

Implementierung eines Energiemanagementsystems in einem
Unternehmen der Tissue-Papierindustrie mit Fokus auf der
energetischen Bewertung

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Steffen Schumann
geb. am 15.12.1983 in Siegen

eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität Siegen

Siegen 2015

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Krumm

Korreferent: Prof. Dr. Ulf Lorenz

Tag der mündlichen Prüfung: 27.01.2016

Berichte aus der Energietechnik

Steffen Schumann

**Implementierung eines Energiemanagementsystems
in einem Unternehmen der Tissue-Papierindustrie
mit Fokus auf der energetischen Bewertung**

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4396-9

ISSN 0945-0726

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Energie- und Umweltverfahrenstechnik der Universität Siegen im Rahmen eines Kooperationsprojektes mit der Firma WEPA Hygieneprodukte GmbH in Arnsberg.

Mein besonderer Dank gilt dem Lehrstuhlinhaber Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Wolfgang Krumm für die Betreuung, sowie die Möglichkeit und das mir entgegengebrachte Vertrauen zur Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. Ulf Lorenz danke ich herzlich für die Übernahme des Korreferates. Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission möchte ich mich bei Professor Dr.-Ing. Bernd Engel bedanken.

Mein Dank gilt allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Energie- und Umweltverfahrenstechnik der Universität Siegen, im Besonderen Herrn Dipl.-Ing. Christoph Koch, Herrn Dr.-Ing. Jan Hemmelmann, Herrn Dr.-Ing. Moritz Kappes, Herrn M.Sc. Andre Giperich, Herrn Dipl.-Ing. Dietmar Lotter, Herrn Dipl.-Ing. Daniel Hein sowie Frau Sabine Becker und Herrn Swen Below.

Ich danke außerdem der Firma WEPA sowie allen dortigen Kollegen, ganz besonders Herrn Dipl.-Ing. Johannes Kramer, Herrn Dipl.-Ing. Boris Pfeifer und Herrn Frank Prätsch. Die stets kollegiale Zusammenarbeit und die fruchtbaren Diskussionen haben wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Studenten, die im Rahmen ihrer Studien- und Abschlussarbeiten in diesem Projekt mitgearbeitet haben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XII
Symbolverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen des betrieblichen Energiemanagements.....	5
2.1 Energieformen und Energieumwandlungen	5
2.2 Der betriebliche Energiefluss.....	8
2.2.1 Energiebezug.....	9
2.2.1.1 Elektrische Energie	10
2.2.1.2 Erdgas.....	18
2.2.2 Energieumwandlung und -verteilung.....	19
2.2.2.1 Wärmeerzeugung.....	19
2.2.2.2 Kraft-Wärme-Kopplung.....	20
2.2.2.3 Transformatoren und elektrische Netze.....	23
2.2.2.4 Druckluftherzeugung und -verteilung.....	24
2.2.3 Energienutzung.....	28
2.2.3.1 Prozesswärme.....	30
2.2.3.2 Mechanische Energie.....	31
2.2.3.3 Heizwärme, Lüftung und Klimatisierung	35
2.2.3.4 Beleuchtung	36
2.2.4 Energieabgabe.....	38
2.3 Energiebilanz.....	39
2.4 Energieleistungskennzahlen.....	41
2.4.1 Arten von Kennzahlen.....	42
2.4.2 Einflussfaktoren auf Energieleistungskennzahlen.....	43
2.4.3 Anwendung von Kennzahlen - Benchmarking	46
2.5 Energetische Betriebsanalyse	47
3 Anforderungen eines Energiemanagementsystems.....	51
3.1 Einführung.....	51
3.2 Systematik.....	52
3.3 Anforderungen.....	55

3.3.1	Allgemeine Anforderungen.....	55
3.3.2	Organisation.....	56
3.3.3	Energiepolitik	57
3.3.4	Energieplanung.....	58
3.3.4.1	Rechtliche und andere Anforderungen.....	59
3.3.4.2	Energetische Bewertung	60
3.3.4.3	Energetische Ausgangsbasis	60
3.3.4.4	Energieleistungskennzahlen.....	61
3.3.4.5	Energieziele und Aktionspläne	61
3.3.5	Verwirklichung und Betrieb	62
3.3.5.1	Fähigkeiten, Schulung und Bewusstsein.....	62
3.3.5.2	Kommunikation.....	62
3.3.5.3	Dokumentation	62
3.3.5.4	Ablauflenkung.....	63
3.3.5.5	Auslegung und Beschaffung.....	64
3.3.6	Überprüfung.....	65
3.3.6.1	Überwachung, Messung und Analyse	65
3.3.6.2	Bewertung der Einhaltung rechtlicher Vorschriften.....	66
3.3.6.3	Interne Auditierung des EnMS.....	66
3.3.6.4	Nichtkonformitäten, Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen	66
3.3.6.5	Lenkung von Aufzeichnungen	66
3.3.7	Management Review	67
4	Grundlagen der Tissue-Papierproduktion.....	68
4.1	Rohstoffaufbereitung	68
4.2	Fertigstoffaufbereitung.....	70
4.3	Papiererzeugung	70
4.3.1	Stoffauflauf.....	72
4.3.2	Siebpartie.....	72
4.3.3	Pressenpartie.....	73
4.3.4	Trockenpartie	73
4.3.4.1	Yankee-Zylinder	74
4.3.4.2	Yankee-Haube	76
4.3.5	Aufrollung.....	77
4.4	Verarbeitung und Veredelung.....	77

5	Implementierung eines Energiemanagementsystems	78
5.1	Anwendungsbereich und Organisation.....	78
5.2	Energiepolitik.....	81
5.3	Energieplanung	82
5.3.1	Rechtliche und andere Anforderungen	82
5.3.2	Prozess der Energieplanung.....	83
5.3.3	Energetische Ausgangsbasis.....	89
5.3.4	Energieleistungskennzahlen	89
5.3.5	Energieziele	91
5.4	Verwirklichung und Betrieb.....	92
5.4.1	Fähigkeiten, Schulung und Bewusstsein	92
5.4.2	Kommunikation	95
5.4.3	Dokumentation.....	96
5.4.4	Ablauflenkung	97
5.4.5	Auslegung und Beschaffung	97
5.5	Überprüfung der Leistung.....	98
5.5.1	Überwachung, Messung und Analyse.....	98
5.5.2	Interne Auditierung des Energiemanagementsystems.....	98
5.5.3	Nichtkonformitäten, Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen.....	99
5.5.4	Lenkung von Aufzeichnungen.....	100
5.6	Management Review.....	101
6	Energetische Betriebsanalyse	102
6.1	Systemgrenzen.....	102
6.2	Energiebezug	105
6.2.1	Art und Menge der eingesetzten Energieträger	105
6.2.2	Fahrplanmanagement.....	108
6.2.3	Lastmanagement	109
6.3	Energieumwandlung, -verteilung und -nutzung	114
6.3.1	Elektrizität	115
6.3.1.1	Datenaufnahme.....	115
6.3.1.2	Bilanzierung und Überprüfung.....	122
6.3.1.3	Auswertung und Analyse.....	124
6.3.2	Wärmeenergie	131
6.3.2.1	Gas.....	131

6.3.2.2	Dampf.....	133
6.4	Energetische Bewertung von Tissue-Papiermaschinen	136
6.4.1	Interner Benchmark	136
6.4.1.1	Vertikaler Kennzahlenvergleich (Zeitvergleich)	136
6.4.1.2	Horizontaler Kennzahlenvergleich	146
6.4.2	Analyse von PM-Lastgangdaten	155
6.4.2.1	Datenbasis	156
6.4.2.2	Kennzahlen	156
6.4.2.3	Auswertung	157
6.4.3	Theoretischer Energiebedarf.....	169
6.4.3.1	Massenbilanz	169
6.4.3.2	Energiebilanz.....	173
6.4.3.3	Auswertung	175
6.4.4	Zusammenfassende Bewertung	180
7	Fazit und Ausblick.....	183
8	Literaturverzeichnis	188
A	Anhang.....	192
A.1	Kapitel 2	192
A.2	Kapitel 5	196
A.3	Kapitel 6	197