>
Kühlwasserpumpe 1	16.415 M1	250,0
Kühlwasserpumpe 2	16.416 M1	250,0
Kühlwasserpumpe 3	16.417 M1	250,0
Kühlwasserpumpe 4	16.418 M1	250,0
Ventilator 1	16.611 M1	90,0
Ventilator 2	16.612 M1	90,0
Ventilator 3	16.613 M1	90,0
Ventilator 4	16.614 M1	90,0
Ventilator 5	16.615 M1	90,0

Die prozentuelle Stromaufnahme der Kühlwasserpumpe 4 kann derzeit nicht über die Software Aspen Process Explorer<sup>®</sup> abgerufen werden und ist daher auch im Energiecontrolling für Strom nicht verwendbar. Aus diesem Grund wird der Monatsmittelwert der Stromaufnahme in [%] geschätzt und in der Erfassungssoftware vorgegeben. Für März 2012 beträgt dieser Wert 70 %. Für die Gesamtleistung der in Tabelle 4-5 angeführten Antriebe ergibt sich für März 2012 laut EnC ein Wert von 516,15 MWh.

Von der Gesamtwirkleistungsmessung der *Nachbleiche* wird auch der Hauptantrieb des *Buffle Filters* (04.030 M1) erfasst. Diese Anlage befindet sich in Departement *Sauerstoffbleiche*, somit ist auch deren Stromverbrauch der zugehörigen Kostenstelle zuzuordnen. Die Nennleistung dieses Antriebes beträgt 200 kW. Über die mittlere monatliche Stromaufnahme und die Berechnung nach (4-25) ergibt sich für März 2012 laut Energiecontrolling ein Leistungsbedarf von 74,50 MWh.

Das Tertiärluftgebläse des Laugenkessels II wird über einen separaten Abgang einer Mittelspannungsstation (10 kV) mit Energie versorgt. Die Wirkleistung dieses Antriebes kann nicht in die Erfassungssoftware importiert werden, daher wird diese über die prozentuelle mittlere Stromaufnahme und die Nennleistung errechnet. Das Energiecontrolling liefert für März 2012 einen mittleren Motorstrom von 63,9 % und mit einer Nennleistung des Tertiärluftgebläses von 710 kW einen Strombedarf von 337,52 MWh.

Das Schwachgasgebläse des Laugenkessels I ist über einen eigenen Anschluss an einer Schaltanlage mit 690 V Nennspannung installiert und weist keine eigene Wirkleistungsmessung auf. Daher wird der Stromverbrauch dieses Antriebes ebenfalls über die Nennleistung und die Stromaufnahme ermittelt, um diesen im EnC der betreffenden Kostenstelle zuweisen zu kön-

nen. Für März 2012 liefert das Energiecontrolling eine mittlere Stromaufnahme von 45,6 %. Mit einer Nennleistung des Motors von 200 kW ergibt sich ein monatlicher Energiebedarf von 67,82 MWh.

Der Wirkleistungsbedarf der Siebbandpresse zur Schlammwässerung wird nicht messtechnisch erfasst. Des Weiteren ist auch die mittlere Stromaufnahme der zugehörigen elektrischen Antriebe nicht über Excel<sup>®</sup> abrufbar, daher muss der Energiebedarf dieser Anlage auf andere Weise ermittelt werden. Im Normalbetrieb arbeitet die Siebbandpresse kontinuierlich und ohne Unterbrechung. Kommt es zu einem Ausfall der Anlage oder wird diese aus anderen Gründen außer Betrieb gesetzt, wird die Stillstandszeit in einem eigenen Protokoll aufgezeichnet. Diese Zeitdauer wird im Zuge der monatlichen Erfassung im Energiecontrolling für Strom manuell vorgegeben. Im Anschluss wird von der Software automatisch die monatliche Betriebszeit der Siebbandpresse errechnet. Die Nennleistung dieser Anlage wurde mittels punktueller Strommessungen und anschließender Berechnung ermittelt. Durch Multiplikation der Nennleistung der elektrischen Antriebe der Presse mit der kalkulierten Betriebszeit wird die Wirkleistung dieser Anlage bestimmt. Im EnC für März 2012 ergibt sich bei einer Betriebszeit von 710,33 h und einer Nennleistung von 86 kW ein Bedarf an elektrischer Energie von 61,09 MWh.

Die Dicklaugenpumpe 1 (09.413 M1) und die Dicklaugenpumpe 2 (09.414 M1) sind gemeinsam mit dem Großteil der elektrischen Verbraucher des Laugenkessels I an einer Schaltanlage angeschlossen. Da diese beiden Pumpen auch in Betrieb sind, wenn der LK I außer Betrieb ist, darf der Stromverbrauch dieser beiden Antriebe nicht allein auf die Kostenstelle *Laugenkessel I* verbucht werden. Im Energiecontrolling wird daher auch in diesem Fall die Wirkleistung der elektrischen Verbraucher über die mittlere prozentuelle Stromaufnahme und die Nennleistung, welche für beiden Pumpen 30 kW beträgt, errechnet und von der Gesamtleistung über die Schaltanlage abgezogen. Für März 2012 weisen die Dicklaugenpumpen laut Energiecontrolling einen Stromverbrauch von 35,34 MWh auf. Dieser Wert wird der Kostenstelle *Eindampfanlage* zugewiesen.

Die elektrischen Antriebe des Bahntrockners und das Rührwerk (05.205 M1) des Stapelturms 05.303 werden von einer gemeinsamen Schaltanlage mit Energie versorgt. Da im normalen Betriebsfall Zellstoff von den Stapeltürmen 05.303 und 05.313 in die Nachsortierung gelangt, wird der Stromverbrauch des Rührwerks 05.205 M1 zum Gesamtverbrauch der Kostenstelle *Nachsortierung* addiert. Bei Störfällen in der Nachsortierung kann Zellstoff aus dem Stapelturm 05.303 mit Hilfe einer Bypass-Pumpe direkt zur Bahntrocknung geführt werden. Um diese Betriebsfahrweise auch bei elektrischen Störfällen aufrechterhalten zu können, werden das



Rührwerk 05.205 M1 und die Bypass-Pumpe von der Schaltanlage des Bahntrockners versorgt. Kommt es beispielsweise zu einem Stromausfall, der alle Antriebe der Nachsortierung außer Betrieb setzt, kann über den Bypass weiterhin Zellstoff zum Bahntrockner geleitet werden. Der Antrieb des Rührwerks weist eine Nennleistung von 90 kW auf. Laut Energiecontrolling betrug der Stromverbrauch dieses Motors im März 2012 62,96 MWh.

#### **4.2.2.3 Verbrauchszuteilung**

Die zur Verfügung stehenden Messungen sowie die berechneten Wirkleistungen diverser Antriebe wurden in der Erfassungssoftware in geeigneter Weise verknüpft, um eine kostengerechte Aufteilung der Verbräuche zu erreichen. Während des Aufbaus des Energiecontrollings für Strom wurde Wert darauf gelegt, Messungen auf Niederspannungsebene zu verwenden. Die genaue Beschreibung der Zuteilung von Messungen und Rechenwerten auf die jeweiligen Kostenstellen ist nicht Ziel dieser Arbeit und würde den Rahmen übersteigen. Daher wird – analog zur Erfassung für Dampf – auf die wichtigsten Elemente der Software eingegangen und die Erstellung der monatlichen Verbrauchsübersicht beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung über den Aufbau des Energiecontrollings für Strom mit den verwendeten Messungen und Berechnungshintergründen ist Teil der erstellten Daten- und Wertesammlung und liegt in der Zellstoff Pöls AG auf.

Für die monatliche Erfassung der Stromverbräuche müssen in ein paar Fällen Schätzungen vorgenommen werden, da weder Leistungsmessungen noch Stromaufnahmen der Antriebe in [%] zur Verfügung stehen bzw. von einer Messung Verbrauchsdaten mehrerer Kostenstellen erfasst werden. In der nachfolgenden Aufzählung sind jene Kostenstellen angeführt, in welchen mit Annahmen gearbeitet werden muss:

- Holzplatz allgemein
- Rundholz- und Restholzlinie
- Neue Kaustifizierung
- Neuer Kalkofen
- Frequenzumformer Tallölanlage
- Zellstoffproduktion allgemein

Unter der Position *Holzplatz allgemein* wird der Strombedarf der Infrastruktur-Komponenten des Holzplatzes zusammengefasst. Diese sind im Wesentlichen Beleuchtung, EDV-Anlagen und Personalräumlichkeiten. Hierfür wurde ein monatlicher Verbrauch von 30 MWh errechnet.

In der Zellstoff Pöls AG wird, wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, Rundholz und Restholz verarbeitet. Da diese beiden Holzqualitäten am Holzplatz unterschiedliche Behandlungsschritte durchlaufen, besteht firmenintern eine Produktionslinienaufteilung in die Kostenstellen *Rundholzlinie* und *Restholzlinie*. Über eine 10 kV-Leitung werden sämtliche Hochspannungsantriebe am Holzplatz mit Energie versorgt. In dieser Zuleitung ist eine Wirkleistungsmessung installiert. Über Transformatoren erfolgt die Reduktion der Spannung auf 690 V bzw. 400 V zur Versorgung der Verbraucher im unteren Spannungsbereich. Da das angelieferte Rundholz energieintensivere Prozessschritte durchläuft als das Restholz, bevor es am Pile zwischengelagert wird (Zuschnitt, Entrindung, Zerkleinerung), erfolgt nach Rücksprache mit der Betriebsleitung die Aufteilung der Gesamtleistung nach folgendem Schlüssel:

- 90 %: Rundholzlinie
- 10 %: Restholzlinie

Die 2006 in Betrieb genommene Kaustifizierungsanlage sowie der Drehrohfen zur Rückgewinnung des Calciumoxids (CaO, Branntkalk) werden über eine gemeinsame Zuleitung mit elektrischem Strom versorgt. Die über diesen Anschluss übertragene Wirkleistung wird mittels einer Messung erfasst und somit der Energiebedarf beider Abteilungen registriert. In der Vergangenheit wurde ein Aufteilungsschlüssel für die Zuteilung der Stromverbräuche verwendet, der auf Auslegungsdaten beruhte. Dementsprechend wird nach Rücksprache mit dem zuständigen Personenkreis innerhalb der Zellstoff Pöls AG die folgende prozentuelle Aufteilung der Gesamtwirkleistung auf die beiden Kostenstellen im Energiecontrolling angewandt:

- 57 %: Neue Kaustifizierung
- 43 %: Neuer Kalkofen

Die Frequenzumformer der Tallölanlage sind an einem separaten Feld einer Schaltanlage angeschlossen. Die aufgenommene Wirkleistung der installierten Antriebe wird dabei nicht über Messungen erfasst, daher muss dieser für die Verwendung im Energiecontrolling abgeschätzt werden. Die Nennleistungen der an diesem Feld angeschlossenen Motoren sind in Tabelle 4-6 zusammengefasst.

**Tabelle 4-6:** Nennleistungen einiger Antriebe der Tallölanlage

<b>Bezeichnung</b>	<b>Nennleistung [kW]</b>
Seifenpumpe	7,5
Pumpe für verbrauchte Säure	11,0
Rezirkulationspumpe HDS	7,5
Tallölpumpe zu Brenner Dep. 22	5,5
Schwefelsäure-Entnahmepumpe	2,2
Absauggebläse Scrubber	2,2

Die gesamte Nennleistung der in Tabelle 4-6 angeführten Antriebe beträgt 35,9 kW. Im Energiecontrolling wurde für März 2012 eine mittlere monatliche Stromaufnahme von 50 % angenommen. Mit Gleichung (4-25), der Gesamtnennleistung und der getroffenen Annahme ergibt sich für diese sechs Motoren der Tallölanlage ein Leistungsbedarf von 13,35 MWh.

Unter der Kostenstelle *Zellstoffproduktion allgemein* wird im Energiecontrolling der elektrische Verbrauch für Haus- und Gebäudetechnik berücksichtigt. Darunter sind Beleuchtung, EDV-Anlagen, Aufzugsantriebe, Elektroheizungen und sonstige Stromverbraucher zu verstehen. In dieser Position wird der Energiebedarf des Betriebsgebäudes, der Gebäude der Instandhaltung und jener der Verwaltungsgebäude wiedergegeben. Als Basis für die Wertbildung im Energiecontrolling dient die Annahme einer Gesamtleistung von 500 kW. Für den Monat März 2012 ergibt sich damit im EnC in der Kostenstelle *Zellstoffproduktion allgemein* ein Stromverbrauch von 372 MWh.

#### **4.2.2.4 Anpassung der Verbräuche**

Für die monatliche Verbrauchsdatenerfassung werden die Messwerte für den betrachteten Monat das Berechnungsprogramm importiert. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben erfolgt im Anschluss durch Kombination von Mess- und Rechenwerten eine kostentstellengerechte Aufteilung der Stromverbräuche. Diese wird in Form einer Liste ausgegeben. Im Idealfall würde die Summe dieser Verbrauchswerte mit der Summe der erzeugten bzw. aus dem öffentlichen Netz bezogenen Energiemenge übereinstimmen. In Analogie zur Erfassung der Dampfverbräuche sind auch beim Energiecontrolling für Strom fehlerhafte Messwerte und Abweichungen durch Annahmen und Berechnungen in geeigneter Form zu berücksichtigen. Dies geschieht durch Anpassung der gemessenen Verbräuche mittels eines Korrekturfaktors an die zur Verfügung stehende Energiemenge. Dadurch wird eine geschlossene Bilanz zwischen Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie gewährleistet. In der

Anwendung dieser Korrektur muss danach getrachtet werden, den Faktor möglichst nahe beim Wert „1“ zu halten, um die Messergebnisse nicht massiv zu verfälschen.

Von dieser Faktorenkorrektur sind zwei Verbrauchswerte ausgenommen. Zum einen der Strombedarf der Kostenstelle *Zellstoffproduktion allgemein*, zum anderen der Strombedarf der Fernwärmanlage. Die Gründe hierfür sind unterschiedlich. Da es sich beim Verbrauchswert von *Zellstoffproduktion allgemein* ohnehin um einen reinen Schätzwert handelt, wird dieser nicht mehr zusätzlich mittels Faktor verändert. Der Wert für den Strombedarf der Fernwärmanlage wird laut Messung für die Weiterverrechnung an den Kunden verwendet. Da diese Messung neu und exakt ist und um firmenintern und extern dieselbe Datenbasis aufrecht zu erhalten, wird dieser Wert daher nicht mit dem Faktor korrigiert.

Zur Ermittlung des Korrekturfaktors wird die Summe der monatlichen Verbräuche aller Kostenstellen gebildet und davon jene Verbrauchswerte abgezogen, die von der Faktorenkorrektur ausgenommen sind. Dieser Rechengang kann einfach dargestellt werden:

$$\begin{array}{l} \text{Verbräuche in allen Kostenstellen [MWh/Monat]} \\ - \text{Verbrauch } \textit{Zellstoffproduktion allgemein} \text{ [MWh/Monat]} \\ - \text{Verbrauch } \textit{Fernwärme} \text{ [MWh/Monat]} \\ \hline = \text{ **Verbrauch für Korrektur [MWh/Monat]** } \end{array}$$

Dieser *Verbrauch für Korrektur* dient in weiterer Folge zur Faktorenermittlung. Zuvor müssen im Berechnungsprogramm alle Daten bzgl. Stromerzeugung und -bezug erfasst werden, um die auf alle Kostenstellen aufzuteilende Gesamtenergiemenge zu ermitteln. Als Stromquellen in der Zellstoff Pöls AG dienen folgende Anlagen und Möglichkeiten:

- Dampfturbine 3
- Dampfturbine 4
- Kleinwasserkraftwerk Katzling
- Kleinwasserkraftwerk Pöls
- Bezug aus dem öffentlichen Stromnetz

Neben der Versorgung der elektrischen Verbraucher innerhalb der Zellstoff Pöls AG wird überschüssige Energie in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Diese Stromlieferung wird im Energiecontrolling für die Ermittlung der ins Werksnetz abgegebenen Energiemenge berücksichtigt. Für die Erzeugungsmenge der beiden Dampfturbinen wird elektronisch auf die monatlich protokollierten Zählerwerte zurückgegriffen. Zur Erfassung der im Kleinwasserkraft-

werk Pöls erzeugten Energiemenge muss vor Ort ein Zähler abgelesen werden. Die Zählerstands-differenz zwischen aktuellem Wert und dem Ablesewert vom Vormonat ergibt dabei die im betrachteten Monat erzeugte Energiemenge. Dieser Wert wird im Energiecontrolling vorgegeben. Um eine Konsistenz in der Datenbasis aufrecht zu erhalten, werden für Liefer- und Bezugsmengen an das bzw. aus dem öffentlichen Stromnetz jeweils die von der Energie Steiermark AG verrechneten Energiemengen im EnC verwendet.

Die im Zellstoffwerk verwendete Menge an Energie wird im Zuge der monatlichen Erfassung auf folgende Weise berechnet:

$$\begin{aligned}
 & \text{Erzeugung Dampfturbine 3 [MWh/Monat]} \\
 + & \text{ Erzeugung Dampfturbine 4 [MWh/Monat]} \\
 + & \text{ Erzeugung Kleinwasserkraftwerk Katzling [MWh/Monat]} \\
 + & \text{ Erzeugung Kleinwasserkraftwerk Pöls [MWh/Monat]} \\
 + & \text{ Bezug lt. Rechnung des Energieversorgers [MWh/Monat]} \\
 - & \text{ Lieferung lt. Rechnung des Energieversorgers [MWh/Monat]} \\
 \hline
 = & \text{ **Abgabe an Betrieb [MWh/Monat]** }
 \end{aligned}$$

Die *Abgabe an Betrieb* ist jene Energiemenge, die im Zellstoffwerk umgesetzt wird und auf welche der mittels Messungen erfasste Verbrauch aller Kostenstellen korrigiert wird. Zur Ermittlung des Faktors für die Anpassung der Verbrauchsdaten wird von der *Abgabe an Betrieb* der Wert für *Zellstoffproduktion allgemein* und für *Fermwärme* subtrahiert, da diese beiden Verbräuche von der Korrektur ausgenommen sind. Bezeichnet man diesen Wert mit *Erzeugung*, errechnet sich der Anpassungsfaktor wie folgt:

$$f_{\text{Strom}} = \frac{\text{Erzeugung}}{\text{Verbrauch für Korrektur}} \quad (4-26)$$

Der Faktor  $f_{\text{Strom}}$  beträgt für die monatliche Erfassung im März 2012 laut Energiecontrolling 1,0099. Die über Messungen erfassten Stromverbräuche in den einzelnen Produktionsbereichen werden somit durch Anwendung des Faktors um ca. 1 % erhöht. Dieser niedrige Prozentsatz macht deutlich, dass die gemessenen, berechneten und teilweise geschätzten Verbrauchsdaten sehr gut mit den gemessenen und verrechneten Erzeugungsmengen übereinstimmen und die Bilanz auch ohne Korrektur bereits annähernd ausgeglichen ist.

#### ***4.2.2.5 Zusammenfassung der Verbräuche***

Nach der Multiplikation der Verbräuche in den einzelnen Kostenstellen mit dem unter (4-26) angegebenen Korrekturfaktor werden die endgültigen Verbrauchsdaten für Strom in eine separate Übersichtsdatei exportiert. Diese wird firmenintern an die Controlling-Abteilung weitergeleitet, welche diese Monatsverbräuche zur Erstellung von Berichten verwendet. Analog zu den Dampfverbräuchen werden auch die monatlichen Stromverbräuche im Intranet der Zellstoff Pöls AG veröffentlicht. Abbildung A-3 auf Seite XVII im Anhang dieser Arbeit zeigt die Übersicht der Verbrauchsdaten für elektrischen Strom in den Monaten Jänner bis März 2012.

In Abbildung 4-6 auf der folgenden Seite 51 sind die produzierten, bezogenen, gelieferten und an die einzelnen Kostenstellen verteilten Energiemengen in Form eines Sankey-Diagrammes dargestellt. Die angegebenen Zahlenwerte sind mittlere Leistungen und wurden aus den Monatsdaten laut EnC für März 2012 (vgl. Abbildung A-3) rückgerechnet.

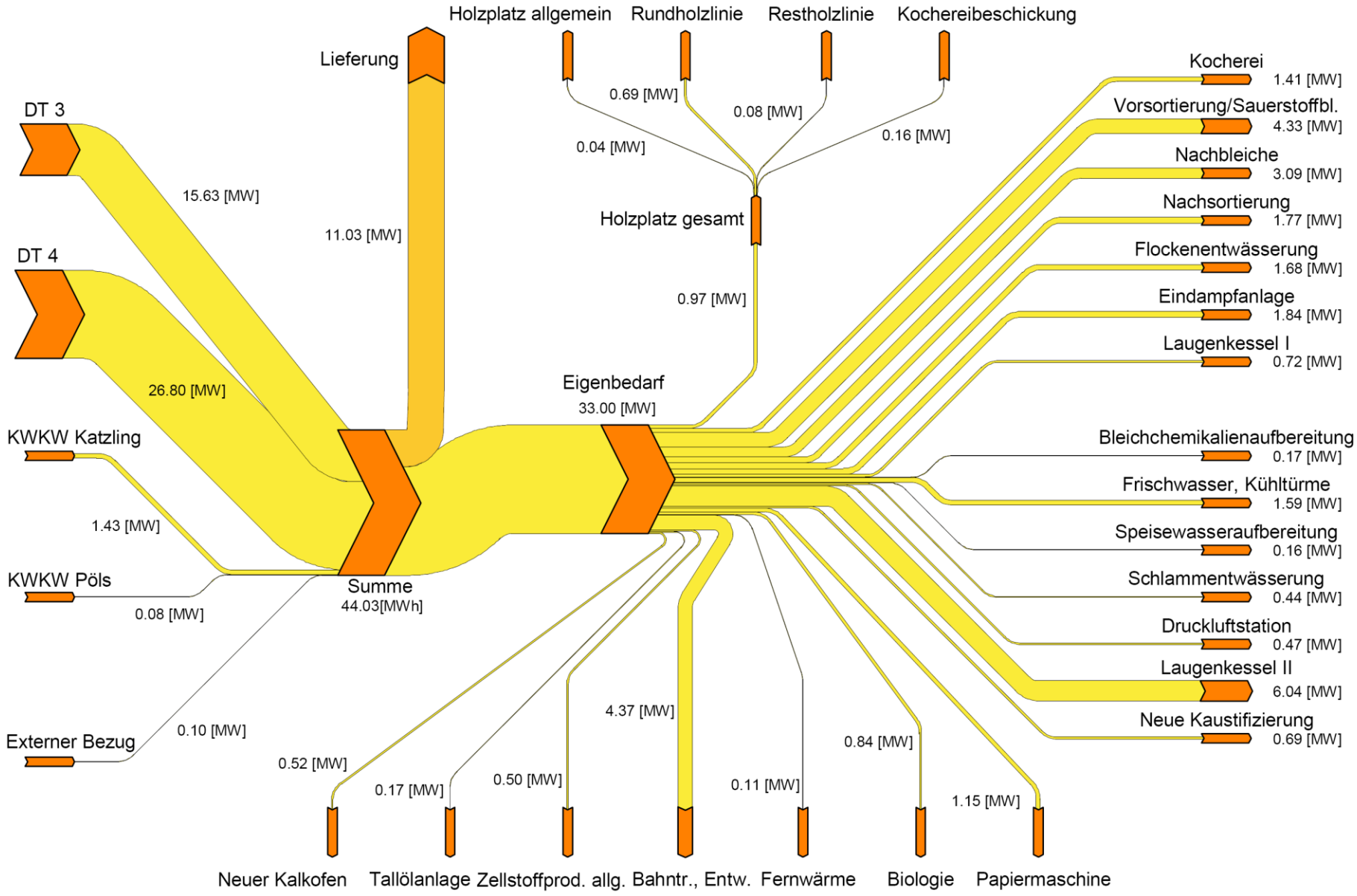


Abbildung 4-6: Sankey-Diagramm: Verteilung der elektrischen Energie

#### **4.2.2.6 Aktuelle Datenerfassung**

Analog zur unter Punkt 4.2.1.10 beschriebenen Erfassung der aktuellen Dampfverbräuche wurde auch ein System zur Abfrage des momentanen Stromverbrauchs erstellt. Die Funktionsweise dieses Werkzeuges entspricht der des Dampferfassungssystems. Auf Basis der vorhandenen Kostenstellenstruktur und den zugeordneten Messungen werden mit diesem Programm Mittelwerte der vorhergehenden Stunde erfasst. Nach dem Start der Software wird über die aktuelle Uhrzeit von einer hinterlegten Berechnung der Zeitraum für den Messwertimport definiert. Das Berechnungsschema für diesen Schritt ist unter Punkt 4.2.1.10 dokumentiert.

Anschließend werden von diesem Programm die benötigten Messwerte erfasst und Stundenmittelwerte für den Betrachtungszeitraum gebildet. Diese Daten werden in geeigneter Form kombiniert in einer nach Kostenstellen sortierten Liste ausgegeben. Dieses Werkzeug soll dem Nutzer in erster Linie dazu dienen, sich einen schnellen Überblick über die aktuellen Stromverbräuche in den unterschiedlichen Produktionsbereichen zu verschaffen und grobe Abweichungen rasch zu erkennen. Die Verbrauchsdaten werden daher auch nicht mittels Korrekturfaktoren an die erzeugte bzw. bezogene Menge an elektrischer Energie angepasst. Die entsprechenden Messwerte, d.h. Erzeugung mittels DT 3 und DT 4, Erzeugung mittels Kleinwasserkraftwerk Katzling sowie Lieferung und Bezug ins öffentliche Stromnetz, werden jedoch im Erfassungssystem ausgegeben. Dadurch können schnell grobe Abweichungen zwischen der zur Verfügung stehenden Energiemenge und dem gemessenen Verbrauch erkannt werden. Der Funktionsumfang des Erfassungssystems ist für den momentanen Gebrauch ausreichend, kann jedoch beliebig erweitert und angepasst werden, um auch zukünftigen Anforderungen gerecht werden zu können.

#### **4.2.2.7 Anwendung des Energiecontrollings für Strom**

##### **ABSCHÄTZUNG VON ENERGIEEINSPARUNGSPOTENTIALEN**

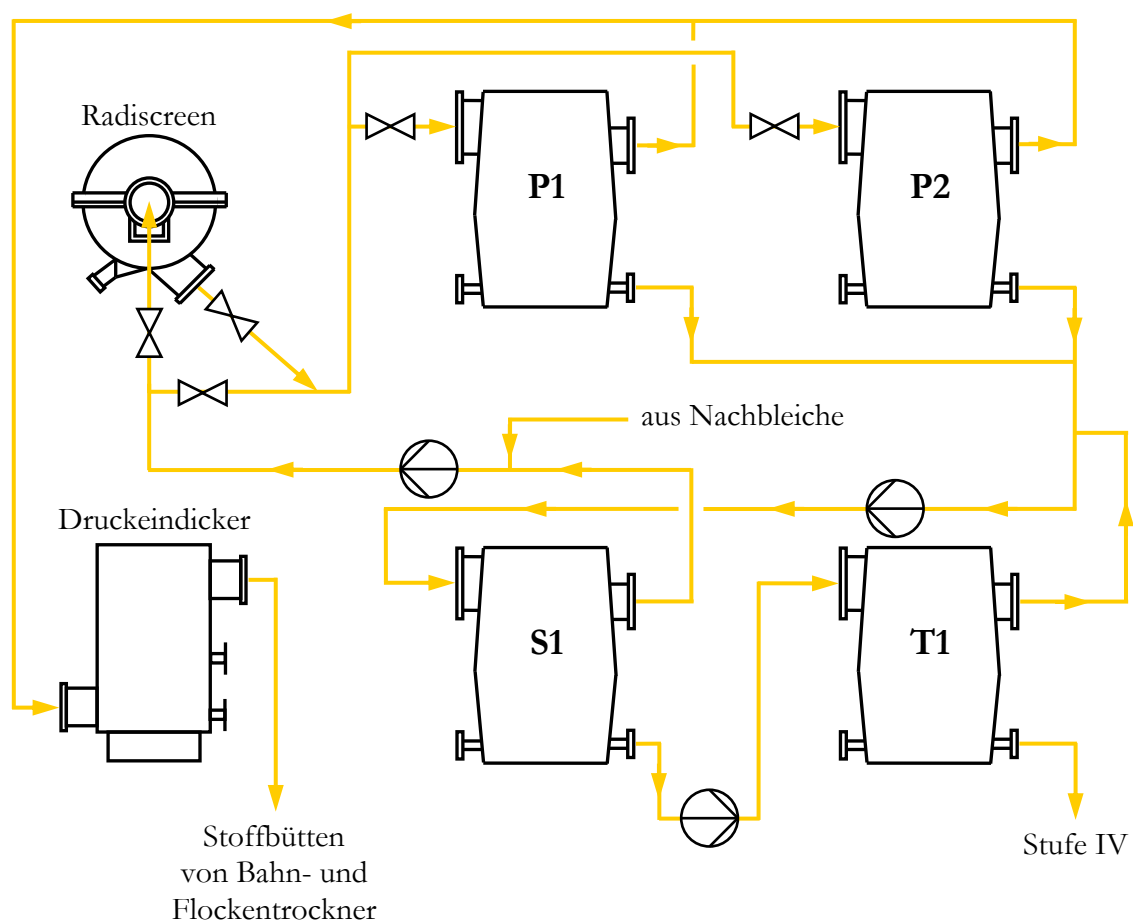
Einige Elemente aus dem Energiecontrolling für Strom wurden zur Ermittlung von Energieeinsparungspotentialen bei Modifikation von bestehenden Anlagen in der Faserlinie verwendet. Zum leichteren Verständnis der durchgeführten Maßnahmen werden nachfolgend der Aufbau und die Funktionsweise der betrachteten Anlagenelemente näher erläutert.

Im Departement *Nachsortierung* erfolgt die letzte Reinigung und Homogenisierung des gebleichten Zellstoffs vor der Trocknung und Verpackung. Der Zellstoff wird in diesem Anlagenbereich mit Hilfe von sieben Sortierstufen in Gutstoff und Rejekt aufgetrennt. Das Rejekt aus einer Stufe wird dabei in der nachfolgenden weiterbehandelt, der Gutstoff gelangt in die



davor liegende Stufe. Durch diese Verschaltung der Sortieraggregate tritt das reine Produkt als Gutstoff aus der Stufe I aus und wird im Anschluss in einen Druckeindicker geführt, wo eine Erhöhung der Stoffdichte stattfindet. Danach wird der gereinigte Zellstoff in Stoffbüten zwischengelagert, bevor die Endkonfektionierung im Bahn- bzw. Flockentrockner erfolgt.

Die Sortierstufen I bis III bestehen aus vier Apparaten und werden innerhalb der Zellstoff Pöls AG als Primär-, Sekundär- und Tertiärsortierer bezeichnet. Die beiden Primärsortierer P1 und P2 bilden zusammen die Stufe I, der Sekundärsortierer S1 stellt die Stufe II dar und der Tertiärsortierer T1 bildet Stufe III. Abbildung 4-7 zeigt eine Prinzipskizze der Zellstoffführung zwischen diesen Stufen.



**Abbildung 4-7:** Prinzipskizze der Stoffstromführung in den Sortierstufen I bis III

Jedes dieser Sortieraggregate besteht im Wesentlichen aus einem Siebzylinder, in dessen Innerem sich ein Rotor bewegt. Der zu reinigende Zellstoff wird auf der Innenseite des Siebkorbs aufgegeben und von den drehenden Rotorblättern durch die Schlitze im Mantel gepresst. Das Rejekt verbleibt an der Innenseite und wird aus der Anlage ausgetragen. Der Gutstoff gelangt von der Außenseite des Siebzylinders zur nächsten Sortierstufe.

Um den Rotor durch den Zellstoff zu bewegen und diesen durch die Öffnungen im Siebmantel zu pressen, ist vom Antriebsmotor ein hohes Drehmoment aufzubringen. Aus diesem Grund weisen die Antriebe dieser drei Sortierstufen entsprechend hohe Nennleistungen auf, welche in Tabelle 4-7 zusammengefasst sind.

**Tabelle 4-7:** Nennleistungen der Antriebe von Sortierstufe I bis III

<b>Bezeichnung</b>	<b>Stufe</b>	<b>Nennleistung [kW]</b>
Primärsortierer 1 (P1)	I	315,0
Primärsortierer 2 (P2)	I	315,0
Sekundärsortierer (S1)	II	315,0
Tertiärsortierer (T1)	III	90,0

Mit den hohen auftretenden Drehmomenten gehen natürlich auch hohe Stromverbräuche der Antriebsmotoren einher, deren Reduktion zu einer wesentlichen Kosteneinsparung führen würde. Aus diesem Grund wurde der Primärsortierer 1 testweise mit einem neuartigen Rortortyp ausgerüstet, der durch seine spezielle Bauweise bei gleicher Produktionsleistung ein kleineres Drehmoment bewirkt. Durch diese Maßnahme konnte die Stromaufnahme des Motors um ca. 30 % reduziert werden. Etwa 16 Monate nach dem Einbau des neuen Rotors wurde der Keilriemenantrieb des P1 modifiziert, wodurch eine weitere Energieeinsparung realisiert werden konnte.

Die Aufgabe bestand nun darin, auf Basis der bestehenden Konfiguration des P1 eine Abschätzung der Energieeinsparungspotentiale bei Anwendung derselben Umbau- und Änderungsmaßnahmen auf die Anlagen P2, S1 und T1 durchzuführen. Die daraus gewonnenen Resultate sollen als Grundlage für die Freigabe und die Durchführung eines möglichen Investitionsprojektes dienen.

Für die Umsetzung dieser Abschätzung wurde das erstellte Energiecontrolling-System für Strom herangezogen und einige Elemente daraus an die Aufgabenstellung angepasst. Um einen Überblick über die aus den Anlagenmodifikationen resultierenden Änderungen zu erhalten, wurden folgende Betrachtungszeiträume analysiert:

- November 2009
- Dezember 2009
- Jänner 2010
- Juni 2010
- November 2010
- November 2011
- Dezember 2011
- Jänner 2012

Die Monate November und Dezember 2009 sowie Jänner 2010 stellen die IST-Situation vor dem Rotorenumbau dar. Juni und November 2010 dienen als Basis zur Ermittlung der Auswirkungen durch den Einbau des neuen Rotors. Die Daten aus den Monaten November und Dezember 2011 sowie Jänner 2012 sollen zeigen, zu welchen Effekten die Änderungen im Keilriemenantrieb des P1 führten.

Mit Hilfe einiger Elemente aus dem Energiecontrolling für Strom wurden zur Abschätzung der Einsparungspotentiale alle relevanten Daten ermittelt. Dabei wurden die Stromverbräuche der Antriebe von P1, P2, S1 und T1 in den oben angegebenen Zeiträumen über deren mittlere prozentuelle Stromaufnahme und deren Nennleistung berechnet. Des Weiteren wurde der gesamte Energiebedarf des Departements bzw. der Kostenstelle *Nachsortierung* für die betrachteten Monate erfasst. Da die Höhe des Bedarfs an elektrischer Energie für die Antriebe der Sortierer mit der Produktionsleistung korreliert, werden für die Vergleiche und Abschätzungen spezifische Kennzahlen herangezogen, d.h. alle absoluten Verbräuche in [MWh/Monat] werden auf die monatliche Zellstoffproduktionsmenge bezogen. Aufgrund der einfacheren Lesbarkeit werden diese spezifischen Kennzahlen auf [kWh/t Zellstoff] umgerechnet. In Tabelle 4-8 sind die ermittelten Stromverbräuche von P1 und P2 in absoluten als auch spezifischen Werten für den jeweiligen Betrachtungszeitraum angegeben. Zusätzlich ist die Monatsproduktion an Zellstoff angeführt, welche zur Bildung der spezifischen Kennzahl verwendet wurde. Tabelle 4-9 zeigt dieselben Informationen für die Antriebe von S1 und T1.

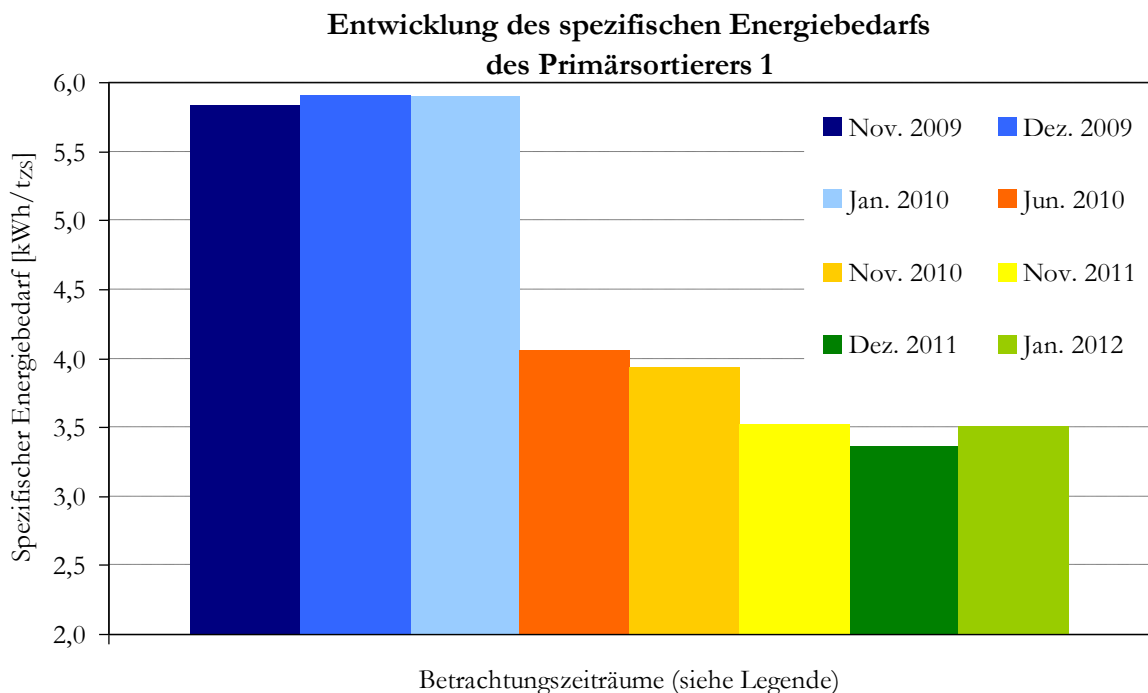
**Tabelle 4-8:** Abs. und spez. Energiebedarf von P1 und P2 im Betrachtungszeitraum

<b>Zeitraum</b>	<b>Zellstoff- produktion [t/Monat]</b>	<b>P1 [MWh/Monat]</b>	<b>P1 [kWh/t<sub>ZS</sub>]</b>	<b>P2 [MWh/Monat]</b>	<b>P2 [kWh/t<sub>ZS</sub>]</b>
November 2009	34.625	201,85	5,830	207,35	5,988
Dezember 2009	35.257	208,16	5,904	213,74	6,062
Jänner 2010	35.563	209,78	5,899	214,69	6,037
Juni 2010	34.825	141,06	4,050	203,47	5,842
November 2010	35.777	140,45	3,926	203,67	5,693
November 2011	35.037	123,32	3,520	202,85	5,789
Dezember 2011	36.299	121,78	3,355	201,89	5,562
Jänner 2012	34.457	120,77	3,505	201,14	5,837

**Tabelle 4-9:** Abs. und spez. Energiebedarf von S1 und T1 im Betrachtungszeitraum

Zeitraum	Zellstoff- produktion [t/Monat]	S1		T1	
		[MWh/Monat]	[kWh/t <sub>ZS</sub> ]	[MWh/Monat]	[kWh/t <sub>ZS</sub> ]
November 2009	34.625	202,39	5,845	56,39	1,629
Dezember 2009	35.257	208,30	5,908	57,92	1,643
Jänner 2010	35.563	208,41	5,860	57,63	1,621
Juni 2010	34.825	205,30	5,895	53,12	1,525
November 2010	35.777	206,45	5,770	50,18	1,403
November 2011	35.037	196,21	5,600	58,20	1,661
Dezember 2011	36.299	196,12	5,403	57,66	1,588
Jänner 2012	34.457	197,82	5,741	57,15	1,659

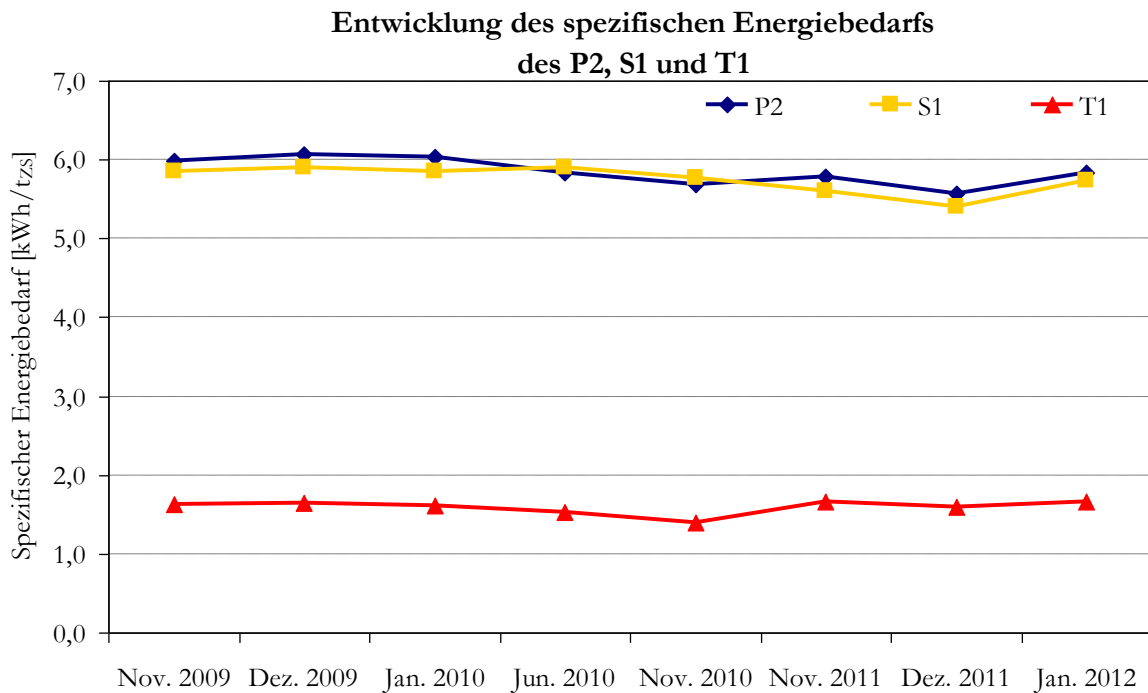
In Abbildung 4-8 sind die in Tabelle 4-8 dokumentierten spezifischen Energieverbräuche des Primärsortierers 1 dargestellt. Dieses Diagramm zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs zwischen November 2009 und Jänner 2012 mit allen aufgrund der durchgeführten Maßnahmen entstandenen Änderungen.



**Abbildung 4-8:** Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs des Primärsortierers 1 (P1)

In Abbildung 4-8 ist zu erkennen, dass der größte Sprung im Energiebedarf zwischen Jänner und Juni 2010 auftrat. Im Zeitraum zwischen diesen beiden Monaten wurde der Primärsortierer 1 mit dem neuen Rotor ausgestattet. Die nächste größere Veränderung im monatlichen Stromverbrauch ist zwischen November 2010 und November 2011 ersichtlich. Diese Diffe-

renz zeigt den Beitrag der Modifikation des Keilriemenantriebes am Energiebedarf des P1. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 4-9 die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche der unveränderten Sortieranlagen P2, S1 und T1 dargestellt. Darin sind nur marginale Änderungen erkennbar, weshalb Reduktionen im Energiebedarf durch Zusatzeffekte ausgeschlossen werden können.



**Abbildung 4-9:** Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs des P2, S1 und T1

Für die Abschätzung der Energieeinsparungspotentiale durch Umbau der Sortierer P2, S1 und T1 wurden zunächst die Reduktionen im Stromverbrauch des P1 genauer untersucht. Zwischen Jänner und Juni 2010 sank der spezifische Energiebedarf von 5,899 auf 4,050 kWh/t<sub>ZS</sub>. Das entspricht einer Reduktion der aufgenommenen Wirkleistung von 31,3 %. Der Sprung von 3,926 auf 3,520 kWh/t<sub>ZS</sub> zwischen November 2010 und November 2011 aufgrund der Änderungen im Keilriemenantrieb kommt einer Verminderung im Energiebedarf von 10,3 % gleich. In Abbildung 4-8 ist zu erkennen, dass der Stromverbrauch im Dezember 2011 unter den Wert von November 2011 abfällt, im Jänner 2012 jedoch wieder bis knapp unter den Novemberverbrauch ansteigt. Um die zum Zeitpunkt der Untersuchung aktuellen Verbrauchsdaten einfließen zu lassen, diente für die weiteren Berechnungen der Unterschied im Stromverbrauch zwischen Jänner 2010 und Jänner 2012. Dieser Sprung von 5,899 auf 3,505 kWh/t<sub>ZS</sub> (vgl. Tabelle 4-8) entspricht einer Reduktion im Energiebedarf von 40,6 % und damit dem im Idealfall möglichen Einsparungspotential. Nachfolgend sind die Berechnungsergebnisse für alle betrachteten Sortierer angeführt.

**Primärsortierer 2**

Energiebedarf im Jänner 2010:	5,837 kWh/t <sub>ZS</sub>
Energiebedarf bei Reduktion um 40,6 %:	3,468 kWh/t <sub>ZS</sub>
Berechnete Energieeinsparung:	<b>2,369 kWh/t<sub>ZS</sub></b>
Berechnete Kosteneinsparung <sup>1</sup> :	<b>0,118 EUR/t<sub>ZS</sub></b>

**Sekundärsortierer 1**

Energiebedarf im Jänner 2010:	5,741 kWh/t <sub>ZS</sub>
Energiebedarf bei Reduktion um 40,6 %:	3,411 kWh/t <sub>ZS</sub>
Berechnete Energieeinsparung:	<b>2,330 kWh/t<sub>ZS</sub></b>
Berechnete Kosteneinsparung <sup>1</sup> :	<b>0,116 EUR/t<sub>ZS</sub></b>

**Tertiärsortierer 1**

Energiebedarf im Jänner 2010:	1,659 kWh/t <sub>ZS</sub>
Energiebedarf bei Reduktion um 40,6 %:	0,985 kWh/t <sub>ZS</sub>
Berechnete Energieeinsparung:	<b>0,673 kWh/t<sub>ZS</sub></b>
Berechnete Kosteneinsparung <sup>1</sup> :	<b>0,034 EUR/t<sub>ZS</sub></b>

Unter der Annahme, dass die Konfiguration des P2, des S1 und des T1 im selben Ausmaß geändert wird, wie jene des P1, sowie unter der Voraussetzung desselben Reduktionspotentials ergibt sich eine gesamte Energieeinsparung von **5,372 kWh/t<sub>ZS</sub>**. Die Umsetzung aller erwähnten Maßnahmen würde zu einer rechnerischen Kosteneinsparung von **0,269 EUR/t<sub>ZS</sub>** führen. Würde die Investition getätigt und der Betrieb der Sortierer mit neuen Rotoren am 1. Juli 2012 begonnen werden, ergäbe sich bis Jahresende eine negative Abweichung vom Budgetwert in der Höhe von 1.117,70 MWh. Das würde einer Kosteneinsparung<sup>1</sup> von **EUR 55.885** entsprechen. Im Jahr 2013 kann auf Basis dieser Betrachtung bei einer budgetierten Produktionsmenge von 405.000 Tonnen Zellstoff mit einer Kosteneinsparung von **EUR 108.783** gerechnet werden.

---

<sup>1</sup> Als Basis der Berechnung diente die Bewertung einer MWh mit EUR 50,00.

## DARSTELLUNG DES STROMVERBRAUCHS WÄHREND EINES BETRIEBSVERSUCHES

Der Laugenverbrennungskessel II wird in bestimmten Betriebssituationen (hohe Zellstoffproduktion, Wintermonate) in die Nähe seiner Auslegungsgrenze von 360 t DHD brutto (inkl. Rußbläserdampf) pro Stunde geführt. Die Möglichkeiten der Versorgung von zusätzlichen Anlagen sind in solchen Betriebsfällen stark eingegrenzt bzw. nicht mehr möglich. Aus diesem Grund wurde im April 2012 ein Betriebsversuch zum Test des Parallelbetriebes des LK I und LK II durchgeführt. Dabei wurden beide Laugenkessel mit Dicklauge gespeist und die mögliche Hochdruckdampfausbeute überprüft. Dieser Versuch soll zeigen, ob in Zukunft ein Parallelbetrieb beider Kessel technisch möglich sowie aufgrund des erhöhten Eigenenergieverbrauchs der beiden Laugenkessel wirtschaftlich rentabel ist.

Um diese Faktoren beurteilen zu können, ist eine Vielzahl von Betrachtungen notwendig. Neben den zusätzlichen Instandhaltungsarbeiten und dem erhöhten Personalaufwand sind für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit Analysen von Verbrauchsdaten erforderlich. Aus diesem Grund wurde eigens für diesen Betriebsversuch ein System erstellt, welches die momentanen Stromverbräuche der wichtigsten Antriebe im LK I und LK II erfasst und gegenüberstellt. Dieses Programm basiert auf dem Werkzeug zur Erfassung der Messwerte der vorangegangenen Stunde, welches unter Punkt 4.2.2.6 dieser Arbeit beschrieben wurde. Darin werden die Wirkleistungsmessungen der betreffenden Schaltanlagen erfasst, von welchen die jeweiligen Antriebe der Laugenkessel versorgt werden. Sind keine Leistungsmessungen vorhanden, wird der Energiebedarf über die mittlere prozentuelle Stromaufnahme und die Nennleistung des jeweiligen Motors errechnet (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Die Messdaten und Rechenwerte der Antriebe werden getrennt für LK I und LK II aufsummiert und zur einfacheren Vergleichbarkeit nebeneinander ausgegeben. Neben der Erfassung der Mittelwerte der dem Programmstart vorangegangenen Stunde besteht auch die Möglichkeit, das Datum und die Uhrzeit des Startzeitpunktes vorzugeben. Das Programm überprüft zu Beginn der Erfassung automatisch die Eingaben und importiert bei Vorgabe einer alternativen Startzeit die Mittelwerte der gewünschten Stunde. Auf diese Weise kann der Stromverbrauch der beiden Laugenverbrennungskessel zu einem späteren Zeitpunkt analysiert werden, was dem Anwender die Möglichkeit gibt, sich während des Betriebsversuches auf andere Dinge zu konzentrieren.

Abbildung 4-10 zeigt die Eingabefelder für die Vorgaben zur Erfassung der Stromverbräuche im LK I und LK II. Im linken Teil von Abbildung 4-10 ist die Definition des Betrachtungszeitraumes auf Basis der aktuellen Uhrzeit ersichtlich. Die oberste Zeile besteht aus dem aktuellen Datum und der momentanen Uhrzeit. Daraus wird von hinterlegten Funktionen der darunter angegebene Zeitraum (10:00:00 bis 11:00:00) generiert. Für die fehlerfreie Kommu-

nikation mit dem Add-In werden die Vorgaben in das in der letzten Zeile ersichtliche Format umgewandelt. Auf Basis der Informationen aus den untersten Feldern werden die gewünschten Daten in das Erfassungsprogramm geladen und dort wie beschrieben weiterverarbeitet. Der rechte Teil von Abbildung 4-10 zeigt die alternative Vorgabe eines Startzeitpunkts für den Import der Messwerte. Bei Eingabe von Datum und/oder Uhrzeit werden die entsprechenden Felder im linken Teil von Abbildung 4-10 überschrieben und die Vorgaben für die Messwertfassung geändert.

23.04.2012	11:16:20	<b>ALTERNATIV:</b> <b>Vorgabe des Startzeitpunkts für</b> <b>Stundenmittelwert</b> <b>DATUM [tt.mm.jjjj]:</b> <b>UHRZEIT [hh:mm:ss]:</b>
10:00:00	11:00:00	
23.04.2012 10:00:00	23.04.2012 11:00:00	

**Abbildung 4-10:** Vorgabedaten für die Erfassung der Messwerte

In der Abbildung 4-11 ist als Beispiel einer Stunde des Betriebsversuches das Ausgabefeld des Erfassungsprogramms ersichtlich, in dem die Stromverbräuche des LK I und LK II gegenübergestellt werden. In der untersten Zeile wird zusätzlich der Gesamtbedarf an elektrischer Energie von beiden Laugenkesseln angegeben.

LK I	LK II
[kWh] <b>1.839,45</b>	[kWh] <b>5.063,04</b>
<b>SUMME:</b>	
[kWh] <b>6.902,49</b>	

**Abbildung 4-11:** Ausgabefeld für den Vergleich der Stromverbräuche

Die Auswertung der Daten aus dem Betriebsversuch ist derzeit noch in Arbeit, weshalb an dieser Stelle keine endgültigen Ergebnisse und Aussagen bezüglich möglicher Vor- und Nachteile des Parallelbetriebes beider Laugenverbrennungskessel bekannt gegeben werden können.



### 4.2.3 Frischwasser

#### 4.2.3.1 Bilanzierung

In Analogie zur Vorgehensweise beim Medium Dampf stand auch am Beginn der Erstellung des Erfassungssystems für den Frischwasserbedarf die Recherche nach zur Verfügung stehenden Messungen. Hierfür wurden Fließschemata und andere werksinterne Dokumente untersucht und die vorhandenen Messstellen notiert. Danach erfolgte die Aufteilung der gemessenen Wasserverbräuche nach Kostenstellen.

Da die im Zellstoffwerk Pöls verwendeten Wassermengen nicht energetisch bewertet werden und das erstellte System nur zur Erfassung der monatlichen Wasserverbräuche dient, fällt dieses nicht unter den Begriff *Energiecontrolling* sondern wird nachfolgend als *Controlling* bezeichnet. Im Controlling für Frischwasser werden nur jene Verbraucher berücksichtigt, die mit Wasser aus dem Pölsbach oder aus dem Grundwasser (Uferfiltrat) versorgt werden. Produktionsinterne Wässer wie Warmwasser oder Heißwasser finden in dieses System keinen Eingang. Die Verbrauchsdatenerfassung für Frischwasser bleibt auch vom Kühlwasserkreislauf unbeeinflusst.

In jenen Bereichen, wo Durchflussmessungen zur Ermittlung der Verbrauchsmengen zur Verfügung stehen, wurden diese in das Erfassungssystem eingebunden. Eine verursachungsgerechte Aufteilung der Wasserverbräuche auf die jeweiligen Kostenstellen ist mit der bestehenden Anzahl an Messungen jedoch nicht möglich, daher müssen Frischwassermengen in mehreren Bereichen abgeschätzt werden. Die aus dem Pölsbach entnommene Menge an Frischwasser und die Summe der Verbräuche in den einzelnen Kostenstellen muss eine geschlossene Bilanz ergeben. Um dies zu erreichen, wird auch beim Controlling für Frischwasser mit Korrekturfaktoren gearbeitet. Auf Details dazu wird unter Punkt 4.2.3.3 eingegangen.

Abbildung 4-12 zeigt ein Prinzipschema der Frischwasserverteilung innerhalb der Zellstoff Pöls AG. Darin sind die Hauptmessungen dargestellt, die im Controlling für Frischwasser verwendet werden.

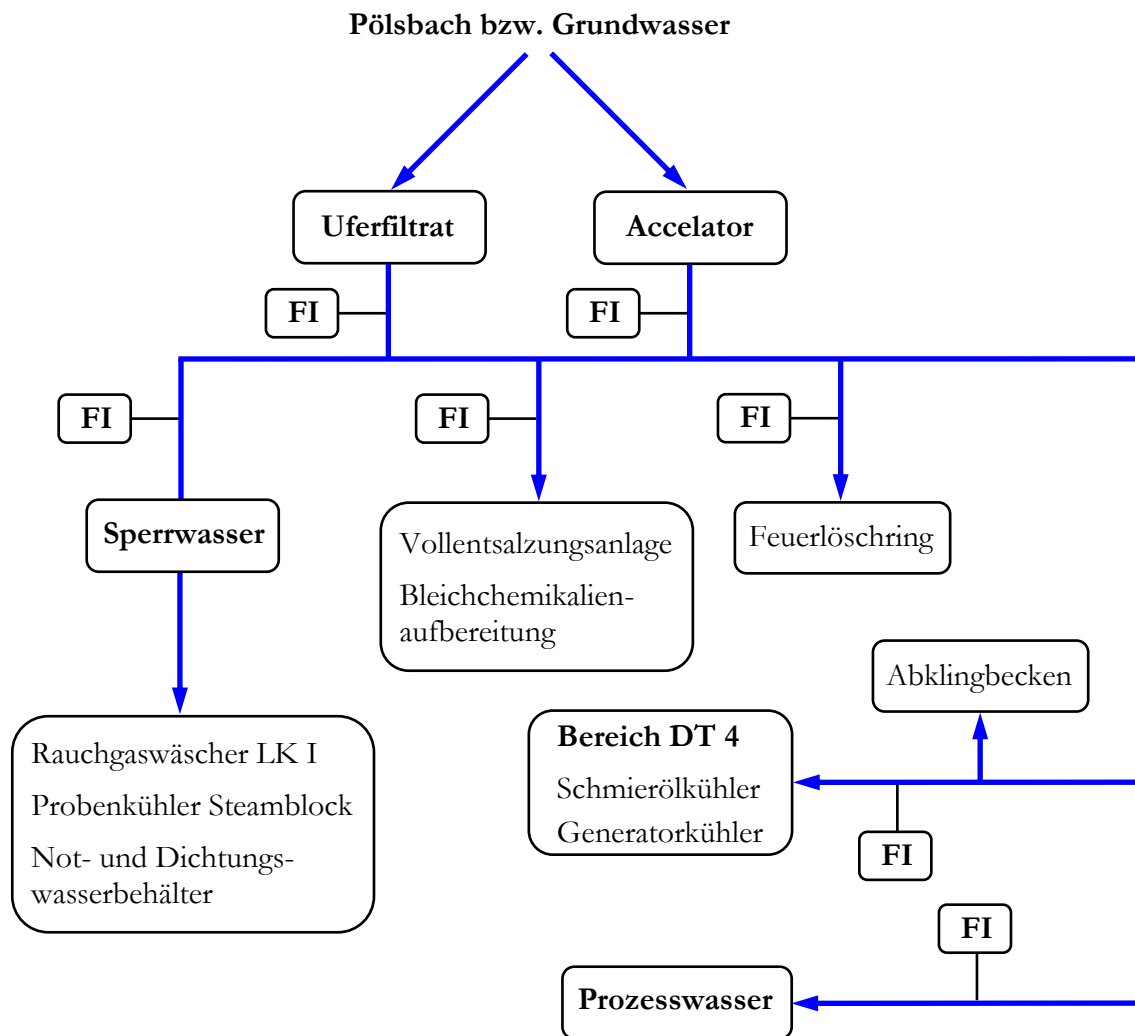


Abbildung 4-12: Prinzipschema der Frischwasserverteilung

#### 4.2.3.2 Verbrauchszuteilung

Auf eine genaue Angabe, welche Messwerte mit den Verbräuchen in den jeweiligen Kostenstellen verknüpft sind, wird auch an dieser Stelle verzichtet. Detaillierte Informationen hierzu sind in der firmeninternen Daten- und Wertesammlung zu finden. Allerdings werden die Schätzwerte für jene Bereiche ohne Durchflussmessungen angegeben. Diese sind nach Kostenstellen sortiert in Tabelle 4-10 dokumentiert.

**Tabelle 4-10:** Schätzwerte für den Frischwasserbedarf in einigen Kostenstellen

<b>Kostenstelle</b>		<b>Schätzung Frischwasserbedarf</b> [m <sup>3</sup> /h]
10420	Nachbleiche	20,0
10600	Flockenentwässerung	30,0
11000	Laugenkessel I	100,0
12100	Neue Kaustifizierung <sup>2</sup>	100,0
12200	Neuer Kalkofen	20,0

Die Verbrauchsdaten in den verbleibenden Kostenstellen sind über Messungen zugänglich. Teilweise wurden in der Erfassungssoftware prozentuelle Aufteilungsschlüssel hinterlegt, wenn von einer Messung der Verbrauch mehrerer Kostenstellen erfasst wird. Im nachfolgenden Kapitel 4.2.3.3 wird auf die durchgeführten Korrekturen für die Erreichung einer geschlossenen Bilanz zwischen der aus dem Pölsbach bzw. aus dem Grundwasser entnommenen und jener in den Kostenstellen verbrauchten Wassermenge eingegangen.

#### **4.2.3.3 Anpassung der Verbräuche**

Die Rückgabewerte der im Zuge der Bilanzierung recherchierten Messungen werden im Controlling für Frischwasser erfasst, teilweise mit Schätzwerten kombiniert (vgl. Punkt 4.2.3.2) und den jeweiligen Kostenstellen zugewiesen. Der Grundgedanke beim Aufbau des Erfassungssystems war es, alle Verbraucher von Frischwasser zu finden und deren monatlichen Bedarf darzustellen. Die Gesamtmenge an verbrauchtem Wasser in den einzelnen Departments muss somit bei geschlossener Bilanz der Zulaufmenge entsprechen. Frischwasser wird sowohl über den Accelator und nachgeschaltete Filterstufen, als auch in Form von Uferfiltrat ins Werk geführt, wie in Abbildung 4-12 zu erkennen ist. Da in der Realität aufgrund von Messungenauigkeiten keine exakt geschlossene Bilanz zwischen Zulaufmenge und Verbrauch erreicht werden kann, erfolgt eine Korrektur der gemessenen Werte mittels Faktoren. Hierbei ist es im ersten Schritt notwendig, die Hauptmessung des Prozesswassers (siehe Abbildung 4-12) anzupassen. Nach dieser Messung wird das Frischwasser über Rohrleitungen innerhalb der Produktionsbereiche der Zellstoff Pöls AG verteilt. Diese Wassermenge wird über eine Vielzahl von Durchflussmessungen erfasst und sollte im Idealfall der von der Hauptmessung registrierten Gesamtmenge an Prozesswasser entsprechen. Der Anzeigewert

<sup>2</sup> Die Frischwassermenge von 100,0 m<sup>3</sup>/h stellt nur einen Teil des Gesamtbedarfs der Neuen Kaustifizierung dar. Die restliche Menge wird von einer Messung erfasst.

dieser Hauptmessung liegt in der Praxis jedoch in etwa um 20 % unter dem Summenwert der Einzelmessungen in der Produktion. Aus diesem Grund wurde im Controlling für Frischwasser der Rückgabewert der Hauptmessung des Prozesswassers durch die Summe der Einzelmesswerte ersetzt.

Im Zuge der Bilanzierung wurde erkannt, dass einige Messungen fehlerhafte Werte liefern. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde die Kontrolle und Neukalibrierung vieler relevanter Messsysteme in die Wege geleitet, sodass bereits während dem Aufbau des Erfassungssystems ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Datenbasis geleistet werden konnte.

Im nächsten Schritt müssen die gemessenen Verbrauchsmengen dahingehend angepasst werden, dass diese mit der eintretenden Frischwassermenge (Accelerator und Uferfiltrat) übereinstimmen. Von dieser Korrektur ist der Messwert des Frischwassers zur Papiermaschine ausgenommen, da diese Messung kurze Zeit vor der Erstellung des Erfassungssystems überprüft wurde, der Anzeigewert somit eine ausreichende Genauigkeit aufweist und daher nicht mittels Faktoren verändert werden darf. Aus diesem Grund wird die Wassermenge Richtung Papiermaschine von der Gesamtmenge am Eintritt abgezogen.

Die eintretende und zu verteilende Wassermenge wird aus folgenden Messwerten (vgl. Abbildung 4-12) im Zuge der monatlichen Erfassung im Controlling errechnet:

$$\begin{array}{r}
 \text{Frischwasser als Uferfiltrat [m}^3\text{/Monat]} \\
 + \text{ Frischwasser aus Accelerator [m}^3\text{/Monat]} \\
 - \text{ Frischwasser für Papiermaschine [m}^3\text{/Monat]} \\
 \hline
 = \text{ **Frischwasser am Eintritt [m}^3\text{/Monat]}**
 \end{array}$$

Das *Frischwasser am Eintritt* soll auf die nachfolgend aufgelisteten Bereiche innerhalb der Fabrik verteilt werden. Die Wassermengen werden über Messungen erfasst und für die monatliche Bedarfsermittlung in das Erfassungssystem importiert.

$$\begin{array}{r}
 \text{Sperrwassernetz [m}^3\text{/Monat]} \\
 + \text{ Vollentsalzungsanlage und Bleichchemikalienaufbereitung [m}^3\text{/Monat]} \\
 + \text{ Feuerlöschring [m}^3\text{/Monat]} \\
 + \text{ Bereich Dampfturbine 4 [m}^3\text{/Monat]} \\
 + \text{ Prozesswassernetz [m}^3\text{/Monat]} \\
 \hline
 = \text{ **Frischwasser in Verteilung [m}^3\text{/Monat]}**
 \end{array}$$

Der Rückgabewert der Hauptmessung des Prozesswassers (*Prozesswassernetz* in obiger Auflistung) wurde in der Software durch die Summe der danach installierten Einzelmessungen ersetzt. Der Messwert der Frischwassermenge für die Papiermaschine wurde jedoch in dieser Summe nicht berücksichtigt. Der Korrekturfaktor zur Anpassung der Frischwasserverbräuche in den einzelnen Kostenstellen wird im Anschluss auf folgende Weise berechnet:

$$f_{\text{Frischwasser}} = \frac{\text{Frischwasser am Eintritt} [\text{m}^3 / \text{Monat}]}{\text{Frischwasser in Verteilung} [\text{m}^3 / \text{Monat}]} \quad (4-27)$$

$f_{\text{Frischwasser}}$  beträgt für die Erfassung der Verbrauchsdaten im März 2012 laut Controlling 0,957. Das bedeutet, dass die Summe der gemessenen und im Werk verteilten Frischwassermengen um 4,28 % höher ist, als die am Eintritt gemessene Gesamtmenge. Diese markante Abweichung lässt auf ungenaue Messungen schließen, die teilweise auf unterschiedlichen Messbereichen begründet sein können. Die Durchflussmessung Richtung Feuerlöschring hat beispielsweise im März 2012 eine Gesamtmenge von ca. 103.500 m<sup>3</sup> registriert. Die anderen Hauptmessungen im Verteilnetz zeigen Rückgabewerte in ähnlicher Größenordnung. Diese werden jedoch mit Messstellen verglichen, die weitaus höhere Durchflussmengen erfassen müssen. Der Messwert des Frischwassers nach dem Accelerator liegt im März 2012 bei 1.535.600 m<sup>3</sup> und beträgt damit knapp das 15-fache der Frischwassermenge Richtung Feuerlöschring.

Aufgrund der Tatsache, dass Frischwasser keinen Energieträger im Sinne von Dampf oder Strom für die Zellstoffproduktion darstellt und dessen Bezug und Aufbereitung (noch) nicht mit hohen Kosten behaftet ist, spielen die auftretenden Ungenauigkeiten in der Erfassung eine untergeordnete Rolle. Durch die Korrektur mittels Faktor wird gewährleistet, dass die verteilten Wassermengen immer mit den aus dem Pölsbach und den aus dem Grundwasser entnommen Mengen übereinstimmen. Eine Abweichung von 5 % wird dabei toleriert.

#### **4.2.3.4 Änderungen und Verbesserungsmaßnahmen**

Im Zuge des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses wurde das Erfassungssystem für den Frischwasserbedarf der Zellstoff Pöls AG leicht modifiziert. In der aktuellsten Version der Software wird nun die gesamte Zulaufmenge über den Accelerator bzw. als Uferfiltrat mit den gemessenen Abwassereinleitmengen in den Pölsbach abgeglichen. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass der in das Zellstoffwerk einfließende Frischwasservolumenstrom der Abwassermenge entspricht, die mittels kalibrierter und behördlich genehmigter Durchflussmessungen ermittelt wird. Dabei werden zusätzlich die Verdampfungsverluste in die Atmosphäre berücksichtigt. Auf Details dazu wird im folgenden Kapitel 4.2.4 eingegangen.

#### ***4.2.3.5 Zusammenfassung der Verbräuche***

Analog zur Erfassung der Dampf- und Stromverbräuche werden die mittels Controlling generierten Daten des Monatsbedarfs an Frischwasser in eine separate Übersichtsdatei exportiert und an die Controlling-Abteilung in der Zellstoff Pöls AG weitergeleitet. Abbildung A-4 auf Seite XVIII im Anhang dieser Arbeit zeigt die Übersicht der Verbrauchsdaten für Frischwasser in den Monaten Jänner bis März 2012. Die Verteilung der in das Zellstoffwerk eintretenden Frischwassermenge auf die einzelnen Kostenstellen ist in Abbildung 4-13 in einem Sankey-Diagramm dargestellt. Die darin angegebenen Zahlenwerte sind mittlere stündliche Durchflussmengen und wurden aus den Daten laut Frischwasser-Controlling für März 2012 (vgl. Abbildung A-4) rückgerechnet.

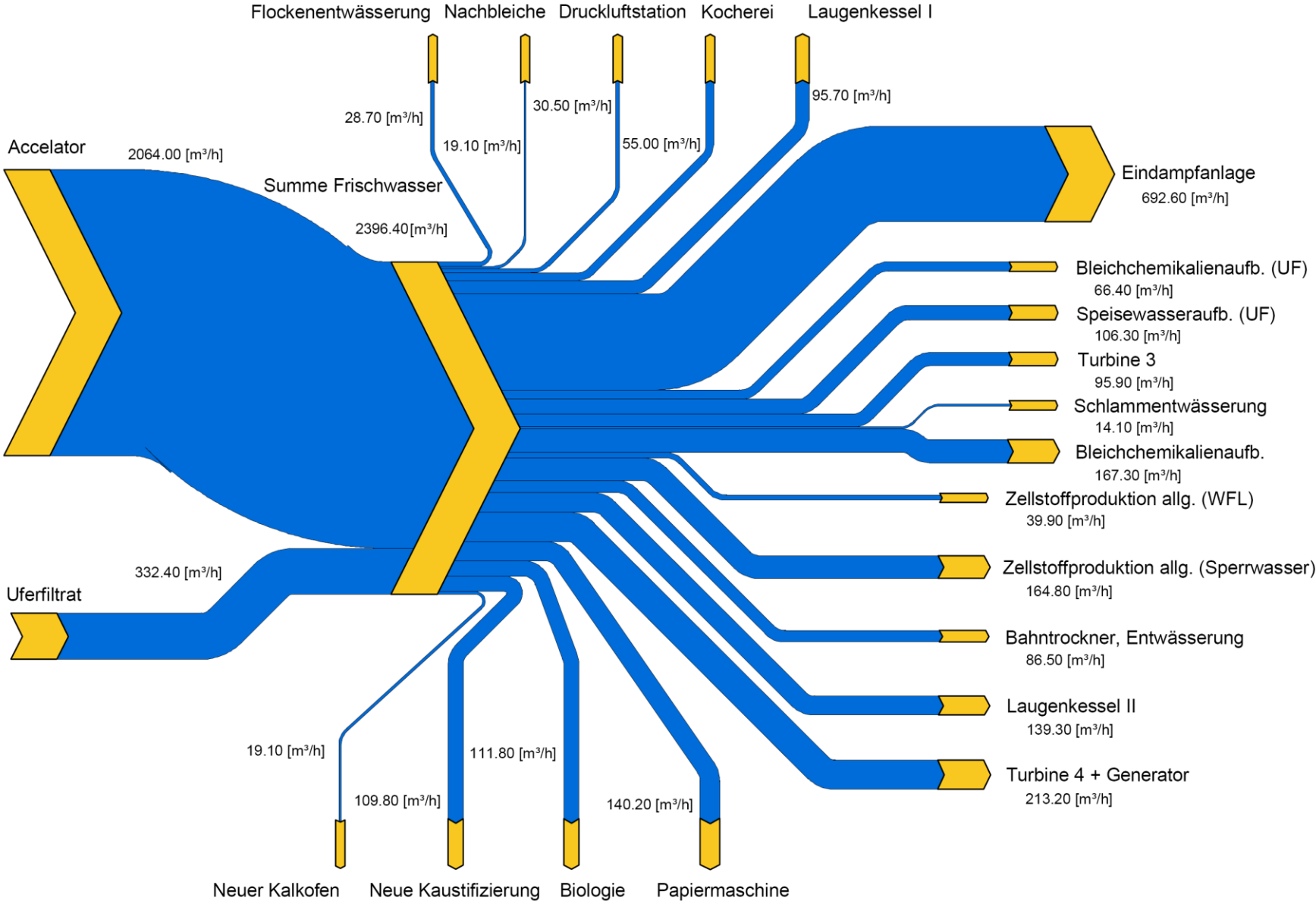


Abbildung 4-13: Sankey-Diagramm: Verteilung der Frischwassermengen

## 4.2.4 Abwasser

### 4.2.4.1 Bilanzierung

Am Beginn der Erstellung des Mengenerfassungssystems für Abwasser stand ebenso wie bei den anderen betrachteten Medien die Recherche nach vorhandenen Messungen, die in der Software verwendet werden können. Nach dem Studium von Fließschemata und nach Rücksprache mit den zuständigen Personen im Betrieb wurden den Kostenstellen Messungen zugewiesen, die deren Abwassermengen widerspiegeln. Teilweise sind in der Erfassungssoftware prozentuelle Aufteilungsschlüssel hinterlegt, um eine verursachungsgerechte Aufteilung der Mengen zu erreichen. In einem Fall wird die Abwassermenge über eine prozentuelle Ventilöffnung ermittelt und an der betreffenden Stelle ausgewiesen.

Die Grundannahme bei der Erstellung des Erfassungssystems lautete, dass nur an jenen Stellen im Werk Abwasser anfällt, wo auch Frischwasser benötigt wird. Interne Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen dem Warmwasser- bzw. Heißwassernetz werden dabei nicht berücksichtigt. Jene Wassermenge, die als Frischwasser in Form von Uferfiltrat oder über den Accelerator ins Zellstoffwerk gelangt, muss dieses als Abwasser auch wieder verlassen. Um dies zu bewerkstelligen, gibt es einige Möglichkeiten, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Die Zellstoff Pöls AG betreibt eine Abwasserreinigungsanlage (ARA), in welcher neben dem im Werk anfallenden Abwasser auch das kommunale Abwasser aus dem Ort Pöls und den umliegenden Gemeinden behandelt wird. Die Anlage arbeitet nach dem einstufigen Belebungsverfahren und weist einen Bemessungswert von 200.000  $EW_{60}$  auf. Aus der Zellstoffproduktion führen drei Abwasserlinien in die Kläranlage, die unterschiedliche Belastungen aufweisen.

- Linie 1:** organisch unbelastetes, feststoffbelastetes Abwasser
- Linie 2:** organisch schwach belastetes, feststoffbelastetes Abwasser
- Linie 3:** organisch belastetes, schwach feststoffbelastetes Abwasser
- Linie 4:** Kommunales Abwasser des Abwasserverbands Oberes Pölstal

Die Durchflussmengen aller vier Abwasserlinien werden messtechnisch erfasst. Ebenso wird die aus der Kläranlage in den Vorfluter geleitete Wassermenge über eine Messung registriert. Sämtliche Kühlwasser-Überläufe im Zellstoffwerk gelangen über den Kühlwasserkanal direkt in den Pölsbach und werden von einer Durchflussmessung vor dem Eintritt in den Vorfluter



gemessen. Abbildung 4-14 zeigt ein Prinzipschema des Verlaufs der vier Abwasserlinien sowie des Kühlwasserkanals mit den erwähnten Messstellen.

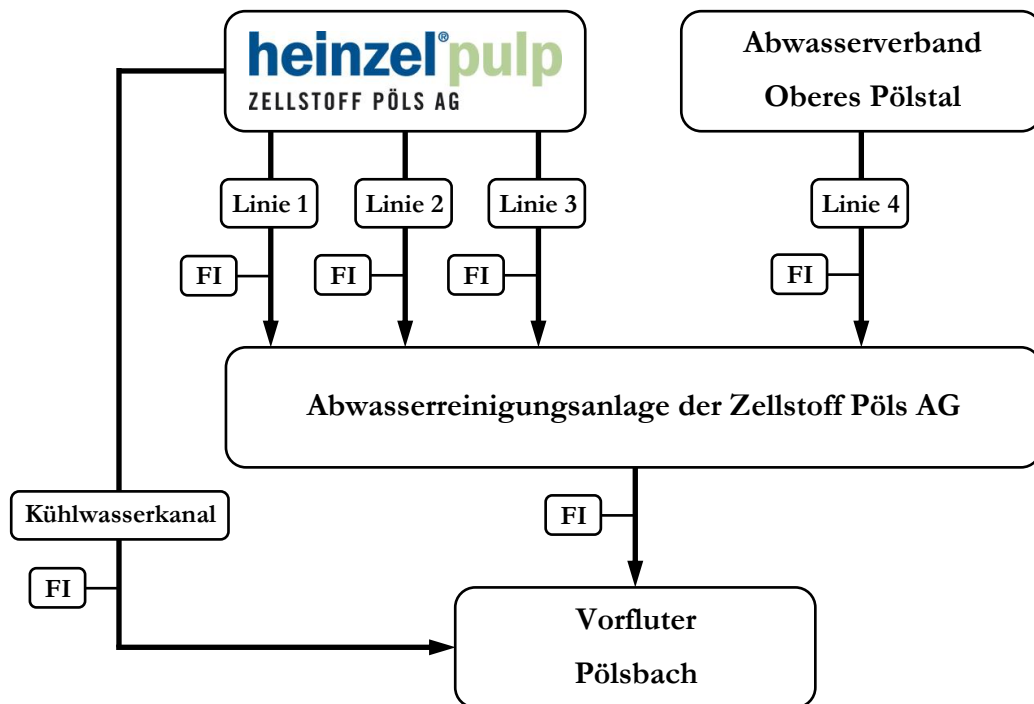


Abbildung 4-14: Prinzipschema des Verlaufs der Abwasserlinien

Auf die Rückgabewerte der in Abbildung 4-14 dargestellten Messungen werden die innerhalb des Zellstoffwerks gemessenen Abwassermengen im Erfassungssystem bezogen. Auf Details dazu wird im folgenden Kapitel 4.2.4.2 eingegangen.

#### 4.2.4.2 Verbrauchszuteilung

Auch an dieser Stelle wird auf eine genaue Beschreibung der Zuteilung von vorhandenen Messwerten auf die jeweiligen Kostenstellen verzichtet. Da die Anzahl der verfügbaren Messstellen für Abwasser im Zellstoffwerk im Vergleich zu Dampfmengen- oder Wirkleistungsmessungen gering ist, werden in einigen Fällen in der Erfassungssoftware Schätzungen verwendet, die auf Erfahrungswerten beruhen. Diese abgeschätzten Wassermengen reichen von  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  bis  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  und bilden meist gemeinsam mit Messwerten die Abwassermenge einer Kostenstelle. Lediglich in drei Fällen gibt ein reiner Schätzwert den gesamten Abwasseranfall der betreffenden Kostenstelle wieder, da in diesen Fällen keine verwendbaren Messungen oder sonstigen Korrelationen zur Verfügung stehen.

Die Höhe der Abwassermenge der Nachbleiche wird von der Niveauregelung des Filtratbehälters der Waschpresse IV mitbestimmt. Um das Niveau innerhalb dieses Behälters auf einem konstanten Wert zu halten, wird von der Regelung ein Ablassventil angesprochen, welches je

nach Bedarf weiter geöffnet oder geschlossen wird. Das austretende Filtrat gelangt in weiterer Folge in die Abwasserlinie 2. Um auch diesen Anteil an der gesamten Abwassermenge im Controlling zu berücksichtigen, wird die prozentuelle Öffnung des Regelventils verwendet. Dieser Wert und die maximale Durchflussmenge bilden die Basis für die Rückrechnung auf den tatsächlichen Durchfluss. Der maximal mögliche Volumenstrom wurde basierend auf den Auslegungsdaten der Rohrleitung mit 150 m<sup>3</sup>/h errechnet.

Dieser Zahlenwert ist in der Erfassungssoftware als maximaler Durchfluss bei 100 % Ventilöffnung vorgegeben. Im Zuge der monatlichen Datenerhebung wird der Monatsmittelwert der prozentuellen Öffnung des Ablassventils gebildet. Nach Multiplikation mit dem maximal möglichen Durchfluss und Umrechnung auf Kubikmeter pro Monat ergibt sich der monatliche Beitrag des Filtratbehälter-Überlaufs an der Gesamtabwassermenge der Nachbleiche. In Gleichung (4-28) ist die Berechnung dieses Wertes dargestellt.

$$\dot{V}_{\text{Abwasser}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \frac{v [\%]}{100} \cdot \dot{V}_{\text{max}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (4-28)$$

Darin entspricht  $v$  der Ventilöffnung in [%].

Im Erfassungssystem werden neben der Gesamtmenge an Abwasser in jeder Kostenstelle auch die Anteile über die einzelnen Abwasserlinien sowie über den Kühlwasserkanal ausgewiesen. Die Summe der Wassermengen über jede einzelne Linie sollte bei geschlossener Bilanz und fehlerfreien Messungen dem Anzeigewert der Linien-Hauptmessung entsprechen (vgl. Abbildung 4-14). Da aber die messtechnische Erfassung der Abwassermengen in der Realität nicht diesen Anforderungen gerecht wird bzw. in einigen Bereichen keine geeigneten Messungen zur Verfügung stehen, werden die auftretenden Differenzen in der Erfassungssoftware repräsentativen Kostenstellen zugerechnet. Bei der Linie 1 wird eine geschlossene Bilanz erreicht, indem die Differenz zwischen den Einzelmengen der Kostenstellen und der Gesamtmenge über die Hauptmessung der Kostenstelle *Papiermaschine* zugerechnet wird. Die Kostenstelle *Frischwasser, Kühltürme* übernimmt diese Differenz für die Abwasserlinie 2. Der auftretende Unterschied zwischen Haupt- und Einzelmessungen bei Linie 3 wird von der Kostenstelle *Nachbleiche* kompensiert. Die Differenz zwischen den einzelnen Kühlwassermengen in den Kostenstellen und dem gesamten Durchfluss im Kühlwasserkanal wird auf die Kostenstelle *Frischwasser, Kühltürme* verbucht.

Die der Kostenstelle *Biologie* zugewiesene Frischwassermenge wird in derselben Höhe als Abwasser verrechnet. Hierfür wird der Verbrauchswert aus dem Controlling für Frischwasser in das Erfassungssystem für Abwasser importiert und an der betreffenden Stelle ausgewiesen.

Aus den Einzelwerten in den jeweiligen Kostenstellen ergibt sich eine Gesamtsumme an Abwasser, die in weiterer Folge mit der gesamten zugeführten Frischwassermenge in Einklang gebracht werden muss. Zuvor werden jedoch die gemessenen Abwassermengen an die gesamte Abwassermenge aus dem Zellstoffwerk mittels Korrekturfaktoren angepasst. Die Vorgehensweise für die Umsetzung dieser Maßnahmen ist in nachfolgendem Kapitel 4.2.4.3 beschrieben.

#### 4.2.4.3 Anpassung der Verbräuche

Die Gesamtmenge an Abwasser aus der Zellstoff Pöls AG ergibt sich aus Subtraktion des Anzeigewertes der Durchflussmessung in Linie 4 von jenem der Hauptmessung Richtung Vorfluter (vgl. Abbildung 4-14). Neben den Abwasserlinien 1 bis 3 werden auch 70 % des Feuerlöschwassers zur ARA geführt und dort teilweise als Spülwasser eingesetzt. Die für das Controlling herangezogene Durchflussmessung ist in Abbildung 4-12 dargestellt. Diese Wassermenge ist in den gemessenen Durchflussmengen der einzelnen Linien nicht enthalten, daher wird die Zulaufmenge zur Abwasserreinigungsanlage im Zuge der monatlichen Erfassung auf folgende Weise berechnet:

$$\begin{aligned}
 & \text{Durchfluss Abwasserlinie 1 [m}^3\text{/Monat]} \\
 + & \text{ Durchfluss Abwasserlinie 2 [m}^3\text{/Monat]} \\
 + & \text{ Durchfluss Abwasserlinie 3 [m}^3\text{/Monat]} \\
 + & \text{ 70 \% der Menge über Messung in Richtung Feuerlöschring [m}^3\text{/Monat]} \\
 \hline
 = & \text{ Zulauf ARA [m}^3\text{/Monat]} = \dot{V}_{\text{Zulauf ARA}}
 \end{aligned}$$

Diese Menge wird anschließend im Erfassungssystem mittels Korrekturfaktor in (4-29) an die gesamte Abwassermenge aus dem Zellstoffwerk angepasst.

$$f_{\text{AW1}} = \frac{\dot{V}_{\text{Vorfluter}} - \dot{V}_{\text{Linie4}}}{\dot{V}_{\text{Zulauf ARA}}} \quad (4-29)$$

Die Summe der aus den einzelnen Departements austretenden Abwassermengen wird in weiterer Folge mit der korrigierten Zulaufmenge in die Abwasserreinigungsanlage abgeglichen. Hierfür werden die Abwassermengen aller Kostenstellen aufsummiert. Dabei ist zu beachten, dass für die Ermittlung des Frischwasserbedarfs der Kostenstelle *Biologie* bereits die 70 % des Feuerlöschwassers berücksichtigt wurden. Die restliche Frischwassermenge, die neben dem Anteil aus dem Feuerlöschring zur *Biologie* geführt wird und in gleicher Höhe dem Abwasseranfall zugerechnet werden kann, muss vor der Berechnung des zweiten Korrekturfaktors in

Abzug gebracht werden. Die daraus erhaltene Abwassermenge wird im Anschluss an die Summe aus der korrigierten Zulaufmenge in die ARA und der gemessenen Durchflussmenge im Kühlwasserkanal angepasst. Dies geschieht erneut mit einem Faktor, der sich auf folgende Weise berechnen lässt:

$$f_{AW2} = \frac{\dot{V}_{\text{Zulauf ARA kor.}} + \dot{V}_{\text{KW-Kanal}}}{\dot{V}_{\text{Summe Kostenstellen}} - \dot{V}_{\text{FW Biologie}} + \dot{V}_{70\% \text{ WFL}}} \quad (4-30)$$

Um die Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Faktorenkorrektur zu erleichtern, werden nachfolgend die in (4-30) verwendeten Volumenströme näher erläutert.

- $\dot{V}_{\text{Zulauf ARA kor.}}$  : Der mittels Faktor  $f_{AW1}$  aus (4-29) korrigierte Volumenstrom im Zulauf zur ARA.
- $\dot{V}_{\text{KW-Kanal}}$  : Anzeigewert der Hauptmessung für den Durchfluss im Kühlwasserkanal.
- $\dot{V}_{\text{Summe Kostenstellen}}$  : Summe der in den einzelnen Kostenstellen ausgewiesenen Abwassermengen auf Basis der in die Erfassungssoftware importierten Messungen und der teilweise hinterlegten Schätzwerte.
- $\dot{V}_{\text{FW Biologie}}$  : Wert des Frischwasserbedarfs der Kostenstelle Biologie aus dem Controlling für Frischwasser.
- $\dot{V}_{70\% \text{ WFL}}$  : 70 % der messtechnisch erfassten Gesamtmenge des Feuerlöschwassers.

Um auch die durch Verdampfung in die Umgebung abgeführte Wassermenge in der Erfassungssoftware zu berücksichtigen, kann im System ein Volumenstrom definiert werden. Zur Ermittlung dieses Wertes wurden der Feuchtegehalt des Holzes und der Wassergehalt der eingebrachten Chemikalien mit dem gesamten Wasserverlust in die Umgebung gegengerechnet. Das daraus resultierende Ergebnis von 140 m<sup>3</sup>/h wurde im Programm vorgegeben. Da die Wechselwirkungen mit dem Warm- bzw. Heißwassernetz im Erfassungssystem nicht berücksichtigt werden, wird angenommen, dass der an die Umgebung abgegebene Volumenstrom ausschließlich aus dem zugeführten Frischwasser stammt.

Im Zuge einer dritten Faktorenkorrektur werden die Abwassermengen an den zugeführten Volumenstrom an Frischwasser angepasst. Dabei wird die neben dem Feuerlöschwasser zur ARA geführte Frischwassermenge, die in derselben Höhe dem Abwasseranfall der Kostenstelle *Biologie* zugerechnet werden kann, in der Gesamtsumme an Abwasser berücksichtigt.

Um letztendlich eine geschlossene Bilanz zwischen Frisch- und Abwassermengen innerhalb der Zellstoff Pöls AG zu erreichen, muss der gesamte Volumenstrom an Abwasser dieser dritten Korrektur unterworfen werden. Dabei wird der gesamte Frischwasserbedarf aus dem Con-

trolling für Frischwasser ins Verhältnis mit der korrigierten Abwassermenge gesetzt und der Anpassungsfaktor  $f_{AW3}$  ermittelt.

$$f_{AW3} = \frac{\dot{V}_{FW\text{gesamt}}}{\dot{V}_{AW\text{korr.}} + \dot{V}_{\text{Atmosphäre}} + \dot{V}_{FW\text{Biologie}} - \dot{V}_{70\%WFL}} \quad (4-31)$$

Zum leichteren Verständnis werden auch an dieser Stelle die in (4-31) eingesetzten Volumenströme genauer beschrieben.

- $\dot{V}_{FW\text{gesamt}}$  : Die im Controlling für Frischwasser ermittelte gesamte ins Zellstoffwerk eintretende Frischwassermenge.
- $\dot{V}_{AW\text{korr.}}$  : Die mittels Faktor  $f_{AW2}$  aus (4-30) korrigierte Summe der Einzelmengen aller Kostenstellen unter Berücksichtigung des Feuerlöschwassers und der Menge über den Kühlwasserkanal.
- $\dot{V}_{\text{Atmosphäre}}$  : Vorgegebener Abwasservolumenstrom in die Atmosphäre durch Verdampfung.
- $\dot{V}_{FW\text{Biologie}}$  : Wert des Frischwasserbedarfs der Kostenstelle Biologie aus dem Controlling für Frischwasser.
- $\dot{V}_{70\%WFL}$  : 70 % der messtechnisch erfassten Gesamtmenge des Feuerlöschwassers.

Durch Anwendung der Faktoren  $f_{AW1}$  und  $f_{AW2}$  auf die durch Messungen ermittelten Abwassermengen in der beschriebenen Weise wird erreicht, dass zunächst interne Diskrepanzen zwischen den Ein- und Austrittsmengen der betrachteten Bilanzräume eliminiert werden. Durch die Definition eines Abwasserverlustes an die Umgebung werden neben der Bilanzkorrektur auch zusätzliche Wasserverluste berücksichtigt. Die Anpassung der Gesamtmenge durch den Faktor  $f_{AW3}$  stellt sicher, dass die in das Zellstoffwerk eintretende Menge an Frischwasser in gleicher Höhe als Abwasser an den Pölsbach abgegeben wird.

Aufgrund der Tatsache, dass zur Ermittlung der Abwassermengen im Vergleich zu anderen Medien relativ wenige Messungen zur Verfügung stehen und im Zuge der monatlichen Erfassungen mehrere Rahmenbedingungen berücksichtigt werden müssen (Bilanz zwischen Ein- und Austrittsmengen der ARA, Frischwassermenge = Abwassermenge, etc.), ist es notwendig, mit mehreren Korrekturfaktoren zu arbeiten. Die Anwendung von mehr als einem Anpassungsfaktor auf einen Messwert führt jedoch dazu, dass dieser immer weiter von der ursprünglichen Menge abweicht. Im Controlling für Abwasser im März 2012 beträgt die Gesamtkorrektur der Einzelmengen in den Kostenstellen 9,22 %, d.h. die ursprünglich durch Messungen und Schätzwerte ermittelten Abwassermengen in den einzelnen Kostenstellen werden im Zuge der Faktorenanpassung um 9,22 % nach oben korrigiert. Aufgrund der man-

gelhaften Situation im Abwassermessnetz wird diese relativ hohe Abweichung akzeptiert, da die Erfassung der Abwassermengen durch dieses neue System trotzdem weitaus genauer und zufrieden stellender arbeitet, als die Vorgängervariante.

Das Erfassungssystem für die Abwassermengen unterliegt einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Neue Erkenntnisse und Änderungen im Messnetz werden stetig in die Software eingepflegt, um den Umfang der Bilanzkorrekturen weiter zu senken und langfristig möglichst gering zu halten. Bereits im Programm umgesetzte Maßnahmen sind im nachfolgenden Kapitel 4.2.4.4 beschrieben.

#### ***4.2.4.4 Änderungen und Verbesserungsmaßnahmen***

Im Zuge der Anwendung des Systems zur Ermittlung der Abwassermengen wurden notwendige Modifikationen in der Anpassung der Volumenströme erkannt. Diese Maßnahmen wurden für die Monatserfassungen ab Mai 2012 bereits umgesetzt. In der aktuellsten Version der Software wird die Summe der aus den einzelnen Departements austretenden Abwassermengen an das gesamte aus dem Werk in den Vorfluter eingeleitete und mittels kalibrierter und behördlich genehmigter Durchflussmessungen erfasste Abwasser angepasst. Dadurch wird erreicht, dass die Summe der den einzelnen Kostenstellen zugewiesenen Abwasservolumenströme exakt der gesamten Abwassermenge in den Pölsbach entspricht. Während der monatlichen Erfassung für Juni 2012 musste die Summe der Abwassermengen aus den jeweiligen Produktionsbereichen für diese Anpassung um nur 2,6 % nach oben korrigiert werden. Dieser vergleichsweise niedrige Wert zeigt, dass die Abweichung zwischen den auf die Kostenstellen verteilten Abwassermengen und dem Gesamtabwasser in den Vorfluter sehr gering ist, was zusätzlich für eine derartige Anpassung spricht.

Durch Analyse der unter Kapitel 4.2.4.3 beschriebenen Anpassungsfaktoren können relativ einfach grobe Abweichungen in den internen Bilanzen erkannt und etwaige Messungenauigkeiten aufgezeigt werden. Die Kombination aus der aktuellen Mengenanpassung und der bestehenden Faktorenermittlung hat den Vorteil der Darstellung exakter Einleitmengen bei gleichzeitiger Plausibilitätsprüfung der hinterlegten Messwerte.

#### ***4.2.4.5 Zusammenfassung der Verbräuche***

Die mittels Controlling für Abwasser erfassten monatlichen Mengen werden in eine separate Übersichtsdatei exportiert und firmenintern an die Controlling-Abteilung weitergeleitet. Abbildung A-5 auf Seite XIX im Anhang dieser Arbeit zeigt die Übersicht der Abwassermengen in den Monaten Jänner bis März 2012.

Die Ergebnisse der monatlichen Datenerfassung mit Hilfe der erstellten Systeme werden von der Controlling-Abteilung der Zellstoff Pöls AG mit den budgetierten Verbrauchsmengen verglichen. Dies geschieht in einer Excel<sup>®</sup>-Datei, wobei positive und negative Abweichungen vom Budgetwert farbig gekennzeichnet werden. Ein Ausschnitt aus dieser Übersicht ist in Abbildung 4-15 dargestellt. Darin ist ersichtlich, dass getätigte Maßnahmen zur Reduktion der Abwassermengen aus der Eindampfanlage Wirkung zeigten. Die tatsächlichen spezifischen Abwassermengen in [m<sup>3</sup>/t<sub>zs</sub>] liegen seit Beginn des Jahres 2012 unter den budgetierten Kennzahlen. Diese positive Tatsache kann mit Hilfe des erstellten Erfassungssystems eindeutig nachgewiesen werden.

ABWASSERVERBRAUCH je Tonne Zellstoff		Jän.12	Feb.12	Mär.12	Apr.12
		m <sup>3</sup> / to	m <sup>3</sup> / to	m <sup>3</sup> / to	m <sup>3</sup> / to
10900 Eindampfanlage	Ist	0,673	0,232	0,067	0,632
	Bud	1,934	1,934	1,932	1,940
	Abw.	-1,261	-1,703	-1,864	-1,308

**Abbildung 4-15:** Auszug aus dem Vergleich zwischen Ist- und Budgetwerten

Der in Abbildung 4-15 gezeigte Vergleich wird für alle untersuchten Medien und für die Verbrauchsdaten in allen Kostenstellen jedes Monat durchgeführt. Die Darstellung erfolgt dabei getrennt für die *Faserlinie*, die *Laugenlinie* und die *Papiermaschine*. Des Weiteren sind in dieser Übersicht die absoluten, als auch die auf die Produktionsmenge bezogenen spezifischen Mengen angegeben. Im Anhang dieser Arbeit auf den Seiten XX und XXI sind Ausschnitte dieser Gesamtübersicht der spezifischen Kennzahlen enthalten. Mit Hilfe dieser Auflistung ist eine schnelle Kontrolle auf Abweichungen in den Hauptbereichen der Produktion möglich.

Abbildung 4-16 auf der folgenden Seite 76 zeigt die im Abwasser-Controlling ermittelten Mengen und deren Verteilung auf die einzelnen Kostenstellen in Form eines Sankey-Diagrammes. Für diese Darstellung wurden die Monatswerte aus dem Controlling (vgl. Abbildung A-5) auf mittlere stündliche Durchflussmengen umgerechnet.

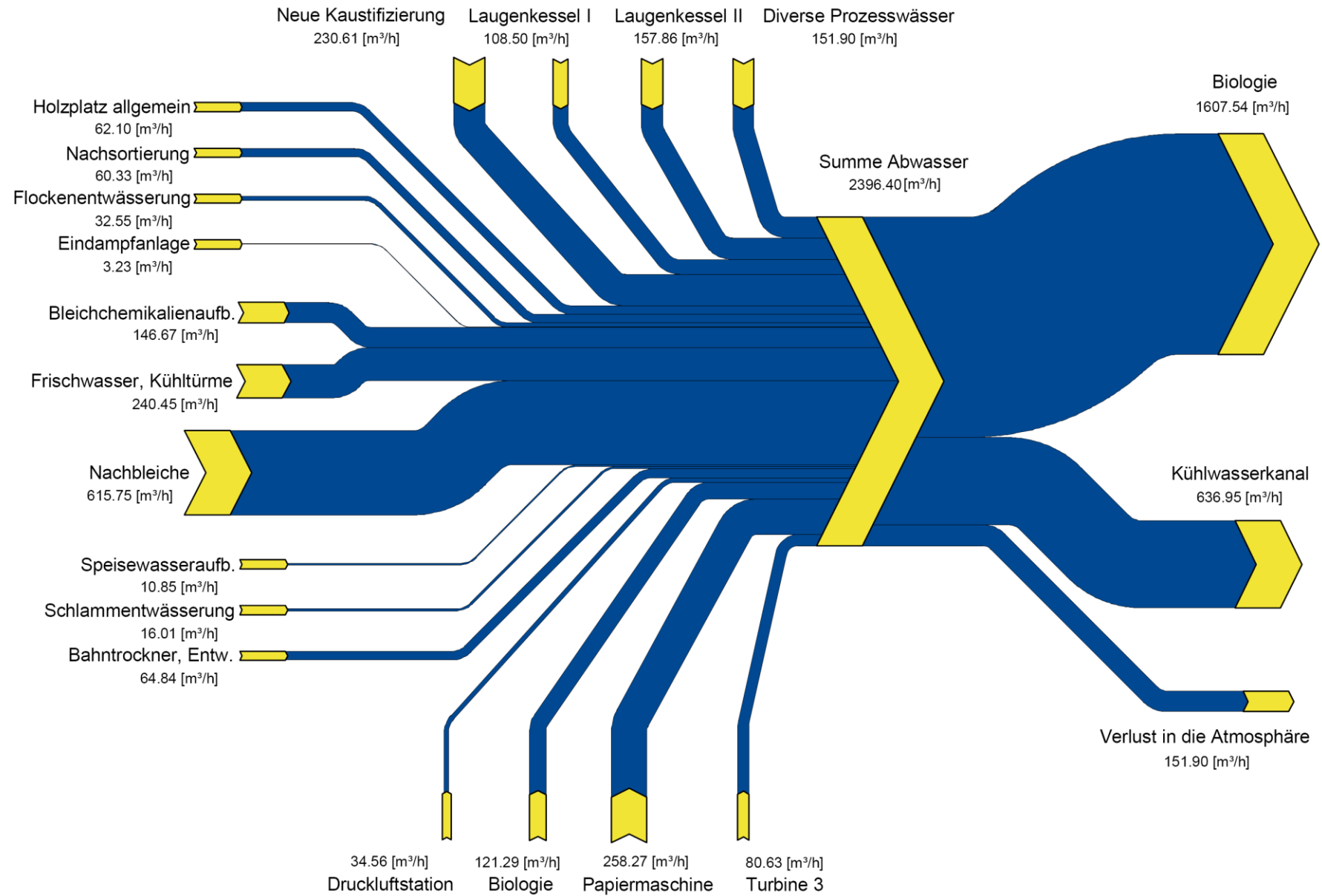


Abbildung 4-16: Sankey-Diagramm: Verteilung der Abwassermengen



## 5 WEITERFÜHRENDES OPTIMIERUNGSKONZEPT

### 5.1 EINFÜHRUNG EINES ENERGIEMANAGEMENTSYSTEMS

Wie aus dem Titel dieser Masterarbeit ersichtlich, soll das erstellte Energiecontrolling-System dazu dienen, durch Darstellung von aktuellen und nachvollziehbaren Verbrauchsdaten eine energieoptimale Prozesssteuerung zu ermöglichen. Durch die verursachungsgerechte Aufteilung der ermittelten Verbräuche auf die bestehende Kostenstellenstruktur des Unternehmens soll den verantwortlichen Personen im Betrieb ein einfacher Zugang zu den energierelevanten Verbrauchsdaten in ihrem Verantwortungsbereich geboten werden. Durch das Ausweisen dieser Werte für bestimmte Zeiträume (z.B. monatliche Verbräuche) und durch regelmäßige Kontrollen und Vergleiche mit einer energetischen Ausgangsbasis können schnell Abweichungen erkannt und bei Bedarf korrigierende Maßnahmen eingeleitet werden. Eine detaillierte Aufzeichnung von Verbrauchswerten kann bei der Auffindung von Energieeinsparungspotentialen eine bedeutende Rolle spielen. Die Anwendung der im Zuge dieser Arbeit erstellten Erfassungssysteme kann die Handhabung mit dem wichtigen Produktionsfaktor *Energie* erleichtern oder anders ausgedrückt, einen wesentlichen Beitrag zum *Energiemanagement* leisten.

Als *Energiemanagementsystem* (EnMS) bezeichnet man die Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele, sowie Prozesse und Verfahren zur Erreichung dieser strategischen Ziele [18]. Die Anforderungen für den Aufbau und die Anwendung eines solchen Systems sind in der Internationalen Norm ISO 50001:2011 festgehalten. Diese Norm ersetzt die zuvor gültige EN 16001:2009. Das aufgebaute Energiecontrolling könnte die Basis für die Einführung eines Energiemanagementsystems in der Zellstoff Pöls AG darstellen. Nach erfolgreicher Zertifizierung durch eine autorisierte Stelle würde das Unternehmen damit die Vorreiterrolle als Anwender eines zertifizierten Energiemanagementsystems innerhalb der österreichischen Papier- und Zellstoffindustrie einnehmen [11].

Seit dem Frühjahr 2012 liegt ein Vorentwurf zum Bundes-Energieeffizienzgesetz vor, in welchem energierelevante Verpflichtungen für Unternehmen festgehalten sind. Darin heißt es, dass große und mittelgroße Unternehmen entweder ein Energiemanagementsystem in Übereinstimmung mit der EN 16001 bzw. ISO 50001 einzuführen haben, sich zertifizieren lassen müssen oder zumindest alle drei Jahre ein externes Energieaudit durchführen lassen müssen. Des Weiteren haben Unternehmen erforderliche Energiemaßnahmen zu setzen und die Ein-

führung des EnMS oder die Durchführung des externen Energieaudits sowie die gesetzten Effizienzmaßnahmen der nationalen Energieeffizienz-Monitoringstelle zu melden [14].

Außerdem sieht der Gesetzesentwurf vor, dass Unternehmen für jede Betriebsstätte jeweils eine fachlich geeignete Person in Form eines Energiebeauftragten sowie als Stellvertreter zu bestellen haben, sofern über 50 Beschäftigte an dieser Betriebsstätte ganzjährig tätig waren. Diesem Energiebeauftragten werden insbesondere folgende Aufgaben zuteil [14]:

- Unterstützung beim Energiemanagement des Unternehmens (z.B. Führung der Energiebuchhaltung)
- Beratung des Unternehmens rund um das Thema Energieeffizienz
- Eigene Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der Energieeffizienz sowie die Schulung von Mitarbeitern

Wird dieses Gesetz verabschiedet, ist mit einer Vielzahl von Änderungen und Neuerungen im Bereich der Energieeffizienz in Industriebetrieben zu rechnen. Die Aussicht auf die zukünftig notwendige genauere Auseinandersetzung von Unternehmen mit der Thematik *Energiemanagement* befürwortet die Erstellung dieser Masterarbeit und die Durchführung der damit zusammenhängenden Tätigkeiten.

Auf Basis der Internationalen Norm ISO 50001:2011 werden in den folgenden Kapiteln 5.1.1 und 5.1.2 dieser Masterarbeit die Anforderungen zur Einführung und Aufrechterhaltung eines Energiemanagementsystems beschrieben. Da die Norm darin mehrmals zitiert wird, ist die Kennzeichnung der Literaturangabe bereits in den Überschriften enthalten. Beginnend mit grundlegenden Informationen in Punkt 5.1.1 werden im darauffolgenden Abschnitt die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem erläutert. In den Unterpunkten von Kapitel 5.1.2 wird neben den allgemeinen Anforderungen auf die Verantwortung des Top-Managements eingegangen. Des Weiteren werden die Themenkreise *Energieplanung* und *Einführung und Umsetzung* eines Energiemanagementsystems behandelt.

### **5.1.1 Grundlegendes [18]**

Der Zweck der ISO 50001:2011 ist es, Organisationen in die Lage zu versetzen, Systeme und Prozesse aufzubauen, die zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung, einschließlich Energieeffizienz, Energieeinsatz und Energieverbrauch erforderlich sind. Durch die Anwendung dieser Norm in Form eines systematischen Energiemanagements soll eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen und anderen Umweltauswirkungen erreicht und eine Senkung von Energiekosten bewirkt werden. Die erfolgreiche Umsetzung dieser Norm ist von den

Verpflichtungen aller Ebenen und Funktionen der Organisation abhängig. Dabei tragen die Vorgaben des Top-Managements und die Verantwortlichkeiten innerhalb des Betriebs wesentlich zum Erfolg bei.

In der ISO 50001:2011 sind Anforderungen an ein Energiemanagementsystem festgehalten, die eine Organisation in die Lage versetzen, eine Energiepolitik zu entwickeln und einzuführen, sowie strategische und operative Energieziele unter Berücksichtigung von gesetzlichen Vorgaben festzulegen. Ein EnMS ermöglicht es einer Organisation, ihre in der Energiepolitik eingegangenen Verpflichtungen zu erfüllen und notwendige Maßnahmen zu ergreifen, um ihre energiebezogene Leistung zu verbessern. Da sich die Norm auf von der Organisation beeinflussbare Aktivitäten bezieht, kann deren Anwendung hinsichtlich der Komplexität des Systems, des Umfangs der Dokumentation und der vorhandenen Ressourcen an die Anforderungen der Organisation angepasst werden.

Der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) oder PDCA-Zyklus bildet die Grundlage der ISO 50001:2011. Die Abkürzung PDCA stammt aus dem Englischen und steht für Plan-Do-Check-Act. Abbildung 5-1 zeigt das für diese Norm verwendete Modell eines Energiemanagementsystems nach dem PDCA-Zyklus.

Für das Energiemanagement können die einzelnen Bestandteile des PDCA-Ansatzes wie folgt beschrieben werden:

**Plan/Planung:**

Durchführung einer energetischen Bewertung und Festlegung der energetischen Ausgangsbasis, der Energieleistungskennzahlen (EnPIs), der strategischen und operativen Energieziele und der Aktionspläne, die zur Erzielung der Ergebnisse zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung in Übereinstimmung mit den Regeln der Organisation erforderlich sind.

**Do/Einführung, Umsetzung:**

Einführung der Aktionspläne des Energiemanagements.

**Check/Überprüfung:**

Überwachung und Messung der Prozesse und wesentlichen Merkmale der Tätigkeiten, welche die energiebezogene Leistung bestimmen, mit Blick auf Energiepolitik und strategische Ziele sowie Dokumentation der Ergebnisse.

**Act/Verbesserung:**

Ergreifung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung der energiebezogenen Leistung und des Energiemanagementsystems.

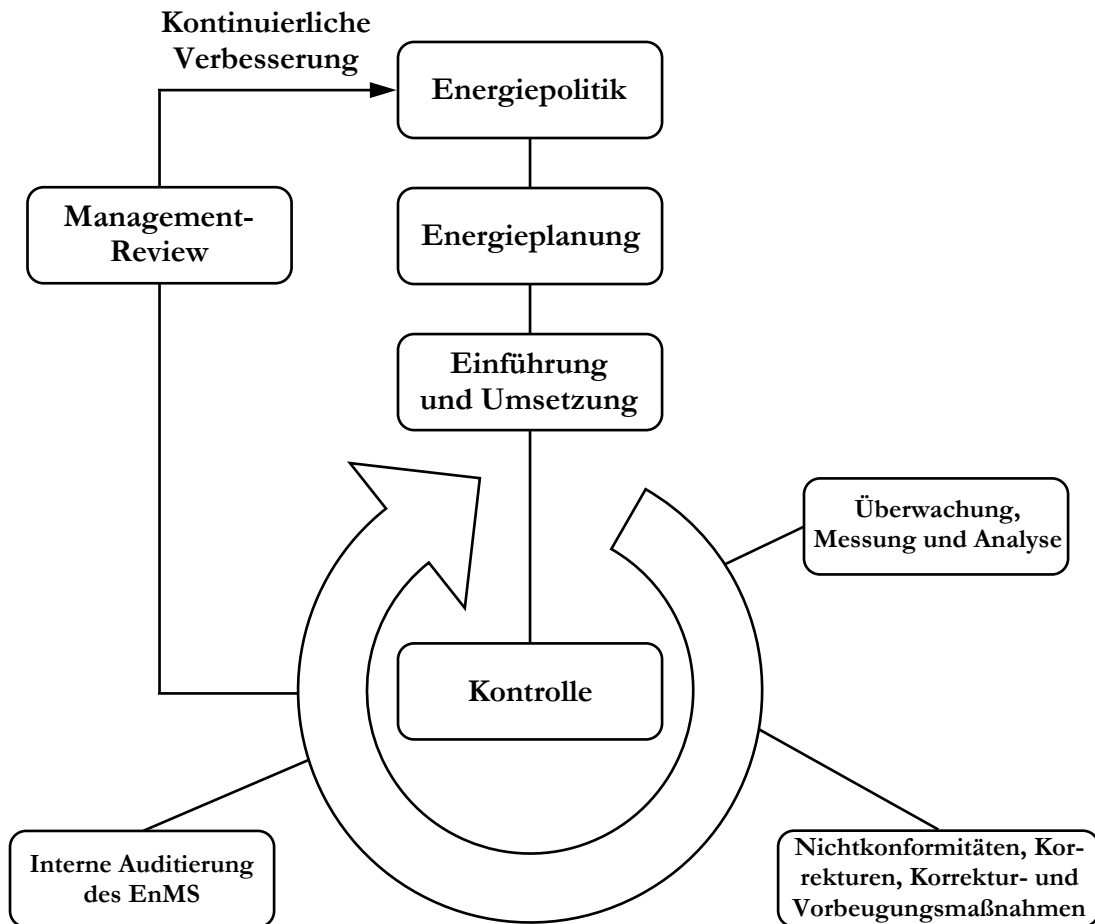


Abbildung 5-1: Modell eines EnMS nach dem PDCA-Zyklus; frei nach [18]

Die ISO 50001:2011 beschreibt keine absoluten Anforderungen in Bezug auf die energiebezogene Leistung jenseits der von einer Organisation durch die eigene Energiepolitik eingegangenen Verpflichtungen unter Berücksichtigung relevanter gesetzlicher und anderer Anforderungen. Aus diesem Grund können zwei Organisationen mit vergleichbarer Geschäftstätigkeit, aber unterschiedlicher energiebezogener Leistung, den Anforderungen der Norm entsprechen. Die beschriebene Internationale Norm kann daher für jede Organisation angewendet werden, welche die Konformität mit ihrer festgelegten Energiepolitik sicherstellen und dies gegenüber Außenstehenden nachweisen will. Diese Übereinstimmung kann entweder im Zuge einer Selbstbewertung und Selbsterklärung nachgewiesen werden, oder aber durch eine Zertifizierung des Energiemanagementsystems durch eine externe Organisation erfolgen.

## 5.1.2 Anforderungen an ein Energiemanagementsystem

### 5.1.2.1 Allgemeine Anforderungen [18]

In der ISO 50001:2011 sind folgende allgemeine Anforderungen an ein EnMS definiert.

Die Organisation muss:

- a) ein Energiemanagementsystem in Übereinstimmung mit der Internationalen Norm ISO 50001:2011 festlegen, dokumentieren, verwirklichen, aufrechterhalten und verbessern;
- b) den Anwendungsbereich und die Grenzen ihres EnMS festlegen und dokumentieren;
- c) bestimmen, wie sie die Anforderungen dieser Norm mit Blick auf die kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung und ihres EnMS erfüllen will.

Mit dem Begriff *Grenzen* unter Punkt b sind physikalische oder räumliche und/oder organisatorische Abgrenzungen, entsprechend der Festlegungen durch die Organisation gemeint. Beispiele hierfür können sein: Ein Prozess, eine Gesamtheit von Prozessen, ein Standort oder eine gesamte Organisation. Unter der *energiebezogenen Leistung* versteht man messbare Ergebnisse bezüglich *Energieeffizienz*, *Energieeinsatz* und *Energieverbrauch*. Die *Energieeffizienz* ist das Verhältnis oder eine andere quantitative Beziehung zwischen einer erzielten Leistung bzw. einem Ertrag an Dienstleistungen, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie. Dabei müssen sowohl der Einsatz als auch der Ertrag quantitativ und qualitativ klar spezifiziert und messbar sein. Unter *Energieeinsatz* wird die Art bzw. die Methode der Anwendung von Energie verstanden. Beispiele hierfür sind: Lüftung, Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Transport, etc. Der Begriff *Energieverbrauch* bezeichnet in der Norm die Menge der eingesetzten Energie.

#### **5.1.2.2 Verantwortung des Managements [18]**

Das Top-Management muss seine Verpflichtung zur Unterstützung des EnMS sowie zur kontinuierlichen Verbesserung seiner Wirksamkeit durch folgende Maßnahmen darlegen:

- a) Bestimmung, Festlegung, Einführung und Aufrechterhaltung einer Energiepolitik;
- b) Ernennung eines Managementbeauftragten sowie der Zustimmung zur Bildung eines Energiemanagement-Teams;
- c) Bereitstellung der erforderlichen Ressourcen für die Einführung, Verwirklichung, Aufrechterhaltung und Verbesserung des EnMS und der resultierenden energiebezogenen Leistung;
- d) Festlegung des durch das EnMS erfassten Anwendungsbereiches und dessen Grenzen;

- e) Kommunikation der Bedeutung des Energiemanagements innerhalb der Organisation;
- f) Sicherstellung, dass strategische und operative Energieziele festgelegt werden;
- g) Sicherstellung, dass die EnPIs für die Organisation angemessen sind;
- h) Berücksichtigung der energiebezogenen Leistung in der Langfristplanung;
- i) Sicherstellung, dass die Ergebnisse in festgelegten Zeitabständen gemessen und berichtet werden;
- j) Durchführung von Management-Reviews.

Die *Energiepolitik* ist eine formale Verlautbarung des Top-Managements und muss die Verpflichtung der Organisation zur Erreichung einer Verbesserung der energiebezogenen Leistung darlegen. Sie ist damit die treibende Kraft für die Verwirklichung und Optimierung des EnMS und der energiebezogenen Leistung. Das Top-Management muss sicherstellen, dass die Energiepolitik in Bezug auf Art und Umfang des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs der Organisation angemessen ist. Die Energiepolitik muss eine Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung der energiebezogenen Leistung sowie zur Sicherstellung der Verfügbarkeit von Informationen und der für das Erreichen der strategischen und operativen Ziele notwendigen Ressourcen enthalten. Alle geltenden gesetzlichen Anforderungen bezüglich des Energieeinsatzes, des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz müssen in der Energiepolitik in Form einer Verpflichtung zur Einhaltung ebenfalls berücksichtigt werden. Die Energiepolitik muss den Erwerb energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen unterstützen, die zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung bestimmt sind. Des Weiteren ist es die Aufgabe des Top-Managements, sicherzustellen, dass die Energiepolitik innerhalb der Organisation über alle Ebenen hinweg dokumentiert und kommuniziert, und diese regelmäßig überprüft und bei Bedarf aktualisiert wird.

Ein oder mehrere *Managementbeauftragte(r)* mit hinreichenden Fähigkeiten und Kompetenzen wird vom Top-Management benannt, der oder die die Verantwortlichkeit und Befugnis hat bzw. haben, sicherzustellen, dass das EnMS in Übereinstimmung mit der ISO 50001:2011 eingeführt, verwirklicht, aufrechterhalten und kontinuierlich verbessert wird. Der Beauftragte des Managements ist befugt, eine oder mehrere Personen auszuwählen, die mit dem Managementbeauftragten zur Unterstützung der Energiemanagement-Aktivitäten zusammenarbeiten. Des Weiteren muss dieser an das Top-Management bezüglich der energiebezogenen Leistung und der Leistung des EnMS berichten. Im Grunde trägt der Beauftragte des Managements die

Hauptverantwortung für das Energiemanagementsystem, für die wirksame Einführung desselben und für das Erreichen von Verbesserungen der energiebezogenen Leistung. Er bzw. das Energiemanagement-Team besitzt die Verantwortlichkeit und Befugnis, das Bewusstsein der Energiepolitik und der strategischen Energieziele über alle Ebenen der Organisation hinweg zu fördern. Das Top-Management oder sein Beauftragter können durch Aktivitäten, welche die Mitarbeiter einbeziehen, wie z.B. Motivation, Anerkennung, Beteiligung und Belohnung die Wichtigkeit von Energiemanagement untermauern.

Der Begriff *Ressourcen* unter Punkt c der Aufzählung umfasst Mitarbeiter, Fachkompetenzen, sowie technologische und finanzielle Ressourcen.

Unter einem *strategischen* Energieziel wird in der ISO 50001:2011 ein festgelegtes Ergebnis bzw. eine zu erreichende Leistung verstanden, welche(s) in der Energiepolitik der Organisation in Bezug auf eine verbesserte energiebezogene Leistung festgehalten ist. Ein *operatives* Energieziel ist eine detaillierte und quantifizierbare Anforderung an die energiebezogene Leistung, welche Gültigkeit für die Organisation oder Teile davon besitzt. Das operative Energieziel ergibt sich aus den strategischen Energiezielen und muss zur Erreichung der strategischen Ziele festgelegt und erreicht werden.

Die Abkürzung *EnPI* in Punkt g der Aufzählung stammt aus dem Englischen, steht für *Energy Performance Indicator* und bezeichnet eine Energieleistungskennzahl. Dies ist ein quantitativer Wert oder eine Messgröße für die energiebezogene Leistung und muss von der Organisation definiert werden. Diese EnPIs können in Form einer einfachen Metrik, eines Verhältnisses oder als komplexeres Modell dargestellt werden. Der EnPI kann z.B. als Energieverbrauch pro Zeiteinheit oder Energieverbrauch pro Produktionseinheit definiert sein. Die EnPIs sind so zu wählen, dass diese in Bezug auf die energiebezogene Leistung aussagefähig sind. Wichtig dabei ist auch die Möglichkeit, EnPIs nachträglich anpassen zu können, wenn sich Geschäftstätigkeiten oder Ausgangsbasen ändern, welche die Relevanz der EnPIs beeinflussen.

Das EnMS muss vom Top-Management in festgelegten Zeitabständen überprüft werden, um dessen fortdauernde Eignung, Angemessenheit und Wirksamkeit sicherzustellen. Diese Bewertung durch das Management wird als *Management-Review* bezeichnet. Hauptaugenmerk wird bei dieser Überprüfung auf die Energiepolitik, die energiebezogene Leistung, die EnPIs und das Ausmaß der Erreichung von operativen und strategischen Energiezielen gelegt. Des Weiteren wird überprüft, ob die geltenden gesetzlichen Bestimmungen eingehalten und andere von der Organisation eingegangene Verpflichtungen erfüllt wurden. Der Status von Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen wird erhoben sowie eine Vorhersage der energiebezogenen

Leistung getätigt. Im Ergebnis dieses Management-Reviews müssen alle Entscheidungen und Maßnahmen enthalten sein, die Veränderungen der energiebezogenen Leistung, der EnPIs und Änderungen der Energiepolitik zur Folge haben. Notwendige Änderungen strategischer und operativer Ziele sowie anderer Elemente des EnMS im Hinblick auf die Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung, als auch Änderungen in der Bereitstellung von Ressourcen müssen im Ergebnis des Management-Reviews klar hervorgehoben werden.

### **5.1.2.3 Energieplanung [18]**

Entsprechend der ISO 50001:2011 muss die Organisation einen Energieplanungsprozess durchführen und dokumentieren. Diese Energieplanung muss in weiterer Folge zu Maßnahmen führen, die eine kontinuierliche Verbesserung der energiebezogenen Leistung bewirken und im Einklang mit der Energiepolitik stehen. Dabei muss die Organisation geltende rechtliche Vorschriften und andere Anforderungen, zu welchen sie sich in Bezug auf ihren Energieeinsatz, ihren Energieverbrauch und ihre Energieeffizienz verpflichtet hat, ermitteln, umsetzen und Zugang zu diesen haben. Als Beispiele für rechtliche Anforderungen können nationale Energiesparverordnungen oder -gesetze genannt werden. Beispiele für andere Anforderungen sind Vereinbarungen mit Kunden, freiwillige Prinzipien oder Verfahrensregeln. Diese Vorschriften und Anforderungen sind in geeigneter Form bei der Einführung, Verwirklichung und Aufrechterhaltung des EnMS zu berücksichtigen.

Zur Energieplanung zählt im Weiteren die *energetische Bewertung*, die von der Organisation zu entwickeln, aufzuzeichnen und aufrecht zu erhalten ist. Die hierfür verwendete Methodik und die geltenden Kriterien müssen dokumentiert werden. Im Zuge der energetischen Bewertung muss die Organisation den Energieeinsatz und Energieverbrauch auf Basis von Messungen und anderen Daten analysieren und daraus Bereiche mit wesentlichem Energieeinsatz ermitteln. Die Erkenntnisse daraus sollen Anlagen, Systeme, Prozesse und andere relevante Variablen aufzeigen, die den Energieeinsatz und des Energieverbrauch wesentlich beeinflussen. Im Zuge der energetischen Bewertung ist die derzeitige energiebezogene Leistung der betrachteten Anlagen zu bestimmen und der künftige Energieeinsatz und -verbrauch abzuschätzen. Dabei sollen Möglichkeiten zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung identifiziert, priorisiert und aufgezeichnet werden. Die energetische Bewertung muss in festgelegten Zeitabständen und nach einflussreichen Änderungen in den Anlagen und Prozessen aktualisiert werden.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Energieplanung ist die Erstellung einer *energetischen Ausgangsbasis*. Hierfür müssen Informationen aus der erstmaligen energetischen Bewertung ver-



wendet und Daten aus einem dem Energieeinsatz und -verbrauch der Organisation angemessenen Zeitraum herangezogen werden. Auftretende Veränderungen der energiebezogenen Leistung sind in weiterer Folge gegenüber dieser Bezugsbasis zu messen. Eine Anpassung der energetischen Ausgangsbasis ist erforderlich, wenn die EnPIs nicht länger den Energieeinsatz bzw. den Energieverbrauch der Organisation widerspiegeln oder wesentliche Änderungen im Prozess, den betrieblichen Abläufen oder Energiesystemen vorgenommen wurden. Die energetische Ausgangsbasis muss aufrechterhalten und aufgezeichnet werden.

Nach ISO 50001:2011 muss die Organisation dokumentierte strategische und operative Energieziele einführen, verwirklichen und aufrechterhalten. Um diese Ziele zu erreichen, ist mit *Aktionsplänen* zu arbeiten, welche die Festlegung der Verantwortlichkeit, die Mittel und den Zeitrahmen für das Erreichen der einzelnen operativen Ziele beinhalten müssen. Des Weiteren muss eine Aussage zu der Methode enthalten sein, mit welcher eine Verbesserung der energiebezogenen Leistung überprüft wird bzw. zu jener Methode, mit der die Ergebnisse überprüft werden. Aktionspläne sind zu dokumentieren und in festgelegten Zeitabständen zu aktualisieren.

Zum besseren Verständnis der zuvor beschriebenen Fakten ist in Abbildung 5-2 ein Konzeptdiagramm des energetischen Planungsprozesses dargestellt. Darin sind in groben Zügen die Teilschritte der Energieplanung, sowie deren Eingabeparameter und Ergebnisse angeführt.

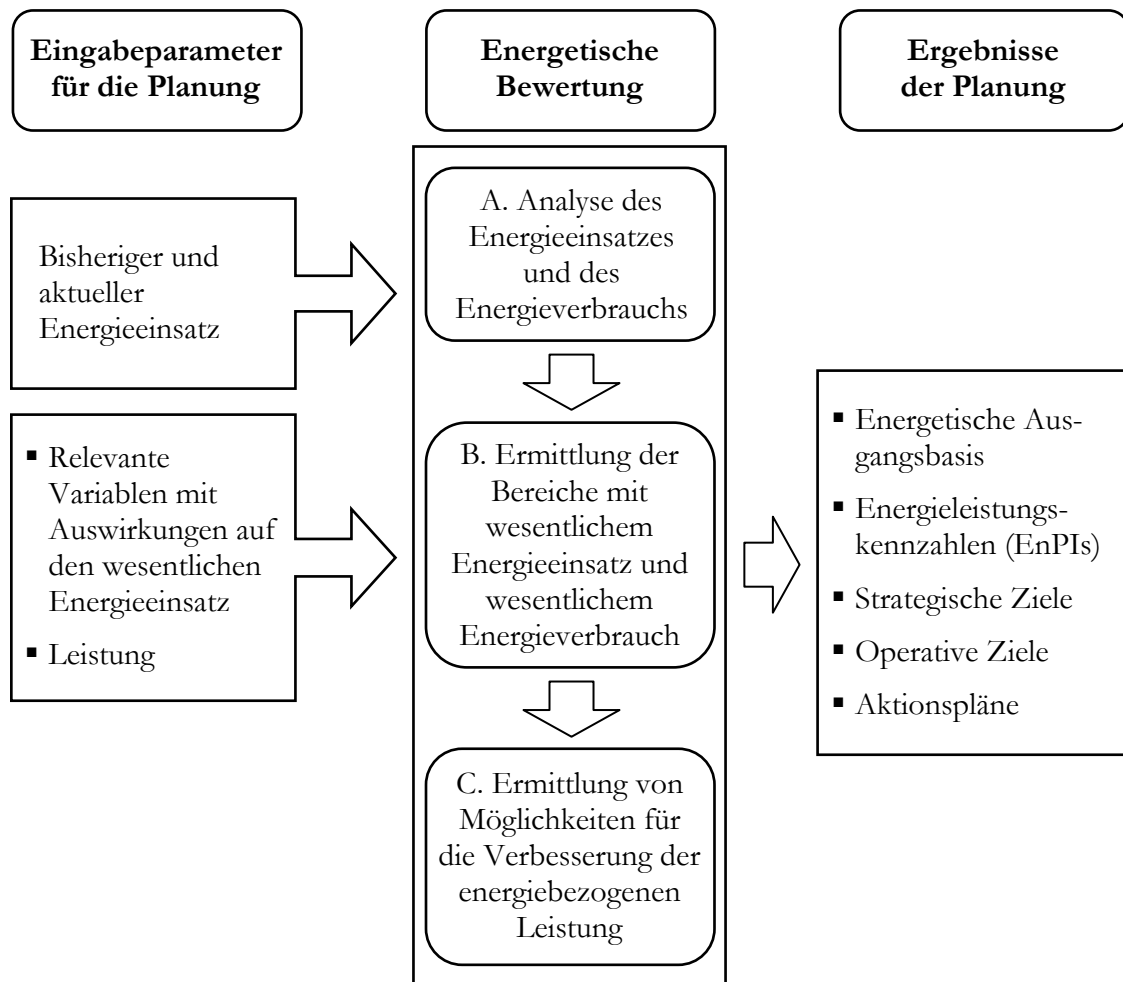


Abbildung 5-2: Konzeptdiagramm des energetischen Planungsprozesses; frei nach [18]

#### 5.1.2.4 Einführung und Umsetzung [18]

Die aus dem Planungsprozess resultierenden Ergebnisse und Aktionspläne dienen der Organisation für die Einführung und Umsetzung des EnMS. Ein wichtiger Aspekt bei der Einführung eines Energiemanagementsystems sind fähige und gut ausgebildete Mitarbeiter. Es ist daher Aufgabe der Organisation, sicherzustellen, dass ihre Mitarbeiter durch eine angemessene Ausbildung, durch Schulung oder Erfahrung hinreichend befähigt sind. In diesem Zusammenhang sind die für den Betrieb des EnMS notwendigen Schulungsmaßnahmen festzulegen.

Die Mitarbeiter und alle Personen, welche im Namen der Organisation arbeiten, müssen Kenntnis über die Bedeutung der Konformität mit der Energiepolitik, den Verfahren und den Anforderungen des EnMS haben. Sie müssen sich ihrer Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Befugnisse in Bezug auf die Erfüllung der Anforderungen des EnMS im Klaren sein, sowie die Vorteile einer verbesserten energiebezogenen Leistung kennen. Von wesentlicher Bedeutung ist auch die Kenntnis über den tatsächlichen oder potentiellen Einfluss ihrer Tätigkeit auf den

Energieeinsatz und -verbrauch und darüber, wie ihr Verhalten zum Erreichen der Energieziele beiträgt.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Einführung und Umsetzung eines EnMS ist die *Kommunikation*. Die Organisation muss in Bezug auf ihre energiebezogene Leistung und ihres EnMS intern kommunizieren. In diesem Zusammenhang ist von der Organisation ein Prozess einzuführen, der allen Mitarbeitern die Möglichkeit gibt, Kommentare oder Verbesserungsvorschläge zum EnMS abzugeben. Von der Organisation ist die Entscheidung zu treffen, ob diese über ihre Energiepolitik, ihr EnMS und ihre energiebezogene Leistung extern kommunizieren will. Wird zugunsten einer externen Kommunikation entschieden, ist von der Organisation eine Methode für die externe Kommunikation einzuführen und zu verwirklichen. Die getroffene Entscheidung ist in jedem Fall zu dokumentieren.

Eine wesentliche Thematik in der Einführung und Umsetzung eines EnMS ist die *Dokumentation*. Für die Beschreibung der Kernelemente des Energiemanagementsystems und deren Zusammenspiel muss die Organisationen Informationen in Papier-, elektronischer oder sonstiger Form einführen, verwirklichen und aufrechterhalten. Die Dokumentation des EnMS muss die Energiepolitik, sowie den Geltungsbereich und die Grenzen des EnMS enthalten. Informationen zu den Energiezielen und Aktionsplänen, sowie weitere Dokumente und Aufzeichnungen, die von der Norm ISO 50001:2011 vorgeschrieben sind, sind ebenfalls Inhalt der Dokumentation.

Die im Zusammenhang mit dem EnMS erstellten Dokumente sowie das EnMS selbst müssen einer Kontrolle unterliegen. Soweit angebracht, beinhaltet diese eine technische Dokumentation. Hierfür muss die Organisation ein oder mehrere Verfahren einführen, verwirklichen und aufrechterhalten, um Dokumente vor deren Herausgabe auf ihre Eignung zu prüfen. Es muss sichergestellt werden, dass Änderungen und der aktuelle Revisionsstand der Dokumente feststellbar sind und alle relevanten Versionen von gültigen Dokumenten dort, wo sie verwendet werden sollen, verfügbar sind. Dokumente müssen regelmäßig überprüft und gegebenenfalls aktualisiert werden, sowie lesbar und leicht identifizierbar bleiben. Die Verteilung von Dokumenten externen Ursprungs muss überwacht und unbeabsichtigte Nutzung nicht mehr aktueller Dokumente verhindert werden.

Neben der Lenkung von Dokumenten ist die *Ablauflenkung* im Energiemanagement von großer Bedeutung. Abläufe und Instandhaltungsaktivitäten, die im Zusammenhang mit wesentlichen Energieeinsatzbereichen stehen, sind von der Organisation zu ermitteln und zu planen. Das gilt auch für Abläufe, die im Einklang mit der Energiepolitik und den Energiezielen ste-

hen. Damit soll sichergestellt werden, dass diese unter festgelegten Rahmenbedingungen ausgeführt werden. Die Organisation muss hierfür Kriterien für den wirksamen Betrieb und die Instandhaltung wesentlicher Energieeinsatzbereiche erarbeiten und festlegen. Dabei sind auch Bereiche zu berücksichtigen, wo es durch das Fehlen solcher Kriterien zu einer Abweichung von der effektiven energiebezogenen Leistung kommen würde. Des Weiteren muss die Organisation die Ablauflenkung in geeigneter Form an Mitarbeiter und alle in ihrem Namen arbeitenden Personen kommunizieren.

Im Zuge der *Auslegung* von neuen Einrichtungen, Systemen und Prozessen, welche die energiebezogene Leistung maßgeblich beeinflussen, muss die Organisation Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistung und die Ablauflenkung in Betracht ziehen. Soweit erforderlich, sind die Ergebnisse der Bewertung der energiebezogenen Leistung bereits in der Spezifikation, Auslegung und im Zuge der Beschaffungsaktivitäten in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Sämtliche Ergebnisse der Auslegung sind zu dokumentieren.

Im Rahmen der *Beschaffung* von Energiedienstleistungen, Produkten und Einrichtungen, die sich auf den Energieeinsatz auswirken bzw. auswirken können, ist der Lieferant von der Organisation darüber in Kenntnis zu setzen, dass die Bewertung der Beschaffung zum Teil auf der energiebezogenen Leistung basiert. Die Beschaffung bietet die Möglichkeit, die energiebezogene Leistung durch den Einsatz effizienterer Produkte und Dienstleistungen zu verbessern. In diesem Zusammenhang sind Kriterien für den Energieeinsatz und -verbrauch, sowie für die Energieeffizienz über die geplante Nutzungsdauer der zu beschaffenden Produkte und Einrichtungen – welche eine wesentliche Auswirkung auf die energiebezogene Leistung haben – einzuführen und zu verwirklichen. Anforderungen für die Beschaffung von Energie sind von der Organisation festzulegen und zu dokumentieren.

Die Hauptmerkmale der Tätigkeit einer Organisation, welche die energiebezogene Leistung bestimmen, müssen in festgelegten Zeitabständen *überwacht, gemessen* und *analysiert* werden. Dabei müssen die wesentlichen Energieeinsatzbereiche und deren relevante Variablen, sowie die EnPIs betrachtet werden. Des Weiteren ist die Wirksamkeit der Aktionspläne in Bezug auf die Erreichung der Energieziele zu überprüfen. Ebenso ist eine Bewertung des aktuellen gegenüber dem erwarteten Energieverbrauch durchzuführen. Entsprechend der Größe und Komplexität der Organisation und seiner Einrichtungen zur Überwachung und Messung muss ein Plan für die Energiemessung festgelegt werden.

Es liegt dabei im Ermessen der Organisation, Mittel und Methoden für die Messung zu bestimmen. Diese können von reinen Elektrizitätszählern bis hin zu umfangreichen Überwa-

chungs- und Messsystemen mit Softwareanwendungen reichen. Dabei ist von der Organisation sicherzustellen, dass die verwendeten Messeinrichtungen fehlerfreie und reproduzierbare Daten liefern. Dokumente über die Kalibrierung und andere Mittel zur Erzeugung von Fehlerfreiheit und Reproduzierbarkeit sind hierfür vorzuhalten. Die Erfordernisse in Bezug auf die Messungen sind von der Organisation festzulegen und regelmäßig zu überprüfen. Werden im Zuge der Überwachung wesentliche Abweichungen in der energiebezogenen Leistung entdeckt, sind diese von der Organisation zu untersuchen und darauf angemessen zu reagieren. Die Ergebnisse der beschriebenen Aktivitäten sind zu dokumentieren.

Die Einhaltung rechtlicher Vorschriften und anderer eingegangener Verpflichtungen, die den Energieeinsatz und -verbrauch betreffen, sind von der Organisation in festgelegten Zeitabständen zu bewerten. Die Ergebnisse dieser Betrachtungen sind wiederum zu dokumentieren.

Um sicherzustellen, dass das EnMS den Anforderungen der ISO 50001:2011 entspricht und sich im Einklang mit der geplanten Ausgestaltung des Energiemanagements befindet, sind von der Organisation in definierten Zeitabständen *interne Audits* durchzuführen. Dabei wird überprüft, ob das EnMS mit den strategischen und operativen Energiezielen konform ist und die energiebezogene Leistung verbessert wird. Die Sicherstellung von Objektivität und Unparteilichkeit des Auditprozesses hat bei der Auswahl der Auditoren und der Leitung des Audits oberste Priorität. In kleineren Organisationen kann die Unabhängigkeit des Auditors dadurch belegt werden, dass dieser frei von Verantwortung für die zu auditierenden Aktivitäten ist. Der Status und die Bedeutung der zu auditierenden Prozesse sowie Ergebnisse früherer Audits sind bei der Erstellung eines Ablauf- und Zeitplans zu berücksichtigen. Die Ergebnisse des Audits sind zu dokumentieren und an das Top-Management zu berichten.

Bei auftretenden *Nichtkonformitäten* sind von der Organisation *Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen* zu treffen. Unter einer Nichtkonformität wird in der ISO 50001:2011 die Nichterfüllung einer Anforderung verstanden. Im Zuge der erwähnten Maßnahmen sind tatsächliche und potentielle Nichtkonformitäten zu überprüfen und deren Gründe festzustellen. Des Weiteren ist der Handlungsbedarf zur Sicherstellung, dass sich Nichtkonformitäten nicht wiederholen bzw. diese vermieden werden, zu bewerten. Notwendige Aktivitäten sind festzustellen und zu verwirklichen sowie die Wirksamkeit der durchgeführten Korrektur- bzw. Vorbeugungsmaßnahmen zu überprüfen. Die getätigten Maßnahmen müssen in einem angemessenen Verhältnis zum Ausmaß der tatsächlichen bzw. möglichen Folgen auf die energiebezogene Leistung stehen. Sämtliche Aufzeichnungen von Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen sind vorzuhalten.

Für den Nachweis der Konformität mit den Anforderungen des EnMS und der ISO 50001:2011 sowie für den Nachweis der Ergebnisse in Bezug auf die energiebezogene Leistung sind von der Organisation *Aufzeichnungen* zu erstellen und zu pflegen. In diesem Zusammenhang sind Überwachungsmechanismen für die Identifizierung, Wiederauffindung und Aufbewahrung festzulegen. Aufzeichnungen müssen in Bezug auf die jeweilige Tätigkeit rückverfolgbar, sowie lesbar und identifizierbar bleiben.

### **5.1.3 Einführung eines EnMS in der Zellstoff Pöls AG**

Im folgenden Teil dieser Arbeit wird die für den Aufbau eines Energiemanagementsystems innerhalb der Zellstoff Pöls AG notwendige Vorgehensweise beschrieben.

#### ***5.1.3.1 Aufgaben des Managements***

Die ersten erforderlichen Schritte für den Aufbau und die Umsetzung eines EnMS sind die Festlegung einer Energiepolitik sowie die Ernennung eines Managementbeauftragten durch den Vorstand der Zellstoff Pöls AG. Nach der Festlegung des Anwendungsbereiches und der Grenzen des EnMS sowie der Bereitstellung der notwendigen Ressourcen durch den Vorstand sind die weiteren Maßnahmen vom Beauftragten des Managements umzusetzen. Auf Details dazu wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

#### ***5.1.3.2 Aufgaben des Managementbeauftragten***

In weiterer Folge sind vom *EnMS-Verantwortlichen* Personen zur Unterstützung bei der Bearbeitung der Energiemanagement-Aufgaben auszuwählen. Denkbar wären zwei Personen aus der mittleren Führungsebene sowie zwei Mitarbeiter aus der Produktion, die bei der Umsetzung der in der Internationalen Norm ISO 50001:2011 beschriebenen Anforderungen behilflich sind. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der internen Kommunikation und zur Schaffung eines Bewusstseins für die Vorteile einer besseren energiebezogenen Leistung wäre die Ernennung einer *Energievertrauensperson (EVP)* innerhalb eines jeden Departements bzw. eines jeden Anlagenverantwortungsbereiches. Diese Position könnte in Analogie zum bestehenden und innerbetrieblich bereits angewandten Konzept der *Sicherheitsvertrauensperson (SVP)* bzw. *Gesundheitsvertrauensperson (GVP)* geschaffen werden. Der Einflussbereich könnte sich an die durch den jeweiligen Anlagenoperator steuerbaren Produktionsbereiche in der Zentralwarte orientieren. Gespräche zwischen der EVP und den betreffenden Bedienern könnten der Bewusstmachung des Einflusses derer Handlungen auf die energiebezogene Leistung der Anlage bzw. der gesamten Fabrik dienen. Im Zuge von regelmäßigen Besprechungen der Energievertrauenspersonen mit dem/den Managementbeauftragten könnten die aktuelle Energiesituation analy-

siert und mögliche Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet werden. Die Weitergabe der Informationen und Anregungen aus diesen Treffen durch die EVP an die Anlagenbediener könnte mittelfristig zu einer Sensibilisierung der Operatoren in Richtung einer energieeffizienteren Fahrweise führen. Die Energievertrauensperson bildet in diesem Umsetzungsvorschlag das Bindeglied zwischen dem/den Beauftragten des Managements und den Mitarbeitern in der Zentralwarte sowie dem Vorortpersonal. Die EVP würde damit zur in der ISO 50001:2011 geforderten Förderung des Bewusstseins der Energiepolitik und der strategischen Energieziele beitragen.

Die Norm setzt weiters die Entwicklung und Aufzeichnung einer *energetischen Bewertung* voraus. Im Zuge dieser soll der Energieeinsatz und der Energieverbrauch basierend auf vorhandenen Messungen und anderen Daten erhoben werden. Dies wurde bereits weitgehend mit den erstellten Erfassungssystemen für Dampf und Strom erreicht. Im Energiecontrolling beider Medien erfolgt eine verursachungsgerechte Aufteilung der Verbräuche innerhalb der bestehenden firmeninternen Kostenstellenstruktur. Im Zuge der monatlichen Erfassung können mit diesen Werkzeugen sehr einfach Anlagen und Produktionsbereiche sichtbar gemacht werden, welche wesentlichen Einfluss auf den Energieeinsatz und -verbrauch besitzen. Auf Basis der Ergebnisse aus dem Energiecontrolling können Möglichkeiten zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung identifiziert, sowie Abschätzungen des zukünftigen Energieeinsatzes und Energieverbrauchs durchgeführt werden. Durch die regelmäßige monatliche Anwendung der Erfassungssysteme wird schon jetzt eine Aktualisierung der energetischen Bewertung in festgelegten Zeitabständen gewährleistet.

Die aus dem Energiecontrolling für Dampf und Strom erhaltenen Daten können auch zur Definition einer *energetischen Ausgangsbasis* dienen. Neben der Zellstoffproduktion hängt der Energieverbrauch der Gesamtanlage auch von jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen ab. Während in den Wintermonaten ein deutlicher Mehrbedarf an Dampf messbar ist, nimmt dieser bis zum Sommer wieder ab. Idealerweise müsste die Energiesituation in der Zellstoff Pöls AG mit den erstellten Erfassungssystemen über ein gesamtes Kalenderjahr beobachtet werden, um eine durchgehend vergleichbare energetische Ausgangsbasis zu erhalten. Diese Dauer wäre von der Bedeutung her dem in der Norm geforderten angemessenen Zeitraum gleichzusetzen.

Für die Überwachung und Messung der energiebezogenen Leistung sind EnPIs zu definieren. Diese sind in festgelegten Zeiträumen zu überprüfen und mit der energetischen Ausgangsbasis zu vergleichen. Auch diese Kennzahlen könnten mit den Ergebnissen aus den bestehenden Energiecontrolling-Systemen generiert werden. Da der Energiebedarf in erster Linie von der

Höhe der Produktionsmenge abhängig ist, würde sich ein Verhältnis zwischen dem monatlichen Energieverbrauch der betrachteten Anlage bzw. Kostenstelle und der pro Monat produzierten Zellstoffmenge anbieten. Dadurch könnten beispielsweise EnPIs mit den Einheiten  $[t/t_{zs}]$ ,  $[MJ/t_{zs}]$  oder  $[kWh/t_{zs}]$  festgelegt werden. In den im Anhang dieser Arbeit enthaltenen Übersichtsblättern aus den Erfassungssystemen wird in der jeweils letzten Spalte am rechten Rand eine entsprechende Kennzahl ausgewiesen. Hierfür wird die Gesamtsumme der Verbrauchswerte jeder einzelnen Kostenstelle auf die gesamte Zellstoffproduktion bezogen. Im Fall der Verbräuche der Papiermaschine erfolgt der Bezug auf die gesamte Papierproduktion. In den Berichten der Controlling-Abteilung und für Vergleiche mit den budgetierten Verbräuchen wird der Energieverbrauch des Bahntrockners auf dessen Produktionsleistung bezogen, und nicht – wie im Fall der restlichen Kostenstellen – auf die gesamte Zellstoffproduktion. Dadurch wird eine aussagekräftigere Kennzahl für diesen Anlagenteil generiert. Dasselbe Procedere wird auch auf die Verbrauchsdaten des Flockentrockners angewandt, um spezifische Energiebedarfskennzahlen für die Zellstofftrocknung zu erhalten. Diese EnPIs müssten – wie auch bereits zuvor erwähnt – bei der Definition der energetischen Ausgangsbasis auch die jahreszeitlichen Schwankungen berücksichtigen, um eine zukünftig gute Vergleichbarkeit mit den Monatswerten zu erreichen.

Es sollte jedenfalls die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, Kennzahlen derart zu definieren, dass deren Zahlenwert bei Verbesserung eine steigende Tendenz zeigt. Auf den konkreten Fall umgelegt würde das die Bildung der Reziprokwerte der im Anhang angeführten Kennzahlen bedeuten. Wird der Energiebedarf einer Anlage beispielsweise in  $[t_{zs}/MJ]$  ausgedrückt, geht eine Verringerung der zugeführten Energie (z.B. aufgrund von Optimierungsmaßnahmen) bei gleichbleibender Produktionsleistung mit einem Anstieg der spezifischen Kennzahl einher. Da der Mensch in seinen Verhaltens- und Denkweisen meist nach mehr von etwas bzw. nach Höherem strebt, könnte die Anwendung dieser Kennzahlendefinition zu positiven Ergebnissen führen. Ein anschauliches Beispiel für unterschiedliche Kennzahlenkonventionen stellt die Angabe des Treibstoffverbrauchs von Kraftfahrzeugen dar. Im europäischen Raum wird überwiegend mit der Einheit  $[l/100 km]$  gearbeitet, während in Ländern, in denen das angloamerikanische Maßsystem Anwendung findet, der Verbrauch in Meilen pro Gallone (abgekürzt: mpg) angegeben wird. Umweltbewusste österreichische Autofahrer legen somit großen Wert auf eine möglichst *niedrige* Kennzahl, während in England nach möglichst *hohen* mpg-Werten gestrebt wird.

Für die firmeninterne Kommunikation und Dokumentation in Bezug auf das Energiemanagementsystem der Zellstoff Pöls AG kann das bestehende Intranet genutzt werden. Durch



angemessene Erweiterungen und Anpassungen dieses EDV-Systems könnten relevante Dokumente zentral abgelegt und von jedem werksinternen PC mit Netzwerkzugang abgerufen werden. Des Weiteren kann auf diesem Wege der in der Norm festgelegten Anforderung begegnet werden, allen Mitarbeitern die Möglichkeit zu geben, Kommentare und Verbesserungsvorschläge zum EnMS einbringen zu können. Neben Informationen rund um die Energiepolitik und den strategischen und operativen Energiezielen könnten weitere wichtige Dokumente auf diesem Wege jedem Intranet-Nutzer zugänglich gemacht werden. Seit Anfang des Jahres 2012 werden die Daten aus den erstellten Erfassungssystemen für Dampf, Strom, Frisch- und Abwasser im Intranet der Zellstoff Pöls AG veröffentlicht. Dadurch erfolgt bereits jetzt eine interne Kommunikation bezüglich der energiebezogenen Leistung in den einzelnen Kostenstellen.

### ***5.1.3.3 Zusammenfassung***

Die im Zuge dieser Masterarbeit erstellten Erfassungssysteme bilden eine gute Grundlage für den Aufbau und die Umsetzung eines EnMS innerhalb der Zellstoff Pöls AG. Mit Hilfe der Daten aus dem Energiecontrolling kann eine energetische Ausgangsbasis definiert werden, mit welcher die zukünftig ermittelten Verbrauchsdaten verglichen werden können. Auch zur energetischen Bewertung kann das Energiecontrolling bereits jetzt verwendet werden, da sämtliche wichtige Messungen in den Programmen erfasst sind. Auf Basis der Ergebnisse aus den monatlichen Verbrauchsdatenermittlungen können geeignete EnPIs definiert werden, welche die energiebezogene Leistung bestimmter Anlagenbereiche oder der gesamten Fabrik wiedergeben.

Die in der ISO 50001:2011 festgelegten Anforderungen, wie beispielsweise die Zuteilung von Verantwortlichkeiten, die Kommunikation auf allen Ebenen, die Bewusstseinsförderung, die Dokumentation, die Berücksichtigung von rechtlichen Vorschriften, die energieorientierte Auslegung und Beschaffung, usw. bilden den Rahmen des EnMS und müssten in der Zellstoff Pöls AG noch umgesetzt werden. Durch die bestehende Möglichkeit einer monatlichen Verbrauchsdatenerfassung und der verursachungsgerechten Zuteilung auf die einzelnen Kostenstellen können jedoch bereits jetzt einige in der Norm verankerte zentrale Anforderungen erfüllt werden. Diese Tatsache kann im Fall einer Entscheidung für ein EnMS dazu beitragen, den Aufbau und die Einführung eines solchen im Unternehmen zu erleichtern.

## 5.2 OPTIMIERUNG DER DATENBASIS

### 5.2.1 Revision und Erneuerung von Messungen

Von großer Bedeutung für die Genauigkeit der erstellten Erfassungssysteme wäre eine Überprüfung und – falls erforderlich – Erneuerung der verwendeten Messungen. Da einige Messsysteme bereits seit der Inbetriebnahme der Sulfatanlage im Jahr 1984 im Einsatz sind, liegt die Vermutung nahe, dass einige davon fehlerhafte Daten an das Prozessleitsystem liefern. Wenn im Betrieb ein offensichtlich falscher Messwert erkannt wird, werden firmeninterne Fachkräfte damit beauftragt, die Messung zu überprüfen und gegebenenfalls neu zu kalibrieren. Dies betrifft in erster Linie jedoch Messungen, die von großer Bedeutung für die Prozesssteuerung und -regelung sind und deren Rückgabewerte mehrmals von den Anlagenbedienern im Zuge der Aufrechterhaltung des Normalbetriebs kontrolliert werden. Treten bei weniger prozessrelevanten Messungen Fehler auf, kann es sein, dass diese erst spät bzw. gar nicht erkannt werden, da der Bezug zu einem „normalen“ Rückgabewert fehlt. Einige Messungen, welche dieser Kategorie zuzuordnen sind, werden in den Erfassungssystemen verwendet. Diese Tatsache wird im Speziellen bei der Erfassung der Frisch- und Abwassermengen sichtbar, da hierbei die größten Abweichungen zwischen den gemessenen Ein- und Austrittsströmen der betrachteten Bilanzräume auftreten. Aus diesem Grund werden in der Software relativ hohe Korrekturfaktoren verwendet. Aber auch Dampfdurchfluss- und Wirkleistungsmessungen sind von Fehlern betroffen, denen in der Erfassungssoftware durch geeignete Maßnahmen begegnet werden kann, um die anzuwendenden Korrekturfaktoren niedrig zu halten.

Innerhalb der Zellstoff Pöls AG wurde bereits ein Projektvorschlag ausgearbeitet, in dem es um eine Überprüfung und Erneuerung von bestehenden Messsystemen geht. Nach der Freigabe der erforderlichen Ressourcen wird sämtliches Messequipment auf Fehler überprüft, bei Bedarf neu kalibriert bzw. erneuert. Eine erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahmen hätte eine Verbesserung der Genauigkeit der erstellten Erfassungssysteme zur Folge, die sich in einer Verringerung der errechneten Korrekturfaktoren widerspiegeln würde. Somit würde die Datenbasis an Qualität gewinnen, was weitere Vorteile in Bezug auf das Energiemanagement mit sich bringen würde.

### 5.2.2 Installation von neuen Messungen

Einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Datenbasis würde der Einbau von neuen Messungen an bestimmten Stellen innerhalb der Anlage darstellen. Durch geeignete Wahl der Montagepositionen könnte beispielsweise bei der Erfassung der Frisch- und Abwassermengen

die Zahl der Abschätzungen minimiert werden. Dies würde die Reproduzierbarkeit der Ausgabewerte des Controlling-Systems erhöhen und die verursachungsgerechte Aufteilung der Verbräuche erleichtern. In bestimmten Fällen ist die Definition eines Schätzwertes ausreichend, im Besonderen an Stellen, wo konstante Betriebsbedingungen vorliegen, wie beispielsweise gleichbleibender Durchfluss und Druck bzw. eine konstante Temperatur. Auch weisen jene durch Berechnungen ermittelten Daten oftmals eine ausreichende Genauigkeit auf, wodurch der Einbau von teuren Messungen vermieden werden kann.

Darüber, ob der Einbau einer neuen Messung sinnvoll und rentabel ist, muss im Detail entschieden werden. Beispielsweise wurde ein Angebot für Durchflussmessungen zur Ermittlung der DND-Menge für die Speisewasser- und Verbrennungsluftvorwärmung im Laugenkessel II eingeholt. Die Investitionssumme für die Anschaffung und Montage dieser beiden Messungen allein liegt im fünfstelligen Eurobereich! In diesem Fall ist die relativ genaue Berechnung der Dampfmengen, wie sie im Energiecontrolling für Dampf hinterlegt ist (vgl. Kapitel 4.2.1.3 und 4.2.1.4), als Alternative zu den kostenintensiven Messungen als ausreichend zu betrachten.

### **5.2.3 Anforderungen der Norm**

Wird ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001:2011 in der Zellstoff Pöls AG eingeführt, ist sicherzustellen, dass die verwendeten Messeinrichtungen fehlerfreie und reproduzierbare Daten liefern, um den Anforderungen der Norm gerecht zu werden. Dabei sind zusätzlich, wie bereits in Kapitel 5.1.2.4 erwähnt, Dokumente über die Kalibrierung und andere Mittel zur Erzeugung von Fehlerfreiheit zu erstellen und vorzuhalten. Die Norm sieht ebenfalls vor, dass die verwendeten Messungen von der Organisation regelmäßig zu überprüfen sind und im Fall von Abweichungen angemessen reagiert werden muss.

Die aus den in der Norm festgelegten Anforderungen resultierenden Maßnahmen tragen wesentlich dazu bei, dass die dem Energiecontrolling bzw. dem Energiemanagementsystem zugrunde liegende Datenbasis regelmäßig überprüft und auf dem letzten Stand gehalten wird. Durch die Gewährleistung von durchgehend richtigen Messwerten kann die Qualität der Erfassungssysteme auf einem hohen Stand gehalten werden, was für die weiterführende Anwendung von hoher Relevanz ist.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN, RESULTATE UND AUSBLICK

### 6.1 DIE ERFASSUNGSSYSTEME

#### 6.1.1 Energiecontrolling für Dampf

Das Erfassungssystem für die monatlichen Dampfverbräuche innerhalb der Zellstoff Pöls AG stellt das aufwändigste und umfangreichste Werkzeug dar, das im Zuge dieser Masterarbeit erstellt wurde. In dieser Excel<sup>®</sup>-Datei werden über 60 Messungen verarbeitet und viele zusätzlich notwendigen Berechnungen durchgeführt. Aufgrund des großen Umfangs der Datei liegt die Rechenzeit für die Ermittlung der Monatsverbräuche zwischen 20 und 25 Minuten.

Durch die relativ hohe Anzahl an Durchflussmessungen im Dampfnetz ist es mit dem erstellten Erfassungssystem möglich, eine zufriedenstellende Aufteilung der Verbräuche auf die bestehende Kostenstellenstruktur durchzuführen. Lediglich in zwei Fällen muss mit Schätzwerten gearbeitet werden, in weiteren zwei Fällen wird der Dampfbedarf berechnet. Die von den Dampfturbinen ins System gelieferten Mittel- und Niederdruckdampfmengen bzw. Kondensatmengen werden über einen Korrekturfaktor an die im Laugenkessel erzeugte Menge an Hochdruckdampf angepasst. Ebenso werden die in den einzelnen Kostenstellen ausgewiesenen Verbräuche mittels Faktor auf die zur Verfügung stehende Dampfmenge korrigiert. Die geringe Abweichung dieser Faktoren vom Wert „1“ zeigt, dass mit den im Programm verwendeten Messwerten eine annähernd geschlossene Bilanz zwischen Erzeugung und Verbrauch erreicht werden kann.

Einen Kritikpunkt bei allen Erfassungssystemen stellt der Import der Messwerte aus der Datenbank dar. Bei den monatlichen Erfassungen trat dabei mehrmals das Problem auf, dass zu gewissen Zeiten keine Daten zur Bildung der Stundenmittelwerte zur Verfügung standen. Dies betraf meistens mehrere Messungen, wobei statt der jeweiligen Stundenmittelwerte der Wert „0“ ausgegeben wurde. Dies führt – insbesondere bei Messungen, die hohe stündliche Durchflüsse oder Wirkleistungen erfassen – zu groben Abweichungen von der Realität. In diesen Fällen musste mit Werten aus dem Monatsprotokoll gearbeitet werden, welches direkt aus den Rückgabewerten des Prozessleitsystems generiert wird. In einigen Fällen bestand diese Vergleichsmöglichkeit jedoch nicht, da nicht alle Messungen in diesem Protokoll erfasst werden. Hierbei wurde der Messwertverlauf innerhalb der Stunden vor dem fehlenden Wert untersucht und auf Basis dessen ein angemessener Wert durch manuelle Eingabe vorgegeben. Bezüglich dieser Problematik besteht Verbesserungs- bzw. Klärungsbedarf. Es ist geplant, mit

Fachleuten aus dem Betrieb gemeinsam eine Lösung für diese Erfassungsschwierigkeiten zu erarbeiten.

### **6.1.2 Energiecontrolling für Strom**

Im System zur Erfassung der monatlichen Verbräuche an elektrischem Strom innerhalb der Zellstoff Pöls AG werden über 70 Messungen verarbeitet. Antriebe, deren Bedarf an elektrischer Energie nicht über Wirkleistungsmessungen zugänglich ist, werden im Erfassungssystem ebenfalls berücksichtigt. Hierbei wird über den Rückgabewert der mittleren prozentuellen Stromaufnahme sowie der Nennleistung des Motors der elektrische Stromverbrauch ermittelt. In einigen Fällen wird mit Schätzwerten und prozentuellen Aufteilungsschlüsseln gearbeitet. Der zusätzliche Berechnungsumfang zur Anpassung des Verbrauchs an die zur Verfügung stehende Menge an elektrischer Energie ist im Vergleich zum Energiecontrolling für Dampf deutlich niedriger, da nur ein Korrekturfaktor gebildet wird. Die Höhe dieses Anpassungsfaktors zeigt, dass mit den gewählten Schätzungen und Berechnungen ein ausreichend genauer Abgleich zwischen Erzeugung bzw. Bezug und Verbrauch geschaffen werden kann.

Das unter Punkt 6.1.1 beschriebene Problem der zeitweise fehlenden Messwerte beeinflusst auch die monatliche Erfassung der Stromverbräuche. Auch hier muss mit Werten aus dem Monatsprotokoll bzw. mit Messwerttrends gearbeitet werden.

Es ist geplant, künftig Leitungsverluste im Energiecontrolling für Strom in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Derzeit werden die Liefermengen laut Verrechnungswert der Energie Steiermark AG im Programm verwendet. Über die Höhe der auftretenden Verluste zwischen der Stromerzeugung im Werk und der Einspeisung in das öffentliche Stromnetz fehlen derzeit noch Angaben im Erfassungssystem. Durch die Berücksichtigung der Verluste würde die im Betrieb zu verbrauchende Menge an elektrischer Energie reduziert werden, was aus derzeitiger Sicht einen niedrigeren Anpassungsfaktor zu Folge hätte. Dadurch würden die in den Kostenstellen ausgewiesenen Verbrauchswerte weniger weit nach oben korrigiert werden.

Die Verwendung von Elementen aus dem Energiecontrolling für Strom zur Abschätzung von Energieeinsparungspotentialen hat sich bewährt und könnte auch zur Überprüfung und Nachrechnung zukünftiger Investitionsprojekte angewandt werden. Je nach Anforderung können die bestehenden Systeme modifiziert und auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten werden.

### **6.1.3 Controlling für Frischwasser**

In der Software zur Erfassung des Frischwasserbedarfs im Zellstoffwerk Pöls werden 30 Messungen verarbeitet. Aufgrund der nicht durchgängig zur Verfügung stehenden Durchflussmes-

sungen mussten im Erfassungssystem einige Schätzwerte und prozentuelle Aufteilungsschlüssel hinterlegt werden, um eine verursachungsgerechte Aufteilung des Frischwasserbedarfs auf die einzelnen Kostenstellen zu erreichen. Die gemessenen Durchflussmengen werden mit Hilfe eines Korrekturfaktors an die gesamte Zulaufmenge an Frischwasser aus dem Pölsbach bzw. aus dem Grundwasser angepasst. Aufgrund von bestehenden Messungenauigkeiten liegt die Abweichung zwischen Zulauf- und Verbrauchsmenge im Moment zwischen 5 und 10 %. Diese relativ hohe Abweichung wird aus mehreren Gründen in Kauf genommen. Zum einen weist das Frischwasser mit einer Temperatur von 8 – 12 °C keinen effizient in der Zellstoffproduktion verwertbaren Energieinhalt auf (Ausnahme: Kühlwasser) und wird daher im Vergleich zu Dampf keiner energetischen Bewertung unterzogen. Des Weiteren fehlt es teilweise an notwendigen Durchflussmessungen, um allein durch Messwerte in die Nähe einer geschlossenen Bilanz zu kommen, weswegen Schätzwerte und prozentuelle Aufteilungsschlüssel verwendet werden müssen. Der dritte wesentliche Aspekt betrifft die Tatsache, dass der Bezug von Frischwasser nicht mit ähnlich hohen Kosten verbunden ist, wie der Zukauf von anderen produktionsrelevanten Medien und Hilfsstoffen wie z.B. Erdgas oder Chemikalien.

Das System zur Erfassung des Frischwasserbedarfs sowie die zugrunde liegende Datenbasis weisen Potential für Verbesserungen auf. Durch den Einbau von zusätzlichen Messungen in das Frischwassernetz sowie durch Revision und Kalibrierung der vorhandenen Messsysteme könnte die Genauigkeit der erstellten Software erhöht werden. Im besten Fall wäre der Verzicht auf Schätzwerte im Erfassungssystem möglich. Mit Hilfe eines ausreichend genauen Controllings für Frischwasser könnten umgesetzte Umweltschutzmaßnahmen wie die Reduktion des Frischwasserbedarfs in bestimmten Produktionsbereichen oder der gesamten Fabrik nachvollzogen, überprüft und dokumentiert werden.

Mit dem derzeitigen System ist es möglich, Trends aufzuzeigen, um bei Bedarf notwendige Maßnahmen einzuleiten. Denn auch wenn die Datenbasis der Erfassungssoftware aus wenigen Durchflussmessungen und einigen Schätzwerten besteht, können bei kontinuierlicher Anwendung doch grobe Abweichungen vom Normalbetrieb erkannt werden.

#### **6.1.4 Controlling für Abwasser**

Im Erfassungssystem zur Ermittlung der monatlichen Abwassermengen werden die Rückgabewerte von 19 Messungen verarbeitet. Die geringe Anzahl an verwendbaren Durchflussmessungen macht es erforderlich, mit Schätzwerten und prozentuellen Aufteilungen von Volumenströmen in der Software zu arbeiten. Da vom Controlling für Abwasser mehrere Rahmenbedingungen erfüllt werden müssen, ist die Anwendung von drei Korrekturfaktoren not-

wendig. Aufgrund dieser Tatsache kommt es im Zuge der Anpassung der Messdaten zu einer Veränderung der Ausgangswerte von bis zu 9 %. Ähnlich der Situation bei der Erfassung der Frischwassermengen (vgl. Punkt 6.1.3) wird auch diese vergleichsweise hohe Abweichung toleriert. Mit einer geringen Anzahl an Durchflussmessungen und der Verwendung von Schätzwerten ist es schwierig, die tatsächlichen Abwassermengen aller betrachteten Kostenstellen wiederzugeben. Daher weist auch dieses Erfassungssystem sowie die dahinter liegende Datenbasis Potential für Verbesserungen auf. Jedoch können mit dem bestehenden Programm bereits jetzt Trends sichtbar gemacht und grobe Abweichungen vom Standardbetrieb erkannt werden.

Die Erzielung von höheren Genauigkeiten in der Erfassung wäre für die Überprüfung und Dokumentation von getätigten Umweltmaßnahmen vorteilhaft. Eine derartige Maßnahme wäre beispielsweise die Reduktion der Abwassermenge in einem bestimmten Produktionsbereich. Die Daten aus dem Erfassungssystem für Abwasser könnten auch bei der Erstellung von Berichten und behördlichen Nachweisen hilfreich sein.

#### **6.1.5 Zusammenfassung und Ausblick**

Alle im Zuge dieser Arbeit erstellten Erfassungssysteme unterliegen einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Während der Anwendung dieser Werkzeuge für die monatliche Erfassung konnten seit der erstmaligen Verwendung im Jänner 2012 mehrere Fehler und Unstimmigkeiten erkannt und korrigiert werden. Ein denkbares Ziel wäre es, die Programme im Jahr 2012 so weit zu perfektionieren, dass die Ermittlung und Ausgabe der monatlichen Verbrauchsdaten für das Jahr 2013 auf ein neues System umgestellt werden kann. Vorteilhaft wäre eine Methodik, wie sie bereits zur Erstellung der Tages- und Monatsprotokolle aus den Werten des Prozessleitsystems in der Zellstoff Pöls AG angewandt wird. Dadurch könnte die Ablage der Messwerte in einer eigenen Datenbank und die zeitintensive Aktualisierung in Microsoft Excel<sup>®</sup> vermieden werden. Des Weiteren wäre es möglich, die monatlichen Verbrauchsdaten zentral in einer *SQL-Datenbank* zur Verfügung zu stellen, was die Verbindung mit der firmenintern verwendeten Software *SAP* vereinfachen würde.

Während des Aufbaus und der Anwendung der Erfassungssysteme konnten Messfehler erkannt und behoben werden. Dabei wurden insbesondere Messungen im Frischwassernetz überprüft und teilweise neu kalibriert, um wahre Durchflussmengen in der Software weiterverarbeiten zu können. Auf diese Weise wurde bereits im Zuge der Erstellung der Programme ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Datenbasis geleistet. Durch die regelmäßige Anwendung der Erfassungssysteme für die monatliche Verbrauchsdatenermittlung können auch

in Zukunft relativ einfach Fehlmessungen erkannt werden. Erreichen die errechneten Korrekturfaktoren bestimmte Grenzwerte ist das ein Indiz dafür, dass eine unausgeglichene Bilanz vorliegt und möglicherweise fehlerhafte Messungen oder nicht repräsentative Annahmen getroffen wurden. Der Nutzer kann im Anschluss korrigierende Maßnahmen einleiten. Durch eine kontinuierliche Anwendung der erstellten Systeme und durch das richtige Verhalten bei auftretenden Abweichungen wird die zugrunde liegende Datenbasis regelmäßig überprüft und auf aktuellem Stand gehalten.

Der Aufbau eines Erfassungssystems zur genauen Abbildung des produktionsinternen Warm- und Heißwassernetzes mit der Ermittlung der notwendigen Messwerte (Durchflüsse, Temperaturen, Behälterstände) stellt eine wichtige Maßnahme für die Zukunft dar. Ein spontan auftretender hoher Bedarf an Heißwasser in bestimmten Anlagenbereichen führte in der Vergangenheit bereits mehrmals zu Störungen der internen Wärmeenergiebilanz. Im Normalbetrieb wird die Heißwassertemperatur durch Nutzung der Wärmeenergie anderer Prozessmedien erreicht. Die Wärmeübertragung erfolgt dabei in unterschiedlichen Wärmetauschern, wie z.B. im Schwarzlaugenkühler, im Schmutzkondensatkühler oder in den Terpentinkondensatoren. Bei einem Mangel an Heißwasser bzw. bei zu geringer Wassertemperatur bestehen mehrere Möglichkeiten zur Behebung. Die Temperatur kann mit Hilfe von direktdampfbeaufschlagten Wärmetauschern erhöht werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Warmwasser in den Heißwasserbehälter zu leiten und dieses durch Eindüsen von Niederdruckdampf auf Heißwassertemperatur zu erhitzen. Da bei der Durchführung dieser Schritte ein erhöhter Dampfbedarf auftritt, der die Gesamtenergiebilanz negativ beeinflusst, sind unbedingt Maßnahmen für eine energieoptimale Steuerung und Beeinflussung des Heißwassersystems zu treffen. Ein geeignetes Erfassungssystem kann dazu einen wesentlichen Beitrag leisten.



## 6.2 DER STANDORT PÖLS IM VERGLEICH

Nach Erstellung der Erfassungssysteme für den innerbetrieblichen Bedarf an Dampf und Strom bestand Interesse, die ermittelten Verbrauchsdaten mit jenen von ähnlichen Zellstofffabriken zu vergleichen. Durch diese Betrachtung soll ein Maß für die Höhe der Energieeffizienz in der Zellstoff Pöls AG erhalten bzw. ein mögliches Verbesserungspotential aufgezeigt werden. Für den Vergleich wurden Daten aus dem letztgültigen *Reference Document on Best Available Techniques (BAT)* für die Papier- und Zellstoffindustrie herangezogen [3].

Für die Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff sind in etwa 10 - 14 GJ/ADt an Wärmeenergie notwendig, wobei der Dampf zur Erzeugung von elektrischem Strom in diesem Wert nicht berücksichtigt wurde. Die Abkürzung *ADt* steht für *Air Dry tonne* und bezeichnet die Masse einer Tonne Zellstoff mit einem Trockenstoffgehalt von 90 %. Der Bedarf an elektrischer Energie inklusive Zellstofftrocknung liegt bei 600 – 800 kWh/ADt. In etwa 25 % der Wärmeenergie und 15 – 20 % der elektrischen Energie wird für die Trocknung des Zellstoffs verwendet [3].

### 6.2.1 Wärmeenergie

Wie bereits in Kapitel 4.2.1.9 dieser Arbeit erwähnt, wird in jenen Anlagenbereichen, wo Heizdampf nicht zur direkten Wärmeübertragung verwendet wird, dem Dampf Energie bis zur Kondensation entzogen. Das anfallende Kondensat wird rückgeführt, im Hauptkondensatbehälter gesammelt (vgl. Abbildung 4-5) und nach einer Reinigung erneut als Speisewasser im Laugenkessel eingesetzt. Das rückgeführte Kondensat enthält eine bestimmte Restenergie, die jedoch nicht am Ort des Dampfeinsatzes umgesetzt wird. Das erstellte Erfassungssystem für den Wärmeenergiebedarf in Form von Dampf basiert im Moment darauf, dass die gesamte Energie des Dampfes in den jeweiligen Kostenstellen zur Anwendung kommt. Diese Betrachtung kann in der Form nicht für den durchzuführenden Vergleich herangezogen werden, daher ist es nötig, die Kondensatenergie in geeigneter Weise in Abzug zu bringen. Hierfür werden die messtechnisch erfassten und protokollierten Durchflüsse der Kondensatreinigungsanlagen herangezogen und in Energiemengen umgerechnet. Als Betrachtungszeitraum für den Vergleich und die Berechnung der Kennzahlen werden die Monate Jänner bis März 2012 bzw. April bis Juni 2012 (erstes und zweites Quartal 2012) verwendet.

Für das rückgeführte Kondensat gelten folgende Zustandsdaten:

$$p = 3 \text{ bar}_0$$

$$T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

Für die spezifische Enthalpie des Kondensats ergibt sich nach [2]:

$$h = 461,55 \text{ kJ/kg}$$

Die Dichte des Kondensats entspricht bei diesem Zustand nach [2]:  $\rho = 951,07 \text{ kg/m}^3$

Tabelle 6-1 zeigt die Messwerte der Durchflussmengen in die beiden Kondensatreinigungsanlagen aus den jeweiligen Monatsprotokollen. Die Volumenströme wurden mit der zuvor angegebenen Dichte in Massenströme umgerechnet. In der letzten Spalte der Tabelle sind die in den rückgeführten Kondensatvolumenströmen verbleibenden Energiemengen angeführt.

**Tabelle 6-1:** Kondensatmengen im 1. Quartal 2012, umgerechnet in Energiemengen

<b>Zeitraum</b>	<b>KR Anlage 1</b> [m <sup>3</sup> /Monat]	<b>KR Anlage 2</b> [m <sup>3</sup> /Monat]	<b>KR Summe</b> [m <sup>3</sup> /Monat]	<b>KR Summe</b> [t/Monat]	<b>Energie- menge</b> [GJ/Monat]
Jänner 2012	69.892,23	88.832,80	158.725,03	150.958,61	69.674,95
Februar 2012	94.640,84	60.202,75	154.843,59	147.267,09	67.971,13
März 2012	79.562,65	81.687,72	161.250,37	153.360,39	70.783,49

Bei der Berechnung des Wärmeenergiebedarfs für die Zellstoffproduktion ist der Erdgasverbrauch am Drehrohrofen (DRO) ebenfalls zu berücksichtigen. Der Verrechnungsbrennwert  $H_s$  von Erdgas beträgt nach [12] und [13]:

$$H_s = 11,19 \text{ kWh/Nm}^3$$

Der Energieverbrauch in Form von Erdgas am Kalkofen wird durch Multiplikation der gemessenen Durchflussmengen in [Nm<sup>3</sup>] mit dem Verrechnungsbrennwert  $H_s$  ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnung sowie der Umrechnung von [kWh] auf [GJ] sind in nachfolgender Tabelle 6-2 angegeben.

**Tabelle 6-2:** Erdgasmengen am DRO, umgerechnet in Energiemengen

<b>Zeitraum</b>	<b>Erdgasmenge Kalkofen</b> [Nm <sup>3</sup> /Monat]	<b>Erdgasmenge Kalkofen</b> [kWh/Monat]	<b>Energiemenge Kalkofen</b> [GJ/Monat]
Jänner 2012	1.701.969	19.045.033	68.562,12
Februar 2012	1.579.308	17.672.457	63.620,84
März 2012	1.767.877	19.782.544	71.217,16

Mit den in der Übersicht in Abbildung A-2 auf Seite XVI im Anhang dieser Arbeit angeführten Werten und den Daten aus Tabelle 6-1 und Tabelle 6-2 kann nun der Wärmeenergiebedarf der Zellstoff Pöls AG für den Vergleich mit den Angaben im BAT-Dokument bestimmt werden. In der Berechnung dürfen nur jene Energieverbräuche berücksichtigt werden, die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Zellstoffproduktion stehen. Der Gesamtenergiebedarf

wird nach dem folgendem Schema ermittelt (vgl. Abbildung A-2). Rechts neben den Bezeichnungen der Positionen sind die entsprechenden Summen für das erste Quartal 2012 angegeben.

Wärmeenergie DMD aus DT 3	=	123.146	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DND aus DT 3	=	667.468	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DMD aus DT 4	=	362.542	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DND aus DT 4	=	512.222	GJ/Quartal
+ Energie im Erdgas am Kalkofen	=	203.400	GJ/Quartal
- Tallölanlage DND	=	4.391	GJ/Quartal
- Fernwärme DND	=	71.362	GJ/Quartal
- Papiermaschine DMD	=	13.063	GJ/Quartal
- Papiermaschine DND	=	15.541	GJ/Quartal
- Kondensatenergie	=	208.430	GJ/Quartal
<b>= Wärmeenergiebedarf Zellstoffproduktion</b>	<b>=</b>	<b>1.555.992</b>	<b>GJ/Quartal</b>

Mit einer Zellstoffproduktionsmenge im ersten Quartal 2012 von 102.338 ADt ergibt sich der spezifische Gesamtenergiebedarf für die Zellstoffproduktion zu:

**15,20 GJ/ADt**

Damit liegt der Wärmeenergiebedarf der Zellstoff Pöls AG um 1,20 GJ/ADt über dem im BAT-Dokument angegebenen oberen Grenzwert. Auf Absolutwerte umgerechnet entspricht diese Differenz einem Mehrbedarf an Energie von 123.260 GJ bzw. 34,2 GWh. Der Anteil der zur Zellstofftrocknung verwendeten Wärmeenergie an der Gesamtmenge beträgt 23,1 %.

Der betrachtete Zeitraum zur Ermittlung des Wärmeenergiebedarfs für die Zellstoffproduktion ist für eine Normalbetriebssituation nicht repräsentativ, da in den Wintermonaten generell mehr Prozesswärme benötigt wird. Aufgrund des höheren Wassergehaltes im Holz durch vereiste Hackschnitzel ist am Kocher eine höhere Dampfmenge erforderlich. Für den Betrieb von diversen Heizungen (Produktionshallenheizungen, Hackschnitzel-Förderband-Heizungen, etc.) ist in der kalten Jahreszeit ebenfalls mehr Dampf notwendig. Betrachtet man die Monate Jänner, Februar und März 2012 getrennt, ergeben sich jene in Tabelle 6-3 angeführten Kennzahlen. Dabei ist ersichtlich, dass der spezifische Wärmeenergiebedarf im Februar 2012 sein Maximum von 15,62 GJ/ADt erreicht, im März 2012 jedoch wieder auf einen Wert von

14,62 GJ/ADt absinkt. Dieser verminderte Prozessenergiebedarf korreliert mit den jahreszeitlichen Bedingungen und den höheren Außentemperaturen im März 2012.

**Tabelle 6-3:** Monatlicher Prozesswärmeenergiebedarf im 1. Quartal 2012

<b>Zeitraum</b>	<b>Prozesswärme- energie [GJ/Monat]</b>	<b>Spezifischer Energiebedarf [GJ/ADt]</b>
Jänner 2012	531.385	15,42
Februar 2012	503.685	15,62
März 2012	520.922	14,62

Um aussagekräftigere Werte zu erhalten, wurde der Wärmeenergiebedarf der Zellstoffproduktion für das zweite Quartal 2012 ebenfalls ermittelt und mit den im BAT-Dokument veröffentlichten Werten verglichen. Das folgende Berechnungsschema zeigt die dafür verwendeten Verbrauchsdaten:

Wärmeenergie DMD aus DT 3	=	132.012	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DND aus DT 3	=	613.802	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DMD aus DT 4	=	348.819	GJ/Quartal
+ Wärmeenergie DND aus DT 4	=	414.030	GJ/Quartal
+ Energie im Erdgas am Kalkofen	=	199.440	GJ/Quartal
- Tallölanlage DND	=	4.231	GJ/Quartal
- Fernwärme DND	=	24.603	GJ/Quartal
- Papiermaschine DMD	=	13.003	GJ/Quartal
- Papiermaschine DND	=	13.636	GJ/Quartal
- Kondensatenergie	=	165.586	GJ/Quartal
<b>= Wärmeenergiebedarf Zellstoffproduktion</b>	<b>=</b>	<b>1.487.042</b>	<b>GJ/Quartal</b>

Mit einer Zellstoffproduktionsmenge im zweiten Quartal 2012 von 102.628 ADt ergibt sich der spezifische Gesamtenergiebedarf für die Zellstoffproduktion zu:

**14,49 GJ/ADt**

Der Wärmeenergiebedarf der Zellstoff Pöls AG liegt damit um 0,49 GJ/ADt über dem im BAT-Dokument angegebenen oberen Grenzwert. Dieser Wert entspricht einem absoluten Mehrbedarf an Energie von 50.250 GJ bzw. 14,0 GWh. Im zweiten Quartal 2012 wurden für die Zellstofftrocknung 23,4 % der gesamten Prozesswärme verwendet.

Bei separater Betrachtung der einzelnen Monate des zweiten Quartals 2012 ergeben sich die in Tabelle 6-4 angegebenen absoluten und spezifischen Wärmeenergiebedarfswerte.

**Tabelle 6-4:** Monatlicher Prozesswärmeenergiebedarf im 2. Quartal 2012

<b>Zeitraum</b>	<b>Prozesswärme- energie</b> [GJ/Monat]	<b>Spezifischer Energiebedarf</b> [GJ/ADt]
April 2012	454.711	14,35
Mai 2012	520.672	14,77
Juni 2012	511.659	14,34

In Tabelle 6-4 ist ersichtlich, dass der spezifische Wärmeenergiebedarf für die Zellstoffproduktion im zweiten Quartal 2012 zwischen 14,34 und 14,77 GJ/ADt schwankt. Im Juni 2012 konnte der niedrigste Bedarf an Prozesswärme erreicht werden. Dieser Wert liegt um 0,34 GJ/ADt über dem oberen Grenzwert laut BAT-Dokument. Absolut ausgedrückt entspricht diese Grenzwertüberschreitung einem Mehrbedarf von 12.027 GJ bzw. 3,3 GWh.

## 6.2.2 Elektrische Energie

Zur Bestimmung des Bedarfs an elektrischer Energie für die Zellstoffproduktion sind die Ergebnisse aus dem Energiecontrolling für Strom ausreichend. Allerdings dürfen auch hier nicht alle Verbrauchsdaten für die Berechnung der Kennzahl herangezogen werden, sondern nur jene Berücksichtigung finden, die in eindeutigen Zusammenhang mit der Zellstoffproduktion gebracht werden können. Das Schema zur Ermittlung des elektrischen Gesamtenergieverbrauchs für die Zellstoffproduktion ist nachfolgend angegeben. Im rechten Teil sind die zugehörigen Zahlenwerte der angeführten Positionen ausgewiesen, die auch in Abbildung A-3 im Anhang dieser Arbeit ersichtlich sind. Als Betrachtungszeitraum wurde analog zur Ermittlung der Wärmeenergie zunächst das erste Quartal 2012 gewählt.

Zellstoffproduktion (exkl. FW)	=	69.370	MWh/Quartal
- Tallölanlage	=	373	MWh/Quartal
<b>= Bedarf elektr. Energie Zellstoffprod.</b>	<b>=</b>	<b>68.997</b>	<b>MWh/Quartal</b>

Der Gesamtbedarf an elektrischer Energie für die Zellstoffproduktion im ersten Quartal 2012 beträgt 68.996.530 kWh. Mit der Produktionsmenge in den Monaten Jänner bis März 2012 von 102.337 ADt ergibt sich eine spezifische Kennzahl von:

**674,21 kWh/ADt**

Der Bedarf an elektrischer Energie in der Zellstoff Pöls AG liegt damit um 125,79 kWh/ADt unter dem oberen Richtwert, der im letztgültigen BAT-Dokument veröffentlicht wurde. Der Anteil an elektrischer Energie an der Gesamtmenge, der für die Zellstofftrocknung verwendet wird, beträgt 18,4 %.

Um die Einflüsse des Winterbetriebes auf den Strombedarf für die Zellstoffherstellung darzustellen, wurden analog zur Wärmeenergiebetrachtung auch die Verbräuche und Kennzahlen im zweiten Quartal 2012 ermittelt. In nachfolgendem Berechnungsschema sind die dafür herangezogenen Werte angeführt:

Zellstoffproduktion (exkl. FW)	=	66.804	MWh/Quartal
- Tallölanlage	=	361	MWh/Quartal
<b>= Bedarf elektr. Energie Zellstoffprod.</b>	<b>=</b>	<b>66.443</b>	<b>MWh/Quartal</b>

Im zweiten Quartal 2012 liegt der Gesamtbedarf an elektrischer Energie für die Zellstoffproduktion bei 66.443.080 kWh. Mit einer Gesamtproduktion von 102.628 ADt zwischen April und Juni 2012 folgt ein spezifischer elektrischer Energiebedarf von:

**647,42 kWh/ADt**

Der Stromverbrauch in der Zellstoff Pöls AG liegt im zweiten Quartal 2012 um 152,58 kWh/ADt unter dem oberen Richtwert laut BAT-Dokument. In den Monaten April bis Juni 2012 wurden für die Zellstofftrocknung 16,4 % des gesamten elektrischen Energiebedarfs aufgewendet.

In nachfolgender Tabelle 6-5 sind die spezifischen Kennzahlen für den Stromverbrauch der Zellstoff Pöls AG separat für jeden Monat des ersten Halbjahres 2012 angeführt.

**Tabelle 6-5:** Monatlicher elektrischer Energiebedarf im 1. Halbjahr 2012

<b>Zeitraum</b>	<b>Elektrischer Energiebedarf [MWh/Monat]</b>	<b>Spezifischer elektrischer Energiebedarf [kWh/ADt]</b>
Jänner 2012	23.412	679,46
Februar 2012	22.093	685,26
März 2012	23.492	659,13
April 2012	21.177	668,27
Mai 2012	22.820	647,36
Juni 2012	22.446	628,95

In Tabelle 6-5 ist zu erkennen, dass der spezifische elektrische Energiebedarf für die Zellstoffproduktion im Februar 2012 sein Maximum von 685,26 kWh/ADt erreichte. Dieser erhöhte Energieverbrauch deckt sich mit den Erkenntnissen aus den Betrachtungen des Wärmeenergiebedarfs (vgl. Kapitel 6.2.1). Im März 2012 fällt der spezifische Energiebedarf auf 659,13 kWh/ADt und sinkt ab Mai 2012 stetig auf 628,95 kWh/ADt. Die Begründung für den im Vergleich zum März erhöhten Wert im April liegt in der Durchführung eines Kurzstillstandes, was zu einer Verringerung der Zellstoffproduktionsmenge und damit zu einem höheren spezifischen Energieverbrauch führte. Ab Mai 2012 ist Fortsetzung der stetigen Reduktion des elektrischen Energiebedarfs wieder erkennbar. Im Juni 2012 wird mit 628,95 kWh/ADt der niedrigste Wert des ersten Halbjahres 2012 erreicht.

### **6.2.3 Zusammenfassung**

Aus dem Vergleich der Energieverbrauchsdaten der Zellstoff Pöls AG mit den im letztgültigen BAT-Dokument veröffentlichten Werten ist ersichtlich, dass der Zahlenwert des Wärmeenergiebedarfs für die Zellstoffproduktion im ersten Quartal 2012 um 1,20 GJ/ADt bzw. im zweiten Quartal 2012 um 0,49 GJ/ADt höher ist, als der obere Vergleichswert. Die Betrachtungen zeigen, dass während der Wintermonate aufgrund der niedrigen Außentemperaturen und der damit verbundenen Prozessbedingungen ein erhöhter Bedarf an Wärmeenergie auftritt. Im zweiten Quartal 2012 ist ein deutlicher Rückgang des Prozesswärmebedarfs erkennbar. Dieser erreicht im Juni mit 14,34 GJ/ADt den niedrigsten Wert im Jahr 2012. Der Verbrauch an Wärmeenergie ist insgesamt als verbesserungswürdig zu bewerten und bietet laut BAT-Dokument Optimierungspotentiale.

Der Vergleich der Verbrauchsdaten für elektrische Energie lässt positivere Schlüsse zu. Mit 674,21 kWh/ADt liegt der Energiebedarf der Zellstoff Pöls AG im ersten Quartal 2012 in der unteren Hälfte des im BAT-Dokument angegebenen Bereichs von 600 – 800 kWh/ADt. Im zweiten Quartal 2012 konnte ein spezifischer elektrischer Energiebedarf von 647,42 kWh/ADt erreicht werden. Der Stromverbrauch von 628,95 kWh/ADt im Juni stellt den niedrigsten des ersten Halbjahres 2012 dar. Die Untersuchungen und Vergleiche rund um den elektrischen Energieverbrauch zeigen, dass die Bedingungen während der Wintermonate neben einem erhöhten Bedarf an Wärmeenergie auch einen höheren Stromverbrauch mit sich bringen. In Summe ist die Effizienz in Bezug auf elektrische Energie für die Zellstoffproduktion als befriedigend zu bewerten, bietet aber nach BAT noch Potential für Optimierungen.

## LITERATURVERZEICHNIS

### BÜCHER

- [1] Brunner, W.; 300 Jahre Papier – Von der Reifensteiner Papiermühle zum Sulfatzellstoffwerk Pöls. Eigenverlag der Zellstoff Pöls AG, Graz (1989)
- [2] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.); VDI-Wärmeatlas. Zehnte bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg (2006)
- [3] European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Integrated Pollution Prevention and Control; Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. European IPPC Bureau, Seville (2010)
- [4] Busch, R.; Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer und Verfahrenstechniker. 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Vieweg + Teubner, Wiesbaden (2008)
- [5] Paul, S.; Industrielles Energiecontrolling – Bestandsaufnahme und Perspektiven. VDI-Berichte Nr. 1761 (2003), 45-57.
- [6] Leven, B.; Energiecontrolling in bestehenden Produktionssystemen – Datenerfassung, Überwachung, Optimierung. VDI-Berichte Nr. 1761 (2003), 59-68.
- [7] Prost, A.; Leven, B.; Hofste, N.; Energiecontrolling in der Automobilindustrie: Vergleich ausgewählter Verfahren für die Ermittlung und die Zuordnung des Energieverbrauchs in Industriebetrieben. VDI-Berichte Nr. 1761 (2003), 79-88.
- [8] Moor, M. A.; Energie-Controlling als Subsystem des betrieblichen Energiemanagements. Dissertation, TU Graz (1985)
- [9] Pfeifer, G.; Betriebliches Energiemanagement – Einführung eines Energiemanagements nach EN 16001 und ISO 50001. 1. Auflage. TÜV Austria Akademie GmbH, Wien (2011)

### INTERNET

- [10] Umweltbundesamt; Erneuerbare Energie – Situation und Ausblick;  
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/erneuerbare/erneuerbare-situationausblick/>; Zugriff am 12.3.2012 um 21:35



- [11] austropapier; Homepage der Austropapier – Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie und des Fachverbandes der Papierindustrie;  
<http://www.austropapier.at/index.php?id=23>; Zugriff am 9.5.2012 um 11:05
- [12] E-CONTROL; pdf-Dokument aus der Medienbibliothek; [http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/gas/dokumente/pdfs/umrechnung-m3-auf-kwh\\_2012.pdf](http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/gas/dokumente/pdfs/umrechnung-m3-auf-kwh_2012.pdf); Zugriff am 17.5.2012 um 10:45
- [13] Energie Steiermark; Gas – Erdgas;  
<http://www.e-steiermark.com/gas/erdgas/index.htm>; Zugriff am 17.5.2012 um 10:40
- [14] Quality Austria; News & Presse, Beitrag vom 12.3.2012;  
<http://www.qualityaustria.com/index.php?id=3369>; Zugriff am 17.5.2012 um 10:50

### **ANDERE QUELLEN**

- [15] Karl, J.; Wärmetechnik I. Vorlesungsunterlagen zur gleichnamigen Vorlesung an der TU Graz; WS 2010, datiert auf 04.10.2010
- [16] Thermodynamik – Studienblätter. Herausgegeben vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik an der TU Graz; September 2007
- [17] Firmeninterne Formelsammlung für die Berechnung einiger Stoffdaten von Wasser und Dampf; datiert auf 21.1.2011
- [18] ISO 50001:2011; Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Ausgabe: 2011-12-01; Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien (2011)

Die in dieser Masterarbeit enthaltenen Sankey-Diagramme wurden mit einer lizenzierten Version der Software *S.Draw* V3.4 (Build 1.90) erstellt.

## ANHANG

### INHALT

Abbildung A-1: Übersicht Dampfverbräuche in [t] laut Energiecontrolling .....	XV
Abbildung A-2: Übersicht Dampfverbräuche in [GJ] laut Energiecontrolling .....	XVI
Abbildung A-3: Übersicht Stromverbräuche in [MWh] laut Energiecontrolling .....	XVII
Abbildung A-4: Übersicht Frischwassermengen in [m <sup>3</sup> ] laut Controlling .....	XVIII
Abbildung A-5: Übersicht Abwassermengen in [m <sup>3</sup> ] laut Controlling .....	XIX
Abbildung A-6: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 1 .....	XX
Abbildung A-7: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 2 .....	XXI

Werte in [t]

VERBRAUCH NACH KOSTENSTELLEN			Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:			34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:			1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement		[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/y]	[kg/t ZS]
101XX	Holzplatz gesamt	DND	578	492	214										1.284	12,6
10200	Kocherei	DMD	21.463	19.146	23.035										63.644	621,9
10200	Kocherei	DND	6.250	4.767	949										11.966	116,9
10300	Vorsortierung/Sauerstoffbleiche	DMD	1.042	1.002	1.313										3.357	32,8
10420	Nachbleiche	DND	11.971	14.110	7.161										33.242	324,8
10420	Nachbleiche	DMD	1.198	1.209	1.372										3.779	36,9
10600	Flockentwässerung	DMD	1.897	2.110	2.371										6.377	62,3
10600	Flockentwässerung	DND	11.463	12.669	12.136										36.269	354,4
10900	Eindampfanlage	DND	60.641	57.049	64.159										181.849	1.777,0
11000	Laugenkessel I	DMD	0	0	0										0	0,0
11000	Laugenkessel I	DND	1.709	1.373	1.335										4.418	43,2
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	DMD	678	632	689										2.000	19,5
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	DND	2.314	1.623	2.148										6.085	59,5
11500	Turbine 3	KND	160	156	396										712	7,0
11800	Schlammwässerung	DND	1.943	1.819	1.689										5.451	53,3
12000	Laugenkessel II	DMD	2.977	2.753	2.957										8.687	84,9
12000	Laugenkessel II	DND	29.422	28.717	29.858										87.997	859,9
12300	Tallölanlage	DND	436	551	587										1.574	15,4
13900	Zellstoffproduktion allgemein	DND	9.089	10.960	5.440										25.489	249,1
14000	Bahntrockner, Entwässerung	DMD	27.376	24.650	27.136										79.161	773,5
14000	Bahntrockner, Entwässerung	DND	2.040	1.967	2.061										6.068	59,3
15200	Turbine 4 + Generator	KND	25.474	24.514	30.601										80.590	787,5
15800	Fernwärme	DND	11.509	8.098	5.971										25.578	249,9
GESAMTVERBRAUCH:			205.996	195.698	192.580	0	0	0	0	0	0	0	0	0	594.274	5.807,0
<b>ZELLSTOFFPRODUKTION (exkl. FW):</b>			<b>194.487</b>	<b>187.600</b>	<b>186.610</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>568.697</b>	<b>5.557,1</b>
14100	Papiermaschine	DMD	1.627	1.471	1.519										4.616	1.368,0 <sup>1)</sup>
14100	Papiermaschine	DND	1.936	1.863	1.772										5.570	1.650,8 <sup>1)</sup>
Verbrauch exkl. DND von Steambloc:			205.555	193.335	195.560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	594.449	5.808,7
Summe Erzeugung DTs:			205.555	193.335	195.560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	594.449	5.808,7
Erzeugung LKs:			231.189	218.005	226.557	0	0	0	0	0	0	0	0	0	675.751	6.603,2

<sup>1)</sup> Gesamtverbrauch bezogen auf die gesamte Papierproduktion.

LK, Turbinen, Steambloc			Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:			34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:			1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement		[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/Mo]	[t/y]	[kg/t ZS]
11000	Laugenkessel I	DHD	0	0	0										0	0,0
12000	Laugenkessel II	DHD	231.189	218.005	226.557										675.751	6.603,2
12000	Laugenkessel II	DMD													0	0,0
11500	Turbine 3	DMD	15.116	12.828	15.570										43.514	425,2
11500	Turbine 3	DND	81.852	79.016	78.523										239.392	2.339,2
11500	Turbine 3 - Verstromung	-	160	156	396										712	7,0
15200	Turbine 4 + Generator	DMD	43.140	40.145	44.822										128.107	1.251,8
15200	Turbine 4 + Generator	DND	65.446	61.502	56.644										183.592	1.794,0
15200	Turbine 4 - Verstromung	-	25.474	24.514	30.601										80.590	787,5
15000	Steambloc	DMD													0	0,0
15000	Steambloc	DND	4.004	5.697	312										10.012	97,8
GESAMTE ERZEUGUNG DTs + Steambloc:			209.558	199.187	195.871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	604.617	5.908,07

Abbildung A-1: Übersicht Dampfverbräuche in [t] laut Energiecontrolling

Werte in [GJ]

VERBRAUCH NACH KOSTENSTELLEN			Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:			34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:			1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement		[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/y]	[MJ/t ZS]
101XX	Holzplatz gesamt	DND	1.613	1.374	597										3.584	35,0
10200	Kocherei	DMD	60.741	54.184	65.189										180.113	1.760,0
10200	Kocherei	DND	17.437	13.299	2.649										33.385	326,2
10300	Vorsortierung/Sauerstoffbleiche	DMD	2.948	2.837	3.716										9.501	92,8
10420	Nachbleiche	DND	33.399	39.367	19.978										92.745	906,3
10420	Nachbleiche	DMD	3.389	3.420	3.884										10.693	104,5
10600	Flockenentwässerung	DMD	5.368	5.971	6.709										18.048	176,4
10600	Flockenentwässerung	DND	31.983	35.348	33.859										101.189	988,8
10900	Eindampfanlage	DND	169.189	159.168	179.003										507.359	4.957,7
11000	Laugenkessel I	DMD	0	0	0										0	0,0
11000	Laugenkessel I	DND	4.769	3.832	3.726										12.327	120,5
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	DMD	1.920	1.789	1.950										5.659	55,3
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	DND	6.455	4.528	5.994										16.977	165,9
11500	Turbine 3	-	52.222	49.450	51.507										153.180	1.496,8
11800	Schlammmentwässerung	DND	5.421	5.076	4.711										15.208	148,6
12000	Laugenkessel II	DMD	8.424	7.792	8.369										24.584	240,2
12000	Laugenkessel II	DND	82.088	80.120	83.304										245.512	2.399,0
12300	Tallölanlage	DND	1.217	1.536	1.638										4.392	42,9
13900	Zellstoffproduktion allgemein	DND	25.359	30.578	15.177										71.115	694,9
14000	Bahntrockner, Entwässerung	DMD	77.473	69.758	76.794										224.025	2.189,1
14000	Bahntrockner, Entwässerung	DND	5.690	5.488	5.750										16.929	165,4
15200	Turbine 4 + Generator	-	141.740	134.916	154.901										431.556	4.217,0
15800	Fernwärme	DND	32.110	22.593	16.659										71.361	697,3
GESAMTVERBRAUCH:			770.956	732.423	746.063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.249.441	21.980,6
<b>ZELLSTOFFPRODUKTION (exkl. FW und Verstr.):</b>			<b>544.884</b>	<b>525.465</b>	<b>522.996</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.593.344</b>	<b>15.569,5</b>
14100	Papiermaschine	DMD	4.603	4.162	4.298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.064	3.871,49 <sup>2)</sup>
14100	Papiermaschine	DND	5.400	5.197	4.944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.541	4.605,61 <sup>2)</sup>
<b>GESAMTER VERBRAUCH (inkl. FW, PM):</b>			<b>780.959</b>	<b>741.782</b>	<b>755.305</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.278.047</b>	<b>22.260,16</b>

<sup>2)</sup> Gesamtverbrauch bezogen auf die gesamte Papierproduktion.

LK, Turbinen, Steambloc			Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:			34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:			1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement		[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/Mo]	[GJ/y]	[MJ/t ZS]
11000	Laugenkessel I	DHD	0	0	0										0	0,00
12000	Laugenkessel II	DHD	769.858	725.956	754.436										2.250.249	21.988,54
12000	Laugenkessel II	DMD	0	0											0	0,00
11500	Turbine 3	DMD	42.779	36.304	44.063										123.145	1.203,33
11500	Turbine 3	DND	228.368	220.020	219.080										667.469	6.522,24
11500	Turbine 3 - Verstromung	-	52.222	49.450	51.507										153.180	1.496,81
15200	Turbine 4 + Generator	DMD	122.087	113.609	126.846										362.542	3.542,62
15200	Turbine 4 + Generator	DND	182.594	171.590	158.038										512.221	5.005,22
15200	Turbine 4 - Verstromung	-	141.740	134.916	154.901										431.556	4.217,00
15000	Steambloc	DMD	0	0											0	0,00
15000	Steambloc	DND	11.170	15.894	870										27.933	272,95
<b>GESAMTE ERZEUGUNG DTs + Steambloc:</b>			<b>780.959</b>	<b>741.782</b>	<b>755.305</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.278.047</b>	<b>22.260,2</b>

Abbildung A-2: Übersicht Dampfverbräuche in [GJ] laut Energiecontrolling

VERBRAUCH		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240	35.641										102.337	
Papierproduktion:		1.166	1.095	1.113										3.374	
Kostenstelle	Departement	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/y]	[kWh/t]
10100	Holzplatz allgemein	31	31	30										92	0,9
10120	Rundholzlinie	527	532	517										1.577	15,4
10140	Restholzlinie	59	59	57										175	1,7
10150	Kochereibeschickung	102	111	119										333	3,3
101XX	HOLZPLATZ GESAMT	719	733	724	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.176	21,3
10200	Kocherei	1.057	974	1.045										3.076	30,1
10300	Vorsortierung/Sauerstoffbleiche	3.247	3.036	3.220										9.502	92,8
10420	Nachbleiche	2.304	2.178	2.301										6.784	66,3
10500	Nachsortierung	1.311	1.215	1.319										3.845	37,6
10600	Flockenentwässerung	1.121	1.163	1.251										3.535	34,5
10900	Eindampfanlage	1.288	1.273	1.369										3.930	38,4
11000	Laugenkessel I	671	539	538										1.748	17,1
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	125	117	124										366	3,6
11600	Frischwasser, Kühltürme	1.178	1.062	1.184										3.425	33,5
11700	Speisewasseraufbereitung	131	126	117										374	3,7
11800	Schlammmentwässerung	316	309	314										939	9,2
11900	Druckluftstation	367	342	348										1.056	10,3
12000	Laugenkessel II	4.663	4.407	4.491										13.561	132,5
12100	Neue Kaustifizierung	488	463	512										1.463	14,3
12200	Neuer Kalkofen	368	349	386										1.104	10,8
12300	Tallölanlage	129	121	123										373	3,6
13900	Zellstoffproduktion allgemein	372	348	372										1.092	10,7
14000	Bahntrockner, Entwässerung	3.026	2.859	3.250										9.135	89,3
15800	Fernwärme	143	140	80										363	3,5
15900	Biologie	662	598	627										1.887	18,4
ZELLSTOFFPRODUKTION (inkl. FW):		23.684	22.354	23.695	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.732	681,4
ZELLSTOFFPRODUKTION (exkl. FW):		23.541	22.214	23.615	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.370	677,9
14100	Papiermaschine	628	586	857										2.070	613,5 <sup>1)</sup>
Lieferung:		7.819	7.520	8.205										23.544	230,1
Abgabe an Betrieb:		24.311	22.939	24.552										71.803	701,6
DTs + WK + Bezug:		32.130	30.459	32.757										95.346	931,7
ERZEUGUNG		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240											66.697	
Papierproduktion:		1.166	1.095											2.261	
Kostenstelle	Departement	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/Mo]	[MWh/y]	[kWh/t]
11500	Turbine 3	12.070	11.510	11.629										35.209	344,0
15200	Turbine 4	19.614	18.661	19.936										58.211	568,8
15500	Wasserkraft Katzling	367	196	1.062										1.626	15,9
15600	Wasserkraft Pöls	37	16	59										112	1,1
15710	Externer Strombezug	41	75	71										187	1,8

<sup>1)</sup> Gesamtverbrauch bezogen auf die Summe der Papierproduktion.

Abbildung A-3: Übersicht Stromverbräuche in [MWh] laut Energiecontrolling

VERBRAUCH		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:		1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/y]	[m³/t ZS]
10200	Kocherei	39.876	35.006	40.915										115.798	1,1
10420	Nachbleiche	13.841	12.286	14.243										40.369	0,4
10600	Flockenentwässerung	20.761	18.428	21.364										60.554	0,6
10900	Eindampfanlage	642.429	553.893	515.295										1.711.617	16,7
11000	Laugenkessel I	69.203	61.428	71.215										201.845	2,0
11300	Bleichchemikalienaufbereitung (13_338)	100.228	85.047	124.498										309.773	3,0
11300	Bleichchemikalienaufbereitung (UF)	48.400	40.369	49.403										138.172	1,4
11500	Turbine 3	64.867	102.903	71.318										239.088	2,3
11700	Speisewasseraufbereitung (UF)	86.807	73.202	79.124										239.134	2,3
11800	Schlammmentwässerung	10.380	9.214	10.509										30.103	0,3
11900	Druckluftstation	18.459	15.902	22.681										57.042	0,6
12000	Laugenkessel II	92.432	88.884	103.614										284.929	2,8
12100	Neue Kaustifizierung	79.583	70.642	81.723										231.949	2,3
12200	Neuer Kalkofen	13.841	12.286	14.243										40.369	0,4
13900	Zellstoffproduktion allgemein (WFL)	19.302	14.747	29.718										63.767	0,6
13900	Zellstoffproduktion allgemein (Sperrwasser)	117.591	104.399	122.617										344.607	3,4
14000	Bahntrockner, Entwässerung	65.683	46.933	64.330										176.946	1,7
15200	Turbine 4 + Generator	132.608	110.402	158.609										401.619	3,9
15900	Biologie	56.175	43.859	83.175										183.209	1,8
<b>SUMME FRISCHWASSER ZELLSTOFF:</b>		<b>1.692.465</b>	<b>1.499.830</b>	<b>1.678.593</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.870.888</b>	<b>47,6</b>
14100	Papiermaschine	99.917	96.566	104.317										300.800	89,1
<b>SUMME FRISCHWASSER ZELLSTOFF &amp; PAPIER:</b>		<b>1.792.382</b>	<b>1.596.396</b>	<b>1.782.910</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.171.688</b>	<b>50,5</b>
ZULAUF		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:		1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
		[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/y]	[m³/t ZS]
WFI Zulauf gesamt		1.792.382	1.596.396	1.782.910										5.171.688	50,5
Menge über Accelator (16_236)		1.578.740	1.394.979	1.535.590										4.509.310	44,1
Menge Uferfiltrat (16_002)		213.642	201.417	247.320										662.378	6,5

Abbildung A-4: Übersicht Frischwassermengen in [m³] laut Controlling

ABWASSERMENGEN NACH KOSTENSTELLEN		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:		1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
Kostenstelle	Departement	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/y]	[m³/t ZS]
101XX	Holzplatz gesamt	48.582	43.730	46.204										138.517	1,4
10420	Nachbleiche	487.996	460.741	458.118										1.406.855	13,7
10500	Nachsortierung	48.585	45.301	44.882										138.768	1,4
10600	Flockenentwässerung	26.279	24.465	24.217										74.960	0,7
10900	Eindampfanlage	23.195	7.468	2.402										33.066	0,3
11000	Laugenkessel I	87.595	81.550	80.722										249.868	2,4
11300	Bleichchemikalienaufbereitung	124.415	109.814	109.124										343.353	3,4
11500	Turbine 3	54.519	49.258	59.989										163.765	1,6
11600	Frischwasser, Kühltürme	225.727	103.883	178.896										508.506	5,0
11700	Speisewasseraufbereitung	8.760	8.155	8.072										24.987	0,2
11800	Schlammmentwässerung	13.139	12.233	11.911										37.283	0,4
11900	Druckluftstation	23.365	21.110	25.709										70.185	0,7
12000	Laugenkessel II	152.899	152.164	117.446										422.509	4,1
12100	Neue Kaustifizierung	148.455	144.129	171.576										464.159	4,5
14000	Bahntrockner, Entwässerung	53.586	46.970	48.240										148.795	1,5
15900	Biologie	66.138	51.390	90.242										207.770	2,0
Verlust in die Atmosphäre		122.634	114.171	113.010										349.815	3,4
<b>SUMME ABWASSER ZELLSTOFF (inkl. Atmosphäre):</b>		<b>1.715.868</b>	<b>1.476.530</b>	<b>1.590.761</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.783.159</b>	<b>46,7</b>
14100	Papiermaschine	76.514	119.866	192.150										388.529	115,1
<b>SUMME ABWASSER ZELLSTOFF &amp; PAPIER (inkl. Atmosphäre):</b>		<b>1.792.382</b>	<b>1.596.396</b>	<b>1.782.910</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.171.688</b>	<b>50,5</b>

ABWASSER GESAMT		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe	Kennzahl
Zellstoffproduktion:		34.457	32.240	35.641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102.337	
Papierproduktion:		1.166	1.095	1.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.374	
		[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/Mo]	[m³/y]	[m³/t ZS]
<b>Abwasser Zellstoffproduktion</b>		<b>1.593.235</b>	<b>1.362.360</b>	<b>1.477.750</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.433.345</b>	<b>43,3</b>
<b>Abwasser Papierproduktion</b>		<b>76.514</b>	<b>119.866</b>	<b>192.150</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>388.529</b>	<b>115,1</b>
Menge in Kühlwasserkanal		491.818	410.309	473.888										1.376.015	13,4
Menge zur Biologie		1.177.931	1.071.916	1.196.011										3.445.858	33,7
<b>Gesamtes Abwasser</b>		<b>1.792.382</b>	<b>1.596.396</b>	<b>1.782.910</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.171.688</b>	<b>50,5</b>

Abbildung A-5: Übersicht Abwassermengen in [m³] laut Controlling

		Jän.12	Feb.12	Mär.12	Apr.12	Mai.12	Jun.12	Jul.12	Aug.12	Sep.12	Okt.12	Nov.12	Dez.12	Gesamt	
		kWh / to	kWh / to	kWh / to	kWh / to									kWh / to	BUD 2012
STROM - FASERLINIE	Ist	404,621	410,119	399,340	392,787									401,741	
	Bud	401,797	402,249	401,626	402,581									402,043	401,791
	Abw.	2,824	7,870	-2,287	-9,794									-0,302	
STROM - LAUGENLINIE	Ist	282,696	283,237	265,500	281,653									278,007	
	Bud	291,149	290,034	287,966	286,182									288,880	287,259
	Abw.	-8,454	-6,796	-22,466	-4,529									-10,873	
STROM - PAPIERMASCHINE	Ist	538,330	534,680	769,622	815,095									662,620	
	Bud	659,914	659,448	674,573	629,142									656,176	674,159
	Abw.	-121,584	-124,768	95,049	185,953									6,444	
<b>STROM GESAMT</b>	Ist	<b>682,439</b>	<b>688,143</b>	<b>668,013</b>	<b>679,112</b>									<b>679,196</b>	
	Bud	<b>691,872</b>	<b>691,214</b>	<b>689,114</b>	<b>686,733</b>									<b>689,786</b>	<b>688,576</b>
	Abw.	<b>-9,433</b>	<b>-3,071</b>	<b>-21,101</b>	<b>-7,622</b>									<b>-10,590</b>	
		to / to	to / to	to / to	to / to									to / to	BUD 2012
DAMPF DMD - FASERLINIE	Ist	1,557	1,512	1,569	1,509									1,538	
	Bud	1,545	1,553	1,580	1,599									1,569	1,594
	Abw.	0,012	-0,040	-0,011	-0,090									-0,031	
DAMPF DMD - LAUGENLINIE	Ist	0,086	0,085	0,083	0,110									0,091	
	Bud	0,101	0,102	0,104	0,105									0,103	0,105
	Abw.	-0,015	-0,017	-0,021	0,005									-0,012	
DAMPF DMD - PAPIERMASCHINE	Ist	1,395	1,343	1,365	1,386									1,372	
	Bud	1,095	1,100	1,145	1,082									1,106	1,155
	Abw.	0,300	0,242	0,220	0,305									0,266	
<b>DAMPF DMD GESAMT</b>	Ist	<b>1,635</b>	<b>1,589</b>	<b>1,643</b>	<b>1,611</b>									<b>1,620</b>	
	Bud	<b>1,628</b>	<b>1,637</b>	<b>1,667</b>	<b>1,683</b>									<b>1,653</b>	<b>1,682</b>
	Abw.	<b>0,007</b>	<b>-0,047</b>	<b>-0,024</b>	<b>-0,072</b>									<b>-0,033</b>	
		to / to	to / to	to / to	to / to									to / to	BUD 2012
DAMPF DND - FASERLINIE	Ist	1,268	1,445	0,845	0,802									1,088	
	Bud	1,024	1,027	1,044	1,071									1,041	1,056
	Abw.	0,245	0,418	-0,199	-0,269									0,047	
DAMPF DND - LAUGENLINIE	Ist	3,066	3,028	2,907	2,892									2,973	
	Bud	2,778	2,754	2,704	2,680									2,730	2,615
	Abw.	0,289	0,274	0,203	0,212									0,244	
DAMPF DND - PAPIERMASCHINE	Ist	1,660	1,701	1,592	1,503									1,615	
	Bud	1,535	1,543	1,605	1,517									1,551	1,619
	Abw.	0,124	0,158	-0,013	-0,014									0,064	
<b>DAMPF DND GESAMT</b>	Ist	<b>4,247</b>	<b>4,382</b>	<b>3,686</b>	<b>3,621</b>									<b>3,982</b>	
	Bud	<b>3,728</b>	<b>3,708</b>	<b>3,680</b>	<b>3,675</b>									<b>3,698</b>	<b>3,637</b>
	Abw.	<b>0,519</b>	<b>0,674</b>	<b>0,007</b>	<b>-0,054</b>									<b>0,285</b>	

Abbildung A-6: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 1



		Jän.12	Feb.12	Mär.12	Apr.12	Mai.12	Jun.12	Jul.12	Aug.12	Sep.12	Okt.12	Nov.12	Dez.12	Gesamt	
		m³ / to	m³ / to	m³ / to	m³ / to									m³ / to	BUD 2012
FRISCHWASSER - FASERLINIE	Ist	13,984	12,440	15,439	14,848									14,204	
	Bud	17,638	17,638	17,638	17,638									17,638	17,638
	Abw.	-3,654	-5,198	-2,199	-2,791									-3,434	
FRISCHWASSER - LAUGENLINIE	Ist	35,134	34,081	31,659	35,501									34,043	
	Bud	26,876	26,876	26,876	26,876									26,876	26,876
	Abw.	8,257	7,204	4,782	8,625									7,167	
FRISCHWASSER - PAPIERMASCHINE	Ist	85,670	88,159	93,720	95,161									90,603	
	Bud	91,000	91,000	91,000	91,000									91,000	91,000
	Abw.	-5,330	-2,841	2,720	4,161									-0,397	
<b>FRISCHWASSER GESAMT</b>	<b>Ist</b>	<b>50,315</b>	<b>47,889</b>	<b>48,510</b>	<b>51,838</b>									<b>49,612</b>	
	<b>Bud</b>	<b>46,028</b>	<b>46,028</b>	<b>45,996</b>	<b>46,097</b>									<b>46,035</b>	<b>45,997</b>
	<b>Abw.</b>	<b>4,287</b>	<b>1,862</b>	<b>2,514</b>	<b>5,740</b>									<b>3,577</b>	
		m³ / to	m³ / to	m³ / to	m³ / to									m³ / to	BUD 2012
ABWASSER - FASERLINIE	Ist	24,830	24,268	23,036	23,015									23,789	
	Bud	22,054	22,054	22,023	22,121									22,061	22,024
	Abw.	2,777	2,215	1,013	0,894									1,728	
ABWASSER - LAUGENLINIE	Ist	21,408	17,989	18,426	21,726									19,868	
	Bud	18,430	18,430	18,404	18,486									18,436	18,404
	Abw.	2,978	-0,441	0,022	3,240									1,432	
ABWASSER - PAPIERMASCHINE	Ist	65,604	109,430	172,630	155,821									125,054	
	Bud	112,749	112,749	115,062	107,954									112,192	115,023
	Abw.	-47,145	-3,320	57,568	47,867									12,862	
<b>ABWASSER GESAMT</b>	<b>Ist</b>	<b>46,872</b>	<b>44,464</b>	<b>45,435</b>	<b>48,430</b>									<b>46,280</b>	
	<b>Bud</b>	<b>42,835</b>	<b>42,835</b>	<b>42,806</b>	<b>42,900</b>									<b>42,842</b>	<b>42,806</b>
	<b>Abw.</b>	<b>4,037</b>	<b>1,629</b>	<b>2,629</b>	<b>5,530</b>									<b>3,438</b>	

Abbildung A-7: Übersicht Vergleich zwischen Ist- und Sollwerten, Teil 2