
Materialien

Nr. 50

**Konzept zur Optimierung der
Energieversorgung bei einem
Unternehmen der
Wellpappenherstellung**

Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des
Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES)
der Ruhr-Universität Bochum

im Auftrag des Landesumweltamtes NRW

Essen 1998

41107
Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen
Bibliothek

UM 35
00006 - 50

IMPRESSUM:

Herausgegeben vom
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen
Telefon (02 01) 79 95 - 0 • Telefax (0201) 79 95 - 1448
e-mail: poststelle@essen.lua.nrw.de

Redaktionelle Bearbeitung: **Dipl.-Ing. Frank Geburek und
Dipl.-Ing. Volker Hoffmann**

ISSN 0947-5206

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Informationsdienste: Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen des LUA NRW:
• Internet unter <http://www.lua.nrw.de>
• T-Online unter Landesumweltamt NRW# oder *40045#

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 714488

Vorwort

In NRW existiert eine sehr große Anzahl von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU), d.h. Unternehmen mit weniger als 500 Beschäftigten. Ergebnisse von Untersuchungen zum Endenergiebedarf zeigen, daß diese KMU 1992 zusammen mit 137 Mrd. kWh/a deutlich mehr Endenergie verbrauchten als die großen Unternehmen zusammen (ca. 120 Mrd. kWh/a). Daran ist erkennbar, daß die KMU im Hinblick auf ihre Energiebedarfsoptimierung genauso wichtig wie die großen Unternehmen sind. Während letztere jedoch meist über eigenes Personal verfügen, das zur Kosteneinsparung Anlagen zur energetischen Verbesserung berechnen kann, ist dies bei den KMU meist nicht der Fall.

Der Lehrstuhl für Nukleare und erneuerbare Energiesysteme der Ruhr-Universität Bochum hat daher im Auftrag des Landesumweltamtes NRW zwei für ihre Branche repräsentative Unternehmen untersucht. Der vorliegende Bericht zeigt am Beispiel eines Unternehmens der Wellpappenherstellung, daß eine gezielte Untersuchung Defizite im Bereich des Endenergiebedarfs aufdecken kann und stellt die wirtschaftlichen Lösungsmöglichkeiten des Endberichtes dar. Bei der Betrachtung der Emissionen der Beispielanlage wird gezeigt, daß die durchgeführten Berechnungen die umweltentlastende Wirkung von Energiesparmaßnahmen deutlich belegen.

So soll der Bericht Verbände, Unternehmen und Umweltbehörden auf mögliche erhebliche Energieeinsparpotentiale in ihren Branchen aufmerksam machen und auf die Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung hinwirken, die dann zur Kostenentlastung sowie Emissionminderung beitragen.



Essen, im November 1998

Dr. Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Inhalt	Seite
Vorwort _____	3
1. Einleitung _____	11
2. Ermittlung und Darstellung des Ist-Zustandes _____	12
2.1 Kurzbeschreibung des Betriebes _____	12
2.2 Darstellung des Produktionsablaufes und der -anlagen _____	13
2.2.1 Wellpappenerzeugung _____	18
2.2.2 Weiterverarbeitung der Wellpappenformate _____	20
2.2.3 Nebeneinrichtungen _____	22
2.3 Erfassung der energetischen Betriebsdaten und Erarbeitung einer Energiebilanz _____	26
2.3.1 Prozeßwärme _____	28
2.3.2 Raumwärme _____	31
2.3.3 Brauchwarmwasser _____	34
2.3.4 Kraft _____	34
2.3.5 Beleuchtung _____	37
2.3.6 Kommunikation _____	38
2.4 Abbildung des Ist-Zustandes im Bereich der Schad- stoffemissionen _____	39
2.5 Zusammenfassende Darstellung der energetischen Situation _____	42
3. Erarbeitung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und rationellen Energienutzung _____	43
3.1 Prozeßwärme _____	45
3.2 Raumwärme _____	54
3.3 Brauchwarmwasser _____	63
3.4 Kraft _____	64
3.5 Beleuchtung _____	68
3.6 Kommunikation _____	73
3.7 Innovative Energiesysteme, Einsatz erneuerbarer Energien _____	73
4. Bewertung der verschiedenen Maßnahmen _____	80
4.1 Ranking zur Durchführung von Einzelmaßnahmen _____	80

Inhalt

Seite

4.2	Kombination verschiedener Maßnahmen minimaler Amortisationszeiten _____	84
5.	Zusammenfassung _____	92
6.	Literatur _____	94
 Anhang		
A	Endenergieverbräuche des Istzustandes _____	98
B	Schadstoffemissionen des Istzustandes _____	111
C	Daten- und Berechnungsblätter vorgeschlagener Maßnahmen _____	117
 Verzeichnis der Abbildungen		
2.1	Grundfließbild des Produktionsablaufs zur Wellkistenher- stellung nach DIN 28004 Teil 1 _____	14
2.2	Grundfließbild der Wellpappenerzeugung nach DIN 28004 Teil 1 _____	15
2.3	Grundfließbild der Weiterverarbeitung nach DIN 28004 Teil 1 _____	16
2.4	Grundfließbild der Nebeneinrichtungen nach DIN 28004 Teil 1 _____	17
2.5	Energieflußdiagramm des untersuchten Betriebes für das Betriebsjahr 1995 _____	27
3.1	Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors _____	65
3.2	Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors bei Stern- und Dreieckschaltung _____	67
4.1	Emissionsminderung durch Energiesparmaßnahmen _____	91

C.1	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Dämmung des Kaschierwerkes“ (100 % = 1,72 a) _____	120
C.2	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I“ (100 % = 4,65 a) _____	124
C.3	Sensitivitätsanalyse zur Energieeinsparmaßnahme: „Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten und Lichtsteuerung Produktionsbereich“ (100 % = 7,3 a) _____	127

Verzeichnis der Tabellen

2.1	Verteilung des Energie- und Leistungsbedarfs im Anwendungsbereich „Kraft“ _____	35
2.2	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Erdgas“ _____	40
2.3	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Strom“ _____	41
2.4	Ergebnisse der Schadstoffberechnungen des Betriebes _____	41
3.1	Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Prozeßwärmeanwendungen _____	54
3.2	Auftretende Energieströme im Anwendungsbereich „Raumwärme“ _____	55
3.3	Transmissionsverluste durch Gebäudeaußenflächen _____	55
3.4	Übersicht über die Maßnahmen zur Wärmedämmung _____	58
3.5	Übersicht über die Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs im Anwendungsbereich Raumwärme _____	61
3.6	Richtwerte für die Raumlufttemperatur _____	61
3.7	Energieströme und -einsparungen aufgrund einer Raumtemperaturabsenkung auf 18 °C _____	62
3.8	Übersicht über exemplarische Motorsersatzmaßnahmen _____	66
3.9	Aufteilung der Beleuchtungsbereiche _____	69
3.10	Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtung _____	72
3.11	Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Energiesysteme im Anwendungsbereich Raumwärme _____	76
3.12	Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Energiesysteme im Anwendungsbereich Brauchwassererwärmung _____	77
3.13	Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz erneuerbarer Energiesysteme _____	79

Inhalt

Seite

4.1	Prioritätenliste der Einzelmaßnahmen in der Rangfolge ihrer dynamischen Amortisationszeiten	81
4.2	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahmenkombination	87
4.3	Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmenkombination	89
4.4	Emissionsvergleich vor und nach Umsetzung der Maßnahmenkombination	90
4.5	Prozentuale Änderung der Emissionen durch die Maßnahmenkombination	90

Anhang

A.1	Ermittelte Endenergieverbräuche nach Energieträgern und -anwendungsbereichen	99
A.2	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“	100
A.3	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Raumwärme“	101
A.4	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“	104
A.5	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kraft“	105
A.6	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Beleuchtung“	107
A.7	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kommunikation“	110

B.1 - B.7 Schadstoffemissionen des Unternehmens nach Anwendungsbereichen und Energieträgern

B.1	Gesamtemissionen	112
B.2	Prozeßwärme	113
B.3	Kraft	113
B.4	Beleuchtung	114
B.5	Kommunikation	114
B.6	Brauchwarmwasser	115
B.7	Raumwärme	116

Inhalt	Seite
C.1 Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparungsmaßnahme: „Dämmung des Kaschierwerkes“ _____	118
C.2 Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparungsmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitze-kessel, Variante I“ _____	121
C.3 Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparungsmaßnahme: „Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten und Lichtsteuerung/Produktionsbereich“ _____	125
Liste der bisher erschienen LUA-Materialien _____	

1. Einleitung

Die Studie „Erarbeitung von Konzepten zur Energieeinsparung sowie zur Optimierung der Energieversorgung bei kleinen und mittelständischen Unternehmen“ wurde vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen dem Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme in Auftrag gegeben. Dabei sollten Ansätze zur Optimierung der Energieversorgung am Beispiel konkreter aber dennoch repräsentativer Betriebe erarbeitet und diese energetische, ökonomisch und auch ökologisch bewertet werden. Die durchgeführten Untersuchungen konkretisieren dabei die grundlegenden Ergebnisse der Studie „Einsatzmöglichkeiten alternativer und primärenergiesparender Energieerzeugungssysteme in der Industrie (vgl. [1]) am Beispiel eines mittelständischen Unternehmens der papier- und pappeverarbeitenden Industrie. Die Untersuchung des Betriebs und die Erarbeitung des Energiekonzeptes war Aufgabe des Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme, die Berechnung der Emissionen bzw. Emissionsminderungen wurde überwiegend vom Landesumweltamt durchgeführt.

Im Rahmen der Selbstverpflichtung der Industrie, ihre CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20 % gegenüber dem Referenzjahr 1987 zu reduzieren, sind u.a. auch die klein- und mittelständischen Industriebetriebe Nordrhein-Westfalens, d.h. Betriebe mit mehr als 20 und weniger als 500 Mitarbeitern, interessant. Allein 1992 entfielen auf die klein- und mittelständischen Industriebetriebe mit rund 137 Mrd. kWh etwa die Hälfte des industriellen Endenergiebedarfs [2, 3]. Diese Unternehmen sind somit im Hinblick auf mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung in der Industrie von beachtlicher Bedeutung. Während Großbetriebe oftmals ausgereifte bzw. moderne Energiekonzepte und Versorgungssysteme aufweisen, besteht in kleinen und mittelständischen Betrieben noch erheblicher Handlungsbedarf. Eine wesentliche Ursache für den im Vergleich zur Großindustrie oftmals unzureichenden Standard der Energieversorgung in kleineren Betrieben ist dabei das Fehlen teuren Fachpersonals bzw. von „know-how“ im Energiemanagement sowie mangelnde Unterstützung durch „externen“ Sachverstand. Oftmals fehlen bereits wesentliche betriebliche Grundlagen zur Bewertung der derzeitigen Energieversorgung, wie bspw. Energiebilanzen oder Effizienzuntersuchungen der Energietechnik. Ferner sind Verbesserungsmaßnahmen in der betrieblichen Energieversorgung i.d.R. mit hohen Investitionen verbunden, die insbesondere von kleineren Betrieben gescheut werden, zumal die Energiekosten im Vergleich zu den Gesamtproduktionskosten nur von untergeordneter Bedeutung sind. Demgegenüber stehen jedoch z.T. beachtliche Energieeinsparpotentiale, die durchaus auch wirtschaftlich zu erschließen sind und u.U. signifikante Kosteneinsparungen bedeuten können. Ein Nachweis einer entsprechenden Wirtschaftlichkeit im Vorfeld der Realisierung möglicher Energieeinsparmaßnahmen ist somit zur Motivation der Betriebe von zentraler Bedeutung.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen. Auf der Grundlage einer Fragebogenaktion wurde ein repräsentativer Betrieb der papier- und pappeverarbeitenden Industrie ausgewählt, um die in den Betriebsuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse auf eine Vielzahl weiterer Betriebe übertragen zu können.

Im zweiten Kapitel wird zunächst der ausgewählte Betrieb vorgestellt, die wichtigsten Eckdaten der Energieversorgung diskutiert, der Produktionsprozess detailliert erläutert sowie graphisch in Form verschiedener Grundfließbilder aufbereitet. Durch Betriebsbegehungen wurden die notwendigen Informationen zur Erarbeitung einer betrieblichen Energiebilanz zusammengetragen, überprüft und aufbereitet. Das Ergebnis ist eine detaillierte Energie- und Leistungsbilanz des Unternehmens für das Betriebsjahr 1995 in den Energieanwendungsbereichen „Prozeßwärme“, „Raumwärme“, „Brauchwarmwasser“, „Kraft“, „Beleuchtung“ und „Kommunikation“. Die erfaßten Daten werden tabellarisch und graphisch in Form eines Energieflußdiagramms aufbereitet. Der Ist-Zustand der Energieversorgung und -anwendung wird bewertet. Anhand des ermittelten Endenergieeinsatzes wird ferner eine Schadstoffbilanz erstellt, wobei neben den Emissionen, die durch den betrieblichen Einsatz der Energieträger entstehen, auch vorgelagerte Emissionen bei der Gewinnung, der Aufbereitung und dem Transport der Energie Berücksichtigung finden.

Die Erarbeitung von Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. zur Optimierung der derzeitigen Energieversorgung ist Gegenstand des dritten Kapitels. Basierend auf einer Schwachstellenanalyse der derzeitigen Versorgung werden in den verschiedenen Anwendungsbereichen konkrete Maßnahmen entwickelt sowie energetisch, ökonomisch und ökologisch bewertet. Die Auswirkung einer vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahme auf die Energiebilanz des Unternehmens wird dabei durch die mögliche Endenergieeinsparung bewertet. Die wirtschaftlichen Aspekte werden durch die dynamische Amortisationszeit der erforderlichen Investitionen abgebildet, während die ökologischen Aspekte vor allem durch die zu realisierenden Emissionsminderungen beschrieben werden.

Im vierten Kapitel werden zunächst die verschiedenen Einzelmaßnahmen untereinander bewertet. Darauf aufbauend wird ein Maßnahmenranking erstellt, wobei als Kriterium die Amortisationszeit Verwendung findet. Bei der Zusammenstellung einer Maßnahmenkombination, die auf einer Verknüpfung mehrerer Einzelmaßnahmen basiert, wird auch die gegenseitige Einflußnahme der Einzelansätze untereinander berücksichtigt.

2. Ermittlung und Darstellung des Ist-Zustandes

2.1 Kurzbeschreibung des Betriebes

Das untersuchte papierverarbeitende Unternehmen produziert Wellpappenverpackungen bzw. Wellkisten aller Art und beschäftigt z.Zt. etwa 160 Mitarbeiter, von denen der mit Abstand größte Teil in der Produktion tätig ist. Als Zwischenprodukt wird zunächst Wellpappe in der sogenannten Wellpappenanlage hergestellt, in dem mehrere Papierbahnen unter Einsatz von Prozeßdampf und Stärkeleim miteinander verklebt werden. Die Wellpappenbahn wird anschließend auftragsbezogen zu einzelnen Formaten zugeschnitten und in weiteren Produktionsschritten (vgl. hierzu Kapitel 2.2) zum Endprodukt verarbeitet. Dabei sind die wesentlichen Schritte die mechanische Bearbeitung der Formate, wobei Perforierungen, Knickfalten, Griffleisten etc. in die Well-

pappe eingebracht werden, und das Bedrucken des Verpackungsmaterials entsprechend des Kundenauftrags.

1995 betrug der Endenergiebedarf des Betriebes rund 14,6 Mio. kWh, wovon etwa 12,2 Mio. kWh auf den Endenergieträger „Erdas L“ entfielen. Das Gas wird in einem Großwasserraumkessel zur Gesteuerung von Prozesswärme (Niederdruckdampf) sowie zur Raumwärme- und Brauchwarmwasserversorgung der Produktions- und Bürogebäude eingesetzt. Darüber hinaus wurden 1995 rund 2,4 Mio. kWh Strom verbraucht, die weitgehend zur Kraftgesterung dienen.

Der Betrieb arbeitet i.d.R. zweischichtig. Die Produktion beginnt mit der Frühschicht um 6.00 Uhr und endet mit der Spätschicht um 22.00 Uhr. Die Wellpappenanlage arbeitet ununterbrochen - d.h. ohne die in den übrigen Produktionsbereichen üblichen Pausen - bis gegen etwa 21.30 Uhr. Der Schichtwechsel erfolgt um 14.00 Uhr.

Zur Herstellung von Wellkisten werden - neben Energie - Papierbahnen, Getreidestärke und Frischwasser eingesetzt. Das Papier wird in Rollen angeliefert, die im Papierlager zwischengelagert und betriebsintern durch Stapler zur Wellpappenanlage transportiert werden. Die Getreidestärke wird in Silos gelagert und bei Bedarf zu Stärkeleim aufbereitet. Produktionsreste fallen in Form von Produktionsausschuß und Materialverschnitt an. Aufgrund der wasserlöslichen Begleitstoffe (Leim und ggf. Farbstoffe) können die Reststoffe recycelt, d.h. der erneuten Papierherstellung zugeführt werden. Die betrieblichen Reststoffe werden daher gesammelt, zerkleinert und zu Papierballen gepreßt. Ferner fällt Produktionsabwasser an, das zum überwiegenden Teil in der Leimaufbereitung wiederverwendet wird. Ein kleinerer Teil wird in der betrieblichen Abwasseraufbereitung vorgeklärt und in die Kanalisation abgeleitet.

2.2 Darstellung des Produktionsablaufes und der -anlagen

Zur Verdeutlichung der nachfolgenden Energiebedarfsanalysen und der Erarbeitung möglicher Ansätze zur Optimierung der bestehenden Energieversorgung bildet die Kenntnis des Produktionsablaufes eine wesentliche Grundlage. Anhand eines Grundfließbildes nach DIN 28004 Teil 1 (vgl. Abb. 2.1) werden daher zunächst die Produktionsschwerpunkte sowie die dazugehörigen Maschinen vorgestellt und deren Funktions- und Arbeitsweise erörtert. Die einzelnen Produktionsabschnitte sind dabei durch entsprechend beschriftete Rechtecke dargestellt. Die Verbindungslinien zwischen den einzelnen Produktionsschritten symbolisieren den Materialfluß, dessen Richtung durch entsprechende Pfeile angezeigt ist. Große Pfeilsymbole zu Beginn und am Ende der Linien symbolisieren eingehende bzw. austretende Stoffströme. Abb. 2.1 zeigt das Grundfließbild des Produktionsablaufes zur Wellkistenherstellung im untersuchten Betrieb.

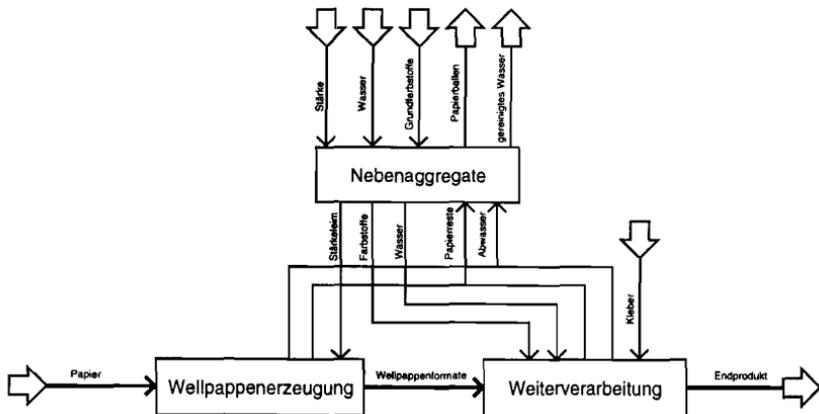


Abb. 2.1: Grundfließbild des Produktionsablaufs zur Wellkistenherstellung nach DIN 28004 Teil 1

Einsatzmaterialien sind Papier, Frischwasser, Weizenstärke sowie Farb- und Klebstoffe. Der Produktionsprozeß besteht aus einer Vielzahl von Einzelschritten und beginnt mit der Wellpappenerzeugung. Der Wellpappenanlage wird Papier und Stärkeleim zugeführt, wobei der benötigte Leim von der Leimaufbereitungsanlage - diese ist Teil der Nebenaggregate - bereitgestellt wird. Darüber hinaus werden in der Wellpappenanlage die Energieformen bzw. -träger Prozeßdampf, Druckluft und Strom eingesetzt. An die Erzeugung der Wellpappenbahnen und deren Zuschnitt zu einzelnen Wellpappenprofilen schließt sich die Weiterverarbeitung der Wellpappe an. In der Weiterverarbeitung werden die Wellpappenformate in verschiedenen Maschinen gestanzt und bedruckt sowie sog. Faltschalten mit Leim verklebt. In der Weiterverarbeitung kommen neben der Wellpappe Wasser, Farbstoffe und Leim als Werkstoffe sowie Strom und Druckluft als Energieträger zur Anwendung. Die Nebeneinrichtungen versorgen beide o.g. Produktionsstufen mit Energie (Strom, Druckluft, Prozeßwärme) und Material (Papier bzw. Wellpappe, Leim, Farbe). Darüber hinaus entsorgen sie die anfallenden Reststoffe (Papier- und Pappeschnitt, Abwasser). Die Nebenaggregate sind somit nicht direkt Teil der eigentlichen Produktion.

Eine übersichtliche Darstellung des Produktionsablaufes erlaubt die dargestellte Unterscheidung der drei Teilbereiche

- Wellpappenerzeugung,
- Weiterverarbeitung der Wellpappe und
- Nebeneinrichtungen.

Diese Bereiche werden daher in den folgenden Kapiteln jeweils getrennt erörtert und in einem Grundfließbild detailliert dargestellt (vgl. Abb. 2.2 - 2.4).

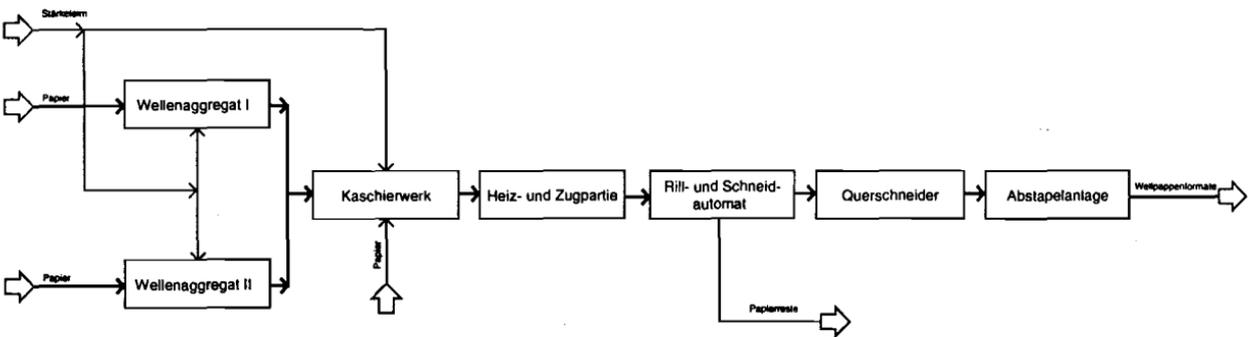


Abb. 2.2: Grundfließbild der Wellpappenerzeugung nach DIN 28004 Teil 1

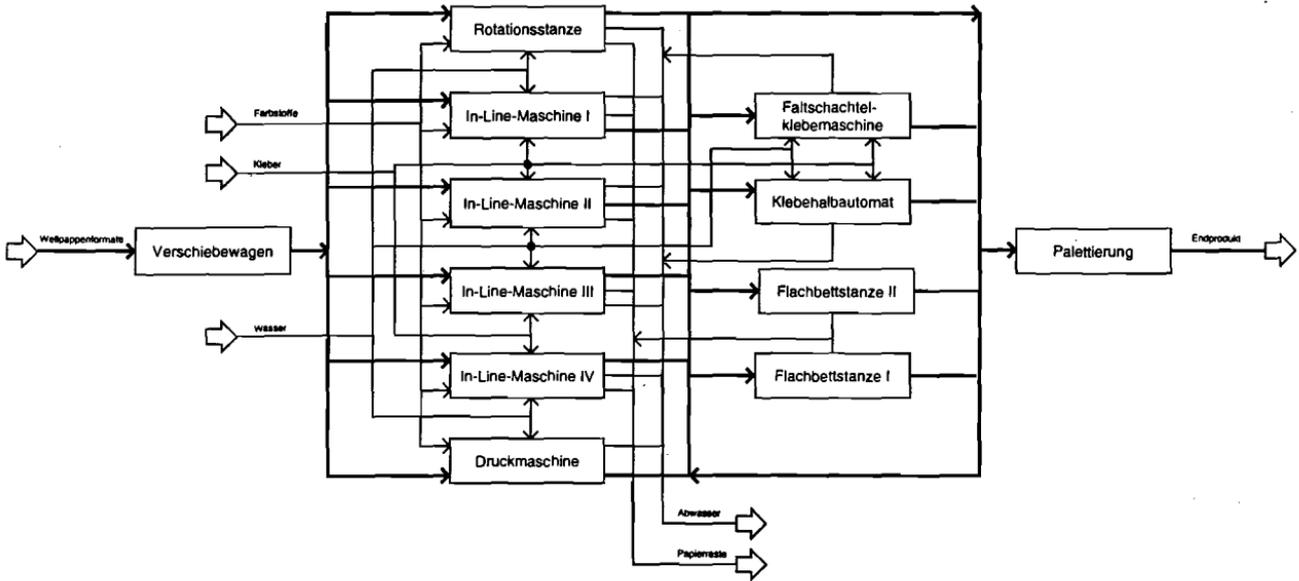


Abb. 2.3: Grundrissbild der Weiterverarbeitung nach DIN 28004 Teil 1

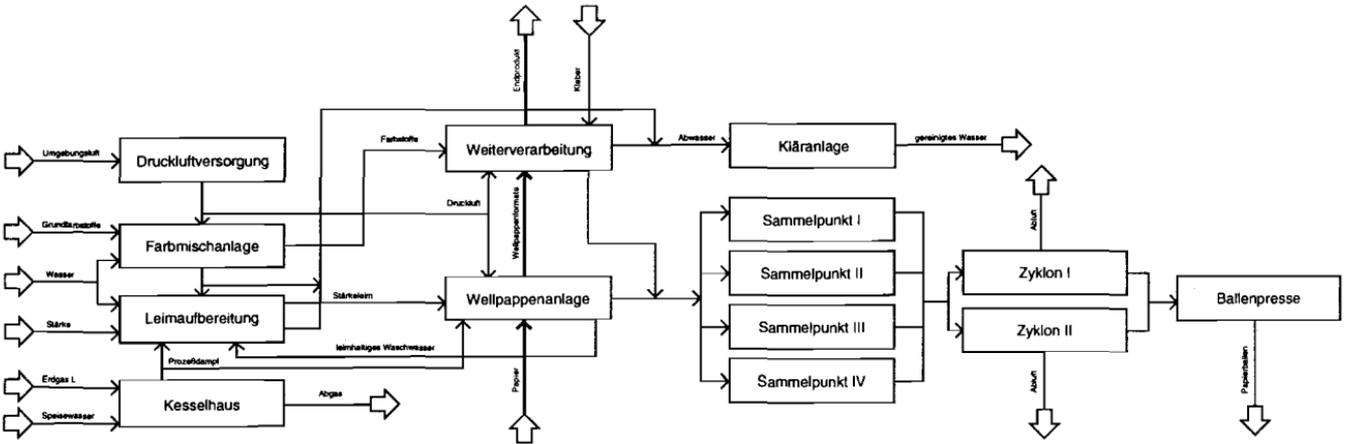


Abb. 2.4: Grundfließbild der Nebeneinrichtungen nach DIN 28004 Teil 1

2.2.1 Wellpappenerzeugung

Die Wellpappenerzeugung (auch Wellpappenanlage (WPA) genannt) besteht aus zwei Wellenaggregaten, Kaschierwerk, Heiz- und Zugpartie, Rill- und Schneidautomaten, Querschneider und Abstapelsystem. Die Auslastung der Wellpappenanlage wird mit 92 % der Normalarbeitsstunden angegeben. Dies entspricht im Bilanzjahr 1995 einer Laufzeit von etwa 3.300 h. Mit Ausnahme der Wellenaggregate kann diese Auslastung für alle Bestandteile der Wellpappenanlage zugrunde gelegt werden. Die installierte elektrische Anschlußleistung der Wellpappenanlage beträgt rund $240 \text{ kW}_{\text{mech}}$. Davon entfallen $100 \text{ kW}_{\text{mech}}$ auf den Antrieb von Kaschierwerk, Heiz- und Zugpartie, Rill- und Schneidautomat, Querschneider sowie Abstapelanlage. Die restliche Leistung teilt sich auf die beiden Wellenaggregate auf. Ferner wird die Wellpappenanlage an verschiedenen Stellen mit Dampf beheizt, wobei im Normalbetrieb eine Heizleistung von insgesamt etwa $1.180 \text{ kW}_{\text{th}}$ vorgesehen ist. Das Grundfließbild der Wellpappenanlage zeigt Abb. 2.2.

Die im Fließbild der Wellpappenerzeugung dargestellten **Wellenaggregate (I, II)** sind nahezu baugleich, lediglich die Profiltiefe der Rillenwalzen weicht voneinander ab. Sie bilden den Ausgangspunkt der Wellpappenerzeugung, wobei jedem Wellenaggregat je zwei Papierbahnen zugeführt und eine Deckbahn (erste Papierbahn) und eine Wellenbahn (zweite Papierbahn) miteinander verklebt werden. Die Wellenaggregate werden daher auch als „einseitige Aggregate“ bezeichnet.

Die Deckenbahn wird durch einen dampfbeheizten Vorheizzylinder, dessen äußere Manteltemperatur ca. $70 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt, vorgewärmt. Die Innenbahn, d.h. die sog. Wellenbahn wird parallel dazu im Wellenaggregat geformt. Die dazu vorgesehene Papierbahn wird ebenfalls über einen Vorheizzylinder erwärmt, wobei die Manteltemperatur dieses Zylinders mit ca. $190 \text{ }^\circ\text{C}$ deutlich höher liegt. Vor der oberen Rillenwalze befeuchtet eine Sprühdampfvorrichtung das Papier, bevor es zwischen die obere und untere Rillenwalze geführt wird. Die Rillenwalzen werden durch eine Anpresswalze hydraulisch aneinander gepreßt, so daß - ähnlich wie bei einem Zahnrad - die Rillen ineinander greifen und die Papierbahn wellen. Das Profil der Rillenwalzen bestimmt die Wellentiefe. Das feuchte und gewellte Papier wird beim Verlassen der unteren Rillenwalze an einer Leimauftragswalze vorbei geführt, welche die Spitzen der Wellen mit Leim benetzt. Durch zwei nachfolgende hydraulisch geregelte Walzen werden Decken- und Wellenbahn aneinander gedrückt. Sämtliche Walzen des Wellenaggregates - mit Ausnahme des Vorheizzylinders der Deckenbahn - werden durch Dampf auf eine Arbeitstemperatur von etwa $190 \text{ }^\circ\text{C}$ beheizt. Das Wellenprofil (Decken- und Wellenbahn) verläßt das Wellenaggregat und gelangt über ein Gurtsystem in die Transportbrücke, die gleichzeitig als kurzfristige Pufferstation vor dem Kaschierwerk dient.

Beide Wellenaggregate unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Funktion und ihres Energiebedarfs (vgl. Kapitel 2.3) nicht, wohl aber in ihrer Auslastung. In etwa 25 % der Betriebszeit der Wellpappenanlage wird doppelwellige Wellpappe gefertigt, d.h. die Wellenaggregate I und II laufen gleichzeitig. In 75 % der Laufzeit wird einwellige Pappe hergestellt, wovon 50 % aus dem Wellenaggregat I und ca. 25 % aus dem Wellenaggregat II stammen. Für das Wellenaggregat I ergibt sich somit eine Gesamtausla-

stung von etwa 75 % der Betriebszeit, das Wellenaggregat II ist zu ca. 50 % ausgelastet. Die installierte Leistung der verschiedenen elektrischen Antriebe summiert sich zu rund $70 \text{ kW}_{\text{mech}}$, die Heizleistung der Wellenaggregate (einschließlich Dämpfer) beträgt etwa $260 \text{ kW}_{\text{th}}$ pro Aggregat.

Die einseitigen Profile verlassen die Wellenaggregate und gelangen in das **Kaschierwerk**. Hier werden sie - im Falle doppelwelliger Pappe - entweder sowohl miteinander als auch mit einer weiteren Deckenbahn, oder aber - im Falle einwelliger Pappe - mit nur einer Deckenbahn verleimt. Das Kaschierwerk besteht aus vier senkrecht übereinander angeordneten Zylindern bzw. Walzen, die alle mit Dampf ebenfalls auf ca. $190 \text{ }^\circ\text{C}$ beheizt werden. Der oberste Zylinder dient wiederum als Vorheizzylinder, während die übrigen der Verleimung der verschiedenen Bahnen dienen. Analog zu den Wellenaggregaten sind zwei Leimauftragswalzen vorgesehen, um die entsprechenden Kontaktstellen zu benetzen.

Die **Heiz- und Zugpartie** bildet die Brücke zwischen der eigentlichen Herstellung der Wellpappe und deren nachfolgender mechanischer Verarbeitung. Sie dient der Trocknung der Wellpappe. Die aus dem Kaschierwerk kommende feuchte und frisch verleimte Wellpappe wird über dampfbeheizte Heizplatten geführt, die sowohl den Leim als auch die Papierbahnen selbst trocknen. Die Heizpartie besteht dabei aus insgesamt 21 rechteckförmigen Heizplatten, die mit Sattedampf von etwa 12 bar beheizt werden. Die hohen Heiztemperaturen von bis zu $180 \text{ }^\circ\text{C}$ sind erforderlich, um die Wellpappe, die mit maximal 250 m/min über die Heizpartie läuft, effektiv zu trocknen.

Dem **Rill- und Schneidautomaten** der Wellpappenanlage kommt die Aufgabe zu, die getrocknete Wellpappe entsprechend des Kundenauftrages auf die vorgesehene Breite zu schneiden, sowie einfache Knick- und Faltrillen in die Wellpappenformate einzubringen. Je nach Größe und Qualität des Produktes können bis zu vier Formate parallel hergestellt werden. Die Werkzeuge des Rill- und Schneidautomaten bestehen aus rotierenden Schneid- und Rillwerken, die vertikal über Zahnstangen verschiebbar sind. Neben dem Zuschnitt der Profile dient dieser Produktionsabschnitt ferner dazu, die Ränder der Papierbahn, die in erster Linie über den Staplertransport z.T. beschädigt sind, abzutrennen.

Der **Querschneider** dient dem Längenzuschnitt der Wellpappe. Die bereits im Rill- und Schneidautomaten in ihrer Breite zugeschnittenen Formate gelangen in den Querschneider, wo sie auf ihre vorgeschriebene Länge zugeschnitten werden. Der Querschneider besteht aus zwei gegeneinander rotierenden Messern, die elektronisch geregelt werden.

Die Wellpappenformate werden abschließend in einem automatischen **Abstapel- und Transportsystem** zu entsprechenden Chargen aufgestapelt und über einen Transportwagen von der Wellpappenanlage zu den Rollbahnen bzw. Versorgungsstraßen der weiterverarbeitenden Maschinen gebracht. Während der Rollwagen manuell bedient wird, erfolgt die Abstapelung automatisch und wird vom Leitstand der Wellpappenanlage gesteuert.

2.2.2 Weiterverarbeitung der Wellpappenformate

Der vorhandene Maschinenpark zur Weiterverarbeitung der Wellpappe ist umfangreich und z.T. redundant. Im Gegensatz zur Herstellung der Wellpappe läßt sich bei deren Weiterverarbeitung keine einheitliche Materialflußrichtung definieren. Die einzelnen Maschinensätze bearbeiten vielmehr gleichzeitig verschiedene Aufträge. Der Materialfluß teilt sich somit nach der Wellpappenanlage in insgesamt 7 Teilströme auf, die sich im nachfolgenden Produktionsablauf weiter verteilen. Abb. 2.3 zeigt das Grundfließbild der Wellpappenverarbeitung.

Der sog. **Verschiebewagen** übernimmt die Verteilung der Wellpappenprofile, die von der Abstapelanlage der Wellpappenanlage bereitgestellt werden, auf die verschiedenen weiterverarbeitenden Maschinen. Sowohl das Abstapelsystem der Wellpappenanlage, der Verschiebewagen als auch die Zwischenlager der weiterverarbeitenden Maschinen verfügen hierzu über Rollentransportbänder. Der Verschiebewagen nimmt einzelne Materialchargen auf und fährt das entsprechende Rollensystem der nachfolgenden Maschine an. Die Profile werden manuell auf das Rollenlager der Bearbeitungsmaschinen überführt und dem sog. „Pre-Feeder“, d.h. dem Maschineneinzug übergeben.

Die Auslastung des Verschiebewagens ist nur schwer zu erfassen. Prinzipiell ist der Einsatz des Verschiebewagens immer während des Betriebes der Wellpappenanlage erforderlich, um die produzierte Wellpappe vom Abstapelsystem der Wellpappenanlage weiterzuleiten. Allerdings sind dabei häufig Stillstandszeiten vorhanden, die nur grob zu quantifizieren sind. Genauere Untersuchungen zur Auslastung des Verschiebewagens zeigt das Kapitel 2.3.4. Seine installierte Leistung beträgt etwa $10 \text{ kW}_{\text{mech}}$.

Der mit Abstand größte Teil der Wellkisten wird auf den vier **In-Line-Maschinen** hergestellt (vgl. Abb. 2.3), die mehrere Arbeitsschritte nacheinander („In-Line“) ausführen können. Die einzelnen Maschinen unterscheiden sich untereinander durch ihren Aufbau, ihre Fertigungskapazität und Auslastung sowie letztlich auch im Energiebedarf. Sie werden daher bei der Bescheidung des Energiebedarfs (vgl. hierzu Kapitel 2.3) getrennt betrachtet.

Durch eine Aufnahmevorrichtung zu Beginn der In-Line-Maschinen werden die Wellpappenprofile den Maschinen zugeführt. Je nach Produkt werden sie u.U. zunächst vorgefaltet und an dafür vorgesehenen Klebelaschen verleimt. In einem zweiten Schritt erfolgt der Klischee-Druck, wobei ausschließlich lösungsmittelfreie, wasserlösliche Farben eingesetzt werden. Der dritte Arbeitsgang stellt die mechanische Bearbeitung der Wellpappenformate durch eine Stanzanlage dar. Hierbei werden alle Falt- und Knickkanten, Löcher, Perforationen und Muster in die Wellkisten eingebracht. Abschließend werden die Wellkisten auf Paletten gestapelt, ggf. durch Bündelmaschinen zu unterschiedlichen Stückzahlen gebündelt und über automatische Transportbänder der Palettieranlage zugeführt.

Die Auslastung der In-Line-Maschinen entspricht der Bedeutung dieser Fertigungsstraßen in der Produktion und ist erwartungsgemäß hoch. Sie liegt im Jahresmittel zwischen 90 % für die bestausgeladete Maschine und erreicht mit 73 % den geringsten

Wert, wobei anzumerken ist, daß dieser Wert für eine neu installierte Anlage gilt, deren Verfügbarkeit sich in den folgenden Jahren erhöhen wird. Die monatlichen Auslastungsdaten variieren nur unbedeutend und können daher als näherungsweise konstant angenommen werden. Die gesamte installierte Leistung der In-Line-Maschinen liegt bei etwa $315 \text{ kW}_{\text{mech}}$, wobei die Leistung der kleinsten Einheit ca. $70 \text{ kW}_{\text{mech}}$ und die der großen Maschine ca. $85 \text{ kW}_{\text{mech}}$ beträgt.

Neben den integrierten Stanzen der In-Line-Maschinen finden drei weitere **Stanzen** Anwendung im Produktionsprozeß. Sie erfüllen dabei prinzipiell gleiche Aufgaben wie die genannten Systeme der In-Line-Maschinen, ohne die Wellkisten jedoch - mit Ausnahme einer Rotationsstanze, der ein spezielles Druckwerk vorgeschaltet ist - vorher zu bedrucken. Die Stanzanlagen finden daher überwiegend für solche Verpackungen Anwendung, die nicht oder aber in der separaten Druckmaschine bedruckt werden.

Im Jahresmittel betrug die Auslastung der drei Stanzen zwischen 61 % und 76 % der Normalarbeitsstunden, d.h. zwischen ca. 2.350 und ca. 2.930 h im Bilanzjahr 1995. Dabei war die Auslastung der Rotationsstanze mit 61 % am geringsten, die der zweiten Flachbettstanze mit 76 % am höchsten. Insgesamt liegt die Auslastung der Stanzen etwas unter der Auslastung der In-Line-Aggregate. Die Gesamtleistung der Stanzen beträgt $110 \text{ kW}_{\text{mech}}$. Davon entfallen jeweils $30 \text{ kW}_{\text{mech}}$ auf die Flachbettstanzen und $50 \text{ kW}_{\text{mech}}$ auf die Rotationsstanze.

Die **Faltschachtelklebemaschine** ist ein bereits älteres Aggregat, dessen Auslastung sehr gering ist. Im Bilanzjahr 1995 betrug die durchschnittliche Nutzungsdauer der Maschine im Jahresmittel etwa 23 % der Betriebszeit, d.h. rund 440 h. Die höchste Auslastung wurde im Januar 1995 mit rund 30 % gemessen, die geringste im April 1995 mit rund 8 %. Die Faltschachtelklebemaschine dient dem Verschluß sog. Faltschachteln, indem eine entsprechende Klebelasche mit der Faltschachtel verleimt wird. Sie besitzt die gleiche Funktion und Aufgabe im Produktionsablauf wie die Leimwerke der In-Line-Maschinen. Ihre Leistung beträgt ca. $14 \text{ kW}_{\text{mech}}$.

Neben den Druckwerken der In-Line-Maschine ist eine weitere **Druckmaschine** installiert. Diese Maschine besitzt zwei parallele Druckwerke. Die Auslastung der Druckanlage lag im Jahresmittel 1995 bei 47 %. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede in den einzelnen Monatsbilanzen, wobei die geringste Auslastung 35 % betrug, während die maximale Auslastung mit 67 % gemessen wurde. Der Einsatz der Druckmaschine ist daher stark von der Auftragslage abhängig. Im Bilanzjahr 1995 wurde die Druckmaschine rund 900 h betrieben. Die installierte Leistung beträgt $31 \text{ kW}_{\text{mech}}$.

Die **Palettieranlage** dient der versandgerechten Palettierung der Wellkisten. Hierzu werden die von einzelnen Maschinen kommenden Stapel über ein automatisches Transportbandsystem den zwei Palettierpressen zugeführt. Vor der Presse wird - z.Zt. noch manuell - eine zweite Palette auf den Wellkistenstapel gelegt. Die Palettierpresse drückt den Wellkistenstapel zusammen und versieht ihn mit Transportbändern. Die Palettieranlage ist während der gesamten Produktionszeit in Betrieb und dabei voll ausgelastet, da gerade die Palettierung der Produkte einen Engpaß des Betriebes darstellt, der durch den Trend zu immer kleiner werdenden Chargen noch verstärkt wird.

Die Summe aller installierten Leistungen der Palettieranlage und des Transportbandsystems beträgt rund $48 \text{ kW}_{\text{mech}}$, wobei ein Anteil von jeweils ca. $7 \text{ kW}_{\text{mech}}$ auf die beiden Palettierpressen entfällt. Der Energieverbrauch des Transportbandsystems ist trotz hoher installierter Leistung gegenüber dem der Pressen zu vernachlässigen, da nur jeweils ein kleines Segment des Bandes angetrieben wird, auf dem sich gerade ein Wellkistenstapel befindet.

2.2.3 Nebeneinrichtungen

Wie bereits in Abb. 2.1 dargestellt, nehmen die Nebeneinrichtungen bzw. -aggregate wichtige Aufgaben der Produktionsver- und -entsorgung wahr. Zu den Nebeneinrichtungen gehören vor allem das Kesselhaus, das die erforderliche Prozeßwärme in Form von Prozeßdampf bereitstellt, die Druckluftversorgung, die Leimaufbereitung, die Farbmischanlage, das Abfall- bzw. Reststoffsammel- und -aufbereitungssystem sowie die betriebseigene Kläranlage. Auch die technischen Anlagen zur Gebäudeversorgung mit Raumwärme und Brauchwarmwasser zählen zu den Nebeneinrichtungen. Sie sind für die eigentliche Produktion allerdings unbedeutend und werden daher in Zusammenhang mit der Bewertung der Energieanwendungen in Kapitel 2.3 beschrieben.

Ferner gehören auch die Übergabe- und Aufbereitungssysteme für die vom Betrieb fremdbezogenen Endenergieträger Gas und Strom zu den Nebeneinrichtungen. Diese Systeme werden aufgrund ihrer geringen Bedeutung für die Energieanalyse nicht näher betrachtet. Einen Überblick über die Vielzahl der Nebeneinrichtungen gibt Abb. 2.4.

Das **Kesselhaus** beinhaltet als Herzstück der Wärmeversorgung den erdgasgefeuerten Großwasserraumkessel, den Speisewasser- und Kondensatbehälter, die Speisewasserpumpen sowie die Speisewasseraufbereitung, die Dampfverteilungsstation und die technischen Einrichtungen zur Brauchwarmwassergestehung. Der vorhandene Kessel (Baujahr 1969) besitzt eine maximale Dampfleistung von 8 t/h , wobei Sattdampf bei maximal 16 bar bereitgestellt wird. Seine Feuerungswärmeleistung beträgt etwa $5,3 \text{ MW}_{\text{th}}$. Weiterhin besitzen die notwendigen Nebenaggregate (Gasgebläse, Kondensat- und Speisewasserpumpen) eine installierte Leistung von ca. $30 \text{ kW}_{\text{mech}}$. Die Betriebsstunden des Kessels betragen 1995 rund 5.600 h/a , wobei 10.700 t Dampf (im Mittel etwa $1,9 \text{ t/h}$) bereitgestellt wurden. Der Kessel arbeitet im Grundlastbetrieb zur Versorgung der Wellpappenanlage. Darüber hinaus werden die Leimaufbereitung sowie die Raumwärmesysteme und die Brauchwarmwasserversorgung beheizt.

Aufgrund der Sprühdampfsysteme zur Papierbefeuchtung in den Wellenaggregaten sowie einer Direktbeheizung des Leimkochers muß dem Kessel kontinuierlich Frischwasser zugeführt werden. Das benötigte Kesselspeisewasser wird durch eine Speisewasseraufbereitungsanlage im Kesselhaus bereitgestellt. Der beheizte Speisewasserbehälter und der Kondensatsammelbehälter sind weitere Bestandteile des Kesselsystems.

In den verschiedenen Druckwerken der Weiterverarbeitung werden wasserlösliche Farben eingesetzt. Die erforderlichen Farbtöne und -mengen werden von der betriebseigenen **Farbmischanlage** bereitgestellt. Die Farbmischanlage greift hierzu auf ver-

schiedene Grundfarben zurück, die über eine computergesteuerte Mischanlage jeden beliebigen Farbton herstellen kann. Die Grundfarben werden pneumatisch, d.h. mit Druckluft aus dem Verteilungsnetz, in den Mischbehälter gefördert und durch ein Rührwerk gemischt. Die so gewonnene Farbe wird abgefüllt und zu den Druckwerken gebracht. Die Reinigung der Mischanlage erfolgt mit Frischwasser, das nach dem Reinigungsprozeß den Brauchwassertanks der Leimaufbereitung zugeführt wird.

Die Auslastung der Farbmischanlage ist nicht bekannt. Sie läuft i.d.R. nur kurzzeitig und weist keinen nennenswerten Energiebedarf aus. In den nachfolgenden Energiebilanzen findet sich die Farbmischanlage daher in der Rubrik „Sonstiger Energieverbrauch“ wieder, wobei ihr Energiebedarf dabei nur grob ermittelt werden kann.

Druckluft findet nahezu in allen Maschinen des Betriebes und darüber hinaus in Pumpen und Förderanlagen sowie in Regel- und Stelleinrichtungen Anwendung. Die **Druckluftherzeugung und -aufbereitung** ist ein komplexes technisches System, dessen Hauptbestandteile nachfolgend erläutert werden.

Die Kompression der angesaugten Frischluft erfolgt in vier verschiedenen Kompressoren, wobei drei Schrauben- und ein Kolbenverdichter eingesetzt werden. Der leistungsstärkste Kompressor, ein Schraubenverdichter mit einer Antriebsleistung von 55 kW_{mech}, arbeitet im Grundlastbetrieb. Zwei weitere Schraubenverdichter mit einer jeweils 22 kW_{mech} Antriebsleistung schalten sich bei Bedarf, d.h. bei einem Druckabfall im Luftspeicher, gestuft ein. Als Reservehaltung dient ein Kolbenkompressor, der nur in Sonderfällen zum Einsatz kommt. Alle Kompressoren arbeiten gemeinsam auf einem Druckluftspeicher, wobei als Regelgröße für den Speicherdruck 7,5 bar vorgegeben sind. Die Temperatur der Druckluft im Speicher beträgt rund 80 °C und wird vor ihrer Anwendung durch zwei Kältetrockner gekühlt und getrocknet. Die Kältetrockner arbeiten mit elektrisch betriebenen Kühlanlagen und kühlen die Druckluft zweistufig auf etwa 30 °C, wobei das durch Taupunktunterschreitung entstehende Kondensat kontinuierlich abgeleitet wird. Neben der eigentlichen Kühlung der Luft durch den Kältemittelkreislauf, erfolgt eine erste Vorkühlung durch einen Luft/Luft-Wärmetauscher. Die bereits auf den Drucktaupunkt gekühlte und getrocknete Luft wird mit warmer Druckluft aus dem Speicher geringfügig erwärmt, um den Taupunkt der trocknen Luft zu überschreiten. Die elektrische Leistungsaufnahme der beiden Kühlaggregate, die parallel geschaltet und baugleich sind, ist abhängig vom Durchsatz und variiert zwischen ca. 1 - 10 kW_{mech} und ist damit gegenüber der Leistungsaufnahme der Verdichter vernachlässigbar gering.

Die Druckluftversorgung arbeitet kontinuierlich während der Produktionszeit, da die Produktionsanlagen ständig Druckluft nachfragen. Der Betriebsdruck der Verteilungsanlage beträgt nach den Kühlaggregaten rund 6 bar. Das Verteilungsnetz ist einstufig ausgeführt, d.h. alle Verbraucher erhalten Druckluft bei üblichem Betriebsdruck, der lediglich durch die Druckverluste im Netz - diese sind allerdings z.T. beachtlich - reduziert wird. Der Betriebsdruck der Luftversorgung am räumlich vom Speicher entferntesten Entnahmepunkt beträgt nur noch etwa 4,5 bar. Die Kompressoren werden über einen Druckwächter im Speicherbehälter ($p_{\text{soll}} = 7,5 \text{ bar}$) gesteuert. Während die Kältetrockner kontinuierlich bei unterschiedlicher Last arbeiten, schalten die Kompressoren

soren nach Erreichen des geforderten Druckniveaus regelmäßig ab. Die Betriebszeit der Druckluftanlage entspricht daher nicht unbedingt den Kompressorlaufzeiten. Anhand entsprechender Zählerstände wurden die Auslastungszeiten der einzelnen Kompressoren ermittelt. Für das 55 kW-Modul, das im Grundlastbetrieb arbeitet, beträgt die tägliche Betriebszeit durchschnittlich 14,85 h. Die genannte Laufzeit des Moduls unterscheidet sich nur geringfügig von der täglichen Lastzeit von durchschnittlich 13,77 h/d. Das 55 kW-Modul ist demnach zu rund 92,7 % der Betriebszeit ausgelastet. Bezogen auf eine tägliche Arbeitszeit von 15,5 h beträgt die Auslastung ca. 88,8 %. Die beiden 22 kW-Module arbeiten als Spitzenlastaggregate, d.h. sie schalten sich nur bei Bedarf ein. Daher ist eine Unterscheidung von Last- und Betriebsstunden nicht erforderlich. Die täglichen Betriebsstunden der baugleichen Kompressoren betragen durchschnittlich 9,37 h für das erste bzw. 9,36 h für das zweite Aggregat, so daß beide Aggregate nahezu gleich genutzt werden. Der Kolbenverdichter wurde während des gesamten Untersuchungszeitraums nicht eingesetzt. Die Auslastung der Kolbenmaschinen kann nach Angaben der technischen Betriebsleitung mit nahezu Null angenommen werden. Um die Maschinen einsatzbereit zu halten, werden sie von Zeit zu Zeit im Probetrieb gefahren.

Zur Verklebung der Papierbahnen bei der Wellpappenherstellung wird in den Wellenaggregaten und im Kaschierwerk Stärkeleim eingesetzt. Der Stärkeleim wird von der Leimaufbereitungsanlage zur Verfügung gestellt. Zur Leimherstellung werden die Einsatzstoffe Wasser und Stärke eingesetzt. Dabei findet z.Zt. Maisstärke Verwendung, die kostengünstig verfügbar ist. Neben Maisstärke werden jedoch - je nach Marktlage - auch Kartoffel- und Getreidestärke verwendet. Die Stärke lagert in einem Silobehälter und wird dem Mischbehälter durch eine Dosierschnecke zugeführt. Wasser kommt in kleineren Mengen sowohl in Form von Frischwasser als auch zum größeren Teil in Form von Abwasser aus der Farbanlage bzw. Wasser, das zur Reinhaltung der Druckwerke benutzt wurde, zum Einsatz. Während das Frischwasser der Wasserleitung entnommen wird, stammt das Brauchwasser aus den Brauchwassertanks in unmittelbarer Nähe zur Leimaufbereitung. Übersteigt die Füllmenge der Vorrattanks deren Kapazität, wird ein Teil des Abwassers in die Abwasseranlage umgepumpt. Allerdings kann der überwiegende Teil des Brauchwassers zur Leimaufbereitung eingesetzt werden. Der Eintrag aller Leimbestandteile wird über Kraftmeßdosen unterhalb des Behälters gesteuert, indem der Behälter kontinuierlich gewogen wird.

Die Leimaufbereitung erfolgt in einem zyklonförmigen Stahlbehälter, der mit einer direkten Dampfheizung und einem Rührwerk ausgestattet ist. Die Leimaufbereitung gliedert sich in den Primär- und Sekundäranatz. Zum Primäranatz werden zunächst je nach Rezeptur rund 200 - 250 kg Frischwasser in den Behälter eingebracht, die dann von der Zulauftemperatur (ca. 12 °C) mit Niederdruckdampf auf etwa 33 °C aufgeheizt werden. In das warme Primärwasser wird zunächst Stärke, daran anschließend Natronlauge und Nachfüllwasser eingebracht. Der gesamte Inhalt des Behälters wird dann etwa 15 min verrührt. Hierzu wird der Leim am unteren Ende des Behälters angezogen und im Kreislauf durch druckluftbetriebene Membranpumpen stoßweise in einen kleinen Rührbehälter und von dort wieder zurück in den Hauptbehälter gepumpt.

Anschließend erfolgt der Sekundäransatz, indem der Behälter weiter aufgefüllt wird. Neben rund 350 - 400 kg Brauchwasser werden etwa die zehnfache Stärkemenge des Primäransatzes sowie verschiedene Zusätze wie bspw. Borax-Salz zugemischt. Der Leim wird anschließend nochmals etwa 6 - 10 min gerührt und in Vorratsbehälter abgefüllt. Durchschnittlich werden pro Charge etwa 1.000 kg Stärkeleim gewonnen. Der tägliche Leimbedarf bei Normalbetrieb liegt bei etwa 13 - 15 t, so daß etwa 13 - 15 Chargen Leim täglich hergestellt werden. Die Leimaufbereitung dauert i.d.R. etwa eine halbe Stunde, so daß die Leimaufbereitung täglich etwa 6 - 7 h in Betrieb ist. Im Anschluß an jeden Arbeitsgang wird die Anlage mit Frischwasser gereinigt, das ebenfalls in die Abwassertanks gepumpt und im Sekundäransatz genutzt wird. Die installierte Leistung der Leimaufbereitung beträgt rund $25 \text{ kW}_{\text{mech}}$. Für die Dampfheizung ist eine Heizleistung von insgesamt etwa $16 \text{ kW}_{\text{th}}$ vorgesehen.

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Wellpappe fallen beachtliche Mengen an Papier- und Papperesten an, die der **Abfallsammel- und -aufbereitungsanlage** zugeführt werden. Neben schadhafte Papierrohstoffen und Produktionsausschuß bedingt die mechanische Bearbeitung der Wellpappe ein entsprechendes Reststoffaufkommen. So fällt im Rill- und Schneidautomaten der Wellpappenanlage und in den weiterverarbeitenden Maschinen bzw. deren Stanzeinrichtungen Papier- und Pappeverschnitt an. Da alle Reststoffe nur wasserlösliche und für eine erneute Papierherstellung unbedenkliche Begleitstoffe enthalten, werden die anfallenden Reststoffe gesammelt und als Rohstoff einer Papierfabrik zugeführt.

Die Sammlung der Reststoffe erfolgt weitgehend automatisiert. So wird der Rill- und Schneidautomat sowie der Querschneider der Wellpappenanlage durch einen Sammelpunkt entsorgt. Die Schnittreste gelangen über ein Trichtersystem in einen Shredder, der die Reststoffe zerkleinert, die durch den nachgeschalteten Ventilator pneumatisch gefördert werden können. Neben einem solchen Sammelpunkt existieren drei weitere Shredder/Lüfter-Stationen gleicher Bauart im Bereich der Weiterverarbeitung. Die Reststoffe der einzelnen Maschinen gelangen über Transportbänder in die Shredderanlagen und werden durch die nachgeschalteten Ventilatoren über ein Rohrsystem auf das Hallendach gefördert. Oberhalb der Papierpresse befinden sich zwei Multizyklone, welche die Papierreststoffe und den Luftstrom trennen. Die gereinigte Luft wird abgeblasen, während die Papierreststoffe über einen Trichter direkt in den Füllschacht der Reststoffpresse gelangen. Neben der skizzierten automatischen Reststoffentsorgung sind an allen Maschinen Container aufgestellt, um große Reststoffbestandteile, die nicht von dem Entsorgungssystem verarbeitet werden können, aufzunehmen. Die Container werden regelmäßig geleert und über eine Klappe im Füllschacht ebenfalls der Ballenpresse zugeführt. Die Papierballen werden gestapelt und zwischengelagert, bevor sie per Lkw zum Papierwerk gebracht werden. In diesem Bereich ist eine elektrische Leistung von $280 \text{ kW}_{\text{mech}}$ installiert. Die jährliche Betriebszeit beträgt rund 3.300 h.

Neben Papier- und Pappereststoffen fallen ferner geringe Mengen hausmüllähnlichem Gewerbemülls an, die durch ein öffentliches Abfallentsorgungsunternehmen entsorgt werden.

Überflüssiges Abwasser aus der Farbanlage bzw. solches Wasser, das zur Reinigung der Druckwerke und der Leimaufbereitungsanlage genutzt wurde und nicht in den Sekundäransätzen der Leimaufbereitung eingesetzt werden kann, wird in die betriebliche Kläranlage geführt, dort vorgeklärt und anschließend in die Kanalisation abgegeben. Darüber hinaus fällt sog. Schlammkuchen an, der aus dem Absetzbecken stammt. Die Schwebeteilchen des Abwassers werden in einer Presse zu Schlammkuchen gepreßt, die in einen Container gebracht und als Sondermüll deponiert werden. Als Fäll- bzw. Bindemittel werden Kalk (Ca(OH)_2) und Natronlauge (NaOH) eingesetzt. Die Kläranlage sieht eine dreistufige Abwasseraufbereitung vor, wobei auf eine detaillierte Verfahrensbeschreibung der Abwasserbehandlung an dieser Stelle jedoch verzichtet wird, da die Kläranlage keinen nennenswerten Energiebedarf aufweist.

2.3 Erfassung der energetischen Betriebsdaten und Erarbeitung einer Energiebilanz

Auf der Grundlage der vorhergehenden Beschreibung des Produktionsablaufes und der Betriebsorganisation wird nachfolgend eine betriebliche Energiebilanz erarbeitet. Grundlage dieser Energiebilanz bildet die Erfassung der bezogenen Endenergie im Bilanzjahr 1995. Hierbei sind die beiden Endenergieträger „Erdgas“ und „Strom“ zu berücksichtigen (vgl. hierzu Anhang A, Tabelle A.1). In einem zweiten Schritt wird der Endenergieeinsatz des Betriebes für einzelne Produktionsschritte detailliert untersucht und in die sechs Anwendungsbereiche

- Prozeßwärme,
- Raumwärme,
- Brauchwarmwasser,
- Kraft,
- Beleuchtung und
- Kommunikation

nach ihrer energetischen Bedeutung aufgeschlüsselt. Für die genannten Anwendungsbereiche werden die bestehenden Verbrauchsschwerpunkte sowie die derzeitige Energieversorgung dargestellt. Die Effizienz der Energieversorgung sowie mögliche Ansätze zu ihrer Optimierung werden skizziert. Die detaillierten Ergebnisse der Untersuchungen sind sowohl in Form einer Übersicht als auch aufgeschlüsselt für jeden Energieanwendungsbereich in den Tabellen A.1 - A.7 im Anhang A wiedergegeben und werden in den Kapiteln 2.3.1 - 2.3.6 ausführlich diskutiert.

Im Bilanzjahr 1995 betrug der Endenergieverbrauch des Unternehmens 14,57 Mio. kWh (vgl. Abb. 2.5). Mit 83,7 % des Endenergiebedarfs bzw. 12,2 Mio. kWh deckte das von EVU bezogene Erdgas den Hauptteil des Energiebedarfs ab. Des Weiteren weist die Strombilanz des Betriebes für 1995 einen Stromverbrauch von ca. 2,37 Mio. kWh aus, woraus sich für den Endenergieträger Strom ein Verbrauchsanteil am

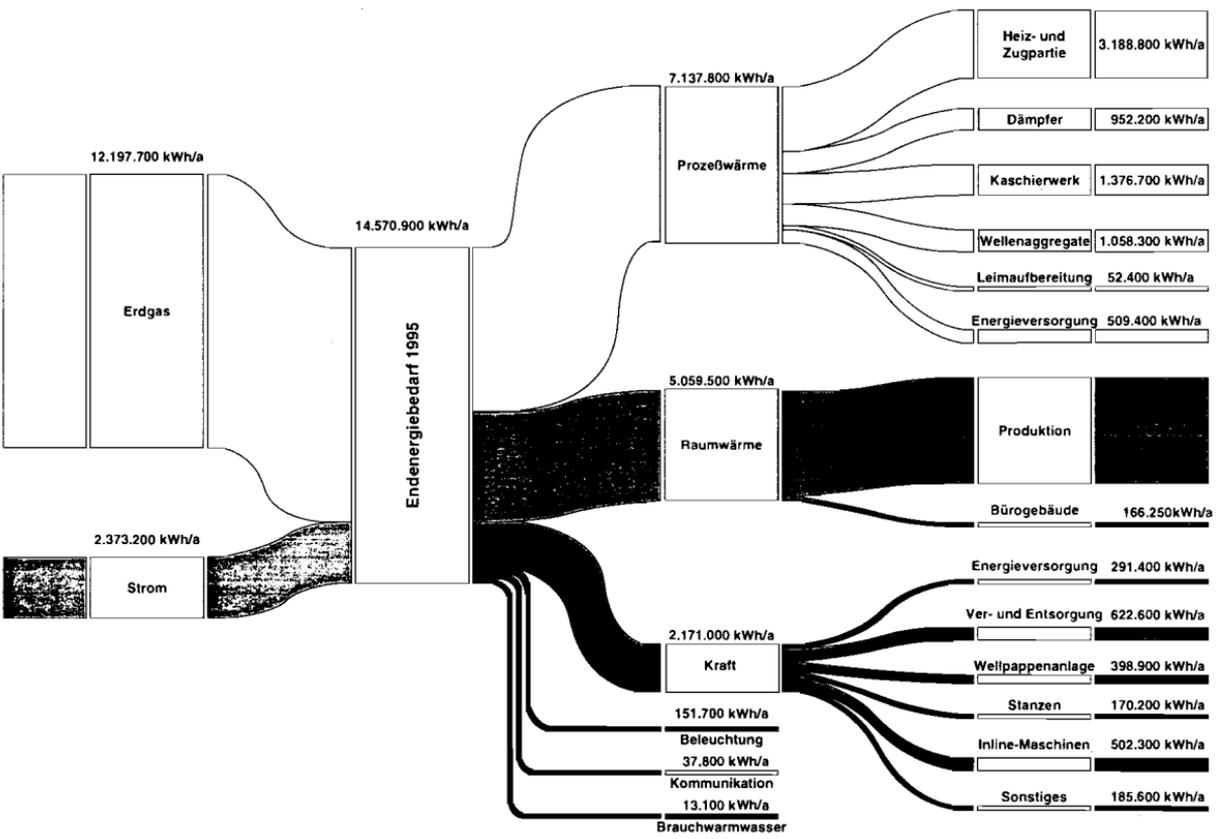


Abb. 2.5: Energieflußdiagramm des untersuchten Betriebes für das Betriebsjahr 1995

Gesamtverbrauch von 16,3 % errechnet. Der Brennstoff wird zur Gesteuerung von Prozeßwärme, Raumwärme und Brauchwarmwasser eingesetzt. Der Stromeinsatz erstreckt sich über die Kraftgesterung, die Beleuchtung, den Betrieb von Kommunikationsanlagen bis zum Einsatz von elektrischen Durchlauferhitzern und Heizlüftern.

Etwa 58,4 % des Erdgasverbrauchs resultieren aus dem Prozeßwärmebedarf des Unternehmens, der sich zu ca. 7,1 Mio. kWh/a errechnet. Weitere 5 Mio. kWh, d.h. etwa 41,5 % des Gasverbrauchs, wurden zur Beheizung der Produktionshallen sowie des Verwaltungsgebäudes eingesetzt. Mit ca. 0,1 % des Gaseinsatzes (ca. 12.000 kWh) ist der Endenergieeinsatz zur Brauchwarmwassergesterung dagegen äußerst gering.

Der 1995 eingesetzte Strom diente zu über 90 % der Kraftgesterung, d.h. dem Antrieb von Elektromotoren in den verschiedenen Fertigungsmaschinen. Der hier eingesetzte Stromverbrauch betrug ca. 2,2 Mio. kWh. Mit 152.000 kWh Strom fanden ca. 6 % des Stromverbrauchs zum Betrieb der Beleuchtungsanlagen Verwendung, weitere 1,6 % (ca. 38.000 kWh) zum Einsatz der Kommunikationseinrichtungen. 0,5 % des Stromverbrauchs entfielen auf elektrische Heizsysteme, etwa 0,1 % auf Durchlauferhitzer zur Bereitstellung von Brauchwarmwasser. Rund 1 % des Stromverbrauchs entfiel auf diverse Kleingeräte und -anwendungen, die unter der Rubrik „Sonstiger Stromverbrauch“ zusammengefaßt sind (vgl. Anhang A, Tabelle A.1).

Eine zusammenfassende Betrachtung des Gas- und Stromverbrauchs im Hinblick auf deren Verteilung auf die verschiedenen Energieanwendungen zeigt, daß insgesamt rund 49 % des Endenergieeinsatzes auf die Prozeßwärmeversorgung entfallen. 34,7 % der Energie werden zur Beheizung der Betriebs- und Verwaltungseinrichtungen verwendet. 14,9 % der Endenergie werden im Anwendungsbereich „Kraft“ eingesetzt. Die verbleibenden Energieanwendungen sind im Vergleich zu den bereits genannten Einsatzfeldern nur noch von untergeordneter Bedeutung. So finden etwa 1 % des Gesamtenergieverbrauchs Anwendung zur Beleuchtung der Gebäude, ca. 0,3 % dienen dem Betrieb von Bürokommunikationssystemen und lediglich 0,1 % des Endenergiebedarfs werden zur Bereitstellung von Brauchwarmwasser verwendet. Abb. 2.5 gibt diese Struktur in Form eines Energieflußbildes (Sankey-Diagramm) wieder. Die weitere Detaillierung der Ergebnisse, wie sie Abb. 2.5 darstellt und auf den Ergebnissen der Betriebsbegehungen beruht (vgl. hierzu Tabellen A.3 - A.7 im Anhang A), ist Gegenstand der nachfolgenden Kapitel.

2.3.1 Prozeßwärme

Ist-Zustand

Prozeßwärme wird in der Wellpappenanlage, der Leimaufbereitung und im Kesselhaus eingesetzt, wobei jedoch mit über 92 % des Endenergiebedarfs im diskutierten Anwendungsbereich der Prozeßwärmebedarf der Wellpappenerzeugung von maßgebender Bedeutung ist. Die benötigte Prozeßwärme stellt ein erdgasbefuertes Großwasserraumkessel (Dreizug-Rauchrohr-Flammenrohrkessel) in Form von Niederdruck-Sattdampf bereit. Der erzeugte Frischdampf gelangt über eine Verteilerstation und ein

weitläufiges Dampfnetz zu den verschiedenen Anwendungspunkten. Ein Dampfspeicher ist nicht vorgesehen, so daß der Kessel direkt nachfrageseitig geregelt wird. In der Verteilerstation des Kesselhauses wird der Frischdampf in verschiedene Dampfnetze eingespeist. Ferner wird ein Teil des Dampfes gedrosselt und in ein Niederdrucknetz eingespeist. Während die Heiz- und Zugpartie, die Wellenaggregate und das Kaschierwerk der Wellpappenanlage mit Sattdampf von etwa 13 bar versorgt bzw. beheizt werden, erfolgt die Versorgung der Dämpferanlagen der Wellpappenanlage, der Leimaufbereitungsanlage, der Brauchwarmwasser- und Raumwärmeversorgung sowie der Speisewasserbehälterheizung mit Niederdruckdampf bei ca. 3 bar.

Ebenso zweigleisig wie die Dampfverteilung selbst ist auch das Kondensatnetz aufgebaut. Zu unterscheiden ist das Hochdruckkondensat, das - im Normalbetrieb - über zwei Hochdruckkondensatpumpen direkt in den Kessel gefördert wird. Hochdruckkondensat fällt in beiden Wellenaggregaten, im Kaschierwerk und in zwei von drei Teilbereichen der Heizpartie an. Niederdruckkondensat wird im dritten Teil der Heizpartie, den Raumwärme- und Brauchwarmwasserversorgungssystemen sowie der Speisewasserbehälterheizung abgezogen. Einen Sonderfall stellt der Anfahrbetrieb des Kessels insofern dar, als daß das Kondensat der Heizpartie solange vollständig in den Niederdruckbereich abgeführt wird, bis die Kondensattemperatur 100 °C erreicht hat. An dieser Stelle schaltet ein Motorventil auf den Hochdruckbereich um und der Kondensatablauf entspricht dem stationären Betriebsablauf. Das Niederdruckkondensat wird im Kesselhaus dem Kondensatsammler zugeführt. Ferner wird an dieser Stelle auch das frisch aufbereitete Kesselspeisewasser, das die Dampfverluste bei der Leimaufbereitung und in der Wellpappenanlage ausgleicht, dem Speisewasserkreislauf zugeführt. Der Kondensatbehälter ist mit dem Speisewasserbehälter verbunden. Über einen Füllstandszeiger im Speisewasserbehälter wird dieser bei Bedarf mit Wasser aus dem Kondensatbehälter aufgefüllt. Das Speisewasser wird über einen Wärmetauscher kontinuierlich mit Niederdruckdampf auf eine Kesseleintrittstemperatur von 100 °C aufgeheizt. Analog zum Speisewasserbehälter überwacht eine Füllstandsanzeige im Kessel den Wasserstand. Unterschreitet der Wasserspiegel im Kessel ein Minimum, fördern die Speisewasserpumpen Wasser aus dem Speisewasserbehälter mit einem Eintrittsdruck von 16 bar in den Kessel, bis ein optimaler Wasserstand erreicht ist.

Der größte Prozeßwärmeverbraucher ist die Heiz- und Zugpartie der Wellpappenanlage. Hier wird Dampf eingesetzt, um großflächige Heizplatten zu beheizen, die der Trocknung der Wellpappe nach dem Kaschierwerk dient. Der Jahresenergiebedarf dieser Anlage errechnet sich zu rund 3,2 Mio. kWh/a und erfordert somit ca. 44,7 % des Prozeßwärmebedarfs. Ursache dieses beachtlichen Endenergiebedarfs ist sowohl die hohe Temperatur der Platten von über 180 °C verbunden mit einer entsprechend großen Oberfläche.

Zweitgrößter Wärmeverbraucher ist mit einem Jahresbedarf von ca. 1,4 Mio. kWh das Kaschierwerk, in welchem die Wellpappenhalbprofile miteinander verleimt werden und auch hier freiliegende und großflächige Zylinder durch Dampf beheizt werden müssen. Die Wellenaggregate dagegen sind zusammen mit den jeweiligen Dämpfern der Wellpappenanlage, deren Energiebedarf insgesamt etwa 2 Mio. kWh/a ausmacht,

in Lärmschutzgehäusen gekapselt, die durch Abluftsysteme über Dach entlüftet werden.

Auf die Beheizung des Speisewasserbehälters entfallen ferner rund 0,5 Mio. kWh des Prozeßwärmeeinsatzes, wobei der wärmeisolierte Speisewasserbehälter mit Frischdampf aufgeheizt wird. Die Leimaufbereitung erfordert letztlich einen Wärmeeinsatz von rund 52.000 kWh pro Jahr. Die benötigte Wärme dient der Aufheizung von Prozeßwasser und erfolgt effizient durch die direkte Beheizung des Wassers mit Niederdruckdampf.

Bewertung

Die Bewertung der derzeitigen Prozeßwärmerversorgung erfolgt nachfolgend dreigeteilt, wobei die Gesteherung der Wärme, deren Verteilung und die Anwendung nacheinander bewertet werden.

Prozeßwärmegesteherung

Durch die Auswertung der täglich aufgenommenen Kesseldaten konnten für das Bilanzjahr 1995 wesentliche Kenngrößen des Kesselbetriebes ermittelt werden. Als wichtigste Größen sind dabei die mittlere Auslastung des Kessels sowie der Jahresnutzungsgrad zu nennen. Im Jahresdurchschnitt weist der Kesselrapport eine Dampfleistung von ca. 1,9 t/h aus. Die Berechnung des Energiebedarfs der Wellpappenanlage (inklusive der Leimaufbereitung) ergab einen jahresmittleren Dampfbedarf im Normalbetrieb von ca. 1,8 t/h. Die maximale Dampfleistung des Kessels ist mit rund 8 t/h angesetzt, so daß die Grundlast der Wellpappenanlage den Kessel zu rund 23 % auslastet und der Kessel insgesamt zu rund 25 % ausgelastet ist. Im Bilanzjahr 1995 betrug die maximale mittlere Dampfleistung des Kessels 3,45 t/h (Tagesmittelwert), was einer Auslastung von rund 44 % entspricht. Anzumerken ist, daß die genannten Zahlenwerte verschiedene Betriebszustände berücksichtigen und keinesfalls die tatsächliche maximale Dampfleistung des Kessels wiedergeben. So arbeitet der Kessel bspw. während der Winterzeit ununterbrochen, wobei nachts durch die Raumheizung eine geringe Grundlast besteht, um ein vollständiges Auskühlen der Gebäude zu vermeiden. Die Regelung der Raumwärmesysteme arbeitet dabei mit Nachtabsenkung. Vor Beginn der Frühschicht werden die Gebäude wieder aufgeheizt und gleichzeitig die Wellpappenanlage angefahren, so daß zu diesem Zeitpunkt eine kurzfristige vollständige Auslastung des Kessels denkbar ist.

In der überwiegenden Betriebszeit ist der z.Zt. vorhandene Kessel - selbst bei Normalbetrieb aller Wärmeverbraucher - mit etwa 25 % im Jahresdurchschnitt nur unvollständig ausgelastet. Bedingt durch die schlechte Auslastung des Kessels errechnet sich ein ebenso schlechter Nutzungsgrad, der im Jahresmittel 0,55 beträgt. Ein Minimum erreicht der Kesselnutzungsgrad mit einem Wert von 0,42 im Juli 1995, wobei der Kessel bei einer mittleren Dampfleistung von 1,3 t/h im Monatsmittel lediglich zu 16,3 % ausgelastet war.

Zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers wird der Speisewasserbehälter wie oben erläutert mit Frischdampf beheizt. Diese Form der Vorwärmung ist jedoch aus energetischer Sicht ungeeignet, um den Wirkungs- und Nutzungsgrad des Kesselsystems zu verbessern. Die zur Vorwärmung des Speisewassers eingesetzte Energie führt zu einem zusätzlichen Dampfbedarf, der den Endenergieeinsatz des Kessels erhöht. Eine energetisch sinnvolle Speisewasservorwärmung reduziert die abzuführende Wärmemenge bei gleichem Brennstoffeinsatz, bspw. durch Abkühlung des Hochdruckkondensates und erhöht die Temperatur der Wärmezufuhr im Kessel.

Prozeßwärmeverteilung

Das vorhandene Dampf- und Kondensatnetz des Betriebes befindet sich in einem guten Zustand. Die vorhandene Isolierung ist vollständig und wies keine Beschädigungen auf. Nennenswerte Leckageverluste waren an keiner Stelle zu beobachten. Die Dampfparameter sind den erforderlichen Temperatur- und Druckanforderungen der verschiedenen Anwendungen angemessen. Signifikante Verbesserungen im Bereich der Dampfverteilung sind nicht zu erwarten.

Prozeßwärmeanwendung

Die Prozeßwärme wird überwiegend zur Beheizung großflächiger Heiz- und Trocknungsanlagen verwendet. Insbesondere die Heiz- und Zugpartie sind hier zu nennen. Die beheizten Maschinenteile besitzen - mit Ausnahme der Wellenaggregate - keine Kapselung, die den entstehenden Wärmeverlusten durch eine Wärmeübertragung an die Umgebungsluft entgegenwirken können. Aufgrund einer fehlenden Isolierung der vorhandenen Aggregate geht daher ein Großteil der Wärme durch Abstrahlung verloren. Diese Wärmeverluste äußern sich durch deutlich höhere Umgebungstemperaturen im Bereich der o.g. Aggregate. Die Wellenaggregate bzw. die vorgeschalteten Dämpfer sind zwar durch Schallkabinen gegen die Umgebung gekapselt, doch geht auch hier die Abwärme durch Abluftsysteme ungenutzt verloren.

2.3.2 Raumwärme

Ist-Zustand

Die Raumwärmeversorgung des Betriebes erfolgt maßgeblich durch Dampf/Umluftwärmetauscher, durch unregelmäßige Abwärme aus der Wellpappenanlage und durch dampfbetriebene Rohrbündelwärmetauscher zur Versorgung der Plattenheizkörper in den Bürobereichen. Ein weiterer, jedoch sehr geringer Teil des Raumwärmebedarfs, wird durch elektrisch betriebene Heizkörper in kleinen Büroräumen bereitgestellt.

Der Anteil der Raumwärme am gesamten Endenergieverbrauch beträgt mit ca. 5 Mio. kWh/a rund 34,7 % und stellt somit einen erheblichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch dar. Die Raumwärmegestehung mit Hilfe der installierten elektrischen Heiz-

körper ist mit etwa 0,08 % nur von geringer Bedeutung. Mit einem Endenergieverbrauch in Höhe von ca. 166.250 kWh/a für die Raumwärmegestellung im Bereich des vorgelagerten Bürogebäudes und des innerhalb der Fertigungshalle befindlichen Bürotraktes werden lediglich ca. 3,3 % für die Beheizung der Büros benötigt. Die restlichen rund 96,7 % werden nahezu ausschließlich in der Fertigungshalle im Bereich der Weiterverarbeitung eingesetzt, da im Bereich der Wellpappenanlage deren Abwärmeströme die Raumheizung nahezu ersetzen.

Das Dampfnetz für die Raumwärmegestellung wird mit einem Druck von 3 bar betrieben, d.h. der Prozeßdampf wird für den Einsatz im Dampfnetz der Raumwärmeversorgung gedrosselt. Die Steuerung der für die Raumwärmeversorgung bereitgestellten Dampfmenge geschieht mit Hilfe eines Thermostatventils, welches von einem zentralen Temperaturfühler im Bereich der Palettierung gesteuert wird, der eine Solltemperatur von tagsüber $T = 19\text{ °C}$ und nachts von $T = 12\text{ °C}$ regelt. Der Produktionsbereich besteht im wesentlichen aus einer großen Halle, in der sich 44 Dampfheizlüfter unterschiedlichen Typs und Alters befinden, die im Deckenbereich angeordnet sind. Zusätzlich gibt es verschiedene Handwerksnebenräume an der Ostseite der zentralen Produktionshalle. Hier übernehmen insgesamt 7 Heizlüfter die Raumwärmeversorgung. Schließlich befinden sich noch weitere Heizlüfter in Räumen mit Nebeneinrichtungen wie bspw. der Kläranlage und der Druckluftbereitung. Die maximalen Heizleistungen der einzelnen Heizlüfter schwanken je nach Größe und Alter zwischen ca. 25 - 100 kW_{th}. Diese höchste Heizleistung wird bei maximalem Umluftdurchsatz und vollständiger Kondensation des Heizdampfes erreicht. Für die Beheizung des innenliegenden Bürobereiches wird ein 25 kW-Rohrbündelwärmetauscher benutzt, für den vorgelagerten Bürotrakt steht ein ebenfalls dampfbetriebener 100 kW-Wärmetauscher zur Verfügung, welcher das Warmwasser für die verwendeten Heizkörper bereitstellt.

Zur Beheizung zweier Büros und eines Aufenthaltsraums im Bereich der Palettierung im hinteren Teil der Fertigungshalle, werden insgesamt fünf elektrisch betriebene Heizungen verwendet, während der neue Bürotrakt am Ende der Wellpappenanlage und das vorgelagerte Bürogebäude jeweils durch einen dampfbetriebenen Wärmetauscher mit Heißwasser für die Konvektionsplattenwärmetauscher versorgt werden.

Die Gebäude sind etwa 20 Jahre alt und im Stil heute üblicher Fabrikhallen gebaut. Die große Fertigungshalle verfügt über ein Shed-Dach aus Wellethernit ($k\text{-Wert} = 0,9\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) mit darin befindlichen Glasflächen zur Außenlichtversorgung. Die nahezu senkrecht angeordneten Glasflächen sind in Bändern von 2 m Höhe über die gesamte Hallenbreite nach Norden und die Dachflächenteile nach Süden ausgerichtet. Bei dem verwendeten Glas handelt es sich um Einfachglas in Metallrahmen z.T. ohne Dichtung ($k_F = 5,8\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die Fenster enthalten im Abstand von einigen Metern Lüftungsklappen, die elektrisch verstellbar werden können.

Bei der Bausubstanz handelt es sich vorwiegend um Gasbeton (Dicke ca. 20 cm, $k\text{-Wert} = 1,05\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), lediglich die Westseite der Fertigungshalle besteht aus einem Doppeltrapezblech mit innenliegender ca. 3 cm dicken Dämmung ($k\text{-Wert} = 0,85\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Das Papierlager besteht ebenfalls aus Trapezblech und das Dach im Bereich der Fertigungshalle aus Wellethernit, welches von innen verkleidet ist.

Direkter Luftaustausch ist außer durch Fenster und kleinere Türen vor allem durch drei große, verschließbare Tore zum nicht beheizten Papierlager, durch ein großes, verschließbares Tor ($A = 20 \text{ m}^2$) im Bereich der Pappeversorgung am Ende der Wellpappenanlage und durch ein ebenfalls 20 m^2 großes Tor im Bereich der Palettierung möglich. Darüber hinaus befinden sich am Ausgang der Produktionshalle acht Laderampen für den Abtransport der Fertigprodukte, deren Tore verschließbar sind, bei längeren Be- und Entladevorgängen jedoch zu erheblichen Wärmeverlusten führen können. Durch oberhalb der Laderampen befindliche Heizlüfter wird versucht, einem Warmluftverlust mit Hilfe eines Luftschleiers entgegenzuwirken („Torbeheizungsanlagen“).

Bewertung

Vermeidbare Wärmeverluste durch direkten Luftaustausch sind vor allem durch den hohen Anteil der Fensterfläche im Dachbereich und der Nordseite der Fertigungshalle aufgrund der Beschaffenheit (Einfachverglasung) und der ungenügenden Dämmung der Fensterrahmen festzustellen. Während an der Westseite der Fertigungshalle das gedämmte Doppeltrapezblech und im Dachbereich die Faserzementplatte für einen für ältere Industriegebäude durchschnittlichen Wärmeschutz sorgen, treten hohe konvektive Wärmeverluste vor allem durch die Außenwände bei nicht ausreichender Dämmung der vorwiegend verwendeten Gasbetonsteine (Wärmedurchgangszahl ca. $1,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) auf. Bei Be- und Entladevorgängen an den Rampen im Bereich der Palettierung treten große Wärmeverluste auf, insbesondere da oberhalb der Buchten angebrachte Torbeheizungsanlagen zwar einen gewissen Schutz gegen kalte Außenluft bieten, dabei jedoch der produzierte Wärmestrom ungehindert ins Freie gelangt.

Aufgrund der vorhandenen Dampfnetzes bietet sich die Raumwärmeversorgung mit Hilfe von dampfbetriebenen Heizlüftern als Art der Raumwärmegestehung an, zumal diese bei entsprechender Hallenhöhe für die notwendige Durchmischung der Luft sorgen. Die Regelung der Heizlüfter mit Hilfe des zentral angebrachten Temperaturfühlers führt z.T. zu lokalen Überhitzungen, da die Temperaturmessung lediglich an einem Ort im Bereich der Palettierung durchgeführt wird, die Raumtemperatur durch hinsichtlich der Wärmeabgabe unterschiedliche Maschinen im Bereich der Produktion jedoch schwankt. Mit dem errechneten Kesselnutzungsgrad von $\eta_K = 0,55$ läßt sich ein Nutzenergiebedarf von ca. $2,8 \text{ Mio. kWh/a}$ errechnen. Aufgrund der durch die Wellpappenanlage (Kaschierwerk und Heiz- und Zugpartie) sowie die Beleuchtungsanlagen und Kraftmaschinen anfallenden erheblichen Abwärmepotentiale in Höhe von ca. $3,2 \text{ Mio. kWh/a}$, welche während der Heizperiode direkt die Raumwärmeversorgung unterstützen, liegt die insgesamt benötigte Nutzenergie um den Faktor 3 über dem in der Wärmeschutzverordnung von 1995 für Gebäude gleichen Raumvolumens angegebenen Richtwert von $19,6 \text{ kWh/m}^3\text{a}$.

2.3.3 Brauchwarmwasser

Ist-Zustand

Die Versorgung mit Brauchwarmwasser erfolgt zum einen dezentral durch elektrische Warmwasserspeicher im Fertigungsgebäude und zum anderen durch einen dampfbeheizten Warmwasserspeicher (1.500 l), der ausschließlich das vorgelagerte Bürogebäude mit den im Keller befindlichen Umkleideräumen mit Brauchwarmwasser (Vorlauftemperatur ca. 70 °C) versorgt.

Der jährliche Energieverbrauch des dampfbetriebenen Warmwasserspeichers wurde aufgrund des gemessenen täglichen Warmwasserbedarfs von ca. 350 l/d zu ca. 12.300 kWh/a ermittelt. Der Strombedarf der elektrischen Warmwassergeräte wird mit ca. 720 kWh/a veranschlagt. Der Anteil der Brauchwarmwassergestehung am gesamten Endenergieverbrauch beträgt somit nur ca. 0,06 %. Der größte Bedarf an Brauchwarmwasser besteht im Bereich der Bürotrakte und der Duschen. Sonstige Warmwasserquellen befinden sich im Sanitärbereich des Betriebes.

Bewertung

Aufgrund des dezentral benötigten Brauchwarmwassers bietet die Gestehung über kleine, elektrisch betriebene Warmwasserspeicher eine günstige Alternative, da für diese ein Nennwirkungsgrad von nahezu 100 % ohne Speicherverluste (< 1 %) angenommen werden kann. Die Auskopplung des Prozeßdampfes zur Beheizung eines 1.500 l Warmwasserspeichers für die Versorgung des außenliegenden Bürotraktes einschließlich der Duschen bietet ebenfalls kaum Verbesserungsmöglichkeiten, da große Warmwasserspeicher nahezu keine Bereitschaftsverluste aufweisen und einen Nennwirkungsgrad von ebenfalls nahe 100 % aufweisen. Nachteilig erweist sich lediglich die räumliche Trennung der Warmwassergestehung (Kesselhaus) und des Verbrauchs, denn aufgrund der zentralen Gestehung des Brauchwarmwassers und der notwendigen Verteilung des gespeicherten Warmwassers in das benachbarte Bürogebäude sind Verluste in Höhe von bis zu 60 % zu erwarten.

Da die im Betrieb befindlichen Warmwasserspeicher den Bedarf an Brauchwarmwasser vollkommen decken und dem Stand der Technik entsprechen, ist hier kaum Optimierungspotential vorhanden. Verbesserungsmöglichkeiten sind lediglich beim dampfbeheizten Warmwasserspeicher für das vorgelagerte Bürogebäude zu sehen.

2.3.4 Kraft

Ist-Zustand

Der Gesamtbedarf für elektrische Antriebe betrug 1995 ca. 2,2 Mio. kWh. Dies entspricht einem Anteil von 90,7 % am gesamten Strombedarf bei einer installierten Leistung von etwa 1.250 kW. Die daraus resultierende Vollastbenutzungsdauer beläuft

sich damit auf 1.760 h/a. Der Leistungsbedarf elektrischer Maschinen liegt i.d.R. unterhalb der Leistungssumme aller installierten Verbraucher. Gründe hierfür sind beispielsweise die Überdimensionierung elektrischer Antriebe, der Betrieb mit weniger als Nennleistung oder der ungleichzeitige Einsatz der einzelnen Verbraucher. Der Bedarfsfaktor g , der das Verhältnis von benötigter zu installierter Nennleistung wiedergibt, beträgt für Industriebetriebe im Mittel zwischen 0,5 und 0,7. Bei der Bestimmung des Energiebedarfs des untersuchten Betriebes wurde angenommen, daß die Maschinen im Durchschnitt ihre Leistung nur zu 50 % ausschöpfen, d.h. nur die Hälfte der installierten Nennleistung tatsächlich benötigt wird. In den für die einzelnen Maschinen angegebenen Nutzungsdauern sind unter anderem auch kurzfristige Stillstandszeiten enthalten, so daß eine solche Annahme gerechtfertigt ist.

Zur Blindstromkompensation werden zwei zentrale, verdrosselte Kompensationsanlagen eingesetzt. Die Verdrosselung dient dabei zur Vermeidung von Resonanzen mit Netzinduktivitäten für die vorkommenden Oberschwingungen. Die Kapazität der Kompensatoren beträgt 350 kVAr (7stufig) bzw. 200 kVAr (5stufig). Der dadurch erreichte Leistungsfaktor liegt bei 0,97 - 0,98. Einzel- oder Gruppenkompensation von größeren induktiven Verbrauchern findet nicht statt.

Der gesamte Bereich der Kraftanwendungen ist in die folgenden Unterabschnitte eingeteilt worden:

- Energieversorgung (Kesselhaus, Druckluftversorgung),
- Ver- und Entsorgung (Abfall-, Leimaufbereitung),
- Wellpappenherstellung (Antrieb, B-Welle, C-Welle),
- Stanzen (Rotationsstanze, Flachbettstanzen),
- Inline-Maschinen und
- sonstiges (ZDRS, Faltschachtelklebemaschine, Klebehalbautomat, Gluer, Heftalbautomat, Combi-Pressen, Bündemaschinen, Palettierung, Verschiebewagen, Ladestation, Kleinverbraucher).

Die Aufstellung des Leistungs- bzw. Energiebedarfs der Anlagen zeigt Tabelle 2.1:

Tabelle 2.1: Verteilung des Energie- und Leistungsbedarfs im Anwendungsbereich „Kraft“

Betriebsteil	Installierte Leistung [kW]	mittlere Leistungsaufnahme [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
Energieversorgung	146,1	91,3	291.363
Ver- und Entsorgung	304,9	190,6	622.567
Wellpappenherstellung	240,0	150,0	398.906
Stanzen	110,4	69,0	170.191
Inline-Maschinen	314,2	196,4	502.380
Sonstiges	137,8	86,1	185.624

Die größte Verbrauchergruppe stellt die Ver- und Entsorgung (Abfall- und Leimaufbereitung) bei einer installierten Leistung von ca. 300 kW_{mech} und einem Stromverbrauch von rund 600.000 kWh im Jahre 1995 dar. Diese Maschinengruppe ist zu etwa 3.000 h/a ausgelastet.

Die Inline-Maschinen, welche die von der Wellpappenanlage gelieferten Wellpappenformate weiterverarbeiten, liegen leistungsmäßig auf demselben Niveau. Der mit ca. 500.000 kWh relativ geringe Stromverbrauch der Inline-Maschinen im Jahr 1995 ist darauf zurückzuführen, daß die neueste Anlage erst im Oktober des Jahres die Produktion aufgenommen hat und dementsprechend 1995 nur eine geringe Nutzungsdauer aufweisen konnte. Die übrigen Maschinen werden mehr als 3.000 h pro Jahr genutzt.

Der größte Stromverbraucher ist die Wellpappenanlage. Bei einer installierten Gesamtleistung von 240 kW_{mech} und einer Nutzungsdauer von 3.400 h für den Antrieb, 1.700 h für das Wellenaggregat I und 2.500 h für das Wellenaggregat II ergibt sich 1995 ein Energieverbrauch von 400.000 kWh/a.

Die Auslastung der Energieversorgungseinrichtungen ist mit 3.000 - 4.000 h/a entsprechend ihrer Bedeutung für die Produktion ebenfalls sehr hoch. Der aus der installierten Leistung von 150 kW_{mech} resultierende Energiebedarf betrug 1995 fast 300.000 kWh.

Über eine etwas geringere Auslastung von 2.200 - 2.800 h/a verfügen die Stanzen. Bei einer installierten Leistung von 110 kW_{mech} benötigten sie 1995 insgesamt etwa 170.000 kWh elektrische Energie. Von den sonstigen Energieverbrauchern werden nur die Bündelmaschinen, die Palettierereinrichtung sowie der Verschiebewagen mit Laufzeiten zwischen 3.000 - 4.000 h/a regelmäßig genutzt. Die verbleibenden Maschinen (z.B. Hefthalbautomat, Combi-Pressen etc.) kommen nur vereinzelt zur Anwendung bzw. befinden sich nicht mehr im Einsatz. Ihr Energiebedarf wird mit einer Pauschale für nicht erfaßte Kleinverbraucher mit rund 100.000 kWh/a angesetzt.

Bewertung

Der vorhandene Maschinenpark im untersuchten Betrieb ist modern und gut gewartet. Auch ältere Anlagen können ohne größere Ausfallzeiten genutzt werden. Die erreichten jährlichen Auslastungen sind dementsprechend hoch. Die vorhandene zentrale Blindleistungskompensation ist ausreichend dimensioniert und arbeitet zufriedenstellend. Ein Blindleistungszuschlag muß daher nicht an den Stromlieferanten gezahlt werden. Jedoch werden die Zuleitungen innerhalb des Betriebes zu den einzelnen Abnehmern weiterhin durch Blindströme belastet. Bei hohen Blindlasten werden unnötige Stromwärmeverluste verursacht, die sich negativ auf den Gesamtwirkungsgrad der Anlagen auswirken. Ferner sind einzelne Zuleitungen z.T. überdimensioniert, da diese nach dem Scheinstrom ausgelegt werden. Es sollte deshalb geprüft werden, ob große Blindleistungsverbraucher eventuell einzeln oder in Gruppen kompensiert werden können. Die damit freiwerdende Leistungskapazität läßt sich für mögliche neue Anlagen bzw. Betriebserweiterungen nutzen.

Die Anschlußleistung des Betriebes beträgt 1.260 kVAr. Dies entspricht fast 75 % der installierten Verbraucherwirkleistungen (ca. 1.700 kW). Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig eingesetzt werden müssen, könnte der Leistungspreis durch eine optimierte Anlagenfahrweise verringert werden.

2.3.5 Beleuchtung

Ist-Zustand

Der Gesamtenergiebedarf für die Beleuchtung beträgt ca. 152.000 kWh pro Jahr. Dies entspricht einem Anteil von ca. 6,4 % am gesamten Strombedarf. Etwa 135.000 kWh werden jährlich zur Beleuchtung der Produktionshallen einschließlich der Nebenräume benötigt, der Rest entfällt auf die Büroräume sowie die Außenbeleuchtung.

Für die Innenbeleuchtung des Produktionsbereiches (Hallen, Werkstätten und Werkstattlager) werden ausschließlich Leuchtstoffröhren der Leistungsklasse 58 W eingesetzt. Hauptsächlich finden freistrahrende Leuchten mit einer oder zwei Leuchtstoffröhren Verwendung. Daneben kommen auch Wannenleuchten sowie gekapselte Leuchten zum Einsatz. Letztere schützen die Röhre vor mechanischen Beschädigungen oder Feuchtigkeit an gefährdeten Arbeitsplätzen. Sämtliche Leuchten sind mit konventionellen Drosselvorschaltgeräten und Abschaltstartern ausgerüstet. Der Abschaltstarter bewirkt, daß defekte Leuchtstoffröhren abgeschaltet werden und nicht weiter Strom durch vergebliche Startversuche verbrauchen. Die Beleuchtungseinrichtungen sind in einzelnen Gruppen manuell nach Bedarf schaltbar.

Die in den Produktionshallen installierte Beleuchtungsleistung beträgt etwa 41 kW. Hinzu kommen weitere 9 kW für entsprechende Vorschaltgeräte. Die Leistung der Leuchtstoffröhren in den Nebenräumen der Produktionshalle (Kesselraum, Werkstätten, Kleinläger, Leimaufbereitung, Mustermacherei, Presse, Wasseraufbereitung, Kompressoranlage, Kfz-Halle) beträgt ca. 14,6 kW zuzüglich 3,3 kW für Vorschaltgeräte.

Die Decke der Produktionshalle ist mit großen Oberlichtern versehen, deren schräge Öffnungen nach Norden ausgerichtet sind. Insgesamt machen die Hallen einen hellen Eindruck. Tageslichtabhängige Lichtmanagement-Systeme existieren nicht.

In den Büroräumen der Produktionshalle ist eine Lichtleistung von etwa 1,4 kW an Leuchtstoffröhren sowie 0,3 kW in Form von Vorschaltgeräten montiert. Hier werden Spiegelrasterleuchten verwendet, die durch den nahezu ganztägigen Tageslichteinfall jedoch nur selten genutzt werden.

Das gesonderte Verwaltungsgebäude wird ebenfalls durch manuell geschaltete Spiegelrasterleuchten (Gesamtleistung von 5 kW für die Leuchtstoffröhren und 1,2 kW für die Vorschaltgeräte) beleuchtet, wobei jedes Büro einzeln schaltbar ist. Auch hier existiert ein hoher Tageslichteinfall.

Im Papierlager sind wie in den Hallen freistrahkende Leuchten mit 58 W-Leuchtstoffröhren und einer Gesamtleistung von 10 kW zuzüglich 2,5 kW für die Vorschaltgeräte installiert. Die Steuerung erfolgt über Dämmerungsschalter.

Die Beleuchtung für den Außenbereich (Parkplatz, Fahrwege) besteht aus Hochdruck-Quecksilberdampfleuchten (HQL-Lampen) von 250 und 400 W. Sie werden über eine Schaltuhr kombiniert mit einem Dämmerungsschalter gesteuert. Die tägliche Einschaltzeit beträgt etwa 10 h/d. Ist während dieser Zeiten kein ausreichendes Tageslicht vorhanden, dann wird die Außenbeleuchtung eingeschaltet. Die Leistungsaufnahme der HQL-Lampen sowie der zugehörigen Vorschaltgeräte beläuft sich auf etwa 4 kW.

Eine gesonderte Einzel- oder Gruppen-Blindstromkompensation für die Beleuchtung findet nicht statt. Die auftretenden Blindlasten werden von der zentralen Kompensationsanlage des Betriebes aufgefangen.

2.3.6 Kommunikation

Ist-Zustand

Der Gesamtenergiebedarf für die Kommunikation beträgt etwa 38.000 kWh pro Jahr. Dies entspricht einem Anteil von 1,6 % des gesamten Strombedarfes. Die maximale Leistungsaufnahme beträgt etwa 20 kW.

Die installierte Rechneranlage besteht aus zwei Netservern sowie 28 PC-Arbeitsplätzen sowie den dazu gehörigen Monitoren. Für die Druckausgabe sind insgesamt 21 Drucker vorhanden. Alle Geräte sind miteinander vernetzt und verfügen bis auf die Server über eine Stromspareinrichtung, die das jeweilige Gerät nach einer bestimmten Zeit der Nichtbenutzung automatisch in den Standby-Modus bei geringerem Stromverbrauch versetzt.

Daneben existieren noch verschiedene andere Bürogeräte (Faxgeräte, Telefone, Kopierer), von denen die Kopierer die größte Leistungsaufnahme besitzen (ca. 1.500 W im Kopierbetrieb, ca. 150 W im Standby-Betrieb). Da ein Kopierer die meiste Zeit im Standby-Modus steht, ist sein Stromverbrauch gemessen an dem eines Rechners (250 bis 300 W bei Normalbetrieb) sehr gering. Bei den weiteren Untersuchungen werden daher Kopierer, Faxgeräte und Telefone vernachlässigt.

Bewertung

Die Kommunikationseinrichtungen sind der mit Abstand kleinste Stromverbraucher. Die installierte Rechneranlage entspricht dem aktuellen Stand der Technik. Alle Komponenten bis auf die Server sind mit einer Stromsparfunktion ausgerüstet, die das Gerät bei Arbeitspausen in einem Standby-Modus bei geringerem Stromverbrauch versetzt.

Energetische Optimierungsmöglichkeiten sind in diesem Bereich nur sehr begrenzt vorhanden. Prinzipiell gäbe es die Möglichkeit, die einzelnen Arbeitsplatzrechner in Arbeitspausen komplett abzuschalten. Dies würde sich jedoch auf die Lebensdauer negativ auswirken. Zudem müßten durch die Vernetzung alle Geräte vor dem Ausschalten zunächst heruntergefahren werden, um den stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten.

2.4 Abbildung des Ist-Zustandes im Bereich der Schadstoffemissionen

Der Einsatz von Energieträgern ist i.d.R. gleichbedeutend mit der Emission von Luftschadstoffen. Die Verwendung von Brennstoffen in Feuerungsanlagen zur betrieblichen Wärmeversorgung führt dabei zu Emissionen am Ort des Energieverbrauchs, d.h. im Betrieb selbst, während der Bezug von Strom beim Verbraucher nahezu emissionsfrei ist. Emissionen, die mit der Stromerzeugung verbunden sind, fallen in den Kraftwerken an. Da die Stromerzeugung jedoch auch zu weiten Teilen auf der Umwandlung von Brennstoffen beruht, sind alle Endenergieträger mit entsprechenden Schadstoffemissionen belastet. Neben der reinen Umwandlung der Endenergieträger in Wärme oder Strom sind ferner Emissionen für die Exploration der Primärenergieträger, deren Förderung bzw. Gewinnung, die Aufbereitung und den Transport zum Verbraucher bzw. Weiterverarbeitung sowie die Veredelung bzw. Aufbereitung der Primärenergieträger zu nutzbaren Endenergieträgern zu berücksichtigen. Dies erfolgt i.d.R. durch die Berücksichtigung sog. „vorgelagerter Prozesse“ bzw. deren Emissionen. Die Abschätzung der relevanten Emissionen beruht dabei auf den Ergebnissen, die mit Hilfe des Programmsystems GEMIS 2.1/Datensatz „Standard“ gewonnen wurden.

Dieser Ansatz wurde aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit gewählt. Lokale Besonderheiten - z.B. der hohe Kohleanteil bei der nordrhein-westfälischen Stromerzeugung - bleiben dabei bewußt unberücksichtigt.

Bei der Erstellung einer betrieblichen Emissionsbilanz für den untersuchten Betrieb werden sowohl die Emissionen bei der Umwandlung (Verbrennung) bzw. der Anwendung von Endenergieträgern beim Verbraucher - dies sind im betrachteten Unternehmen die Endenergieträger Erdgas und Strom - als auch die vorgelagerten Emissionen, die dem Energieträger bis zum Einsatz beim Verbraucher zuzuordnen sind, durch spezifische Emissionsfaktoren berücksichtigt. Dabei finden die wichtigsten luftverunreinigenden und klimawirksamen Stoffe

- Kohlendioxid CO₂,
- Kohlenmonoxid CO,
- Schwefeldioxid SO₂,
- Stickoxide NO_x,
- flüchtige „Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe“ (NMVOC),
- Methan und
- Staub

Berücksichtigung.

Erdgas

Etwa 22 % des in der Bundesrepublik Deutschland eingesetzten Erdgases stammt aus inländischer Förderung. Demnach werden 78 % des Erdgases importiert, wobei mit ca. 36 % Rußland der wichtigste Lieferant von Erdgas ist. Die Niederlande (ca. 26 %) und Norwegen (ca. 14 %) sind weitere wichtige Erdgaslieferanten. Rund 2 % des Erdgases stammen aus sonstigen Importländern, die an dieser Stelle nicht weiter aufgeschlüsselt werden. Diese Aufteilung wurde in den GEMIS-Datensatz „Standard“ übernommen.

Tabelle 2.2 stellt die auf dieser Basis ermittelten spezifischen Emissionen bei der Verbrennung, den vorgelagerten Emissionen und den Gesamtemissionen zusammen.

Tabelle 2.2: Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Erdgas“

Schadstoff	spezifische Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	mg/kWh		
CO	50	60	110
SO ₂	1,5	24,5	26
NO _x	200	70	270
CH ₄	9	571	580
NMVOC	9	6	15
Staub	0,5	5,2	5,7
	g/kWh		
CO ₂	198,5	36,5	235

Elektrizität

Die Bereitstellung elektrischer Energie erfolgt im betrachteten Unternehmen durch das Verbundnetz. Die Anwendungen elektrischer Energie beim Verbraucher ist nahezu emissionsfrei, da keine chemische Umwandlung des Endenergieträgers „Strom“ erfolgt. Allerdings sind zur Bereitstellung dieser Endenergieform beachtliche vorgelagerte Umwandlungsprozesse zu beobachten, die zu erheblichen spezifischen Schadstoffemissionen führen.

Der GEMIS-Datensatz „Standard“ liefert die in Tabelle 2.3 zusammengefaßten Daten für den bundesdeutschen Strommix.

Tabelle 2.3: Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Strom“

Schadstoff	spezifische Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	mg/kWh		
CO	0	580	580
SO ₂	0	510	510
NO _x	0	830	830
CH ₄	0	1.780	1.780
NMVOG	0	79	79
Staub	0	82	82
	g/kWh		
CO ₂	0	717	717

Emissionsbilanz des Betriebes

Anhand der verschiedenen Zahlen aus den Tabellen 2.2 und 2.3 kann der Ist-Zustand im Bereich der Schadstoffemissionen für den diskutierten Betrieb beschrieben werden. Tabelle 2.4 zeigt das Ergebnis.

Tabelle 2.4: Ergebnisse der Schadstoffberechnungen des Betriebes

Schadstoff	jährliche Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	kg/a		
CO	610	2.108	2.718
SO ₂	18	1.509	1.527
NO _x	2.440	2.824	5.263
CH ₄	110	11.189	11.299
NMVOG	110	261	370
Staub	6	258	264
	t/a		
CO ₂	2.421	2.147	4.568

Der mengenmäßig bedeutendste Luftschadstoff ist das CO₂. 1995 verursachte das Unternehmen Emissionen von rund 4.600 t CO₂, wovon etwa 63 % auf den Endenergieträger Gas entfielen, das allerdings über 84 % des Endenergiebedarfs bereitstellte. Auf den Stromverbrauch von etwa 2,4 Mio. kWh - dies sind ca. 16 % des Energiebezugs - entfielen demnach etwa 37 % der CO₂-Emissionen. Mit einem jährlichen Output von etwa 11,3 t/a bilden die Methanemissionen den zweitgrößten Schadstoffanteil. Hier liegen die Anteile von Strom und Erdgas - wie bei den Stickstoffoxiden - auf einem vergleichbaren Niveau. Im Gegensatz dazu sind die SO₂-Emissionen zu ca. 80 % dem Strom anzulasten. Gleiches gilt für die Staubemissionen von etwa 0,3 t/a. Beim Strom sind alle Emissionen den vorgelagerten Prozessen anzulasten, sofern - wie im betrachteten Unternehmen - keine Eigenstromerzeugung erfolgt. Die detaillierten Ergebnisse der Schadstoffberechnungen sind in Anhang B zusammengefaßt. Neben der Aufschlüsselung der Emissionen auf die verschiedenen Anwendungsbereiche sind die Gesamtemissionen, die Emissionen beim Verbraucher und die Emissionen aus vorgelagerten Prozessen detailliert dargestellt.

2.5 Zusammenfassende Darstellung der energetischen Situation

Der Endenergiebedarf des untersuchten Betriebes betrug im Jahre 1995 rund 14,6 Mio. kWh, wovon etwa 12,2 Mio. kWh auf den Endenergieträger „Erdgas L“ entfielen. Das Gas wird in einem Großwasserraumkessel zur Gesteuerung von Prozeßwärme (Niederdruckdampf) sowie zur Raumwärme- und Brauchwarmwasserversorgung der Produktions- und Bürogebäude eingesetzt. Den größten Anteil am thermischen Energieverbrauch nimmt die Prozeßwärme mit ca. 58,5 % ein. Auch die Raumwärme hat mit 41,4 % einen sehr bedeutenden Anteil am Gasverbrauch. Dagegen ist die Brauchwarmwasserversorgung mit 0,1 % zu vernachlässigen.

Darüber hinaus wurden 1995 rund 2,4 Mio. kWh Strom verbraucht. Der Elektroenergiebedarf wird vollständig aus dem öffentlichen Netz gedeckt. Eine Eigenstromerzeugung wird nicht durchgeführt. Als bedeutendster Verbrauchssektor konnte der Kraftbereich mit einem Anteil von 91,5 % am Stromverbrauch bestimmt werden. Der Anteil der Beleuchtung beträgt 6,4 % und der der Kommunikation 1,6 %. Die elektrische Brauchwarmwassererwärmung und Raumheizung besitzen zusammen mit 0,5 % des Gesamtverbrauches nur einen sehr unbedeutenden Elektroenergiebedarf.

3. Erarbeitung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und rationellen Energienutzung

Basierend auf der in Kapitel 2 durchgeführten Analyse der betrieblichen Energiebereitstellung und -anwendung werden nachfolgend verschiedene Ansätze zur Optimierung der bestehenden Energieversorgung erarbeitet und diskutiert. Die Darstellung einzelner Maßnahmen erfolgt dabei analog zu den vorhergehenden Kapiteln, getrennt für die verschiedenen Anwendungsbereiche.

Konzepte für eine rationellere Energienutzung lassen sich prinzipiell den dargestellten Punkten des nachfolgenden Maßnahmenkatalogs zuordnen (vgl. hierzu [16]):

- Vermeiden unnötigen Energieverbrauchs,
- Senken des derzeitigen Nutzenergiebedarfs,
- Verbesserung der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade bei der Energieversorgung,
- betriebliche Energierückgewinnung, Abwärmenutzung und
- Einsatz innovativer und regenerativer Energien bzw. -energietechniken.

Dabei bewertet die oben genannte Reihenfolge die verschiedenen Maßnahmenbündel insofern, als daß der technische und finanzielle Aufwand einer Maßnahme mit der obigen Reihenfolge anwächst [16]. Im Sinne einer wirtschaftlichen Energieeinsparung bzw. rationellen Energienutzung sollten daher zunächst alle Möglichkeiten zur Vermeidung unnötigen Energieeinsatzes bzw. zur Verminderung des Nutzenergiebedarfs ausgeschöpft werden. Beispiele hierzu sind die Absenkung unnötig hoher Prozeßtemperaturen oder aber die Druckminderung der betrieblichen Druckluftversorgung. Entsprechende Maßnahmen erfordern oftmals keine Investitionen bzw. bauliche Maßnahmen, da allein die Überprüfung der derzeitigen Energienutzung, die Informationen und Sensibilisierung der Mitarbeiter oder aber organisatorische Maßnahmen erhebliche Verbesserungen bewirken können. Der Einsatz innovativer Energietechniken (z.B. Brennstoffzellen) oder aber regenerativer Energien in industriellen Energieversorgungssystemen dagegen stellt i.d.R. nach wie vor die teuerste Form der Energieeinsparung dar. Dennoch sollten jedoch auch solche Ansätze diskutiert werden, da u.U. in einzelnen Betrieben günstige Randbedingungen vorliegen, die einen wirtschaftlichen Einsatz entsprechender Energiesysteme begünstigen können.

Im Rahmen der nachfolgenden Untersuchungen werden zunächst verschiedene Einzelmaßnahmen zur Energieeinsparung in den unterschiedlichen Energieanwendungsbereichen beschrieben sowie technisch, wirtschaftlich und ökonomisch bewertet. Das mögliche Energieeinsparpotential einer Maßnahme sowie die damit verbundene Emissionsminderung relevanter Luftschadstoffe, die auf dem verminderten Einsatz entsprechender Energieträger beruht, werden diskutiert.

Basierend auf einer Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus der Analyse des Ist-Zustandes (derzeitiger Energiebedarf, momentane Schwachstellen oder ggf. möglicher Hindernisse beim Umbau der Energieversorgung), werden einzelne Optimierungsansätze erarbeitet. Hierbei erfolgt zunächst eine allgemeine Darstellung ent-

sprechender technischer Möglichkeiten sowie darauf aufbauend die Auswahl eines konkreten Konzeptes.

Als die wesentlichen Kriterien zur Bewertung einer Investition aus betriebswirtschaftlicher Sicht wurden von den zuständigen Entscheidungsträgern der Unternehmen im Rahmen der Betriebsbegehungen die erforderlichen Gesamtinvestitionen sowie die Dauer der Kapitalbindung, d.h. letztlich der Zeitraum des Kapitalrückflusses, genannt. Häufig erfolgt die Berechnung der Amortisationszeit der Einfachheit halber mit Hilfe eines statistischen Verfahrens. Dabei wird häufig folgende mathematische Formel zugrunde gelegt:

$$n_S = \frac{I_0 - R}{E - (x \cdot I_0)} \quad [a] \quad (3.1)$$

wobei n_S die statische Amortisationszeit, I_0 der Barwert einer Investition in [DM], R den Restwert der Investition nach Ablauf der Nutzungsdauer in [DM] und E die jährliche Minderausgaben durch eine Energieeinsparung der Neuinvestition gegenüber einer vorhandenen Anlage in [DM/a] bezeichnet. Der Faktor $x \cdot I_0$ beschreibt dabei einen jährlichen Kostensatz, der den Kapitaldienst, Personal- und Wartungskosten beschreibt und mit 8 % des Barwertes der Investition angesetzt ist.

Näherungsbetrachtungen sind häufig mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet und können auch unterschiedliche Finanzierungsmodelle (z.B. Eigen- oder Fremdfinanzierung) nicht bewerten, so daß die Wirtschaftlichkeit einer vorgeschlagenen Maßnahme ferner auch anhand einer dynamischen Amortisationszeit bewertet wird, die sich nach Gleichung 3.2 errechnet:

$$n_D = \frac{\ln \left(I / \left(I - \frac{i^* \cdot I_0}{g} \right) \right)}{\ln(1 + i^*)} \quad [a] \quad (3.2)$$

Dabei bezeichnet g die jährlichen Kosteneinsparungen einer Maßnahme in [DM/a], I_0 den Barwert der Investitionskosten in [DM], i^* den inflationsbereinigten Zinssatz und n_D die dynamische Amortisationszeit in [a]. Der inflationsbereinigte Zinssatz i^* bestimmt sich unter Berücksichtigung einer jährlichen Preissteigerungsrate r zu:

$$i^* = \frac{(1+i)}{1+r} - 1 \quad (3.3)$$

Der kalkulatorische Zinsfuß i ist abhängig von den betrieblichen Randbedingungen und unterliegt ferner den Schwankungen des Kapitalmarktes. Die Berechnung der dynamischen Amortisationszeit wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sowohl für eine Eigenfinanzierung als auch für eine Fremdfinanzierung, d.h. bei einer Kapitalaufnahme am Kreditmarkt, bestimmt. Beide Möglichkeiten sind somit Grenzbe-

trachtungen, da i.d.R. eine Mischfinanzierung erfolgt, wobei in diesem Fall die Ergebnisse zwischen den errechneten Ergebnissen der Eigen- bzw. Fremdfinanzierung liegen. Für die vollständige Eigenfinanzierung wird ein Zinssatz von 6 % zugrundegelegt, der dem unteren Zinsniveau einer langfristigen Geldanlage entspricht. Für eine vollständige Fremdfinanzierung wird angenommen, daß ein Kreditzins von rund 10 % bezahlt werden muß. Der Preissteigerungsrate r wird ein Wert von 2 % zugeordnet.

3.1 Prozeßwärme

Mit etwa 58 % des Endenergiebedarfs bzw. einem Endenergieeinsatz von rund 7,1 Mio. kWh/a ist der Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ im betrachteten Unternehmen von zentraler Bedeutung (vgl. Kapitel 2.3.1). 92 % der Prozeßwärme werden dabei der Wellpappenerzeugung zugeführt. Innerhalb der Wellpappenanlage stellen die Heiz- und Zugpartie (3,2 Mio. kWh/a) und das Kaschierwerk (1,4 Mio. kWh/a) die größten Wärmeverbraucher dar. Neben der Wellpappenanlage sind die Energieversorgung und die Leimaufbereitung weitere Prozeßwärmeeanwendungen. Letztere sind gegenüber der Wellpappenerzeugung allerdings nur von untergeordneter Bedeutung.

Die Prozeßwärme wird durch einen gasbefeuerten Dampferzeuger in Form von Niederdrucksattdampf bereitgestellt. Das Kesselsystem ist dabei zur Versorgung des Betriebes mit Raum- und Prozeßwärme ausgelegt und besitzt eine maximale Wärmeleistung, die deutlich über dem Leistungsbedarf der Prozeßwärmeeanwendungen liegt. Aufgrund der im Vergleich zur Prozeßwärmeeanwendung geringen Laufzeit der Raumwärmesysteme und deren i.d.R. unvollständigen Auslastung, arbeitet der Kessel meistens im Teillastbereich, wobei die jahresmittlere Auslastung bei etwa 25 % liegt. Damit verbunden errechnet sich ein Nutzungsgrad des Kesselsystems bei der Wärmebereitstellung von 55 %. Ferner ist eine Speisewasservorwärmung vorgesehen, die mit Frischdampf beheizt wird und zu einem zusätzlichen Energiebedarf führt.

Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs und zur Senkung des derzeitigen Nutzenergiebedarfs

Ansätze zur Reduktion des derzeitigen Wärmebedarfs im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ bestehen im betrachteten Unternehmen in verschiedener Form. Einen Schwerpunkt bilden dabei mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmeverlusten an verschiedenen Stellen der Wellpappenanlage.

Der **Heiz- und Zugpartie** als größtem Wärmeverbraucher kommt die Aufgabe zu, die erzeugte Wellpappe nach dem Kaschierwerk zu trocknen, wobei Feuchtigkeit sowohl im Papier selbst (eingebracht durch die Sprühdampfeinrichtungen der Wellenaggregate) als auch im Leim vorhanden ist. Durch die Trocknung der Wellpappbahnen auf den dampfbeheizten Heizplatten werden erhebliche Wassermengen verdampft. Durch diesen Wasserdampf und eine zusätzliche Wärmeabstrahlung an die Umgebung gehen große Wärmemengen verloren. Eine Verringerung dieser Wärmeverluste wäre beispielsweise durch eine Kapselung der Heiz- und Zugpartie denkbar. Allerdings wird

der überwiegende Teil der Prozeßenergie dem Verdampfungsprozeß zugeführt, so daß eine „Wärmerückgewinnung“ letztlich nur durch Kondensation des Dampfes möglich ist. Eine Kondensation innerhalb eines möglichen Dämmwerkes jedoch behindert die angestrebte Trocknung, so daß eine Wärmedämmung an dieser Stelle nicht sinnvoll erscheint. Technisch aufwendigere Systeme mit Luftumwälzung und Wasserabscheidung könnten zwar zu Einsparungen führen, sind jedoch mit erheblichen Investitionskosten verbunden und daher wirtschaftlich uninteressant.

Im Gegensatz zur Heiz- und Zugpartie dient der Prozeßwärmeeinsatz im **Kaschierwerk** der Vorwärmung der Papierbahnen, um optimale Bedingungen bei der Verleimung des Papiers zu gewährleisten. Die Vorwärmung erfolgt dabei über dampfbeheizte Metallzylinder, deren Manteltemperatur etwa 180 - 190 °C beträgt. Große Teile der Zylinder stehen dabei in direktem Kontakt mit der Raumluft, so daß hier erhebliche Wärmeverluste auftreten. Eine Wärmedämmung des Kaschierwerkes, d.h. die Reduzierung der Wärmeverluste an die Raumluft, stellt damit eine interessante Möglichkeit zur Energieeinsparung dar.

Eine Kapselung ist durch übliche Fertigbauteile, wie sie z.B. zur Kapselung von Wärmetauschern eingesetzt werden, denkbar. Diese Bauteile bestehen i.d.R. aus Leichtmetallfronten und besitzen in ihrem Inneren eine effektive Dämmung (z.B. Glasfaserwolle). Die Bauelemente können problemlos an einem Stützgerüst installiert werden. Eine konkrete Bauplanung ist an dieser Stelle jedoch nicht möglich, so daß die Berechnung dieser Maßnahme nur überschlägig erfolgen kann. Das Kaschierwerk besitzt eine Bauhöhe von etwa 5 m, eine Länge (in Richtung der Transportbänder) von ca. 2 m sowie eine Arbeitsbreite von 2,5 m. Eine entsprechende Kapselung gegen Wärmeverluste, die das Kaschierwerk umgibt, besitzt somit eine Oberfläche von ca. 90 m², wobei verbleibende Öffnungen zur Zufuhr der verschiedenen Papier- und Pappbahnen von ca. 10 m² vorgesehen sind. Zur Bestimmung der möglichen Energieeinsparungen wird ein durchschnittlicher k-Wert der Bauelemente von 0,8 W/m² zugrundegelegt [17]. Für das vorgeschlagene Dämmkonzept des Kaschierwerks errechnen sich somit - bei einer jährlichen Laufzeit von etwa 3.300 h/a - Wärmeverluste von 293.000 kWh/a, die gegenüber den derzeitigen Wärmeverlusten von rund 641.000 kWh/a eine Energieeinsparung von ca. 54 % bedeuten. Anhand des Jahresnutzungsgrades des Kesselsystems errechnet sich ein Gasminderverbrauch von etwa 632.000 kWh/a bzw. etwa 5 % des derzeitigen Gasbezugs des Unternehmens.

Durch eine Kostenabschätzung können spezifische Investitionskosten von rund 300 DM pro m² veranschlagt werden [18], wobei diese lediglich einen Anhaltswert darstellen und durch konkrete Kostenvoranschläge im Rahmen einer geplanten Baumaßnahme zu validieren sind. Die hier geschätzten Baukosten belaufen sich auf rund 27.000 DM, zusätzliche Betriebskosten fallen keine an. Bedingt durch die geringen Investitionskosten der dargestellten Maßnahmen, die beachtlichen Energie- und Kosteneinsparungen (Brennstoffkostensparnis von rund 17.400 DM/a) sowie der Tatsache, daß keinerlei Betriebskosten anfallen, stellt das vorgeschlagene Konzept eine sehr wirtschaftliche Möglichkeit zur Energieeinsparung dar. Die dynamische Amortisationszeit der Investitionen errechnet sich zu 1,64 a im Falle der Eigenfinanzierung bzw. 1,72 a im Falle der vollständigen Fremdfinanzierung. Ferner reduziert ein verringertes

Gasverbrauch auch die bei der Verbrennung freiwerdenden Schadstoffemissionen. So werden beispielsweise jährlich rund 149 t CO₂ eingespart.

Eine weitere Möglichkeit zur Energieeinsparung besteht durch den **Abbau der derzeit vorgesehenen Speisewasservorwärmung**. Diese bedingt einen zusätzlichen Energiebedarf von rund 500.000 kWh/a. Das vom Kondensatsammler kommende Speisewasser wird mit einer Temperatur von ca. 40 °C dem Speisewasserbehälter zugeführt und durch einen dampfbeheizten Wärmetauscher auf 100 °C vorgewärmt. Eine solche Speisewasservorwärmung durch Frischdampf ist u.U. sinnvoll, wenn aus baulichen Gründen hohe Thermospannungen im Kessel zu erwarten sind, oder aber das Kesselsystem bei plötzlichen Lastschwankungen vor Überlastungen geschützt werden soll, indem vorgeheiztes Speisewasser als „Energiereserve“ bei maximaler Kessellast zugeführt wird. Beides ist im betrachteten Unternehmen jedoch nicht der Fall, so daß auf eine entsprechende Speisewasservorwärmung verzichtet werden sollte. Die Aufheizung des Speisewassers erfolgt dann im Kessel selbst, wobei die Wärmeverluste bei der Speicherbeheizung und den entsprechenden Leitungssystemen vermieden werden. Die möglichen Energieeinsparungen dieser Maßnahme lassen sich an dieser Stelle nicht quantifizieren, da die Wärmeverluste in den Leitungssystemen sowie der Wirkungsgrad des Wärmetauschers zur Beheizung des Speisewasserbehälters kaum zu erfassen sind. Da allerdings für die vorgeschlagene Maßnahme keine zusätzlichen Investitionen erforderlich sind und Einsparungen im Bereich der Brennstoffkosten erfolgen, kann eine Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen angenommen werden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Nutzungsgrade bei der Energieversorgung

Die durch den betrieblichen Ablauf und die Dimensionierung des Dampferzeugers bedingte ungünstige Betriebsweise des Kessels führt zu schlechten energetischen Nutzungsgraden. Hauptursache ist dabei die Tatsache, daß der vorhandene Kessel im Jahresmittel nur zu einem Viertel seiner Nennleistung ausgelastet ist. Maßnahmen zur Erhöhung des entsprechenden Anlagennutzungsgrades durch eine verbesserte Kesselauslastung oder aber einen Umbau der Dampferzeugung sind daher vielversprechend. Möglichkeiten hierzu bestehen in vielfältiger Form. Neben dem Ersatz des bestehenden Systems durch zwei Module, wobei ein Kessel die Prozeßwärme und ein zweiter die Raumwärmeversorgung abdeckt, stehen auch alternative Dampferzeuger wie beispielsweise Feststofffeuerungen zur Nutzung der im Betrieb anfallenden Papier- und Pappereststoffe oder aber Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien zur Verfügung. Entsprechende Konzepte werden nachfolgend diskutiert.

Durch den **Ersatz des bestehenden Kesselsystems** durch einen an den Prozeßwärmebedarf angepaßten Dampferzeuger mit einer Feuerungswärmeleistung von rund 1,7 MW bzw. einer Frischdampfleistung von 2,1 t/h (Sattdampf bei 15 bar), der aufgrund seiner deutlich geringeren Leistung allein durch die Wellpappenanlage zu rund 70 % ausgelastet ist, sind Nutzungsgrade bei der Dampfbereitstellung von ca. 85 % zu realisieren [19, 20]. Der vorgeschlagene Kessel besitzt ferner eine Reserveleistung von etwa 0,5 t/h, um u.U. Lastschwankungen kompensieren zu können. Bei der Bereitstellung von ca. 5.200 t Prozeßdampf jährlich (Sattdampf bei 15 bar, ca. 200 °C) spart das

vorgeschlagene Konzept allein durch einen höheren Nutzungsgrad und vergleichbare Randbedingungen etwa 35 % des jährlichen Brennstoffverbrauchs im Anwendungsbe-
reich „Prozeßwärme“, d.h. 2,5 Mio. kWh/a, ein. Der Gesamtgasverbrauch des Unter-
nehmens wird um ca. 20 % auf 9,7 Mio. kWh/a gesenkt.

Mit einem Umbau der Dampferzeugung im Bereich der Prozeßwärmeversorgung in
der oben geschilderten Form sind Investitionen von rund 293.000 DM verbunden [19,
20]. Zusätzliche Betriebskosten sind nicht zu erwarten, da die Kosten des vorhandenen
Kessels in etwa denen eines neuen Systems entsprechen. Aufgrund der Kosteneinspa-
rungen bei der Brennstoffversorgung von etwa 69.500 DM/a amortisiert sich diese In-
vestition im Falle der Eigenfinanzierung nach 4,7 bzw. 5,3 Jahren im Falle der voll-
ständigen Fremdfinanzierung. Durch den reduzierten Gasverbrauch des Unternehmens
können jährlich beispielsweise rund 590 t CO₂ weniger emittiert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Prozeßwärmeversorgung besteht in der **Nutzung der an-
fallenden Produktionsreste**. Jährlich fallen etwa 3.800 - 3.900 t/a Papier- und Papp-
reste an, die prinzipiell zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehen. Ein entspre-
chender feststoffgefeuerter Dampferzeuger im vergleichbaren Leistungsbereich wie
der o.g. Gaskessel erfordert Investitionen von ca. 0,9 Mio DM (Rostfeuerung) bzw. ca.
1,2 Mio. DM (Unterschubfeuerung), die somit etwa um den Faktor 3 - 4 über den Kos-
ten einer vergleichbaren Gasanlage liegen. Ferner sind für den Brennstoff (Papier-
reste) etwa 100 DM/t bzw. 2,75 Pfg./kWh als Kostenpauschale anzusetzen, die für den
Reststoff im Durchschnitt am Reststoffmarkt zu erzielen sind. Da bereits die Brenn-
stoffpreise für den Reststoff etwa auf dem Niveau des Erdgases liegen und - bedingt
durch einen feuerungstechnisch schlechteren Anlagennutzungsgrad der Feststofffeu-
erung - ein höherer Brennstoffeinsatz erforderlich wird, sind keine Kosteneinsparungen
bei der Brennstoffversorgung zu erwarten. Hinzu kommen höhere Betriebskosten der
Feststofffeuerung, so daß sich die betriebliche Reststoffnutzung zur Energieversorgung
insgesamt - unabhängig von der Feuerungsvariante - unwirtschaftlich gestaltet.

Der **Einsatz eines Blockheizkraftwerkes** mit zusatzgefeuerten Abhitzekessel zur
gleichzeitigen Wärme- und Stromversorgung des Betriebes stellt eine weitere interes-
sante Variante zur Energieeinsparung dar. Obwohl die Kraft-Wärme-Kopplung
(KWK) im Betrieb z.T. durchaus höhere Brennstoffeinsätze mit sich bringen kann,
wird der Elektrizitätsbezug reduziert, der den zusätzlichen Brennstoffbedarf i.d.R.
überkompensiert. Neben dem Einsatz verschiedener Motorenvarianten sind ferner auch
mehrere Versorgungskonzepte denkbar. Um einen wirtschaftlichen Betrieb einer
KWK-Anlage zu gewährleisten, sind hohe Jahresnutzungsdauern anzustreben, weshalb
beispielsweise ein Motorheizkraftwerk (MHKW) im Grundlastbetrieb arbeiten und
eventuelle Lastspitzen durch einen zusatzgefeuerten Abhitzekessel versorgt werden
sollten. Eine geeignete Grundlast einer möglichen KWK-Anlage im untersuchten Un-
ternehmen stellt der kontinuierliche Wärmebedarf der Wellpappenanlage dar, zumal
diese nahezu vollständig über die Gesamtbetriebszeit arbeitet.

Im Rahmen der Konzeptionierung einer KWK-Anlage auf der Basis eines MHKW
werden verschiedene Alternativen betrachtet. Neben den technischen Varianten „Gas-
Otto-Motor“ oder „Diesel-Motor“ wird einerseits ein Konzept betrachtet, welches aus-

schließlich zur Versorgung des Prozeßwärmebedarfs ausgelegt ist, sowie ein zweites, das sowohl die erforderliche Prozeßwärme bereitstellt als auch die Raumwärmeversorgung übernehmen kann. Der Unterschied beider Konzeptionen äußert sich dabei in der Dimensionierung des Abhitzekeessels. Zur technischen Auslegung des MHKW-Moduls wird die Betriebszeit der Wellpappenanlage von rund 3.300 h/a und deren mittlerer Dampfbedarf von ca. 1,6 t/h zugrundegelegt. Dieser Leistungsbedarf soll im Normalbetrieb durch das BHKW bereitgestellt werden. Der vorgesehene Abhitzekeessel dient somit lediglich der Reservehaltung sowie der Abdeckung möglicher Lastspitzen. Eine weitere Restriktion bei der Anlagenplanung ist der Stromverbrauch des Unternehmens, wobei die jährliche Stromproduktion der KWK-Anlage den derzeitigen Strombedarf nicht überschreiten soll, um eine Rückspeisung überschüssigen Stroms in das Verbundnetz zu vermeiden, da diese für den Anlagenbetreiber aufgrund geringer Einspeisevergütungen i.d.R. unwirtschaftlich ist [1, 21, 22]. Bei einem jährlichen Strombedarf des Unternehmens von derzeit rund 2,4 Mio. kWh und einer jährlichen Laufzeit der Wellpappenanlage von etwa 3.300 h/a errechnet sich für eine KWK-Anlage, die während dieser Zeit kontinuierlich arbeitet, eine maximale elektrische Leistung von rund 730 kW. Bedingt durch unterschiedliche Stromkennzahlen, bzw. höherer elektrischer Nutzungsgrade der Dieselaggregate, ergeben sich abweichende thermische Leistungen der Gas-Otto- bzw. Diesel-BHKW. Während sich für das Gas-Otto-Aggregat bei einer Stromkennzahl von 0,6 eine thermische Leistung von ca. 1.200 kW sowie eine Feuerungswärmeleistung von rund 2.200 kW errechnet, fallen beide Zahlen beim Dieselaggregat kleiner aus. Die bei einer vorgegebenen elektrischen Leistung von etwa 730 kW verfügbare thermische Leistung des Diesel-BHKW beträgt bei einer üblichen Stromkennzahl von 0,8 - 0,9 rund 880 kW. Die jährliche Wärmelieferung des Dieselmotors fällt demnach geringer aus als bei einem vergleichbaren Gas-Otto-Motor, so daß der Abhitzekeessel häufiger zur Anwendung kommt. Die Wärmeübertragung des BHKW an den Dampfkreislauf erfolgt dabei zweistufig, wobei die im Kühlwasser- und Schmiermittelkreislauf enthaltene Energie der Speisewasservorwärmung und die Abgaswärme des BHKW einem Niedertemperaturabwärmekessel (Arbeitstemperatur etwa 400 °C) direkt der Dampferzeugung zugeführt wird. Der Nutzungsgrad des Abhitzekeessels liegt bei ca. 90 %. Die Feuerungswärmeleistung des Kessels beträgt im Falle der Prozeßwärmeversorgung ca. 1.300 kW und reicht aus, die Wellpappenanlage zu versorgen. In einem zweiten Konzept wird das BHKW mit einem leistungsstärkeren Kessel kombiniert, der auch die Raumwärmeversorgung übernehmen kann. Dieser Kessel besitzt eine Feuerungswärmeleistung von rund 4.400 kW.

Der wirtschaftlichen Bewertung der o.g. Konzepte liegt eine grundlegende Annahme zugrunde. Ein wichtiger Aspekt für die Wirtschaftlichkeit einer Eigenstromerzeugung ist die Vertragsgestaltung mit dem lokalen Energieversorgungsunternehmen (EVU), die letztlich von der Firmenpolitik des Anlagenbetreibers abhängig ist. So kann die Verringerung der mit dem jeweiligen EVU vereinbarten Vertragsleistung oder auch ein „Inselbetrieb“, d.h. die vollständige Abkopplung vom EVU, zu erheblichen Vergünstigungen beim verbleibenden Strombezug führen, ist jedoch - im Falle einer Störung der Eigenstromerzeugung - mit Risiken, wie beispielsweise einem längerfristigen Produktionsausfall, verbunden. Eine unveränderte Vertragsgestaltung würde für den hier betrachteten Betrieb jährliche Kosten für eine Leistungsbereitstellung seitens des EVU von rund 250.000 DM bedeuten, ohne daß ein Strombezug erfolgt, und einen wirt-

schaftlichen Einsatz einer KWK-Anlage mit Sicherheit verhindern. Eine neue Vertragsgestaltung (z.B. das Tarifmodell Z, bei dem zu Lasten eines hohen Arbeitspreises kein Leistungspreis zu entrichten ist) wäre daher notwendig. Dabei sollte generell der Rat fachkompetenter Gutachter (z.B. Interessenverbände oder Beratungsbüros) eingeholt werden, da gerade in der Energiepreisgestaltung durch individuelle Verträge beachtliche Kosteneinsparungen zu realisieren sind. Aufgrund der Vielzahl denkbarer Vertragskonstellationen, die an dieser Stelle nicht zu bewerten sind, wird im Rahmen der nachfolgenden Kostenbetrachtungen der aktuelle Strompreis von etwa 0,21 DM/kWh zugrundegelegt, da anzunehmen ist, daß auch nach dem Einsatz einer KWK-Anlage ein ähnlicher spezifischer Strompreis auch bei eigener Stromerzeugung durch eine Vereinbarung mit dem EVU zu erzielen ist.

Die möglichen Endenergieeinsparungen, die im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung bzw. der Eigenstromerzeugung den vermiedenen Stromzukauf und einen möglicherweise zusätzlichen Brennstoffbedarf berücksichtigen, errechnen sich für die Konzeptvariante I, d.h. im Falle der kombinierten Raum-Prozeßwärmeversorgung durch die KWK-Anlage, zu 4,4 Mio. kWh/a bzw. 4,2 Mio. kWh/a, wobei die erstgenannte Zahl für ein Diesel-BHKW mit gasgefeuerten Abhitzeessel und die zweite Zahl für ein Gas-Otto-BHKW mit gleichem Kessel errechnet wurde. Neben der vollständigen Eigenstromversorgung durch das BHKW (ca. 2,4 Mio. kWh/a) führen vor allem die deutlich höheren Nutzungsgrade der Wärmebereitstellung durch den Abhitzeessel zu einer signifikanten Brennstoffeinsparung gegenüber der bestehenden Wärmeversorgung insbesondere bei der Raumwärmeversorgung. Für die Konzeptvariante II, d.h. der ausschließlichen Prozeßwärme- und Stromgestehung durch die KWK-Anlage, liegen die zu erwartenden Endenergieeinsparungen daher naturgemäß deutlich geringer. Für die Variante Diesel-BHKW und Abhitzeessel errechnet sich ein Einsparpotential von 1,3 Mio. kWh/a, für das Gas-Otto-BHKW mit Abhitzeessel von 2,2 Mio. kWh/a. Obwohl auch diese Konzeptionen eine vollständige Eigenstromversorgung realisieren, reduziert sich das Endenergieeinsparpotential durch einen - gegenüber der heutigen Wärmebereitstellung - erhöhten Brennstoffbedarf der KWK-Anlagen. So ist für das Gas-Otto-BHKW ein zusätzlicher Brennstoffbedarf von rund 200.000 kWh/a zu verzeichnen, während das Dieselaggregat aufgrund deutlich geringerer thermischer Nutzungsgrade sogar einen Brennstoffmehrerbrauch von 1,1 Mio. kWh/a mit sich bringt. Im Sinne einer effektiven Endenergieeinsparung wäre somit die Variante Gas-Otto-BHKW mit zusatzgefeuerten Abhitzeessel zu kombinierten Raum- und Prozeßwärmeversorgung zu bevorzugen.

Aus wirtschaftlichen Erwägungen dagegen ergibt sich ein anderes Bild. So weisen die energetisch günstigen Varianten (Konzept I) deutlich höhere Investitionskosten auf, die letztlich zu längeren Amortisationszeit führen. Mit dem Aufbau eines Gas-Otto-BHKW mit einem 4,4 MW Abhitzeessel sind Investitionen von etwa 2 Mio. DM (Gas-Diesel-BHKW und gleicher Kessel ca. 2,1 Mio. DM) verbunden, während ein kleinerer Kessel zur reinen Prozeßwärmeversorgung etwa 500.000 DM günstiger ist. Dabei ist jedoch zu beachten, daß ein konventioneller Dampfkessel zur Raumwärmeversorgung, wie er zusätzlich installiert werden müßte, wenn die KWK-Anlage nur die Prozeßwärmeversorgung übernimmt, ebenfalls Investitionen zwischen 400.000 - 450.000 DM erfordert, so daß letztlich beide Varianten etwa gleich hohe Investitions-

kosten erfordern. Eine Betrachtung der Prozeßwärmeversorgung zeigt jedoch entsprechende Vorteile für die Konzeptvariante I. In allen Fällen werden durch die vollständige Eigenstromerzeugung Bezugskosten von etwa 500.000 DM/a eingespart. Die Betriebskosten der KWK-Konzepte variieren aufgrund der unterschiedlichen Wartungs- und Nebenkosten - vor allem bedingt durch unterschiedliche Leistungsgrößen der Abhitzeessel - sowie der verschiedenen Brennstoffverbräuche der Anlagen z.T. erheblich. Durch den Einsatz einer KWK-Anlage mit Gas-Otto-BHKW und einem Abhitzeessel (Feuerungswärmeleistung 1,3 MW, Variante II) zur Versorgung der Prozeßwärmenachfrage werden gegenüber der heutigen Versorgung Betriebskosten in Höhe von etwa 30.000 DM/a eingespart, was trotz höherer Wartungs- und Personalkosten durch die signifikanten Einsparungen bei der Brennstoffversorgung zu erklären ist. Alle anderen Konzeptionen weisen gegenüber der derzeitigen Versorgung zusätzliche Betriebskosten zwischen 10.000 und 40.000 DM/a auf, da die Brennstoffeinsparungen (z.T. auch Brennstoffmehrerbräuche) die anfallenden Mehrkosten für Wartung, Instandhaltung und Personal nicht mehr kompensieren können.

Insgesamt liegen die errechneten Amortisationszeiten aller Anlagenkonzepte - selbst für den Fall einer vollständigen Fremdfinanzierung - unterhalb von 5,5 Jahren. Für die Konzeptvariante II errechnen sich für die Alternative „Gas-Otto-BHKW“ Amortisationszeiten von 2,9 Jahren bei Eigenfinanzierung bzw. 3,1 Jahren bei einer Fremdfinanzierung. Für vergleichbare Varianten mit einem „Diesel-BHKW“ ergeben sich Amortisationszeiten von 3,3 bzw. 3,6 Jahren. Für die Konzeptvariante I, d.h. eine kombinierte Raum- und Prozeßwärmeversorgung durch das KWK-System liegen die Amortisationszeiten aufgrund der höheren Gesamtinvestitionen zwischen 4,2 und 5,5 Jahren. Dabei bildet die Variante „Gas-Otto-BHKW und gasgefeuerter Abhitzeessel“ (4.400 kW Feuerungswärmeleistung) die wirtschaftlich interessanteste Alternative.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, daß ein entscheidender Faktor die Stromtarifgestaltung ist. Hier bestehen beachtliche Spielräume, die die Wirtschaftlichkeit der vorgestellten Anlagenkonzepte maßgeblich mitbestimmen. Ferner bestehen ebenfalls deutliche Variationsmöglichkeiten bei den Investitionskosten der verschiedenen Anlagenkomponenten. Die hier zugrunde gelegten Zahlen stellen Richtpreise verschiedener Hersteller dar. Den Einfluß der verschiedenen Berechnungsparameter verdeutlichen entsprechende Sensivitätsuntersuchungen.

Verbunden mit den z.T. erheblichen Endenergieeinsparungen errechnen sich deutliche Möglichkeiten zur Emissionsminderung. Insbesondere die Vermeidung von Stromzukauf zeigt dabei signifikante Veränderungen. So sind bspw. Emissionsminderungen zwischen 1.500 t und 2.200 t jährlich bei CO₂ und entsprechend für die anderen Luftschadstoffe durch die KWK-Systeme denkbar.

Neben einer KWK-Anlage auf der Basis eines BHKW bildet die Kombination **einer Gasturbine mit einem Abhitzeessel** eine weitere Alternative zur betrieblichen Kraft-Wärme-Kopplung. Die Auslegung dieser KWK-Anlage erfolgt analog zur oben beschriebenen Vorgehensweise, d.h. die Stromerzeugung wird durch den betrieblichen Jahresstromverbrauch begrenzt und die Laufzeit der KWK-Anlage entspricht der Betriebszeit der Wellpappenanlage. Ferner werden erneut die Konzeptvariante I (Strom-

erzeugung kombiniert mit der Raum- und Prozeßwärmeversorgung) sowie die Variante II (Stromerzeugung und Prozeßwärmeversorgung) einander gegenübergestellt.

Gasturbinenanlagen kleinerer Leistungen sind im Gegensatz zu Motoranlagen durch deutlich geringere elektrische Nutzungsgrade (ca. 20 %, vgl. [21 - 23]) gekennzeichnet. Dagegen liegen die thermischen Nutzungsgrade mit ca. 60 % deutlich höher. Im Gegensatz zu den oben dargestellten Konzeptionen auf der Basis von Motoranlagen, wo die Wärmeleistung der Motoren durch die Stromlieferung begrenzt wird, wird die Größe der Gasturbine durch ihre Wärmelieferung begrenzt. Bei einer vorgegebenen Wärmeleistung der Turbine von 1.200 kW ist bei dem o.g. Wärmenutzungsgrad von ca. 60 % eine Feuerungswärmeleistung von 2.000 kW erforderlich, wobei das Aggregat eine elektrische Nettoleistung von 420 kW liefert (elektrischer Nutzungsgrad ca. 21 %). Die Abgase der Gasturbine werden analog zu den BHKW-Abgasen in einem nachgeschalteten Abhitzeessel zur Dampferzeugung genutzt. Dessen Auslegung erfolgt analog zur oben geschilderten Vorgehensweise, so daß sich erneut Feuerungswärmeleistungen des Kessels von 4.400 kW im Falle der kombinierten Raum- und Prozeßwärmeversorgung bzw. 1.300 kW für die alleinige Prozeßwärmebereitstellung errechnen.

Durch den Einsatz einer KWK-Anlage, die aus der Kombination einer Gasturbine und einem Abhitzeessel besteht, sind Endenergieeinsparungen von rund 5 Mio. kWh/a (Variante I) bzw. 1,9 Mio. kWh/a (Variante II) zu erreichen. Durch den hohen thermischen Nutzungsgrad der Gasturbine bzw. des Abhitzeessels können im Falle der kombinierten Wärmeversorgung rund 3,6 Mio. kWh/a an Brennstoff gegenüber der derzeitigen Versorgung eingespart werden. Hinzu kommt ein vermiedener Strombezug von ca. 1,4 Mio. kWh/a. Die deutlich geringeren Brennstoffeinsparungen der Variante II von 500.000 kWh/a beziehen sich allein auf den derzeitigen Brennstoffeinsatz zur Prozeßwärmebereitstellung von etwa 7,1 Mio. kWh/a, wobei weitere Einsparungen im Bereich der Raumwärmeversorgung, z.B. durch einen neu zu installierenden Gaskessel, zu erwarten sind. Die Stromeigenerzeugung ist in beiden Fällen identisch.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, daß zumindest Variante II eine ebenfalls ökonomisch interessante Möglichkeit zur Endenergieeinsparung darstellt. Variante I (kombinierte Wärmeerzeugung) erfordert mit Investitionen von rund 2,6 Mio. DM gegenüber etwa 1,2 Mio. DM der Alternative I deutlich höhere Aufwendungen, die auf die Zusatzkosten für den leistungsstärkeren Abhitzeessel zurückzuführen sind. Der zusätzliche Leistungsbedarf des Abhitzeessels fällt dabei besonders ins Gewicht, da er - aufgrund hoher Abgastemperaturen der Gasturbine [1] - als Hochtemperaturkessel ausgelegt werden muß und entsprechende Investitionen von etwa 450 DM/kW_{th} erfordert [19, 24]. Beide KWK-Konzeptionen erzeugen etwa 1,4 Mio. kWh/a, wodurch Kosteneinsparungen in Höhe von etwa 290.000 DM/a (Preisbasis ist der jetzige Strompreis von 20,86 Pfg./kWh) erzielt werden. Unterschiede zeigen sich erneut in den Betriebskosten, die durch den Einsatz der Variante I um etwa 18.000 DM/a und durch Variante II um etwa 1.500 DM gegenüber der derzeitigen Versorgung gesenkt werden können. Die Einsparungen im Bereich der Brennstoffversorgung kompensieren dabei die höheren Betriebskosten. So sind Brennstoffkosteneinsparungen von rund 100.000 DM im Falle der Raum- und Prozeßwärmeversorgung sowie etwa 14.000 DM

für die reine Prozeßwärmeversorgung möglich. Die Amortisation der Investitionen erfolgt für die Variante I nach 4,5 Jahren (Eigenfinanzierung) bzw. 5 Jahren bei einer Fremdfinanzierung sowie nach 7,4 bzw. 9 Jahren für die Variante II. Bedingt durch ein z.T. beachtliches Endenergieeinsparpotential ist auch durch den Einsatz einer Gasturbinenanlage mit Abhitzekegel eine signifikante Emissionsminderung zu erzielen. Am Beispiel des Luftschadstoffs CO₂ sind dabei Einsparungen von 1.100 t/a (Variante II) bzw. 1.800 t/a (Variante I) möglich.

Maßnahmen zur betrieblichen Energierückgewinnung und Abwärmenutzung

Im betrachteten Unternehmen bestehen Potentiale zur betrieblichen Energierückgewinnung und Abwärmenutzung im Bereich der Abluftsysteme sowie der Druckluftzeugung. Die installierten Abluftsysteme (Wellenaggregate, Luftkühlung der Kompressoren) fördern bei Warmluft aus den Produktionshallen bzw. Abwärme der Kompressoren ins Freie. Der Einbau von Luft/Luft-Wärmetauschern wäre somit denkbar und würde eine Energieeinsparung bedeuten.

Luft/Luft-Wärmetauscher benötigen aufgrund der schlechten Wärmeübergänge zwischen der Luft als Wärmeträger und den Tauscherflächen im Vergleich zu Tauschersystemen, in den Flüssigkeiten eingesetzt werden, große Oberflächen. Bedingt durch die geringe Wärmekapazität der Luft ist ferner großer Luftdurchsatz erforderlich, um eine relativ geringe Wärmeleistung zu übertragen. Aufgrund ihrer spezifischen Baugröße (d.h. Tauscherfläche pro Leistungseinheit) erfordern Luft/Luft-Wärmetauscher beachtliche Investitionen [18]. Die Abwärmepemperaturen der nutzbaren Ablufttemperaturen liegen - mit Ausnahme der Kompressorabluft - auf dem Niveau der Raumtemperatur, so daß trotz beachtlicher Volumenströme ein insgesamt nur geringes Abwärmepotential vorliegt. Haupthindernis einer Energierückgewinnung sind jedoch die hohen Investitionskosten, wobei eine Wirtschaftlichkeit entsprechender Maßnahmen z.Zt. nicht gegeben ist. Eine Nutzung dieser Abwärmepotentiale ist daher als ökonomischen Gründen nicht zu empfehlen.

Tabelle 3.1 faßt die Ergebnisse abschließend zusammen. Dabei ist ersichtlich, daß eine Dämmung des Kaschierwerkes die günstigste aller diskutierten Maßnahmen im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ darstellt. Aufgrund geringer Investitionen sowie keinen zusätzlichen Betriebskosten bei gleichzeitig hohen Energieeinsparungen amortisiert sich diese Maßnahme in weniger als zwei Jahren. Im Bereich der Dampferzeugung bietet sich der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes an, wodurch Energieeinsparungen zwischen 2 - 3 Mio. kWh/a und - damit verbunden - eine Verringerung der CO₂-Emissionen von bis zu 2.200 t/a möglich sind. Die vorgestellten Konzepte amortisieren sich dabei selbst im Falle einer vollständigen Fremdfinanzierung nach spätestens 5,5 Jahren.

Tabelle 3.1: Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Prozeßwärmeanwendungen

Maßnahme	Dämmen des Kaschierwerkes	Kesslersatz	Reststoff-nutzung		Kraft-Wärme-Kopplung Abhitzeessel mit		
			Rost-feuerung	Unter-schub-feuerung	Gas-Otto-BHKW	Diesel-BHKW	Gas-turbine
Einsparungen:							
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	632	2.520	7.138**		208-1.800	-1.112*-1.962	520-3.643
Strom [Tsd. kWh/a]:	-	-	-			2.425	1.390
CO ₂ [t/a]:	149	590	1.677		1.788-2.120	1.477-2.200	1.119-1.853
Kosten:							
Investitionen [Tsd. DM]:	27	293	937	1.171	1.303-2.024	1.413-2.133	1.173-2.568
Betrieb [Tsd. DM/a]:	-	-	-400*		-50*-22*	-52*-18*	-82*-13*
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	17	70	-61*		-6*-80*	-24*-43*	14-100
Förderung:	z.Zt. keine						
Dynamische Amortisationszeit [a]:							
Eigenfinanzierung:	1,6	4,7	∞		2,9-4,4	3,3-4,8	4,5-7,4
Fremdfinanzierung:	1,7	5,3	∞		3,1-5,0	3,6-5,5	5,0-9,0
Anmerkung:							
* Negative Zahlen bedeuten Mehrausgaben, Mehrverbräuche etc.							
** Der Einsatz von Reststoffen erfordert keinen Brennstoffbezug							

3.2 Raumwärme

Für die Raumwärmeversorgung des Betriebes werden mit rund 5 Mio. kWh/a ca. 34,7 % des Gesamtenergieverbrauchs eingesetzt (vgl. Kapitel 2.3.2). Da die Raumwärme nahezu ausschließlich mit Hilfe von dampfgespeisten Heizlüftern und eines Wärmetauschers (Bürobereich) bereitgestellt wird, werden - bedingt durch den niedrigen Kesselnutzungsgrad von durchschnittlich 0,55 - ca. 2,79 Mio. kWh Nutzenergie für die Beheizung des Betriebes eingesetzt. Der darüber hinaus benötigte Raumwärmeenergiebedarf wird durch innere Wärmequellen bereitgestellt. Eine Übersicht über die auftretenden Energieströme im Anwendungsbereich „Raumwärme“ zeigt Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Auftretende Energieströme im Anwendungsbereich „Raumwärme“

Energiestrom	jährliche Energiemenge [kWh/a]
Innere Abwärme (z.B. Wellpappenanlage)	3.235.000
Lüftungsverluste	3.661.000
Transmissionswärme	2.362.000
Heizenergieverbrauch	2.788.000
Gesamtwärmebedarf	6.023.000

Durch innere Wärmequellen, insbesondere durch die vorhandenen Elektromotoren und die Wellpappenanlage (Heiz- und Zugpartie bzw. Kaschierwerk) werden während der Heizperiode ca. 3,2 Mio. kWh an Wärmeenergie bereitgestellt. Der daraus resultierende Gesamtenergiebedarf im Anwendungsbereich „Raumwärme“ in Höhe von ca. 6 Mio. kWh/a teilt sich zu ca. 2,4 Mio. kWh auf Transmissions- und zu ca. 3,7 Mio. kWh auf Lüftungsverluste (Luftwechselzahl rund 1,8 h) auf.

Der um den Faktor 3 gegenüber der aktuellen Wärmeschutzverordnung von 1995 höhere Raumwärmeenergiebedarf ergibt sich vor allem durch die hohen Transmissionsverluste durch die Dach-, Boden- und Fensterflächen [7] und die erhöhten Lüftungsverluste bei großem Raumvolumen. Der Ist-Zustand der einzelnen Transmissionsverluste ist in Tabelle 3.3 dargestellt.

Aus Tabelle 3.3 wird deutlich, daß sich aufgrund hoher k-Werte (vgl. Kapitel 2.3.2) - vor allem im Bereich der Fensterfläche - z.T. beachtliche Transmissionsverluste bei einer angenommenen Raumtemperatur von 19 °C bzw. 12 °C (nachts) ergeben. Hierbei ist zu beachten, daß für die Bereiche des Daches und des Fußbodens Transmissionsminderungsfaktoren von 0,5 bzw. 0,8 zur Berücksichtigung einer geringeren Temperaturdifferenz durch Erdwärme bzw. solare Einstrahlung eingerechnet wurden [25].

Tabelle 3.3: Transmissionsverluste durch Gebäudeaußenflächen

Gebäudehüllfläche	Fläche [m ²]	Transmissionsverluste [kWh/a]
Außenwand - Westseite	980	50.000
sonstige Außenwände	4.070	250.000
Dachfläche	12.740	540.000
Fußboden	12.740	375.000
Fensterfläche	3.740	1.144.000

Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs und zur Senkung des derzeitigen Nutzenergiebedarfs

Zur Reduktion des derzeitigen Energiebedarfs für den Anwendungsbereich „Raumwärme“ können im betrachteten Betrieb unterschiedliche Maßnahmen überprüft und hinsichtlich einer - vor allem wirtschaftlichen - Eignung bewertet werden. Dabei werden vor allem Maßnahmen zur Verringerung der Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle und - der durch eine erhöhte Luftwechselzahl von rund 1,8 bedingten - Lüftungsverluste analysiert.

Wärmeschutzmaßnahmen in Form einer nachträglichen **Wärmedämmung** der an die Außenluft grenzenden Flächen der Gebäudehülle sollten möglichst im Rahmen einer Gebäudesanierung vorgesehen werden. Falls eine solche Sanierung, wie im betrachteten Unternehmen, in nächster Zeit nicht vorgesehen ist, sind die Montagearbeiten, wenn möglich z.T. in Eigenarbeit zu leisten, um eine Außenwand- und Dachflächendämmung wirtschaftlicher zu gestalten.

Bei sämtlichen Wärmedämmmaßnahmen wird zwischen einer Außen- und Innendämmung unterschieden. Grundsätzlich sollte eine Außen- einer Innendämmung vorgezogen werden, da Schäden durch kondensierende Luftfeuchtigkeit so eher zu vermeiden sind. Diesbezüglich ist zu beachten, daß der Dampfdiffusionswiderstand der Bauteile von innen nach außen abnehmen muß, damit es zu keiner Behinderung des Dampfstromes kommt, d.h. die Dampfsperre muß immer auf der wärmeren Seite der Wärmedämmung angeordnet werden [26].

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der an die Außenluft grenzenden Gebäudeteile konnten mit Hilfe von Material- und Dickenbestimmungen in der Größenordnung von rund 0,85 - 1,05 W/m²K bzw. zu 5,2 W/m²K bei den einfachverglasten Fenstern bestimmt werden. Der Vergleich zu dem für Neubauten nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 einzuhalten k-Wert von 0,5 W/m²K [27] zeigt, daß durch eine Wärmedämmung der Außenwände und des Dachbereichs - aufgrund des um den Faktor 2 erhöhten Wärmedurchgangskoeffizienten - bzw. durch einen Austausch der Verglasung eine signifikante Reduktion des Raumwärmeenergiebedarfs erzielt werden könnte.

Empfehlenswert zur Dämmung von Außenwänden ist eine sogenannte Thermohaut. Sie wird direkt auf den aufgebesserten alten Putz aufgebracht. Sie besteht in der Regel aus 0,12 - 0,15 m dicken Wärmedämmplatten, welche direkt auf den Putz aufgeschraubt, gedübelt oder geklebt werden. Als Dämmstoffe eignen sich Faserstoffe, wie bspw. Holzfaser-, Kokosfaser- oder Torrfaserstoffe, Schaumstoffe, wie bspw. Polystyrol, Polyetheran oder Schaumglas sowie Verbund- und Korkdämmstoffe. Abschließend ist immer eine sogenannte Vorschutzschale mit integrierter Dampfsperre vorzusehen.

Zur nachträglichen Dachdämmung eignen sich im industriellen Bereich z.B. Steinwollplatten im Großformat (z.B. 2.400 x 1.000 m). Vorteil dieses Großformatdämmstoffes ist die Reduzierung des Fugenanteils um bis zu 50 % und die Eigenschaft, daß der Dämmstoff nicht brennbar sowie thermisch stabil ist. Eignung zur Dachdämmung weisen auch Polystyrol- und Polyurethan-Hartschäume in Plattenformat auf. Diese ver-

fügen über einen Witterungsschutz und sind besonders zur Außendämmung von Flachdächern geeignet [28]. Im Vergleich zur Außendämmung ist für eine Innendämmung (Wand- und Dachbereich) keine Baugenehmigung notwendig. Sie ist häufig zudem kostengünstiger, da sie z.T. in Eigenleistung erbracht werden kann, wobei der Ausbau schrittweise durchgeführt werden kann.

Zur Berechnung der möglichen Energieeinsparungen durch eine Wärmedämmung der an die Außenluft grenzenden Gebäudeflächen wurden die jeweiligen Flächenanteile und deren Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt sowie eine, für die angenommene Heizperiode September - April aus vorhandenen Klimadaten [29] berechneten durchschnittlichen Temperaturdifferenz der Innen- und Außentemperatur von rund 10 K, ermittelt.

Mit der Wahl eines für Wanddämmungen üblichen Dämmstoffes, einer Polystyrol-Verbundplatte der Dicke 0,15 m (Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/mK), läßt sich für die gesamte aus Gasbeton bestehende Außenwand ein neuer Transmissionswärmestrom von rund 45.750 kWh/a berechnen. Gegenüber dem Ist-Zustand bedeutet dies unter Berücksichtigung des Kesselnutzungsgrades von 0,55 eine Endenergieeinsparung in Höhe von ca. 374.000 kWh/a bzw. eine Kostenersparnis in Höhe von rund 10.250 DM/a. Im Bereich der Westwand (gedämmtes Doppeltrapezblech) ergibt sich bei gleicher nachträglicher Wärmedämmung eine Energieeinsparung in Höhe von ca. 10.500 kWh/a, die zu einer Endenergieeinsparung von rund 70.000 kWh/a und einer jährlichen Kostenersparnis von rund 2.000 DM führen würde.

Zur Kostenabschätzung der Außenwanddämmungen können spezifische Investitionskosten in Höhe von 45 DM/m² angenommen werden. Hierbei ist zu beachten, daß für die eigentlichen Dämmplatten je Quadratmeter ein Schichtdickenpreis von rund 1 DM/cm angenommen werden kann, die Kosten für die gewählte Dicke des Dämmstoffes jedoch gegenüber den darüber hinaus anfallenden Kosten für Montagearbeiten bzw. Zubehör unbedeutend ist. Die angenommenen Gesamtinvestitionskosten belaufen sich für die Doppeltrapezblechwand auf ca. 44.000 DM, für die gesamte Gasbetonwand auf ca. 183.000 DM. Werden die Investitionen den o.a. Einsparungen gegenübergestellt zeigt sich, daß Außenwanddämmungen trotz des schlechten Kesselnutzungsgrades aufgrund des sehr geringen Brennstoffpreises wirtschaftlich nicht durchführbar sind. So berechnen sich die dynamischen Amortationszeiten zu rund 58 bzw. 31,3 Jahren im Falle einer Eigenfinanzierung, im Falle einer Fremdfinanzierung ist die Amortisationszeit nicht berechenbar. Erst bei einer angenommenen Eigenmontage der Wärmedämmung und einem durch verminderte Montagekosten anzunehmenden spezifischen Investitionspreis von 20 DM/m² (Materialkosten) berechnen sich die dynamischen Amortationszeiten zu rund 13 und 10 Jahren (Eigenfinanzierung), bzw. 21 und 13 Jahre (Fremdfinanzierung).

Auch wenn eine wirtschaftlich vertretbare Wärmedämmung im industriellen Bereich nicht zu realisieren ist, ist diese aus Sicht der Energie- und Emissionseinsparung durchaus interessant. So sind durch eine Endenergieeinsparung in Höhe von 70.000 kWh/a (Dämmung der Westwand) bzw. 374.000 kWh/a (Dämmung der Gasbetonwand) jährliche Emissionseinsparungen von rund 16 t bzw. 88 t CO₂ erzielbar.

Weitere Kostenabschätzungen zu Wärmedämmmaßnahmen im Bereich des Daches und des Fußbodens bzw. hinsichtlich des Ersatz der vorhandenen Fenster durch Thermo-Doppelverglasung (spez. Investitionskosten 420,00 DM/m²) führen zu ähnlichen, noch ungünstigeren wirtschaftlichen Ergebnissen. Die detaillierten Ergebnisse finden sich in Tabelle 3.4 wieder.

Tabelle 3.4: Übersicht über die Maßnahmen zur Wärmedämmung

Maßnahme:	Außenwand				Dachfläche	Fußboden	Fenster	
	Trapezblech	Trapezblech Eigenarbeit	Gasbeton	Gasbeton Eigenarbeit			Thermoglas	WS-Glas
Einsparungen:								
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	70	70	374	374	777	559	960	1.560
Strom [Tsd. kWh/a]:	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂ [t/a]:	16	16	88	88	183	131	226	367
Kosten:								
Investitionen [Tsd. DM]:	44	20	183	81	637	510	1.569	1.943
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-1,9		-10,3		-21,3	-15,3	-26,3	-42,8
Förderung:	Darlehn: 5,25 %							
Dynamische Amortisationszeit [a]:								
Eigenfinanzierung:	58	13	31	10				
Fremdfinanzierung:	∞	21	∞	13				
Anmerkung:								
Wärmedämmmaßnahmen werden wirtschaftlich nur in Eigenmontage sinnvoll								

Um die in Tabelle 3.2 aufgeführten hohen jährlichen Lüftungsverluste in Höhe von z.Zt. 3.661.000 kWh zu reduzieren, wäre eine weitere denkbare Maßnahme zur Reduktion des Raumwärmeenergiebedarfs die Installation von sogenannten **Luftschleieranlagen** über den 8 Ladebuchten und dem ca. 20 m² großen Tor im Bereich der Palettierung, welches Mitarbeitern zufolge während der Produktion häufig offen steht. Diese Luftschleieranlagen verhindern den Wind- und Kaltlufteneinfall bei häufig geöffneten Toren, so daß auch Störungen der thermischen Behaglichkeit vermieden werden können und der als Daueraufenthaltszone nutzbare Raum z.T. erheblich vergrößert werden kann.

Im Austausch zu den an den Ladebuchten befindlichen Torbeheizungsanlagen, welche erwärmte Umluft zwar von oben nach unten blasen, aufgrund fehlender Spezialdüsen und einer fehlenden Absaugvorrichtung jedoch nur im oberen Torbereich eine Schleierwirkung hervorrufen, ist der Einbau spezieller ausgelegter Luftschleieranlagen mit Absaugkanälen und Abschirmungen, welche durch Ventilatorsäulen realisiert werden, denkbar und hinsichtlich einer wirtschaftlichen Einsetzbarkeit zu überprüfen.

Werden bspw. sowohl das Tor im Bereich der Palettierung (20 m²) als auch die 8 Ladebuchten (je 7,5 m²) mit derartigen Luftschleieranlagen ausgerüstet, ließen sich bei einer durchschnittlichen täglichen Öffnungszeit von jeweils 2 Stunden und einer anhand verfügbarer Klimadaten ermittelten durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von etwa 1 m/s [29] Endenergieeinsparungen in Höhe von 161.000 kWh bzw. 482.000 kWh bestimmen. Die geringe tägliche Öffnungszeit von 2 Stunden berücksichtigt hierbei die Tatsache, daß in der Regel nicht alle Ladebuchten gleichzeitig geöffnet und während des Ladevorganges z.T. durch Lkw's verdeckt sind. Die vorgestellten Beispiele lassen sich analog auf die Tore im Übergangsbereich vom Papierlager zur Wellpappenanlagen und im nördlichen Teil der Westwand beziehen, so daß auch hier Einsparungen in der o.a. Größenordnung zu erwarten sind.

Bei einer installierten Antriebsleistung der angenommenen Luftschleieranlagen von 18,5 bzw. 8 mal 4 kW_{e1} [30] und daraus resultierenden Betriebskosten von rund 1.300 bzw. 2.260 DM/a läßt sich eine jährliche Kostenersparnis in Höhe von 4.400 DM bzw. 13.200 DM berechnen. Demgegenüber sind Investitionskosten von insgesamt rund 26.000 DM bzw. 108.000 DM für die Luftschleieranlagen im Bereich des Tores und der 8 Ladebuchten (Anlage und Montage/Bauarbeiten) zu verzeichnen. Die aus diesen Angaben zu berechnenden dynamischen Amortisationszeiten liegen im Bereich von rund 10 - 12 Jahren und die möglichen jährlichen Emissionsminderungen im Bereich von 34 t CO₂, bzw. 105 t CO₂. Detaillierte Angaben zum Berechnungsgang und zu den resultierenden Kostenersparnissen bzw. Emissionsminderungen sind in Tabelle 3.5 wiedergegeben.

Bei der Berechnung der Kosteneinsparungen bzw. der dynamischen Amortisationszeiten eines Einsatzes von Luftschleieranlagen im Bereich der Tore und der Ladebuchten ist auf die starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der Öffnungszeit der Tore und Buchten hinzuweisen. Würde die tägliche Öffnungszeit zu 1 Stunde bzw. 3 Stunden pro Tag modifiziert werden, berechnen sich bspw. die dynamischen Amortisationszeiten zu 28 und 38 Jahren bzw. zu 6 und 8 Jahren. Hier wird deutlich, daß die täglichen Öffnungszeiten, welche bei der zeitlich begrenzten Datenaufnahme im Sommer nur geschätzt werden konnten, für die Heizperiode im Falle einer evtl. Realisierung der Maßnahme von Betriebspersonal zunächst über einen längeren Zeitraum zu bestimmen ist.

Durch im Vergleich zur Prozeßwärmeanwendungen geringen Laufzeit und die vergleichsweise schlechte Auslastung der Raumwärmesysteme ist der o.a. niedrige durchschnittliche Kesselnutzungsgrad bedingt, der zu unnötig hohen Endenergieverbräuchen im Anwendungsbereich Raumwärme führt. Hier bietet sich als Alternative die Umstellung auf zwei getrennte Dampferzeuger, d.h. **ein Austausch des Kessels** an, so daß der

Dampfkessel im Sommer abgeschaltet wird und lediglich während der Heizperiode bei einer höheren Auslastung und somit bei einem wesentlich erhöhten Kesselnutzungsgrad arbeitet.

Bei einem z.Zt. benötigten Nutzenergiebedarf im Anwendungsbereich „Raumwärme“ (vgl. Tabelle 3.2) ließen sich bei einer angenommenen Kesselnutzungsgradsteigerung von 0,55 auf 0,8 während der Heizperiode rund 1.577.000 kWh_{th} einsparen, wodurch sich eine Kosteneinsparung in Höhe von ca. 43.300 DM/a berechnet. Ausgegangen wird hierbei von einem Dampferzeuger mit einer Leistung von 2,3 MW, welcher bei einer Vollbenutzungsdauer von 1.200 h/a die erforderliche Nutzenergie bereitstellen kann. Zur Kostenabschätzung und Bestimmung der dynamischen Amortisationszeit kann für einen derartigen Dampferzeuger von spezifischen Investitionskosten in Höhe von 175 DM/kWh_{th} ausgegangen werden [19, 20], so daß sich mit der Gesamtsumme der Investitionen von rund 405.000 DM und der o.a. jährlichen Kosteneinsparung eine dynamische Amortisationszeit von ca. 12 Jahren berechnen läßt. Da ein Austausch der Kesselanlage aufgrund der niedrigen durchschnittlichen Auslastung und des dadurch bedingten niedrigen Kesselnutzungsgrad insbesondere im Bereich der Prozeßwärmegestehung sinnvoll ist (vgl. Kapitel 3.1), sollte eine Umstellung auf zwei unterschiedliche Dampferzeuger trotz der hier berechneten - aus betriebswirtschaftlicher Sicht - langen Amortisationszeit in Betracht gezogen werden.

Hinsichtlich der resultierenden Emissionsminderungen läßt sich durch den Einsatz der Kesselanlage im Anwendungsbereich „Raumwärme“ der Schadstoffausstoß um rund 371 t/a CO₂ reduzieren. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 3.5.

Da im betrachteten Unternehmen nahezu keine direkten Schadstoffemissionen in die Umgebungsluft während der Produktion auftreten, welche die Arbeitsbedingungen bspw. durch Geruchsbelästigung stören, könnten die hohen Lüftungsverluste (vgl. Tabelle 3.2) mit geeigneten Maßnahmen reduziert werden, ohne die Arbeitsbedingungen zu verschlechtern. Hierzu bietet sich neben dem Einsatz von Luftschleieranlagen eine **Abdichtung der Fensterrahmen an**.

Wird von einem bisher anzunehmenden Fugendurchlässigkeitsfaktor von 2 für Metallrahmen ausgegangen (vgl. [31]) lassen sich mit einer nachträglichen Fensterfugenabdichtung mit Dichtungsbändern bspw. aus Moosgummi (Fugendurchlässigkeitsfaktor 1,5, vgl. [31]) Lüftungsverlusteinsparungen von rund 400.000 kWh/a, d.h. Endenergieeinsparungen von rund 724.000 kWh berechnen und daraus folgend jährliche Kostenersparnisse in Höhe von ca. 20.000 DM bestimmen.

Zur Bestimmung der dynamischen Amortisationszeit dieser Maßnahme wird von einer Abdichtung der Fensterrahmen in Eigenarbeit ausgegangen, so daß mit spezifischen Investitionskosten von 15 DM/m Fugenlänge gerechnet wird. Es zeigt sich, daß sich mit den getroffenen Annahmen eine dynamische Amortisationszeit von rund 11 Jahren berechnen läßt. Es ist zu berücksichtigen, daß die nachträgliche Abdichtung der Fugen lediglich in Eigenmontage wirtschaftlich sinnvoll ist. Durch die nachträgliche Abdichtung der Fensterrahmen lassen sich neben den um rund 1 % verminderten Lüftungsver-

lusten zudem jährliche Emissionsminderungen von ca. 170 t CO₂ berechnen. Detaillierte Angaben zu den Berechnungen und Ergebnissen finden sich in Tabelle 3.5.

Tabelle 3.5: Übersicht über die Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs im Anwendungsbereich Raumwärme

Maßnahme:	Luftschleieranlage		Kesselaus-tausch	Fenster-verkittung	Temperatur-absenkung
	Tor	Ladebuchten			
Einsparungen:					
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	161	482	1.577	725	1.089
Strom [Tsd. kWh/a]:	-6	-11	-	-	-
CO ₂ [t/a]:	34	105	371	170	256
Kosten:					
Investitionen [Tsd. DM]:	26,1	108,0	405	173	-
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	1,3	2,3	-	-	-
Förderung:	z.Zt. keine	z.Zt. keine	z.Zt. keine	Darlehen: 5,25 %	
Dynamische Amortisationszeit [a]:					
Eigenfinanzierung:	10,4	12,7	11,9	10,8	∞
Fremdfinanzierung:	14,2	19,5	17,5	15,1	∞

Neben den bisher vorgestellten investiven Maßnahmen zur Energieeinsparung im Anwendungsbereich „Raumwärme“ wird nachfolgend auch eine nicht-investive, d.h. organisatorische Maßnahme erwähnt, welche zu durchaus beachtlichen Energieeinsparungen führen kann. Untersucht wurde für den betrachteten Betrieb eine **Temperaturabsenkung** der Raumluft auf durchschnittlich 18 °C. Dazu ist es notwendig die Einstellung der Regeleinrichtung des Thermofühlers im Dachbereich der Palettierung entsprechend zu verstellen. Sinnvoll und für das Unternehmen akzeptabel erscheint diese Maßnahme, wenn die z.Zt. eingestellte Raumtemperatur mit den Temperatur-Richtwerten in Tabelle 3.6 auf der Basis der DIN-Norm 1946, Teil 2 verglichen werden [32].

Tabelle 3.6: Richtwerte für die Raumlufttemperatur [32]

Art der Tätigkeit	Temperatur
Überwiegend sitzende Tätigkeit	19 [°C]
Überwiegend stehende Tätigkeit	17 [°C]
Bei schwerer körperlicher Arbeit	12 [°C]

Da im betrachteten Unternehmen von einer im Bereich der Produktion überwiegend stehenden Tätigkeit auszugehen ist, könnte nach Tabelle 3.6 die durchschnittliche Raumtemperatur von derzeit 19 °C auf 17 °C gesenkt werden. An dieser Stelle wird zunächst von einer Absenkung der mittleren Raumtemperatur um 1 °C ausgegangen, wodurch sowohl die Transmissions- als auch die Lüftungsverluste z.T. deutlich reduziert werden können (vgl. Tabelle 3.7).

Tabelle 3.7: Energieströme und -einsparungen aufgrund einer Raumtemperaturabsenkung auf 18 °C

Energiestrom	Größe [kWh/a]
Transmissionswärmeverlust, neu	2.126.341
Lüftungswärmeverlust, neu	3.298.107
Gesamtwärmeverlust, neu	5.424.447
Gesamtwärmeverlust, alt	6.023.310
Nutzenergieeinsparung	598.863
Endenergieeinsparung	1.088.840

Aus Tabelle 3.7 wird deutlich, daß sich die nicht-investive Maßnahme einer Raumtemperatursenkung um 1 °C auf 18 °C rund 1,1 Mio. kWh Brennstoff einsparen lassen, was zu jährlichen Kostensenkungen in Höhe von rund 30.000 DM führt. Darüber hinaus lassen sich die durch den Brennstoffverbrauch verursachten jährlichen Schadstoffemissionen um rund 256 t CO₂ vermindern. Inwieweit eine solche Raumlufttemperaturabsenkung jedoch im Unternehmen akzeptiert würde, kann nur durch Mitarbeiterbefragungen während der Heizperiode abgeschätzt werden, da durch ungünstige Lüftungsverhältnisse (bspw. durch offene Tore und Ladebuchten einfallende Kaltluft) das Behaglichkeitsgefühl durch eine verminderte Raumlufttemperatur maßgeblich verschlechtert werden kann.

Im Bereich der organisatorischen Maßnahmen sollten darüber hinaus Schulungen durchgeführt werden, um den Mitarbeitern ein gesteigertes Umweltbewußtsein zu vermitteln, welche zu Energieeinsparungen vor allem im Bereich Raumwärme führen können. Durch die Aufklärung des Betriebspersonals über physikalisch-technische Grundkenntnisse kann die wertmäßige Einschätzung der Raumwärme im Vergleich zu anderen Nutzenergiearten verbessert werden, so daß sich bspw. durch einen rationellen Einsatz der Heizlüfter oder durch Schließen von Toren und Fenstern während der Heizperiode Einspareffekte bezüglich des Raumwärmeenergiebedarfs ergeben.

Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme durch innovative Energiesysteme

Zur Senkung des Energiebedarfs im Anwendungsbereich „Raumwärme“ wird über die im vorherigen Abschnitt untersuchten Maßnahmen hinaus der Einsatz innovativer und neuer Energietechniken bewertet. In Kapitel 3.7 wird dabei überprüft, inwieweit einerseits der Betrieb einer **Wärmepumpe** zur gekoppelten Gesteherung der Raumwärme- und Brauchwarmwasserenergie (vgl. Kapitel 3.3) und andererseits der Einsatz einer **200-kW-Brennstoffzelle** wirtschaftlich ist.

3.3 Brauchwarmwasser

Für die Brauchwarmwasserbereitstellung des Unternehmens werden aufgrund des geringen Wasserverbrauchs ca. 12.000 kWh/a Brennstoff und rund 720 kWh/a elektrische Energie benötigt. Der daraus resultierende Anteil am gesamten Energieverbrauch des Unternehmens ist mit 0,06 % unbedeutend. Der größte Warmwasserbedarf besteht im Bereich der Umkleieräume und im Sanitärbereich des Unternehmens. Dort werden die Duschen und andere Warmwasserquellen aus einem im Kesselhaus installierten und über einen inneren Wärmetauscher mit Dampf beheizten 1.500 l-Warmwasserspeicher gespeist. Da mit z.T. erheblichen Verteilungsverlusten (bis zu 60 %) zu rechnen ist [9], soll im Rahmen dieser Untersuchung überprüft werden, inwieweit das Brauchwarmwasser auf andere Weise (evtl. mit Hilfe erneuerbarer Energiequellen) bereitgestellt werden kann.

Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs und zur Senkung des derzeitigen Nutzenergiebedarfs

Zur Reduktion des derzeitigen Energiebedarfs im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ werden für den betrachteten Betrieb unterschiedliche Maßnahmen überprüft und bezüglich einer ökonomischen Eignung bewertet. Dabei wird abgeschätzt, inwieweit der zentrale, dampfbeheizte Wasserspeicher im Kesselhaus durch eine direkte Warmwasserbereitung mit Hilfe von elektrisch betriebenen Durchlauferhitzern oder durch einen im Bereich der Hauptabnehmer installierten Warmwasserspeicher, der von erneuerbaren Energiequellen gespeist wird, wirtschaftlich ersetzt werden kann.

Als erste Alternative zur Brauchwarmwassergesteherung mit Hilfe des dampfgespeisten Speichers wird die direkte Warmwasserbereitung mittels **Durchlauferhitzer** bewertet. Bei einem anzunehmenden Wirkungsgrad von nahezu 100 % [8] wird für den Brauchwarmwasserbedarf im Bereich der Duschen und Umkleieräume ein elektrischer Energiebedarf von rund 4.300 kWh/a für den Betrieb der Durchlauferhitzer benötigt, was zu jährlichen Kosten in Höhe von rund 910 DM führt. Mit Hilfe der elektrisch betriebenen Brauchwarmwasserbereitung lassen sich die durch Speicher- und Verteilungsverluste bedingten rund 7.900 kWh/a an Brennstoff, d.h. ca. 220 DM/a einsparen.

Aus dem Vergleich der jährlichen Einsparungen und der dafür notwendigen Stromkosten zeigt sich, daß die direkte, elektrische Brauchwarmwasserbereitung auch ohne die Berücksichtigung der Investitionskosten in Höhe von 1.800 DM unwirtschaftlich ist. Durch jährliche Mehrkosten in Höhe von rund 690 DM werden zusätzlich höhere CO₂-Emissionen in Höhe von etwa 2 t/a produziert.

Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Brauchwarmwasser durch den Einsatz innovativer und regenerativer Energietechniken

Zur Senkung des Endenergiebedarfs im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ wird über die im vorigen Abschnitt untersuchten Maßnahmen hinaus der Einsatz innovativer und neuer Energietechniken bewertet. In Kapitel 3.7 wird dabei überprüft, inwieweit einerseits der Betrieb einer **Solaranlage** und verschiedener **Wärmepumpen** zur gekoppelten Gesteherung der Raumwärme- und Brauchwarmwasserenergie (vgl. Kapitel 3.3) wirtschaftlich ist.

3.4 Kraft

Der größte Anteil am Strombedarf des untersuchten Betriebes wird zum Antrieb elektrischer Maschinen genutzt. Der derzeitige Energiebedarf entspricht mit ca. 2,2 Mio. kWh/a einem Anteil von ca. 90 % am gesamten Stromverbrauch. In diesem Bereich sind die erzielbaren Einsparungen z.T. beträchtlich. Die Durchführung von Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung setzt allerdings detaillierte Kenntnisse der Einsatzweise, der Auslastung und der Bauart der installierten elektrischen Antriebe voraus. Da betriebliche Messungen im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchführbar waren, können die folgenden Ausführungen nur Hinweise auf die Möglichkeiten zur Minimierung des Antriebsenergieverbrauchs geben (vgl. auch [4, 33, 34]).

Einen wesentlichen Einfluß auf den im praktischen Einsatz erzielbaren Wirkungsgrad und damit auf die Höhe der elektrischen Energieverluste hat die richtige Dimensionierung des Antriebes. Dies wiederum setzt die genaue Kenntnis des vorgesehenen Einsatzzweckes und damit des geforderten Leistungs-, Drehmoment-, und Drehzahlverlaufs voraus. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß ein großer Teil der in der Industrie eingesetzten Antriebe überdimensioniert ist. Als Gründe hierfür sind die Unkenntnis des genauen Lastspiels, ein ausgeprägtes Sicherheitsdenken sowie Fehleinschätzungen der Motoreigenschaften ausschlaggebend [34].

Die Überdimensionierung von Motoren wirkt sich in mehrfacher Hinsicht negativ aus. Zum einen werden die Investitionskosten erhöht, zum anderen werden überdimensionierte Antriebe zwangsläufig im Teillastbereich bei einem schlechteren Wirkungsgrad betrieben. Abbildung 3.1 zeigt den typischen Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades eines Drehstrom-Asynchronmotors in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung.

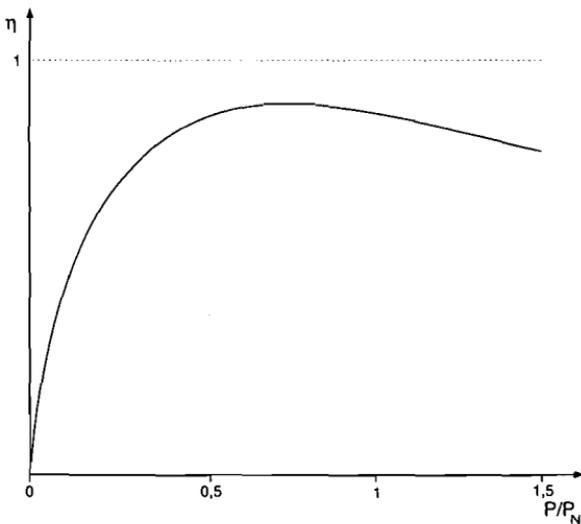


Abb. 3.1: Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors

Der Wirkungsgrad steigt von Null im Leerlauf mit wachsender Last schnell an und ändert sich ab ca. 50 bis 60 % der Nennlast nur noch geringfügig. Das Maximum liegt zwischen 75 und 100 % der Nennleistung. Darüber fällt der Wirkungsgrad langsam wieder ab. Für den Leistungsfaktor ergibt sich ein ähnliches Bild. Es wird deutlich, daß der energetisch günstigste Betriebsbereich zwischen 50 und 100 % der Nennleistung liegt. Wegen des steilen Wirkungsgradabfalls im Bereich geringer Auslastungen bis etwa 50 % können bei der Auswahl von neuen Antrieben (z.B. bei Ersatz eines defekten Motors) signifikante Einsparungen realisiert werden. Dabei ist zu beachten, daß Asynchronmotoren, die die größte Verbreitung in der Industrie besitzen, für kurze Zeit (im Minutenbereich) bis zum 1,5fachen ihrer Nennleistung betrieben werden können. Dabei muß allerdings bei sich regelmäßig wiederholenden Lastspielen auf die Einhaltung der thermischen Maximalbelastung für den Antrieb geachtet werden [4, 34]. Eine Möglichkeit, den spezifischen Stromverbrauch zu verringern, stellt die Auslastung der Produktionsanlagen bis an die Nennkapazität dar, sofern der Produktionsprozeß dies zuläßt. Teillastbetrieb ist wegen der schlechteren Wirkungsgrade zu vermeiden. Häufig wird darüber hinaus der Durchlaufbetrieb für günstiger als der Aussetzbetrieb gehalten, da der Energieaufwand zum Anfahren von Anlagen wegen der hohen Anlaufströme überschätzt wird. Da der Anlaufstrom jedoch nur über sehr kurze Zeit fließt, ist ein Abschalten von Maschinen in Pausenzeiten meistens energetisch äußerst sinnvoll und ohne nachteilige Auswirkungen auf Motorlebensdauer oder Produktionsprozeß. Ausnahmen hiervon bilden allerdings Präzisionsmaschinen, bei denen die Maßänderungen infolge Abkühlung zu Ausschuß führen würde [4]. Diese organisatorischen Maßnahmen bergen häufig größere Energieeinsparpotentiale als technische Verbesserungen, ohne großen Aufwand zu erfordern.

Dagegen läßt sich der **Austausch von überdimensionierten, funktionsfähigen Antrieben** wirtschaftlich in der Regel nur in Fällen extremer Überdimensionierung mit tatsächlichen Belastungen unterhalb von einem Drittel der Nennleistung rechtfertigen, da der Wirkungsgard erst unter einer Auslastung von 50 % deutlich zurückgeht. Tabelle 3.8 gibt einen Überblick über exemplarisch gerechnete Möglichkeiten des Motorersatzes bei drei verschiedenen zweipoligen Drehstrom-Kurzschlußläufermotoren, die jeweils nur zu einem Viertel ihrer Nennleistung ausgelastet sind und gegen Motoren mit der halben Nennleistung getauscht werden.

Tabelle 3.8: Übersicht über exemplarische Motorersatzmaßnahmen

Maßnahme:	45 kW → 22 kW		15 kW → 7,5 kW		2,2 kW → 1,1 kW	
	Neumotor	Gebraucht-motor	Neumotor	Gebraucht-motor	Neumotor	Gebraucht-motor
Einsparungen:						
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	-	-	-	-	-	-
Strom [Tsd. kWh/a]:	0,850	0,850	0,730	0,730	0,200	0,200
CO ₂ [t/a]:	0,61	0,61	0,52	0,52	0,14	0,14
Kosten:						
Investitionen [Tsd. DM]:	2	1,1	0,75	0,55	0,19	0,10
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	0,18		0,15		0,05	
Förderung:	z.Zt. keine					
Dynamische Amortisationszeit [a]:						
Eigenfinanzierung:	15,2	7,2	5,6	4,0	5,1	2,6
Fremdfinanzierung:	28,6	8,8	6,5	4,4	5,9	2,8

Dabei wurde sowohl der Ersatz gegen einen Neumotor als auch gegen einen gebrauchten, überholten Motor betrachtet. Auffällig ist die kürzere Amortisationszeit bei den kleineren Motoren, die zum Beispiel beim Tausch eines 2,2 kW - gegen einen gebrauchten 1,1 kW - Motor bei Eigenfinanzierung nur 2,6 Jahre bzw. bei Fremdfinanzierung 2,8 Jahre beträgt. Der Grund hierfür liegt in dem bei kleinen, unter Teillast betriebenen, Motoren stärkeren Wirkungsgradabfall. Weiter wird deutlich, daß der Tausch gegen überholte Gebrauchtmotoren ökonomisch wesentlich günstiger ist, da deren Investitionskosten im Durchschnitt um 30 bis 40 % günstiger als bei fabriktneuen Motoren sind (vgl. Firmenangaben in [35, 36]). Für die Berechnung notwendige Wirkungsgrade wurden aus der Literatur entnommen (vgl. [32]).

Eine wenig aufwendige Möglichkeit zur Verringerung des Energieverbrauchs bei unterbelasteten Drehstrom-Antrieben, die zudem nahezu ohne investiven Aufwand

durchzuführen ist, stellt die **Umschaltung von Dreieck- auf Sternbetrieb** dar. Voraussetzung ist allerdings, daß die betreffenden Motoren für diese Maßnahme ausgelegt sind. Insbesondere muß die Ständerwicklung für die verkettete Spannung ausgelegt und die Leitungsenden frei zugänglich sein. Soll eine Umschaltung während des Anlaufvorganges oder lastabhängig während der Produktion durchgeführt werden, muß der Prozeß den dabei auftretenden Drehmomentensprung zulassen [34].

In Abbildung 3.2 ist der Wirkungsgradverlauf eines Asynchron-Drehstrommotors über der abgegebenen Leistung bei Stern- und Dreieckschaltung dargestellt. Für den Leistungsfaktor ergeben sich ähnliche Verhältnisse. Das Drehmoment einer Asynchron-Maschine ist im Sternbetrieb bei etwa gleicher Drehzahl um den Faktor 3 kleiner als bei Dreieckschaltung. Der Wirkungsgrad- und Leistungsfaktorverlauf über der Leistung ist daher um den Faktor 3 gestaucht. Es ist sehr deutlich zu erkennen, daß der Wirkungsgrad bei Betrieb in Sternschaltung bis zu einer Motor-Auslastung von ungefähr 40 % erheblich höher als bei Dreieckschaltung ist. Weitere Vorteile ergeben sich durch niedrigere Anlaufströme. Nachteilig ist dagegen die längere Hochlaufzeit. Diese Möglichkeit stellt eine preiswerte Alternative zum Austausch von Motoren dar und sollte bei Maschinen, die ständig mit einer Auslastung von weniger als 40 % ihrer Nennleistung betrieben werden, durchgeführt werden.

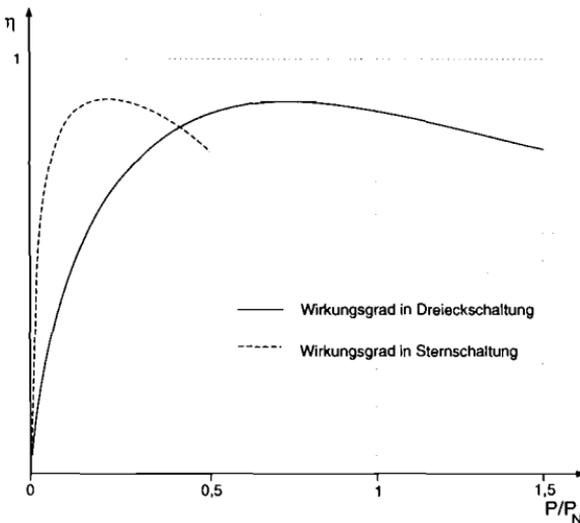


Abb. 3.2: Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors bei Stern- und Dreieckschaltung

Eine **Drehzahlsteuerung** ist sinnvoll bei Antrieben, die mit mehreren veränderlichen Arbeitspunkten betrieben werden. Typische Einsatzbereiche sind hierbei Lüfter-, Pumpen- und Gebläsemotoren, wie z.B. die Heizlüfter in den Produktionshallen, die Kesselpeisewasserpumpen und die Gebläsemotoren der Abfallentsorgung. Diese Maschi-

nen sollten bei wechselnden Anforderungen an die Fördermengen nicht drossel- sondern drehzahlregelt sein. Bei Arbeitsmaschinen, die nur in einem Arbeitspunkt betrieben werden, sind allerdings wegen des Eigenbedarfs der Stellglieder richtig dimensionierte Antriebsmotoren die energetisch und ökonomisch günstigere Lösung.

Der Einsatz eines **Lastmanagementsystems** ist immer dann sinnvoll, wenn zumindest ein Teil der Produktionsanlagen flexibel über den Tagesverlauf verteilt einsetzbar ist. Zweck eines solchen Systems ist, unnötig hohe Lastspitzen durch den gleichzeitigen Einsatz von großen Stromabnehmern - beispielsweise bei parallelen Anlaufvorgängen mehrerer Maschinen - zu vermeiden und damit den kurzfristigen Leistungsbezug zu verringern, der durch den Leistungspreis des Energieversorgungsunternehmens maßgeblichen Einfluß auf den Strompreis besitzt.

Bei Lastmanagementsystemen entscheidet ein beim Endkunden im Hintergrund arbeitender Optimierungsrechner, ob einzelnen Verbrauchern die angeforderte Leistung zugeteilt wird oder ob die entsprechende Anlage kurzfristig abgeschaltet wird. Grundlage für diese Entscheidung ist eine vom Betreiber festzulegende Priorität der einzelnen Verbraucher, die durch Steuerleitungen mit dem System verbunden sind. Je nach Priorität der Maschinen werden diese bei Überschreitung einer vorgegebenen maximalen Leistungsaufnahme des Betriebes einzeln abgeschaltet und sobald wie möglich wieder eingeschaltet. Im untersuchten papierverarbeitenden Unternehmen ist produktionsbedingt jedoch kein zeitlich flexibler Einsatz der entscheidenden Großverbraucher möglich. Insbesondere bei Produktionsbeginn sollen die Maschinen gleichzeitig angefahren werden, so daß hier besonders hohe Spitzenlasten auftreten. Die Installation einer lastoptimierten Steuerung ist daher nicht sinnvoll.

3.5 Beleuchtung

Im Beleuchtungssektor sind verschiedene Rationalisierungsmöglichkeiten vorhanden, die einzeln durchgeführt oder auch miteinander kombiniert werden können. Sinnvollerweise wurde der Betrieb in die folgenden Beleuchtungsbereiche unterteilt:

- Produktionsbereich,
- Nebenräume,
- Papierlager,
- Bürobereich und
- Außenbereich.

Die Bereiche unterscheiden sich sowohl durch die dort eingesetzte Beleuchtungsanlage als auch durch die installierte Leistung und die jährliche Benutzungsdauer. Dabei stellt die jährliche Benutzungsdauer einen durchschnittlichen Wert für den jeweiligen Abschnitt dar. Tabelle 3.9 gibt einen Überblick über die Rahmendaten der einzelnen Bereiche.

Tabelle 3.9: Aufteilung der Beleuchtungsbereiche

Beleuchtungsbereich	jährliche Laufzeit [h/a]	Lampenleistung (inkl. Vorschaltgeräte) [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
Produktionsbereich	2.100	50,3	104.800
Nebenräume	1.700	17,9	30.300
Papierlager	700	12,8	8.900
Bürräume	750	8,1	6.100
Außenbereich	500	3,9	1.900
Gesamt	-	93,0	152.000

Aufgrund der geringen Nutzungszeiten und des relativ niedrigen Energieverbrauches besitzen beleuchtungstechnische Maßnahmen im Papierlager, den Büroräumen und dem Außenbereich nur geringen Einfluß auf die Energie- und Emissionsbilanz des untersuchten Betriebes. Investitionen in diesen Bereichen würden sich nicht oder nur sehr langfristig amortisieren. Da im Papierlager und im Außenbereich bereits Dämmerungsschalter für die Beleuchtungssteuerung eingesetzt werden, sind weitere Maßnahmen hier nicht sinnvoll.

Im folgenden werden verschiedene Möglichkeiten im Produktionsbereich und den Nebenräumen beschrieben, die - miteinander kombiniert - eine Senkung des derzeitigen Strombedarfs um 65 bis 75 % ermöglichen [12, 38, 39]. Diese Zahlen lassen sich anhand von Erfahrungsberichten mit der Erneuerung von Beleuchtungsanlagen verifizieren (vgl. z.B. [34, 40]).

Zunächst können die vorhandenen freistrahrenden oder Wannenleuchten durch moderne **Spiegelrasterleuchten** ersetzt werden. Diese Leuchtenart bewirkt durch das blendfreie Licht eine erhebliche Verbesserung der Beleuchtungsqualität. Darüber hinaus wird der austretende Lichtstrom wesentlich besser auf die Arbeitsplätze konzentriert als bisher. Der dadurch verbesserte Beleuchtungswirkungsgrad läßt eine Reduktion der installierten Beleuchtungsleistung bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke zu. Die Anzahl der Leuchtstoffröhren und damit die Anschlußleistung und der Stromverbrauch kann auf diesem Wege um ca. 20 bis 30 % gesenkt werden [12, 38, 39]. Für die Installation von zweilampigen Spiegelrasterleuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten werden Investitionen von ca. 300 DM je Leuchte notwendig. Bei Einsatz nicht-dimmbarer elektronischer Vorschaltgeräte erhöht sich diese Summe auf ca. 380 DM und bei dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten auf 450 DM je Leuchte [41, 42]. Der Anschluß der neuen Leuchten kann an den bereits bestehenden Zuleitungen erfolgen. Bei modularen Lichtbandsystemen, die aus Tragprofilen und werkzeuglos zu montierenden Leuchteinsätzen bestehen, lassen sich darüber hinaus der Montageaufwand und die Beeinträchtigungen des Produktionsbetriebes minimieren.

Bei der Verwendung **elektronischer Vorschaltgeräte** läßt sich die Anschlußleistung der Leuchten weiter um ca. 20 - 25 % senken, da deren Verlustleistung und damit die Verlustleistung der kompletten Leuchte erheblich geringer ist als bei konventionellen Drosselvorschaltgeräten. Zusätzlich wird die Lichtqualität durch den Hochdruckfrequenzbetrieb gesteigert. Stroboskopeffekte treten nicht mehr auf. Auch die Lampenlebensdauer der Leuchtstoffröhren wird um 50 % von 10.000 auf 15.000 h gesteigert [38]. Dadurch werden nochmals Betriebskosten gegenüber Leuchten mit konventionellen Drosselvorschaltgeräten eingespart. Bei den folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden für den Austausch einer Leuchtstoffröhre 15 DM angesetzt. Darin enthalten sind die Kosten für die neue Röhre, Montagekosten sowie die Entsorgungskosten der Altröhre. Ein weiterer Vorteil ist, daß keine Blindstromkompensation der Leuchten mehr notwendig ist, da der Leistungsfaktor nahe bei eins liegt. Dadurch werden Stromwärmeverluste in den Lampenzuleitungen verringert. Die Investitionskosten für nicht-dimmbare elektronische Vorschaltgeräte betragen etwa 90 DM bei einlampigen und 100 DM bei zweilampigen Leuchten für 58-W-Leuchtstoffröhren [41, 43].

Der Einsatz einer **Tageslichtproportionalsteuerung** ist nur sinnvoll in Räumen, die über Tageslichteinfall verfügen. Da die Produktionshalle mit verglasten Shed-Dächern ausgestattet ist, ist die Installation eines Lichtmanagementsystems zu überprüfen. Voraussetzung für die Lichtsteuerung ist allerdings, daß die Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten zur Helligkeitssteuerung versehen werden. Diese Vorschaltgeräte verfügen über eine genormte 1 - 10 V-Schnittstelle, die mit dem Ausgang des Steuergerätes verbunden wird, und regeln die Beleuchtungsanlage zwischen 1 und 100 % des maximalen Lichtstromes. Verschiedenen Angaben zufolge läßt sich der Strombedarf durch dimmbare elektronische Vorschaltgeräte, kombiniert mit einer Helligkeitssteuerung gegenüber Beleuchtungsanlagen, mit einfachen elektronischen Vorschaltgeräten halbieren [12, 39, 40]. Die Kosten für dimmbare EVG liegen etwa zwischen 170 DM für einlampige und 200 DM für zweilampige Leuchten bei Einsatz von 58-W-Leuchtstoffröhren und damit um den Faktor zwei höher als bei nicht-dimmbaren EVG. Ein Lichtsteuergerät, das die Ansteuerung von 300 Leuchten in drei verschiedenen Gruppen ermöglicht, kostet etwa 1.000 DM [41, 42].

Bei den folgenden Maßnahmenvorschlägen ist zu beachten, daß die bei den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zugrunde gelegten Preise Katalogpreise sind und bei Abnahme von größeren Mengen erhebliche Preisnachlässe ausgehandelt werden können. Je nach Maßnahme verkürzen sich bei Nachlässen von beispielsweise 20 % die Amortisationszeit um 25 bis 35 %, so daß eine Wirtschaftlichkeit erheblich früher als bei den betrachteten Kosten gegeben ist.

Produktionsbereich

Im Produktionsbereich, der nur die Produktionshallen umfaßt, gibt es zunächst die Möglichkeit, die konventionellen Vorschaltgeräte bei allen vorhandenen Leuchten durch **nicht-dimmbare elektronische Vorschaltgeräte** zu ersetzen. Die Anzahl der Leuchtstoffröhren vermindert sich bei dieser Maßnahme nicht. Bei Investitionskosten von ca. 36.500 DM beträgt die mögliche Stromeinsparung 21.000 kW/a. Unter Be-

rücksichtigung weiterer Einsparungen in Höhe von 745 DM/a für die verlängerte Lebensdauer der Leuchtstoffröhren ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 8,5 Jahren bei kompletter Eigenfinanzierung und 10,8 Jahren bei Fremdfinanzierung. Dabei errechnet sich die mögliche Reduktion der CO₂-Emissionen zu 15 t/a.

Soll eine **tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung** eingesetzt werden, müssen die vorhandenen Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten sowie einem tageslichtproportionalen Steuermodul ausgerüstet werden. Hierfür fallen Investitionskosten von 75.000 DM bei einer jährlichen Stromersparnis von 63.000 kWh und Einsparungen der Lampenersatzkosten von 745 DM/a an. In diesem Fall ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 6,2 Jahren bei Eigenfinanzierung und 7,3 Jahren bei Fremdfinanzierung. Der jährliche CO₂-Ausstoß wird durch diese Maßnahme um 45 t/a reduziert.

Werden im gesamten Produktionsbereich **zweilampige Spiegelrasterleuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten** installiert, so läßt sich die Anzahl der Leuchtstoffröhren und damit die Anschlußleistung und der Stromverbrauch um 20 % senken. Bei gleichbleibender Lampenlebensdauer beträgt die Stromeinsparung ca. 21.000 kWh/a und damit die Senkung der CO₂-Emissionen 15 t/a. Durch die hohen Investitionskosten von 87.000 DM beträgt die dynamische Amortisationszeit bei Eigenfinanzierung 39,2 Jahre. Bei Fremdfinanzierung amortisiert sich diese Maßnahme nicht.

Bei Installation von **zweilampigen Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten** können die Anzahl der Leuchtstoffröhren um 20 % und die Verlustleistung der Leuchten ebenfalls um 20 % reduziert werden. Der Strombedarf wird dadurch um 42.000 kWh/a gesenkt. Zusammen mit Lampeneinsparungen in Höhe von 610 DM/a und Investitionskosten von 110.000 DM ergibt sich eine dynamische Amortisationsdauer von 16 Jahren bei Eigenfinanzierung bzw. 33,5 Jahren bei Fremdfinanzierung. Dabei wird der jährliche CO₂-Ausstoß um 30 t/a verringert.

Kürzere Amortisationsdauern können beim Einsatz von **zweilampigen Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten und einer tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung** erzielt werden. Die gesamten jährlichen Stromeinsparungen betragen in diesem Fall 74.000 kWh, die Einsparungen der Lampenersatzkosten liegen bei 610 DM/a. Durch Reduzierung der Anzahl der Leuchtstoffröhren müssen nur noch 580 Lampen mit jeweils 58 W installiert werden. Werden zweilampige Leuchten montiert, betragen die Investitionskosten inklusive elektronischer Vorschaltgeräte und Steuermodulen insgesamt 133.000 DM. Bei kompletter Eigenfinanzierung amortisiert sich diese Möglichkeit nach 10,2 Jahren, bei Fremdfinanzierung dagegen erst nach 13,9 Jahren. Bei Durchführung dieser Maßnahme werden die jährlichen CO₂-Emissionen um 53 t/a reduziert.

Nebenräume

Der Bereich der Nebenräume umfaßt die Werkstätten, Kleinläger und die Mustermacherei sowie die Einrichtungen zur Ver- und Entsorgung des Betriebes (Kesselraum,

Kompressoranlage, Presse, Wasser- und Leimaufbereitung). Da die Benutzungsdauer in diesem Sektor geringer als im Produktionsbereich ist (vgl. Tabelle 3.9), amortisieren sich Investitionen auch erst nach einem längeren Zeitraum. Da der Tageslichteinfall in der Regel nur gering ist, ist der Einsatz einer tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung wenig sinnvoll. Auf die Betrachtung einer derartigen Maßnahme wurde daher verzichtet. Bei der Installation von Spiegelrasterleuchten in den Nebenräumen ist die Amortisationszeit durch die geringere Nutzungsdauer noch länger als im Produktionssektor. Diese Maßnahme wird daher nicht weiter betrachtet.

Die Installation von elektrischen Vorschaltgeräten in den vorhandenen Leuchten dieses Bereiches würde Investitionskosten von 14.000 DM verursachen. Die erzielbare Stromersparnis beträgt bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 1.700 h/a ca. 6.850 kWh. Weiterhin werden Lampenersatzkosten jährlich um 220 DM reduziert. Mit diesen zugrundegelegten Daten errechnet sich eine dynamische Amortisationsdauer von 10,5 Jahren bei vollständiger Eigenfinanzierung bzw. 14,5 Jahren bei kompletter Fremdfinanzierung. Diese Maßnahme verringert den jährlichen CO₂-Ausstoß des Betriebes um 5 t. Tabelle 3.10 gibt einen Überblick über die behandelten Maßnahmen.

Tabelle 3.10: Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtung

Maßnahme:	Produktionsbereich					Nebenräume
	EVG	EVG, LST	SRL, KVG	SRL, EVG	SRL, EVG, LST	EVG
Einsparungen:						
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	-	-	-	-	-	-
Strom [Tsd. kWh/a]:	21	63	21	42	74	6,9
Zusätzliche Einsparungen [Tsd. DM/a]	0,745	0,745	-	0,610	0,610	0,220
CO ₂ [t/a]:	15	45	15	30	53	5
Kosten:						
Investitionen [Tsd. DM]:	36,5	75	87	110	133	14
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	4,4	13,1	4,4	8,8	15,4	1,4
Förderung:	z.Zt. keine					
Dynamische Amortisationszeit [a]:						
Eigenfinanzierung:	8,5	6,2	39,2	16,0	10,2	10,5
Fremdfinanzierung:	10,8	7,3	-	33,5	13,9	14,5
Anmerkung: EVG: Elektronische Vorschaltgeräte, KVG: Konventionelle Vorschaltgeräte, SRL: Spiegelrasterleuchten, LST: Lichtsteuerung						

3.6 Kommunikation

Im Bereich der Kommunikationselektronik sind keinerlei sinnvolle Einsparpotentiale vorhanden. Alle Rechner und Drucker sind mit einer Stromsparfunktion ausgestattet, die die Geräte nach einer bestimmten Zeit, in der keine Eingaben erfolgt sind, in einen Stromsparmodus versetzt. Als weitere Alternative bliebe nur die Abschaltung in Arbeitspausen, die jedoch im Hinblick auf den Netzwerkbetrieb mit Problemen verbunden ist.

3.7 Innovative Energiesysteme, Einsatz erneuerbarer Energien

Zur Senkung des Endenergiebedarfs zur Wärmebereitstellung in den Anwendungsbereichen „Raumwärme“ und „Brauchwarmwasser“ wird neben den in Kapitel 3.2 bzw. 3.3 untersuchten Maßnahmen auch der Einsatz innovativer und neuer Energietechniken bewertet. Dazu wird überprüft, inwieweit einerseits der Betrieb einer **Wärmepumpe** zur gekoppelten Gesteuerung der Raumwärme- und Brauchwarmwasserenergie (vgl. Kapitel 3.3) und der Einsatz einer **200-kW-Brennstoffzelle** zur gekoppelten Gesteuerung von Strom und Brauchwarmwasser wirtschaftlich ist. Im Bereich der erneuerbaren Energien werden darüber hinaus auch die Möglichkeiten zum Einsatz einer **Windkraftanlage**, **Photovoltaiksystemen** und **solarthermischen Kollektoren** betrachtet.

Möglichkeiten zum Einsatz von Wärmepumpensystemen

Für die gekoppelte Raumwärme- und Brauchwarmwassergesteuerung wurde die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes einerseits einer im bivalenten Mischbetrieb betriebenen - 30 kW-**Elektrowärmepumpe** mit den genutzten Wärmequellen Außenluft und Erdreich und andererseits einer 30 kW-**Absorptionswärmepumpe** mit der Wärmequelle Außenluft, welche zur Beheizung des Austreibers Erdgas einsetzt, untersucht. Hierbei wurde angenommen, daß die Wärmepumpe einen Deckungsgrad von 84 % besitzen [44] und deren Nutzenergie zu 95 % im Anwendungsbereich „Raumwärme“ und zu 5 % im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ genutzt wird. Im folgenden werden die entstehenden Kosten- und Einsparungspotentiale aufgrund der bislang z.T. unterschiedlichen Nutzenergiebereitstellung in den angesprochenen Anwendungsbereichen getrennt voneinander betrachtet.

Bei Leistungszahlen von 2,6 und 3,2 [44] für Elektrowärmepumpen mit den Wärmequellen Außenluft und Erdreich bzw. einer Heizzahl von 1,2 für die untersuchte Absorptionswärmepumpe lassen sich Endenergieeinsparungen im Anwendungsbereich „Raumwärme“ in Höhe von rund 111.000 (119.000) kWh/a im Fall der Elektrowärmepumpe zur Wärmenutzung der Außenluft (des Erdreichs), bzw. rund 75.000 kWh für den Fall der Absorptionswärmepumpe berechnen. Den daraus resultierenden Kostensparnissen in Höhen von rund 4.000 DM/a bzw. 2.200 DM/a stehen neben den anteiligen Investitionskosten in Höhe von ca. 54.000 DM (Elektrowärmepumpe - Luft), 120.000 DM Elektrowärmepumpe - Erdreich) bzw. 27.000 DM (Absorptionswärmepumpe) auch die fixen und variablen Betriebskosten entgegen. Diese belaufen sich auf

ca. 8.400 DM/a (7.000 DM/a) bei der Elektrowärmepumpe zur Nutzung der Wärmequelle Luft (Erdreich), bzw. auf rund 1.000 DM/a bei der Absorptionswärmepumpe.

Für einen Einsatz innovativer Energietechniken läßt sich vom Bundesamt für Wirtschaft für den Einsatz einer Wärmepumpenanlage eine Förderung von 300 DM/kW (maximal jedoch 20.000 DM) beantragen. Trotz dieser für den Anwendungsbereich „Raumwärme“ anteiligen Förderungen in Höhe von jeweils 8.550 DM läßt sich lediglich beim Einsatz einer Absorptionswärmepumpe zur Nutzung der Abwärme eine dynamische Amortisationszeit von rund 27 Jahren bestimmen. Bei den betrachteten Elektrowärmepumpenanlagen lassen sich keine dynamischen Amortisationszeiten bestimmen, da die jährlichen Betriebskosten höher sind als die jährlichen Kostenersparnisse. Abgesehen von den wirtschaftlichen Aspekten lassen sich durch den Einsatz einer Wärmepumpenanlage Emissionsminderungen von ca. 10 bzw. ca. 15 t/a CO₂ im Falle der Elektrowärmepumpen bzw. 16 t/a CO₂ bei dem Konzept der Absorptionswärmepumpe bestimmen.

Der Einsatz der betrachteten Wärmepumpenkonzepte in Kombination mit der o.a. Anwendung zur Substitution von Raumwärmeenergie bietet eine weitere Möglichkeit zur Brauchwarmwassergestehung. Der Einsatz der o.a. Wärmepumpenkonzepte führt anteilig im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ zu Endenergieeinsparungen in Höhe von rund 5.800 (6.200) kWh/a bei den Elektrowärmepumpen zur Wärmenutzung der Außenluft (der Erdreichs) bzw. 4.000 kWh bei der Absorptionswärmepumpe.

Demgegenüber stehen spezifische Investitionskosten in Höhe von 1.900 DM/kW (4.200 DM/kW) für Elektrowärmepumpen mit der Wärmequelle Luft (Erdreich) bzw. 950 DM/kW für Absorptionswärmepumpen zur Abwärmenutzung [44], welche anteilig in die Wirtschaftlichkeitsrechnung eingehen. Bei gesamten, anteiligen Betriebskosten in Höhe von rund 440 DM/a (370 DM/a) bei den Elektrowärmepumpen bzw. ca. 50 DM/a bei der Absorptionswärmepumpen [44] lassen sich bei den Elektrowärmepumpen trotz der anteiligen Förderung in Höhe von 450 DM keine dynamischen Amortisationszeiten bestimmen, da die jährlichen anteiligen Betriebskosten höher sind als die jährlichen Kostenersparnisse. Demgegenüber liegt die dynamische Amortisationszeit bei der Absorptionswärmepumpe bei rund 27 Jahren bei Eigenfinanzierung, während sich das Konzept bei Fremdfinanzierung nicht mehr amortisiert. Bei den im industriellen Bereich üblichen kurzen Amortisationszeiten von wenigen Jahren ist der Einsatz einer Absorptionswärmepumpe allein für die Brauchwarmwassergestehung somit nicht wirtschaftlich.

Hinsichtlich der Emissionseinsparungen aufgrund des Betriebes der verschiedenen Wärmepumpenkonzepte für den Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ zeigt sich, daß die Nutzung einer Elektrowärmepumpe mit der Wärmequelle Luft (Erdreich) zu rund 0,5 t/a (0,8 t/a) anfallenden Abwärme zu rund 0,8 t/a CO₂-Emissionsminderungen führen würde.

Einsatzmöglichkeiten von Brennstoffzellen

Der Einsatz einer **200-kW-PAFC Brennstoffzelle** zur Substitution sowohl thermischer als auch elektrischer Endenergie wird ebenfalls hinsichtlich eines wirtschaftlichen Einsatzes im betrachteten Unternehmen überprüft. Diese Brennstoffzelle ist die z.Zt. einzige auf dem Markt serienmäßig verfügbare Brennstoffzelle und arbeitet bei einer Betriebstemperatur von 160 - 210 °C, d.h. noch relativ niedrigen Arbeitstemperaturen. Bei Investitionskosten in Höhe von 4.500 DM/kW_{el} [45], einen angenommenen Dauerbetrieb der Brennstoffzellenanlage während der Betriebszeit und einem sonstigen „Hot-Hold-Zustand“ lassen sich mit angenommenen Wirkungsgraden von 40 % elektrisch und 44 % thermisch [45] insgesamt 759.000 kW_{el} und 834.900 kW_{th} in Form eines geführten Wärmestroms der Temperatur 80 °C bereitstellen.

Da im betrachteten Unternehmen jedoch auf diesem Temperaturniveau lediglich rund 368.000 kWh_{th} im Bereich „Raumwärme“, „Brauchwarmwasser“ und zur Speisewasservorwärmung genutzt werden können, ist für rund 470.000 kWh/a keine Nutzungsmöglichkeit vorhanden, d.h. eine optimale Nutzung der Brennstoffzellenanlage ist nicht möglich. Neben den Investitionskosten in Höhe von 900.000 DM sind für den Betrieb der Brennstoffzellenanlage ca. 34.000 DM/a für den Brennstoff Erdgas notwendig. Obwohl durch den theoretischen Einsatz einer Brennstoffzellenanlage rund 470.000 kWh mehr Endenergie einzusetzen sind, amortisiert sich eine derartige Investition innerhalb von rund 8,7 Jahren bei Eigen- und rund 11,1 Jahren bei Fremdfinanzierung, da ca. 760.000 kWh elektrischer Energie zu spezifischen Preisen von z.Zt. rund 0,21 DM/kWh durch rund 1,23 Mio. kWh thermischer Energie zum Preis von z.Zt. 0,03 DM/kWh substituiert werden kann.

Aufgrund der Substitution von Strom durch Erdgas reduzieren sich trotz steigenden Endenergieeinsatzes die Schadstoffemissionen, welche durch den Betrieb einer Brennstoffzelle verursacht werden. Es käme zu Schadstoffreduktionen in Höhe von rund 255 t/a CO₂.

Einsatzmöglichkeiten der Solarthermie

Alternativ zur Brauchwarmwassergestehung mit Hilfe von Dampf wird im folgenden die Beheizung des Warmwasserkessels mit Hilfe einer Sonnenkollektoranlage untersucht und bewertet. Aufgrund des vergleichsweise geringen Bedarfs an Antriebsenergie lassen sich mit Hilfe einer entsprechend dimensionierten **Sonnenkollektoranlage** der Endenergiebedarf zur Gesteherung des Brauchwarmwassers nahezu vollständig einsparen. Inwieweit diese Einsparung aufgrund der notwendigen Investitionen jedoch wirtschaftlich ist, wird im folgenden untersucht.

Bei der Auslegung einer für das Unternehmen entsprechend dimensionierten Sonnenkollektoranlage wurde ein emaillierter Stahlspeicher mit 700 l Fassungsvermögen (doppelter Tagesverbrauch) und ein Flachkollektor mit einer Absorberfläche von 12 m² ausgewählt, um einen Deckungsgrad von 60 % zu gewährleisten [46]. Es ergeben sich Investitions- und Montagekosten in Höhe von rund 16.000 DM [47] bei geschätzten

Betriebs- und Wartungskosten in Höhe von 150 DM/a [44]. Mit dieser Kollektoranlage lassen sich jährlich Solarenergieerträge in Höhe von rund 3.600 kWh erzielen, was zur Substitution von ca. 6.550 kWh Brennstoff führen würden.

Trotz einer öffentlichen Förderung der Solarkollektoranlage mit insgesamt 4.200 DM durch das Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen [48] sind die Investitionskosten gegenüber der jährlichen Kostenersparnis so hoch, daß sich keine dynamische Amortisationszeit bestimmen läßt. Durch die alternative Brauchwarmwassererwärmung mittels einer Solarkollektoranlage ließen sich jedoch Emissionsminderungen in Höhe von rund 1,2 t/a CO₂ erzielen.

Tabelle 3.11: Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Energiesysteme im Anwendungsbereich Raumwärme

Maßnahme:	Elektrowärmepumpe		Absorptions- wärmepumpe- Außenluft	200 kW- Brennstoffzelle
	Außenluft	Erdreich		
Einsparungen:				
Brennstoff [Tsd. kWh/a]	145	145	79	-1.299
Strom [Tsd. kWh/a]	-34	-27	-3,6	759
CO ₂ [t/a]:	10	15	16	255
Kosten:				
Investitionen [Tsd. DM]:	54	120	27	900
Betrieb [Tsd. DM/a]:	1,3	1,5	0,3	-
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	7,1	5,5	0,8	33,7
anteilige Förderung:	8.550 DM			
Dynamische Amortisationszeit [a]:				
Eigenfinanzierung:	∞	∞	27	8,7
Fremdfinanzierung:	∞	∞	∞	11,1
Anmerkung:				
Bei den Wärmepumpenkonzepten wurden aufgrund der gemeinsamen Nutzung zur Brauchwarmwassergestehung anteilige Investitionen, Förderungen und Einsparungen angenommen.				

Tabelle 3.12: Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Energiesysteme im Anwendungsbereich Brauchwarmwassererwärmung

Maßnahme:	Sonnenkollektor-anlage	Wärmepumpe, elektrisch Luft	Wärmepumpe, elektrisch Erdreich	Absorptions-Wärmepumpe Außenluft
Einsparungen:				
Brennstoff [Tsd. kWh/a]	6,5	7,6	7,6	4,2
Strom [Tsd. kWh/a]	-0,5	-1,8	-1,4	-0,2
CO ₂ [t/a]:	1,2	0,5	0,8	0,8
Kosten:				
Investitionen [Tsd. DM]:	16,0	2,9	6,3	1,4
Betrieb [Tsd. DM/a]:	-	0,07	0,08	0,02
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	0,1	0,38	0,29	0,04
Förderung:	4.200	450		
Dynamische Amortisationszeit [a]:				
Eigenfinanzierung:	∞	∞	∞	27
Fremdfinanzierung:	∞	∞	∞	∞
Anmerkung:				
Bei den Wärmepumpenkonzepten wurden aufgrund der gemeinsamen Nutzung zur Raumwärmege- stehung anteilige Kosten, Förderungen und Einsparungen angenommen.				

Einsatzmöglichkeiten von Windkraftanlagen

Der Einsatz von Windenergiekonvertern zur Stromgestehung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, nicht zuletzt deshalb, da staatliche Fördermaßnahmen und eine Einspeisevergütung nach dem Stromeinspeisegesetz die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beim Einsatz einer Windkraftanlage deutlich verbessert haben. Der Einsatz einer entsprechenden Anlage zur Eigenstromerzeugung kann u.U. auch für das hier betrachtete Unternehmen interessant sein, so daß eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt wird, um entsprechende Möglichkeiten bei den vorliegenden betrieblichen Randbedingungen ökonomisch zu bewerten.

Die Wirtschaftlichkeit einer Windkraftanlage hängt neben den Investitions- und Betriebskosten entscheidend von den meteorologischen Bedingungen des Standortes, wie der jahresmittleren Windgeschwindigkeit und den Benutzungsstunden, ab. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit beträgt am Standort des Unternehmens etwa 3,5 m/s [1, 7]. Exemplarisch werden drei Anlagenkonzepte, ein 100 kW_{e1}-, ein 550 kW_{e1}-, und ein 800 kW_{e1}-Konverter betrachtet, die für eine entsprechende Windgeschwindigkeit geeignet sind. Bei einer 100 kW_{e1}-Anlage ist mit einer jährlichen Vollaststundenzahl

von etwa 950 h/a zu rechnen, so daß ein jährlicher Stromertrag von 95.000 kWh/a zu erwarten ist [1]. Im Falle der 550 kW_{el}-Anlage beträgt die Zahl der jährlichen Vollastbetriebsstunden rund 910 h/a, so daß die Jahresstromproduktion mit ca. 500.000 kWh/a veranschlagt werden kann [1]. Für die mit einer Leistung von 800 kW_{el} größte Anlage können etwa 900 Vollaststunden jährlich angenommen werden, was einer Stromlieferung von etwa 727.000 kWh/a entspricht. Unter Einbindung des derzeitigen Strompreises, der mit fast 0,21 DM/kWh über der gesetzlich regelten Einspeisevergütung für Strom aus Windkraftanlagen liegt, errechnen sich jährliche Einsparungen zwischen 19.800 DM/a (100 kW_{el}-Anlage) und ca. 152.000 DM/a im Falle der 800 kW_{el}-Anlage.

Den o.g. Kosteneinsparungen stehen die erforderlichen Investitionen und Betriebskosten gegenüber. Die spezifischen Investitionskosten des Konverters liegen zwischen ca. 2.500 - 4.000 DM/kW_{el} (100 kW_{el}) und etwa 1.500 - 3.000 DM/kW_{el} (800 kW_{el}) [1]. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird dabei mit mittleren Investitionskosten von 3.250 DM/kW_{el} für eine 100 kW_{el}-Anlage und jeweils etwa 2.000 DM/kW_{el} für einen 550 bzw. 800 kW_{el}-Konverter gerechnet, so daß sich die Gesamtinvestitionen zum Aufbau der Anlagen zwischen 325.000 DM für die 100 kW_{el}-Variante und 1,6 Mio. DM für die 800 kW_{el}-Variante errechnen. Die jährlichen Betriebskosten einer Windkraftanlage liegen zwischen 2 - 3 % der Investitionskosten, wobei hier erneut ein mittlerer Wert von 2,5 % angesetzt wird [1]. Durch einen Vergleich der verbleibenden Kosteneinsparungen nach Abzug der Betriebskosten und den erforderlichen Investitionen wird deutlich, daß allein die statischen Kapitalrückflußzeiten zwischen 15 Jahren bzw. 50 Jahren liegen. Die dynamischen Amortisationszeiten, d.h. der Kapitalrückfluß unter Berücksichtigung des Kapitaldienstes, führt dazu, daß sich der Aufbau der Windkraftkonverter nicht mehr amortisiert. Abhilfe könnten z.B. Investitionskostenzuschüsse schaffen, wobei jedoch z.Zt. keine Förderprogramme zum Aufbau von Windkraftanlagen bekannt sind. Die Installation einer Windkraftanlage kann dem Unternehmen daher z.Zt. nicht empfohlen werden.

Einsatzmöglichkeiten der Photovoltaik

Neben dem Aufbau von Windkonvertern besteht durch die Installation netzgekoppelter Photovoltaikanlagen eine weitere Möglichkeit zur regenerativen Stromgestehung. Das betrachtete Unternehmen bietet hierzu besonders günstige Voraussetzungen, da rund 12.700 m² nach Süden ausgerichtete und um etwa 25 ° geneigte Dachflächen zur Verfügung stehen, die einen hohen Globalstrahlungseintrag von etwa 1.060 kWh/a pro m² Kollektorfläche erwarten lassen. Der elektrische Systemwirkungsgrad einer dezentralen Kollektoranlage (polykristallines Material) beträgt dabei etwa 7,5 % (vgl. [7]), so daß die jährliche Stromproduktion von ca. 80 kWh_{el} pro m² Kollektorfläche beträgt.

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage wird nachfolgend am Beispiel einer Anlage mit 100 m²-Kollektorfläche, d.h. etwa 10 kW_{el}-Peakleistung, diskutiert. Die spezifischen Investitionen eines PV-Moduls variieren zwischen ca. 17.500 DM/kW_p - 21.000 DM/kW_p [1], wobei mit einem mittleren Preis von 19.600 DM/kW_p gerechnet wird. Für die beispielhaft diskutierte Anlage mit einer Kollektorfläche von 100 m² er-

rechnen sich somit Investitionskosten von etwa 196.000 DM. Ein Investitionskostenzuschuß bis zu 70.000 DM ist vom Bundesamt für Wirtschaft (BAW) zu erhalten (vgl. [48]), die in die Berechnungen eingebunden werden. Die jährlichen Betriebskosten der Anlage betragen ca. 0,5 % der Investitionskosten jährlich, d.h. ca. 1.000 DM pro Jahr. Kosteneinsparungen errechnen sich durch einen geringeren Strombezug von ca. 8.000 kWh/a zu ca. 1.700 DM/a. Auch im Falle der Photovoltaik stehen geringe Kosteneinsparungen (ca. 700 DM/a) hohen Investitionskosten gegenüber, wobei im obigen Beispiel bereits die statitische Kaptialrückflußdauer bei ca. 140 Jahren liegt. Im Falle der dynamischen Betrachtung amortisiert sich die betrachtete Anlage nicht. Aus wirtschaftlicher Sicht ist dem Unternehmen daher auch von einer Photovoltaikanlage abzuraten. Tabelle 3.13 faßt die diskutierten Ergebnisse zusammen.

Tabelle 3.13: Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz erneuerbarer Energiesysteme

Maßnahme:	Windkraftkonverter			PV-Anlage
	100 kW _{el}	550 kW _{el}	800 kW _{el}	1 kW _p
Einsparungen:				
Strom [Tsd. kWh/a]	95	500	727	9
CO ₂ [t/a]:	68	359	521	6
Kosten:				
Investitionen [Tsd. DM]:	325	1.100	1.600	196
Betrieb [Tsd. DM/a]:	8	28	40	1
anteilige Förderung:	z.Zt. keine			
Dynamische Amortisationszeit [a]:				
Eigenfinanzierung:	∞			
Fremdfinanzierung:	∞			

4. Bewertung der verschiedenen Maßnahmen

Die im vorherigen Kapitel diskutierten Einzelmaßnahmen zur Optimierung der bestehenden Energieversorgung in den verschiedenen Anwendungsbereichen werden nachfolgend zusammenfassend bewertet, indem ein „Ranking“ erarbeitet wird, welches die Priorität einer Maßnahme im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit wiedergibt. Als Gliederungskriterium dient dabei die Amortisationszeit als Maß für die Dauer der mit einer Maßnahme verbundenen Kapitalbindung.

Die in Kapitel 3 dargestellten Maßnahmen verstehen sich dabei z.T. als Alternativen zueinander (z.B. wurden verschiedene Systeme zur Kraft-Wärme-Kopplung betrachtet), so daß die möglichen Gesamtenergieeinsparungen nur durch eine sinnvolle Kombination verschiedener Maßnahmen zu bewerten ist. Hierbei besteht eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, die nicht umfassend zu bewerten sind. Deshalb wird für den Fall minimaler Amortisationszeit der Einzelmaßnahmen eine Strategie aufgezeigt, um die Verringerung der heutigen CO₂-Emissionen zu maximieren. Als Obergrenze wird eine vertretbare Amortisationszeit von ca. 5 Jahren für Investitionen im Bereich Anlagentechnik und ca. 8 Jahre im Gebäudebereich gewählt.

4.1 Ranking zur Durchführung von Einzelmaßnahmen

Werden die im Kapitel 3 dargestellten Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit, d.h. hinsichtlich ihrer dynamischen Amortisationszeit (hier Fremdfinanzierung) in eine Prioritätenliste angeordnet, zeigt sich die Bedeutung der vorgestellten Einzelmaßnahmen (vgl. Tabelle 4.1) im Vergleich. Dabei werden zur besseren Bewertung der einzelnen Maßnahmen nicht nur die wirtschaftlichen Größen der Amortisationszeit und der realen Investitionshöhe, sondern auch die umweltrelevanten Größen der Endenergie- und Kohlendioxideinsparungen übersichtlich einander gegenübergestellt.

Die verschiedenen Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs des betrachteten Unternehmens lassen sich prinzipiell drei Gruppen zuordnen. Die erste und die für einen sinnvollen Vergleich wichtigste Gruppe ist die der wirtschaftlichen, d.h. durch resultierende Einsparungen amortisierbaren Investitionen. Hier finden sich die Maßnahmen, welche auch aus ökonomischen Gesichtspunkten zur Energie- und Emissionseinsparung eingesetzt werden können, sofern sich die Investitionen in einem für mittelständische Industriebetriebe anzusetzenden Zeitrahmen amortisieren. In der zweiten Gruppe befinden sich Maßnahmen, welche sich aus ökonomischen Gesichtspunkten zwar nicht amortisieren, aber durchaus zu Energie- und vor allem Emissionseinsparungen führen. Die dritte Gruppe schließlich beinhaltet organisatorische Maßnahmen, denen keine wirtschaftliche Amortisationszeit zuzuordnen ist, deren Realisierung aber aufgrund ihrer Effektivität hinsichtlich der resultierenden Energie- und Emissionseinsparungen auf jeden Fall zu prüfen ist.

Tabelle 4.1: Prioritätenliste der Einzelmaßnahmen in der Rangfolge ihrer dynamischen Amortisationszeit

Nr.:	Maßnahme	Amortisationszeit [a]	Investition [Tsd. DM]	Energieeinsparung [Tsd. kWh/a]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
1	Dämmen des Kaschierwerkes	1,72	27	632	149	PW
2	Motorersatz (gebraucht): 2,2 kW → 1,1 kW*	2,8	100	0,2	0,14	Kraft
3	Gas-Otto-BHKW, Abhitze- kessel, Variante II	3,1	1.456	2.425	1.788	PW
4	Diesel-BHKW, Abhitze- kessel, Variante II	3,6	1.413	2.425	1.477	PW
5	Motorersatz (gebraucht): 15 kW → 7,5 kW*	4,4	550	0,73	0,52	Kraft
6	Gas-Otto-BHKW, Abhitze- kessel, Variante I	5,0	2.024	4.230	2.120	PW/RW
7	Gasturb. mit Abhitze- kessel, Variante II	5,0	1.173	1.390	1.119	PW
8	Ersatz des Gaskessels zur Prozeßdampferzeugung	5,3	293	2.519	590	PW
9	Diesel-BHKW, Abhitze- kessel, Variante I	5,5	2.134	2.425	2.200	PW/RW
10	Motorersatz (neu): 2,2 kW → 1,1 kW*	5,9	190	0,2	0,14	Kraft
11	Motorersatz (neu): 15 kW → 7,5 kW*	6,5	750	0,73	0,52	Kraft
12	EVG, LST (Produktionsbereich)	7,3	75	68	45	Bel.
13	Motorersatz (gebraucht): 45 kW → 22 kW*	8,8	1.100	0,85	0,61	Kraft
14	Gasturb. mit Abhitze- kessel, Variante I	9,0	2.568	1.390	1.853	PW/RW
15	EVG (Produktionsbereich)	10,8	37	21	15	Bel.
16	Brennstoffzelle 200 kW (Nutzungsdauer rd. 8 Jahre)	11,1	900	-470	255	PW, RW, BW
17	Wärmedämmung: ¹⁾ Außenwand Gasbeton ⁷⁾	13	81	374	88	RW
18	SRL, EVG, LST (Produktionsbereich)	13,9	133	74	53	Bel.
19	Luftschleieranlage am Tor des Papierlagers	14,2	26	155	34	RW
20	EVG (Nebengebäude)	14,5	14	6,8	5	Bel.
21	Fensterverklebung ¹⁾	15,1	173	725	170	RW

Fortsetzung Tabelle 4.1: Prioritätenliste der Einzelmaßnahmen in der Rangfolge ihrer dynamischen Amortisationszeit

Nr.:	Maßnahme	Amortisationszeit [a]	Investition [Tsd. DM]	Energieeinsparung [Tsd. kWh/a]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
22	Kesselaustausch zur Raumwärmeversorgung	17,5	405	1.577	371	RW
23	Luftschleieranlagen an den Toren der Ladebuchten	19,5	108	47	105	RW
24	Wärmedämmung: ¹⁾ Außenwand Trapezblech ⁷⁾	21	20	70	16	RW
25	Motorersatz (neu): 45 kW → 22 kW*	28,6	2.000	0,85	0,61	Kraft
26	SRL, EVG (Produktionsbereich)	33,6	110	42	30	Bel.
Weitere Maßnahmen, für die keine Amortisationszeiten berechnet werden können:						
	Papierverbrennung/ Rostfeuerung		1.171	7.138	1.677	PW
	Papierverbrennung/ Unterschubfeuerung		1.405	7.138	1.677	PW
	Elektro-Wärmepumpe Außenluft		45,6 ²⁾	111	10	RW/BW
	Elektro-Wärmepumpe Erdreich		111 ²⁾	119	15	RW/BW
	Absorptions-Wärmepumpe Außenluft		18,5 ²⁾	75	16	RW/BW
	Durchlauferhitzer		1,8	3,55	-1,7	BW
	Solaranlage		11,8 ³⁾	6,05	1,2	BW
	Elektro-Wärmepumpe Luft		2,4 ⁴⁾	5,83	0,5	BW/RW
	Elektro-Wärmepumpe Erdreich		5,85 ⁴⁾	6,24	0,8	BW/RW
	Absorptions-Wärmepumpe Außenluft		0,98 ⁴⁾	3,95	0,8	BW/RW
	Wärmedämmung: ¹⁾ Außenwand Trapezblech		44	70	16	RW
	Wärmedämmung: ¹⁾ Außenwand Gasbeton		183	374	88	RW
	Wärmedämmung: ¹⁾ Dachfläche		637	777	183	RW
	Wärmedämmung: ¹⁾ Fußboden		510	559	131	RW
	Fenster - Thermoglas ¹⁾		1.569	960	226	RW
	Fenster - WS-Glas ¹⁾		1.943	1.560	367	RW

Fortsetzung Tabelle 4.1: Prioritätenliste der Einzelmaßnahmen in der Rangfolge ihrer dynamischen Amortisationszeit

Nr.:	Maßnahme	Amortisationszeit [a]	Investition [Tsd. DM]	Energieeinsparung [Tsd. kWh/a]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
	Windkraftanlage 100 kW		325	95	68	Kraft, Bel., Kom.
	Windkraftanlage 550 kW		1.000 ⁵⁾	500	359	Kraft, Bel., Kom.
	Windkraftanlage 800 kW		1.600	727	521	Kraft, Bel., Kom.
	Photovoltaik-Anlage 100 m ²		126 ⁶⁾	9,0	6	Kraft, Bel., Kom.
	SRL, KVG (Produktionsbereich)		87	21	15	Bel.
Organisatorische Maßnahmen:						
	Temperaturabsenkung			1.089	256	RW
	Abbau der Speisewasservorwärmung			500	84	PW
Anmerkungen:			Abkürzungen:			
1): Fördermittel: Darlehn 5,25 % 2): inkl. 8.550 DM Förderbetrag 3): inkl. 4.200 DM Förderbetrag 4): inkl. 450 DM Förderbetrag 5): inkl. 100.000 DM Förderbetrag 6): inkl. 70.000 DM Förderbetrag 7): Eigenarbeit			PW: Prozeßwärme RW: Raumwärme BW: Brauchwasser EVG: Elektronische Vorschaltgeräte KVG: Konventionelle Vorschaltgeräte SRL: Spiegelrasterleuchten LST: Lichtsteuerung			
* Bei Ersatzmaßnahmen der Elektromotoren ist zunächst die Auslastung der einzelnen Motoren zu prüfen. Erst bei einer geringeren durchschnittlichen Auslastung als 30 % ihrer Nennleistung wird aufgrund des stark sinkenden Wirkungsgrads des Motors (vgl. z.B. Abbildung 3.1) ein Austausch sinnvoll.						

In Tabelle 4.1 wird dargestellt, wie die im Kapitel 3 vorgestellten Einzelmaßnahmen aus den einzelnen Anwendungsbereichen im Vergleich zu bewerten sind. Es zeigt sich, daß investive Einzelmaßnahmen vor allem aus dem Anwendungsbereich „Prozeßwärme“, „Kraft“ und „Beleuchtung“ wirtschaftlich sind, d.h. zu dynamischen Amortisationszeiten im Bereich bis zu 10 Jahren führen. Hierbei ist zu beachten, daß aufgrund des niedrigen Kesselnutzungsgrades und des hohen Prozeßdampfverbrauchs (vgl. 2.3.1) der Einsatz jeder Kraft-Wärme-Kopplungsanlage wirtschaftlich wäre. D.h., bei der Bündelung der Maßnahmen zu einer kostenoptimalen Maßnahmenkombination ist darauf zu achten, daß von alternativ einzusetzenden Einzelmaßnahmen nur die wirt-

schaftlichste Investition vorzusehen ist, sofern geänderte Randbedingungen nicht zu einer Prioritätsverschiebung führen (vgl. Kapitel 4.2).

Aufgrund der hohen Wärmeverluste an die Umgebung ist die wirtschaftlichste Einzelmaßnahme die nachträgliche Wärmedämmung des Kaschierwerkes. Hiermit lassen sich bei Investitionen in Höhe von rund 27.000 DM und einer dynamischen Amortisationszeit von rund 1,7 Jahren ca. 632.000 kWh/a und 149 t/a CO₂ einsparen. Aufgrund der i.d.R. geringen Auslastung der Elektromotoren von etwa 50 % (vgl. Kapitel 2.3.4) zeigt sich aus Tabelle 4.1, daß die hinsichtlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte an Priorität zwei anzuordnende Maßnahme, der Austausch nicht ausgelasteter kleinerer Elektromotoren (2,2 kW_{el}) gegen richtig ausgelegte 1,1-kW-Gebraucht-Motoren ist. Durch jeden Motorenaustausch lassen sich bei Amortisationszeiten von 2,8 Jahren und Investitionskosten von jeweils 100 DM rund 200 kWh/a und 140 kg/a CO₂ einsparen. Hierbei ist zu beachten, daß die Motoren nur dann ausgetauscht werden sollen, falls eine Einzelprüfung des Motors zeigt, daß dieser zu weniger als einem Drittel seiner Nennleistung ausgelastet ist.

In der Prioritätenliste folgen anschließend vor allem Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, welche Prozeßdampf und Strom erzeugen. Hierbei werden Anlagen unterschieden, welche einerseits lediglich den Prozeßdampf und andererseits den Gesamtdampfbedarf, d.h. auch für die Raumwärmegestehung, erzeugen können. Die Priorität drei läßt sich demnach einem Gas-Otto-Blockheizkraftwerk zuordnen, das mit einem Abhitze-kessel lediglich die Prozeßdampfgestehung substituieren könnte. Dieses Konzept würde sich bei Investitionskosten von rund 1,5 Mio. DM in etwa 3,6 Jahren amortisieren und zu jährlichen Einsparungen von ca. 2,4 Mio. kWh an Brennstoff und ca. 1.800 t CO₂ führen.

Auffällig beim Vergleich der Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit ist, daß sämtliche Maßnahmen aus den Anwendungsbereichen „Raumwärme“ und „Brauchwarmwasser“ bei einer angenommenen Amortisationsobergrenze von 10 Jahren nicht wirtschaftlich einsetzbar sind. Hier macht sich der niedrige Energiepreis bemerkbar, welcher bspw. teure Sanierungsarbeiten an der Gebäudehülle nicht wirtschaftlich werden läßt.

Die Prioritäteneinordnung hinsichtlich der dynamischen Amortisationszeit aller weiteren Einzelmaßnahmen aus Kapitel 3 sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen.

4.2 Kombination verschiedener Maßnahmen minimaler Amortisationszeiten

Da bei der Kombination verschiedener Einzelmaßnahmen diese sich z.T. gegenseitig beeinflussen, ist zur Bestimmung einer kostenminimalen Kombination einzelner Maßnahmen darauf zu achten, daß der energetische „Ist-Zustand“ des Unternehmens durch die gewählten Maßnahmen (vgl. Tabelle 4.1) neu bestimmt wird, um in einem iterativen Prozeß die jeweils sinnvollste Kombination auszuwählen.

Nach der Diskussion der Einzelmaßnahmen aus den verschiedenen Anwendungsbereichen soll an dieser Stelle eine kostenminimale Kombination verschiedener Einzelmaßnahmen vorgestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß es sich lediglich um eine beispielhaft ausgesuchte Maßnahmenkombination handelt. Wie der Tabelle 4.1 entnommen werden kann, gibt es eine Vielzahl verschiedener Einzelmaßnahmen, insbesondere Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, deren wirtschaftlicher Einsatz im betrachteten Unternehmen gewährleistet werden kann, so daß andere Maßnahmenkombinationen ebenfalls sinnvoll sein können und geprüft werden sollten.

An dieser Stelle wird eine Kombination vorgestellt und diskutiert, welche maßgeblich durch zwei Kriterien bestimmt wird. Zum einen ist dies die dynamische Amortisationszeit und zum anderen die kumulierte CO₂-Einsparung. Bei der Auswahl der Einzelmaßnahmen aus dem in Tabelle 4.1 vorgestellten „Ranking“ ist zu beachten, daß sich bei vielen in Frage kommenden Maßnahmen durch die Anwendung anderer Maßnahmen die Randbedingungen eines evtl. Einsatzes ändern können, so daß die jeweilige Wirtschaftlichkeit und Effektivität hinsichtlich der CO₂-Emissionsminderung neu zu überprüfen ist.

Als erste zu realisierende Maßnahme sollte die Dämmung des Kaschierwerkes aus dem Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ erfolgen. Die Investitionskosten in Höhe von rund 27.000 DM würden sich unter der Annahme einer Fremdfinanzierung in ca. 1,7 Jahren amortisieren, wobei jährliche Einsparungen von rund 630.000 kWh Endenergie bzw. 149 t CO₂ zu erwarten sind. Durch diese Dämmung wird zum einen weniger Prozeßdampf benötigt und zum anderen wird weniger Abwärme als Raumwärmeenergie bereitgestellt, d.h. die Randbedingungen für einen Einsatz anderer Maßnahmen ändern sich. Nach einer Berücksichtigung dieser Veränderungen hinsichtlich der Auslegung der weiteren vorgesehenen Maßnahmen können zwei Alternativen angesetzt werden.

Einerseits wäre dies der Einsatz eines Gas-Otto-BHKW mit Abhitzeessel (Variante II), welcher ausschließlich den benötigten Prozeßdampf bereitstellen könnte. Bei einer Amortisationszeit von rund 3,6 Jahren könnten dadurch rund 1.800 t/a CO₂ eingespart werden. Durch die geringe Leistung des Abhitzeessels könnte während der Heizperiode der für die Raumheizung notwendige Prozeßdampf jedoch nicht bereitgestellt werden, wodurch der Einsatz eines zweckgebundenen Zusatzkessels (Raumheizung) notwendig würde. Dieser hat jedoch - unter Berücksichtigung veränderter Einsatzbedingungen - aufgrund der geringen Auslastung eine Amortisationszeit von rund 17,5 Jahren. Dadurch wird der Einsatz einer anderen Maßnahme als Priorität 2 sinnvoller.

Gewählt wird als Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage ein Gas-Otto-BHKW mit einem Abhitzeessel der Variante I, welcher auch den für die Raumwärme benötigten Prozeßdampf bereitstellen kann. Mit einer Amortisationszeit von rund 5 Jahren und einer notwendigen Investition in Höhe von rund 2,02 Mio. DM ließen sich jährliche Einsparungen von ca. 4,2 Mio. kWh und 2.120 t CO₂ (rund 49 % der gesamten, heutigen Kohlendioxidemissionen) realisieren. Schließlich könnte durch den Einsatz von Lichtsteuerungen und elektrischen Vorschaltgeräten (vgl. Kapitel 2.3.5) bei einer Amortisa-

tionszeit von rund 7,3 Jahren und einer Investitionshöhe von 75.000 DM rund 63.000 kWh/a und mit ca. 45 t/a CO₂ ein weiterer Prozentpunkt der CO₂-Emissionen eingespart werden.

Alle weiteren in Tabelle 4.1 aufgeführten Einzelmaßnahmen würden zu Amortisationszeiten von mehr als 10 Jahren und kumuliert zu keiner wesentlichen Verbesserung hinsichtlich der Emissionseinsparungen führen.

Die detaillierten Daten- und Berechnungsunterlagen der drei ausgewählten Maßnahmen sind in Anhang C zusammengestellt.

Durch die Dämmung des Kaschierwerks und die Optimierung der Beleuchtung im Produktionsbereich wird weniger Prozeßwärme und weniger Strom benötigt, so daß auch das Gas-Otto-BHKW geringfügig kleiner ausgelegt werden kann. Tabelle 4.2 zeigt die Daten- und Berechnungsunterlagen für diese Maßnahmenkombination. Es ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von ca. 5,3 Jahren für Fremdfinanzierung (ca. 4,7 Jahre für Eigenfinanzierung) bei Investitionen von knapp 2,1 Mio. DM.

In Tabelle 4.3 sind die Emissionen und Umsetzung dieser Maßnahmenkombination zusammengestellt. Es entstehen nur noch Emissionen durch den Erdgaseinsatz im BHKW, da dessen Stromerzeugung den Strombedarf deckt.

Eine Gegenüberstellung der Emissionen im Ist-Zustand und nach Umsetzung der Maßnahme zeigt Tabelle 4.4. Dabei wird deutlich, daß lokal beim Verbraucher für einige Komponenten zum Teil deutliche Emissionserhöhungen zu verzeichnen sind, die auf die unterschiedliche Emissionscharakteristik von Erdgasfeuerung und Gas-Otto-BHKW zurückzuführen sind. Die Umweltauswirkungen der Emissionen sind ggf. im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens auf Basis der einschlägigen immissionschutzrechtlichen Bestimmungen zu bewerten.

Durch die hohe Emissionsminderung bei den vorgelagerten Prozessen ergibt sich bei Betrachtung des Gesamtprozesses für alle Komponenten außer Kohlenmonoxid eine deutliche Minderung. Insbesondere hervorzuheben sind die sauren Komponenten Stickstoffoxid und Schwefeldioxid mit 44 % bzw. 83 % Minderung sowie die klimawirksamen Verbindungen Methan und Kohlendioxid, die jeweils um ca. 50 % reduziert werden (Tabelle 4.3/Diagramm 4.1). Insgesamt ist festzustellen, daß die durchgeführten Berechnungen die umweltentlastende Wirkung von Energiesparmaßnahmen deutlich belegen.

Tabelle 4.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahmenkombination

- Dämmung des Kaschierwerks
- Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten/Lichtsteuerung
- Produktionsbereich
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I

Ist-Zustand		
Nutzenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	3.926.000
Endenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	7.138.000
Nutzenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	2.776.000
Endenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	5.048.000
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	9.000
Endenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	12.000
Endenergiebedarf Wärme gesamt	kWh/a	12.198.000
Nutzenergiebedarf Strom	kWh/a	2.373.000
mittlerer Leistungsbedarf Dampf	kW	1.186
mittlere Laufzeit Kessel Prozeßwärme	h/a	3.300
mittlere Laufzeit Kessel Raumwärme	h/a	1.200
mittlerer Nutzungsgrad des Kessels	-	0,55
Feuerungswärmeleistung	kW	5.850
Minderung Prozeßwärme		
durch Dämmung des Kaschierwerks	kWh/a	348.000
Minderung Strom		
durch VSG + LS im Produktionsbereich	kWh/a	63.000
Bedarf neu		
Prozeßwärmebedarf neu	kWh/a	3.578.000
Strombedarf neu	kWh/a	2.310.000
Einsatz eines Gas-Otto-BHKW		
Feuerungswärmeleistung	kW	2.120
thermische Leistung	kW	1.145
elektrische Leistung	kW	700
thermischer Wirkungsgrad	-	0,54
elektrischer Wirkungsgrad	-	0,33
gesamter Wirkungsgrad	kW	0,87
Stromkennzahl	-	0,61
Einsatz eines Abhitzeessels		
Feuerungswärmeleistung	kW	4.400
Wärmeleistung	kW	4.000
Wirkungsgrad	-	

**Fortsetzung Tabelle 4.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur
Maßnahmenkombination**

- Dämmung des Kaschierwerks
- Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten/
Lichtsteuerung - Produktionsbereich
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzekessel, Variante I

Energiebilanz		
Wärmelieferung BHKW	kWh/a	3.778.500
Stromlieferung BHKW	kWh/a	2.310.000
Brennstoffbedarf BHKW	kWh/a	6.996.000
Wärmelieferung AHK	kWh/a	2.575.000
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	9.000
Brennstoffbedarf AHK	kWh/a	2.871.667
Brennstoffbedarf gesamt	kWh/a	9.867.667
Eigenstromerzeugung	kWh/a	2.310.000
Kostenbetrachtungen		
spezifische Investitionen BHKW	DM/kWel	1.350
spezifische Investitionen AHK	DM/kW	235
Betriebskosten BHKW	%/a	3,3
Betriebskosten AHK	%/a	5,0
spezifischer Strompreis	DM/kWh	0,2086
spezifischer Gaspreis	DM/kWh	0,0275
Investitionen BHKW	DM	945.000
Investitionen AHK	DM	1.034.000
Investitionen Kaschierwerk	DM	27.000
Investitionen Beleuchtung	DM	75.000
Investitionen gesamt	DM	2.081.000
Betriebskosten BHKW	DM/a	31.185
Betriebskosten AHK	DM/a	51.700
Betriebskosten Ist-Zustand (geschätzt)	DM/a	34.100
Betriebskostensparnis	DM/a	-48.785
Brennstoffkosten alt	DM/a	335.445
Brennstoffkosten neu	DM/a	271.361
Brennstoffkostensparnis	DM/a	64.084
Kosteneinsparung durch Eigenstromerzeugung	DM/a	481.866
jährliche Minderausgaben	DM/a	497.165

Fortsetzung Tabelle 4.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur
Maßnahmenkombination

- Dämmung des Kaschierwerks
- Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten/
Lichtsteuerung - Produktionsbereich
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten	DM	2.081.000
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	545.950
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-48.785
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	5,48
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.1	a	4,66
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	5,48
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.1	a	5,27

Tabelle 4.3: Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmenkombination

Maßnahmenkombination Dämmung Kaschierwerk/Beleuchtung/Gas-Otto-BHKW (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 9.867.667)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	221	2.181	60	592	281	2.773
SO ₂	1,5	15	24,5	242	26	257
NO _x	227	2.240	70	691	297	2.931
CH ₄	17	168	571	5.634	588	5.802
NM VOC	28	276	6	59	34	336
Staub	6	59	5,2	51	11,2	111
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	1.959	36,5	360	235	2.319

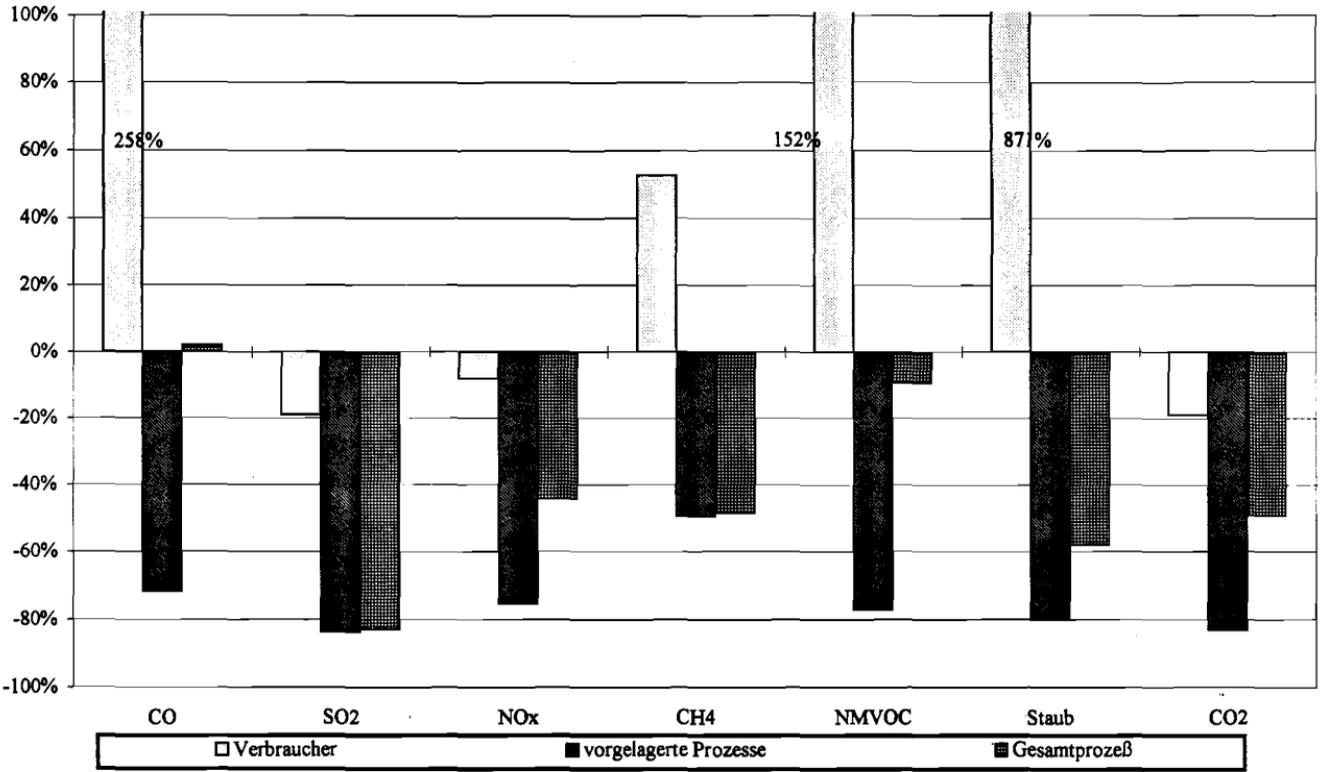
Tabelle 4.4: Emissionen vor und nach Umsetzung der Maßnahmenkombination

jährlicher Energiebedarf alt (Erdgas + Strom) [kWh/a]: 14.570.872 jährlicher Energiebedarf neu (Erdgas) [kWh/a]: 9.867.667						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher (kg/a)		vorgelagerter Prozesse (kg/a)		des Gesamtprozesses (kg/a)	
	alt	neu	alt	neu	alt	neu
CO	610	2.181	2.108	592	2.718	2.773
SO ₂	18	15	1.509	242	1.527	257
NO _x	2.440	2.240	2.824	691	5.263	2.931
CH ₄	110	168	11.189	5.634	11.299	5.802
NMVOC	110	276	261	59	370	336
Staub	6	59	258	51	264	111
	t/a		t/a		t/a	
CO ₂	2.421	1.959	2.147	360	4.568	2.319

Tabelle 4.5: Prozentuale Änderung der Emissionen durch die Maßnahmenkombination

Schadstoff	Prozentuale Änderung der Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
CO	+ 258 %	- 72 %	+ 2 %
SO ₂	- 19 %	- 84 %	- 83 %
NO _x	- 8 %	- 76 %	- 44 %
CH ₄	+ 53 %	- 50 %	- 49 %
NMVOC	+ 152 %	- 77 %	- 9 %
Staub	+ 871 %	- 80 %	- 58 %
CO ₂	- 19 %	- 83 %	- 49 %

Diagramm 4.1: Emissionsminderung durch Energiesparmaßnahmen



5. Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie „Einsatzmöglichkeiten alternativer und primärenergiesparender Energieerzeugungssysteme in der Industrie“, die vom Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme 1995 im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen durchgeführt wurde (vgl. hierzu [1]), sind zahlreiche Möglichkeiten zum rationelleren Energieeinsatz in der Industrie analysiert worden. Dabei zeigte sich, daß insbesondere in der klein- und mittelständischen Industrie beachtliche Energieeinsparpotentiale vorhanden sind. Die vorliegende Studie „Erarbeitung von Konzepten zur Energieeinsparung sowie zur Optimierung der Energieversorgung bei kleinen und mittelständischen Unternehmen“ versteht sich als Anschlußvorhaben und wurde 1996 vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen ebenfalls an den Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme vergeben. Die durchgeführten Untersuchungen sollten dabei die prinzipiellen Möglichkeiten zur Energieeinsparung bzw. zum Einsatz moderner und alternativer Energietechniken konkretisieren. Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden zahlreiche Ansätze zur betrieblichen Energieeinsparung am Beispiel eines repräsentativen Betriebes der papier- und pappeverarbeitenden Industrie vorgestellt.

Die Abbildung des Ist-Zustandes im Bereich der Energieversorgung geht die Darstellung des Produktionsablaufes voraus. Dabei wurden die wichtigsten Produktionsschritte analysiert, beschrieben und graphisch in Form von Grundfließbildern aufbereitet, um die Untersuchungen zur derzeitigen Struktur des Energieverbrauches bzw. der Energieanwendungen zu unterstützen und zu veranschaulichen. Im Rahmen von Betriebsbegehungen wurden die erforderlichen Betriebsdaten aufgenommen und eine Energie- und Schadstoffbilanz erarbeitet. Dabei zeigte sich, daß der derzeitige Energiebedarf von den verschiedenen Wärmeanwendungen, d.h. in erster Linie durch die Prozeß- und Raumwärmeversorgung, bestimmt wird. Ein weiterer wesentlicher Anwendungsbereich ist der Antrieb der Arbeitsmaschinen, d.h. der Anwendungsbereich „Kraft“. Dementsprechend sind in den genannten Teilbereichen die größten Optimierungspotentiale zu erwarten.

Basierend auf einer detaillierten Diskussion des Ist-Zustandes der Energieversorgung bilden umfangreiche Untersuchungen in Energieanwendungsbereichen Prozeßwärme, Raumwärme, Brauchwarmwasser, Kraft, Beleuchtung und Kommunikation die Grundlage zur Formulierung von Maßnahmen zur

- Vermeidung eines unnötigen Energieverbrauchs,
- Absenkung des derzeitigen Nutzenenergiebedarfs,
- Verbesserung der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade bei der Energieversorgung,
- betriebliche Energierückgewinnung und Abwärmenutzung sowie
- einen Einsatz innovativer und regenerativer Energien bzw. Energietechniken.

Insgesamt wurden ca. 50 verschiedene Einzelmaßnahmen vorgestellt und jede für sich energetisch, ökonomisch und ökologisch bewertet. Die energetische Bewertung einer Maßnahme beschreibt die zu erzielenden Endenergieeinsparungen. Dabei werden alle Energieträger berücksichtigt und bilanziert. Mehrverbräuchen, z.B. ein zusätzlicher Brennstoffbedarf im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung, werden mit Einsparungen beim

Strombezug bilanziert. Die ökologischen Aspekte finden in einer Reduktion der Emission von Luftschadstoffen, bedingt durch eine Verringerung des Endenergieeinsatzes, Berücksichtigung. Die ökonomischen Aspekte einer Maßnahme werden durch die Bestimmung der Investitions-, Betriebs- und Brennstoffkosten bewertet, die abschließend in der Bestimmung der dynamischen Amortisationszeit einer Maßnahme unter Berücksichtigung verschiedener Finanzierungsansätze münden.

Maßnahmen zur Senkung des Nutzenenergiebedarfs bzw. zur Vermeidung eines unnötigen Energieeinsatzes wurden durch eine Überprüfung der Betriebsparameter realisiert (z.B. Kontrolle des Betriebsdrucks bei der Druckluftversorgung, Temperaturen der Wärmeanwendungen etc.), wobei vor allem im Bereich der Prozeßwärmeanwendungen durch eine Reduktion der Wärmeverluste an einzelnen Maschinen Möglichkeiten zur Energieeinsparung festzustellen waren. So sind Einsparungen von ca. 4 % des heutigen Endenergiebedarfs des Unternehmens im Bereich der Prozeßwärmeversorgung wirtschaftlich sinnvoll zu realisieren. Allgemeine Ansätze zur Reduktion des Endenergieeinsatzes werden im Bereich der Kraftanwendungen erörtert. So könnte insbesondere der Ersatz überdimensionierter Antriebsmotoren erhebliche Energieeinsparungen bewirken. Für detaillierte Aussagen sind jedoch konkrete Messungen erforderlich, die im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen aus zeitlichen Gründen nicht zu realisieren waren. Durch eine Modernisierung der vorhandene Beleuchtungsanlage in den Produktionshallen ist etwa die Hälfte des derzeitigen Strombedarf im Anwendungsbe- reich Beleuchtung einzusparen. Zur Verringerung des Heizenergiebedarfs werden eine Vielzahl von Wärmedämmmaßnahmen erläutert, eine Absenkung der Innenraumtemperat- uren diskutiert und die Verringerung der Lüftungsverluste durch technische Systeme und organisatorische Maßnahmen erläutert.

Die größten Endenergieeinsparungen sind jedoch durch Verbesserungen im Bereich der Energieumwandlung zu realisieren. Neben dem Einsatz des vorhandenen Kessel- systems durch eine dem Bedarf angepaßte Neuanlage, werden verschiedene Konzeptionen der Kraft-Wärme-Kopplung durch den Einsatz einer Gasturbine, Gas-Otto- bzw. Diesel-BHKW in Kombination mit einem zusatzgefeuerten Abhitzeessel disku- tiert. Dabei zeigten sich - bedingt durch einen kontinuierlichen und zeitgleichen Niedertemperaturwärme- und Strombedarf - günstige betriebliche Voraussetzungen zum Einsatz einer KWK-Anlage. Neben der Tatsache, daß der Einsatz einer solchen Technologie allein aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sehr interessant ist, sind En- denergieeinsparungen von bis zu 40 % des heutigen Endenergiebedarfs des Betriebes, d.h. Einsparungen von etwa 5 Mio. kWh/a möglich.

Sinnvolle Ansätze zur betrieblichen Wärmerückgewinnung sind nicht zu realisieren, wobei in erster Linie das Fehlen geeigneter gefaßter Abwärmeströme als Ursache zu nennen sind.

Insgesamt lassen sich in einem wirtschaftlich sinnvollen Rahmen, d.h. bei Amortisati- onszeiten von ca. 5 Jahren im Bereich der Anlagentechnik und ca. 8 Jahren im Gebäu- debereich etwa 40 % des heutigen Endenergiebedarfs und damit verbunden etwa 50 % der CO₂-Emissionen des Unternehmens vermeiden.

6. Literatur

- [1] Mohr, M., A. Ziolek, M. Skiba, D. Gernhardt, A. Ziegelmann und H. Unger: Einsatzmöglichkeiten alternativer und primärenergiesparender Energieerzeugungssysteme in der Industrie. Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ), Karlsruhe, 1986.
- [2] Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen. Energiebilanz Nordrhein-Westfalen 1993, Kennziffer E IV 4-j/92. Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1995
- [3] Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen. Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe in Nordrhein-Westfalen, Unternehmens- und Betriebsergebnisse. Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1995.
- [4] Schildhauer, J.: Energieverbrauch der Investitionsgüter- und Nahrungs- und Genußmittelindustrie der alten Bundesländer, IKARUS-Bericht zum Teilprojekt 6 „Industrie“. Forschungsstelle für Energiewirtschaft München, München, 1993.
- [5] Normausschuß Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 28004.: Fließbilder verfahrenstechnischer Anlagen, Fließbilderarten, Informationsgehalt. Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 1977.
- [6] RWE-Energie. Bau-Handbuch. Energie-Verlag GmbH, Heidelberg, 1994.
- [7] Gernhardt, D., M. Mohr, M. Skiba und H. Unger: Theoretisches und technisches Potential von Solarthermie, Photovoltaik, Biomasse und Wind in Nordrhein-Westfalen, Vierter Technischer Fachbericht, 2. überarbeitete Auflage, zum Forschungsvorhaben „Analyse von Möglichkeiten zur praktischen Solarenergienutzung und deren Entwicklungsperspektiven in Nordrhein-Westfalen“. Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES), Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 1993.
- [8] Bressler, G. und G. Immel: Ermittlung von Heizungs- und Wasserwasserbereitungssystemen inklusive deren Verteilungsverluste in Nichtwohngebäuden. Forschungsstelle Jülich GmbH, Jülich, 1994.
- [9] Loose, P. et al.: Der Tagesgang des Trinkwarmwasserbedarfs in HLH, Bd. 42 (1991), Nr. 2, S. 108-121. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1991.

- [10] Floerke, H.:
Leistungsbedarf elektrischer Anlagen. etz, Heft 12, Band 104 (1983),
S. 586-589.
- [11] Just, W.:
Maximallast-Ermittlung - Grundlage der Planung von elektrischen Anlagen im
Betrieb. der elektromeister + deutsches Elektrohandwerk, Heft 22, 1983,
S. 1513-1517.
- [12] Mehr Licht mit weniger Strom - Elektronik macht's möglich. Elektroniker,
Aarau, Heft 6, Band 32 (1993), S. 8-9.
- [13] Fritsche, U. et al.:
Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1, erweiter-
ter Endbericht. Öko-Institut Freiburg, Institut für angewandte Ökologie,
Freiburg, 1994.
- [14] Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle
(DGMK). Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes
aus der Sicht der fossilen Energieträger DGMK-Forschungsbericht 448-2.
Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle,
Hamburg, 1992.
- [15] Schiffer, H.-W.:
Deutscher Energiemarkt '95. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg., Nr. 3,
1996.
- [16] Kröplin et al.:
Rationelle Wärmenutzung in kleinen und mittleren Betrieben. Forschungsstelle
für Energiewirtschaft München, München, 1991.
- [17] Schneider, K.-J.:
Bautabellen. Werner-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [18] Kuhn, S., H. Kuhn, W. Röhrh, U. Leis und T. Münzer:
Wärmetauscher zur Abwärmenutzung, IKARUS-Bericht Nr. 8 - 13 zum Teil-
projekt 8 „Querschnittstechnologien“. Forschungszentrum Jülich GmbH,
Zentralbibliothek, Jülich, 1995.
- [19] Babcock-Omnical-Industriekessel GmbH. Arbeitsbroschüre Kesselsysteme.
Babcock-Omnical-Industriekessel GmbH, Dietzholztal, 1996.
- [20] Loos International. Lieferprogramm Kesselsysteme. Eisenwerk Th. Loos
GmbH, Gunzenhausen, 1996.

- [21] Schmitz, K.W. und G. Koch:
Kraft-Wärme-Kopplung, Anlagenauswahl, Dimensionierung, Wirtschaftlichkeit, Emissionsbilanz. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1995.
- [22] Suttor, K.-H. und W. Suttor:
Handbuch Kraft-Wärme-Kopplung. C. F. Müller Verlag, Karlsruhe, 1991.
- [23] Information der Firma M.A.N. KWK-Systeme. M.A.N.
Dezentrale Energiesysteme GmbH, Köln 1996.
- [24] Pischinger, F.:
Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotorenanlagen Teil II:
BHKW-Technik, VDI-GET-Informationsschrift. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- [25] RWE-Energie AG. Bau-Handbuch. Energie-Verlag GmbH, Heidelberg, 1994.
- [26] Begemann, J., M. Dedekind, A. Harmsen und M. Röbiger:
Rationelle Energieverwendung in Unternehmen. Zentrum für Energie-, Wasser-
und Umwelttechnik (ZEWU), Stuttgart, 1993.
- [27] Rather, P.:
Wärmeschutzverordnung, Heizungsanlagenverordnung.
Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1994.
- [28] Grassnick, A.:
Der schadensfreie Hochbau. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln,
1987.
- [29] Deutscher Wetterdienst. Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. Bibliothek des
Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 1989.
- [30] Mürmann, H.:
Luftschleieranlagen für Industrietore. Deutsche Bau Zeitung, S. 257-260, 1990.
- [31] Recknagel, H., E. Sprenger und W. Hönmann:
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg Verlag, München,
Wien, 1989.
- [32] Schäfer, W.:
Heizung mit Hellstrahler. Technik am Bau, Jg. 23, S. 933-938, Gütersloh, 1992.
- [33] Nipkow, J.:
Elektrische Antriebe: Gewichtige Stromverbraucher mit großen Sparpotentialen.
Elektrotechnik, Nr. 6, 1933, S. 59-63.

- [34] Schaefer, H.:
Rationelle Elektrizitätsanwendung in der Industrie. Dokumentation zum Fachkongress „RAVEL NRW 96“ am 04.06.1996 in Wuppertal, Juni 1996, S. 80-101.
- [35] Preisliste Drehstrom-Niederspannungsmotoren - Käfigläufermotoren. Fa. Siemens AG, 1996.
- [36] Elektro-Maschinen-Katalog. Fa. EMZ GmbH, Recklinghausen, 1996.
- [37] Katalog M11: Drehstrom-Niederspannungsmotoren - Käfigläufermotoren. Fa. Siemens AG, 1994/95.
- [38] Ziesenniß, C.-H.:
Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1996.
- [39] Katalog Technische Innenleuchten. Fa. Siemens AG, 1996.
- [40] So verbraucht der Zorn über hohe Energiekosten. Lichtfocus, Nr. 7, April 1996, S. 14 - 16.
- [41] Leuchten-Preisliste. Fa. Siemens AG, 1996.
- [42] Bildpreisliste 1995 - Innenraumleuchten. Fa. Trilux GmbH, 1995.
- [43] Lichtprogramm 96/97 - Unverbindliche Preisempfehlungen. Fa. Osram, 1996.
- [44] Gernhardt, D., A. Ziolk, M. Mohr und H. Unger:
Parametrisierung moderner Energietechniken und Kostenstrukturen konventioneller und erneuerbarer Energieträger im Expertensystem „HERAKLES“, Fünfter Technischer Fachbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur Erstellung rationell und regenerativ orientierter Umstrukturierungsmaßnahmen für die kommunale Energieversorgung“. Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES), Ruhr-Universität Bochum, 1996.
- [45] Wendt, H.:
Brennstoffzellen, Stand der Technik - Entwicklungslinien - Marktchancen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1990.
- [46] Leuchtner, J. und O. Reitebuch et al.:
Thermische Solaranlagen - Marktübersicht 1992. Ökoinstitut e.V., 1992.
- [47] SOLVIS. Thermische Solarsysteme. SOLVIS - Energiesysteme GmbH, Braunschweig, 1993.
- [48] Bürger-Information Neue Energietechniken - BINE. Förderfibel Energie. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 1995.

Anhang A

Endenergieverbräuche des Ist-Zustandes

Tabelle A.1: Ermittelte Endenergieverbräuche nach Energieträgern und -anwendungsbereichen

Energieträger	Energiebedarf [kWh/a]
Erdgas	12.197.704
Strom	2.373.168
Summe:	14.570.872
Energieanwendung	Energiebedarf [kWh/a]
Raumwärme gesamt:	5.059.567
Raumwärme Gas	5.047.567
Raumwärme elektrisch	12.000
Brauchwarmwasser gesamt:	13.058
Brauchwarmwasser Gas	12.334
Brauchwarmwasser elektrisch	724
Kraft Produktion:	2.171.030
Energieversorgung	291.363
Ver- und Entsorgung	622.567
Wellpappenherstellung	398.906
Stanzen	170.191
Inline-Maschinen	502.380
Sonstiges	185.624
Beleuchtung	151.665
Kommunikation	37.749
Prozesswärme	7.137.803
Energieversorgung	509.364
Wellpappenanlage	6.628.439
Sonstiges	0
Summe:	14.570.872

Tabelle A.2: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“

Bereich:	Name der Anlage:					
	Einheiten:	Anzahl [-]	jährliche Laufzeit [h/a]	Dampfleistung [kW]	Gasleistung [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
	Prozeßwärme gesamt:					7.137.803
Energieversorgung	Gesamt:	-	-	-	-	509.364
	Speisewasservorwärmung	1	5.560	46	92	509.364
Wellpappenherstellung	Gesamt:		-	-	-	6.628.439
	Leimaufbereitung	1	3.309	8	16	52.428
	Wellenaggregat B	1	2.482	127	256	635.008
	Wellenaggregat C	1	1.654	127	256	423.339
	Kaschierwerk	1	3.309	207	416	1.376.706
	Dämpfer B	1	2.482	115	230	571.280
	Dämpfer C	1	1.654	115	230	380.853
	Heiz- und Zugpartie	1	3.309	480	964	3.188.826

Tabelle A.3: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Raumwärme“

	Beheizungsart	Lufttemperatur	Anzahl	jährliche Laufzeit	Maximale thermische Leistung	elektrische Leistung	Energiebedarf	Energiebedarf
Einheiten		[° C]	[-]	[h/a]	[kW _{th}]	[kW _{el}]	[kW _{th} /a]	[kW _{el} /a]
(Lager)	Elektrische Heizung		1	1.200		2,00	0	2.400
(WPM)	Lüfterleistung Gesamt						224.460	
	Lüfter Typ B		3	1.200	62		224.460	
(Fertigung)	Lüfterleistung Gesamt						3.384.603	
	Elektrische Heizung	22	4	1.200		2,00	0	9.600
	Lüfter Typ A		18	1.200	61		1.320.556	
	Lüfter Typ B		13	1.200	62		972.660	
	Lüfter Typ C		4	1.200	92		439.560	
	Lüfter Typ D		4	1.200	80		382.711	
	Lüfter Typ E		2	1.200	80		191.356	
	Lüfter Typ F		3	1.200	22		77.759	
(Handwerksnebenräume)	Lüfterleistung Gesamt						312.597	
Schreinerei	Lüfter Typ I		1	1.200	22		26.032	
Elektrowerkstatt	Lüfter Typ J		1	1.200	48		57.925	
Werkstatt	Lüfter Typ A		1	1.200	61		73.364	
Magazin	Lüfter Typ F		1	1.200	22		25.920	
	Lüfter Typ L		1	1.200	38		45.060	
Matrizenraum	Lüfter Typ M		1	1.200	39		46.318	
	Lüfter Typ K		1	1.200	32		37.978	
(Mustermacherei)	Lüfterleistung Gesamt						162.280	
	Lüfter Typ H		1	1.200	56		66.603	
	Lüfter Typ E		1	1.200	80		95.678	
(Presse)	Lüfterleistung Gesamt						37.978	
	Lüfter Typ K		1	1.200	32		37.978	
(Elektrolager)	Lüfterleistung Gesamt						45.060	
	Lüfter Typ L		1	1.200	38		45.060	
(Kläranlage und Lüftungsanlage)	Lüfterleistung Gesamt						15.590	
	Lüfter Typ G	27	1	200	22		4.490	
	Lüfter Typ H		1	200	56		11.100	

Fortsetzung Tabelle A.3: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Raumwärme“

	Beheizungsart	Lufttemperatur	Anzahl	jährliche Laufzeit	Maximale thermische Leistung	elektrische Leistung	Energiebedarf	Energiebedarf
Einheiten		[° C]	[-]	[h/a]	[kW _{th}]	[kW _{el}]	[kW _{th} /a]	[kW _{el} /a]
(Kfz)	Lüfterleistung Gesamt						221.548	
	Lüfter Typ A		2	1.200	61		146.728	
	Lüfter Typ B		1	1.200	62		74.820	
(Büro, innen)	Heizleistung Gesamt						30.000	
	Wärmetauscher		1	1.200	25		30.000	
(Büro, außen)	Heizleistung Gesamt						120.000	
	Wärmetauscher		1	1.200	100		120.000	
	Summe Raumwärme						4.554.117	12.000

Lüftertyp	P _{Nenn} ≈ 2,5 bar [kW]
A: Benno Schilde 4123	76
B: Wolf LH 63	62
C: Babcock KTH 8112	92
D: Grosser Lüfter, Halle	99
E: Ziehl-Abegg Typ DK 137	99
F: Ziehl-Abegg Typ DAS 420	27
G: Wolf LA 25/D	22
H: Ziehl-Abegg Typ DK 137	69
I:	27
J: Benno Schilde Typ 32/2/3	60
K: Ziehl-Abegg D-1101	39
L: Wolf Typ LH 40	38
M: Ziehl-Abegg	48
Kesselwirkungsgrad	0,55

Fortsetzung Tabelle A.3: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Raumwärme“

Bedarf aus installierter Leistung	Nutzenergie	Endenergie (Gas)	Endenergie
Einheiten	[kWh _{th} /a]	[kWh _{th} /a]	[kWh _e /a]
bei 1.200 Vollaststunden Nennleistung	4.554.117	8.280.213	12.000
mittlerer Ausnutzungsfaktor = 0,6	2.732.470	4.968.128	

Einheiten	Nutzenergie	Endenergie
	[kWh _{th} /a]	[kWh _{th} /a]
Bedarf aus Gasverbrauch [m ³]	2.776.162	5.047.567
Innere Wärmequellen	3.235.147	5.882.085
Summe	6.011.309	10.929.653

Energiebedarf (neue WSVO)	Nutzenergie	Endenergie
Einheiten	[kWh _{th} /a]	[kWh _{th} /a]
12.740 m ² = 101.924 m ³		
101.924 • 19,6 = [kWh _{th} /a]	1.997.710	3.632.201

Tabelle A.4: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“

	Beheizungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung	Leistung	Energiebedarf	Energiebedarf
Einheiten*		[-]	[h/a]	[kWh _{th}]	[kWh _{el}]	[kWh _{th} /a]	[kWh _{el} /a]
Fertigung	Warmwasserspeicher	2	125		2		500
Sprinklerraum	Warmwasserspeicher	1	125		2		250
Kesselraum	WT-Warmwasserspeicher	1	125	30		3.750	
Mustermacherei	Warmwasserspeicher	1	125		2		250
Kläranlage und Druckluftaufbereitung	Warmwasserspeicher	1	125		4		500
Kfz	Warmwasserspeicher	1	125		2		250

* nur an den aufgeführten Orten sind Warmwasserspeicher installiert

Anzunehmender Bedarf	Warmwasserbedarf	Nutzenergie	Endenergie	Endenergie
Einheiten	[l/d]	[kWh _{th} /a]	[kWh _{th} /a]	[kWh _{el} /a]
150 Personen (Zähler: 300 l/d + 50 in Betrieb)	350	5.065	12.334	724

Wirkungsgrade	[-]
Kesselwirkungsgrad	0,55
Verteilungsverluste	0,80
Speicherverluste	0,80
Wirkungsgrad el. Speicher	1,00

Tabelle A.5: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kraft“

Name der Anlage		Anzahl	Ausnutzungs-faktor ¹⁾	Wir-kungs-grad	jähr-liche Laufzeit	Instal-tierte Leistung	Lei-stungs-auf-nahme ²⁾	Energie-bedarf
	Einheiten	[-]	[-]	[-]	[h/a]	[kW]	[kW]	[kWh/a]
Ener-gie-versor-gung	Gesamt:					146	91	291.363
	Kesselhaus							
	Gasgebläse	1	0,50	0,80	4.000	14	9	35.000
	Kondensatpumpen	1	0,50	0,80	4.000	5	3	11.500
	Speisewasserpumpen	1	0,50	0,80	4.000	10	6	25.000
	Druckluftversorgung							
	Großer Schrauben- verdichter	1	0,50	0,80	3.900	55	34	134.063
	Kleiner Schrauben- verdichter I	1	0,50	0,80	3.120	22	14	42.900
Kleiner Schrauben- verdichter II	1	0,50	0,80	3.120	22	14	42.900	
Kolbenverdichter	1	0,50	0,80		19	12	0	
Ver-und Entsor-gung	Gesamt:					305	191	622.567
	Abfallaufbereitung							
	Lüfter	4	0,50	0,80	3.300	30	19	247.500
	Shredder	4	0,50	0,80	3.300	25	16	206.250
	Presse	1	0,50	0,80	3.300	60	38	123.750
	Leimaufbereitung	1	0,50	0,80	1.690	25	16	26.301
Lüfter	70	0,50	0,80	1.200	0,36	0,22	18.766	
Well-pappen-herstel-lung	Gesamt:					240	150	398.906
	Wellenaggregat B	1	0,50	0,80	1.702	70	44	74.463
	Wellenaggregat C	1	0,50	0,80	2.553	70	44	111.694
Antrieb	1	0,50	0,80	3.404	100	63	212.750	
Stan-zen	Gesamt:					110	69	170.191
	Flachbettstanze (Bobst I)	1	0,50	0,80	2.479	27	17	42.143
	Flachbettstanze (Bobst II)	1	0,50	0,80	2.812	31	19	54.131
	Rotationsstanze (Ward)	1	0,50	0,80	2.257	52	33	73.917
Inline-Maschi-nen	Gesamt:					314	196	502.380
	In-Line-Maschine: Universal	1	0,50	0,80	3.367	84	52	176.136
	In-Line-Maschine: Klett	1	0,50	0,80	504	79	50	24.948
	In-Line-Maschine: Dörries	1	0,50	0,80	3.330	67	42	140.068
	In-Line-Maschine: Genco	1	0,50	0,80	3.071	84	53	161.228

Fortsetzung Tabelle A.5: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kraft“

Name der Anlage		Anzahl	Ausnutzungsfaktor ¹⁾	Wirkungsgrad	jährliche Laufzeit	Installierte Leistung	Leistungsaufnahme ²⁾	Energiebedarf
	Einheiten	[-]	[-]	[-]	[h/a]	[kW]	[kW]	[kWh/a]
Sonstiges	Gesamt:					138	86	185.624
	ZDRS	1	0,50	0,80	870	31	19	16.856
	Faltschachtelklebmaschine (G + T)	1	0,50	0,80	426	14	8	3.594
	Klebehalbautomat	1	0,50	0,80	296	4	3	786
	Gluer	1	0,50	0,80	510	8	5	2.550
	Hefthalbautomat	1	0,50	0,80	15	6	4	56
	Combi-Press	1	0,50	0,80	150	25	16	2.344
	Bündelmaschine I	1	0,50	0,80	3.000	1	1	2.250
	Bündelmaschine II	1	0,50	0,80	3.000	1	1	2.250
	Bündelmaschine III	1	0,50	0,80	3.000	1	1	2.250
	Palettierung	1	0,50	0,80	4.000	7	4	17.500
	Verschiebewagen	1	0,50	0,80	3.500	9	6	20.563
Ladestation	1	0,50	0,80	780	30	19	14.625	
Nicht erfaßte Kleinverbraucher	1							100.000
Gesamtbetrieb						1.253	783	2.171.030
1) Ausnutzungsfaktor = Verhältnis von mittlerer benötigter zu installierter elektrischer Leistung								
2) Leistungsaufnahme = (Ausnutzungsfaktor/Wirkungsgrad) • Gesamtleistung								

Tabelle A.6: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Beleuchtung“

Einheiten	Beleuchtungsart	Anzahl	jährliche	Leistung	Leistung	Leistung	Energie-
			Laufzeit	Lampen	Vor-	Lampen	bedarf
			[h/a]	[W]	schtät- geräte ¹⁾	[W]	[kWh/a]
Lager	Gesamt			10.440	2.340	12.780	8.946
	Freistrahlende Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	180	700	10.440	2.340	12.780	8.946
WPM	Gesamt			6.728	1.508	8.236	28.826
	Freistrahlende Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	12	3.500	696	156	852	2.982
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	39	3.500	4.524	1.014	5.538	19.383
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	6	3.500	348	78	426	1.491
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	10	3.500	1.160	260	1.420	4.970
WPM	Gesamt			3.712	832	4.544	15.904
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	24	3.500	2.784	624	3.408	11.928
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	8	3.500	928	208	1.136	3.976
Halle	Gesamt			5.684	1.274	6.958	11.133
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	42	1.600	4.872	1.092	5.964	9.542
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	7	1.600	812	182	994	1.590
Halle	Gesamt			2.088	468	2.556	4.090
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	18	1.600	2.088	468	2.556	4.090
Halle	Gesamt			9.744	2.184	11.928	19.058
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	48	1.600	5.568	1.248	6.816	10.906
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	3	1.600	348	78	426	682
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	33	1.600	3.828	858	4.686	7.498
Halle	Gesamt			4.002	897	4.899	7.838
	Freistrahlende Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	3	1.600	174	39	213	341
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	28	1.600	3.248	728	3.976	6.362
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	6	1.600	348	78	426	682
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	2	1.600	232	52	284	454

Fortsetzung Tabelle A.6: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Beleuchtung“

Einheiten	Beleuchtungsart	Anzahl	Jährliche	Leistung	Leistung	Leistung	Energie-
			Laufzeit	Lampen	Vor-	Lampen	bedarf
			[h/a]	[W]	schalt- geräte ¹⁾	[W]	[kWh/a]
Halle	Gesamt			5.916	1.326	7.242	11.587
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	11	1.600	1.276	286	1.562	2.499
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	40	1.600	4.640	1.040	5.680	9.088
Halle	Gesamt			3.248	728	3.976	6.362
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	28	1.600	3.248	728	3.976	6.362
Werkstätten, Lager	Gesamt			8.236	1.846	10.082	20.164
	Freistrahlende Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	15	2.000	870	195	1.065	2.130
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	55	2.000	6.380	1.430	7.810	15.620
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	9	2.000	522	117	639	1.278
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	4	2.000	464	104	568	1.136
Kesselraum	Gesamt			870	195	1.065	533
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	7	500	812	182	994	497
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	1	500	58	13	71	36
Leimaufbereitung	Gesamt			348	78	426	1.491
	Gekapselte Leuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	6	3.500	348	78	426	1.491
Mustermacherei	Gesamt			1.392	312	1.704	4.942
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	12	2.900	1.392	312	1.704	4.942
Presse	Gesamt			696	156	852	426
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	6	500	696	156	852	426
Elektrolager	Gesamt			1.160	260	1.420	355
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	10	250	1.160	260	1.420	355
Wasseraufbe- reitung	Gesamt			464	104	568	568
	Freistrahlende Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	3	1.000	348	78	426	426
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	1	1.000	116	26	142	142

Fortsetzung Tabelle A.6: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Beleuchtung“

Einheiten	Beleuchtungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung	Leistung	Leistung	Energie-
				Lampen	Vor-schalt-geräte ¹⁾	Lampen	bedarf
			[h/a]	[W]	[W]	[W]	[kWh/a]
Kompressor-Anlage	Gesamt			464	104	568	568
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	4	1.000	464	104	568	568
Kfz-Halle	Gesamt			986	221	1.207	1.207
	Gekapselte Leuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	3	1.000	348	78	426	426
	Wannenleuchte mit 1 Leuchtstoffröhre 58 W	5	1.000	290	65	355	355
	Wannenleuchte mit 2 Leuchtstoffröhren 58 W	3	1.000	348	78	426	426
Büroräume	Gesamt			1.392	312	1.704	1.278
	Spiegelrasterleuchten		750	1.392	312	1.704	1.278
Verwaltung	Gesamt			5.220	1.170	6.390	4.793
	Spiegelrasterleuchten		750	5.220	1.170	6.390	4.793
Außenbereich	Gesamt			3.600	252	3.852	1.926
	HQL-Lampen 250 W	8	500	2.000	144	2.144	1.072
	HQL-Lampen 400 W	4	500	1.600	108	1.708	854
Gesamtbetrieb				76.390	16.567	92.957	151.665
Gesamtleistungsbedarf [kW]				93			
Gesamtenergiebedarf [kWh/a]				151.665			
1) Leistungsaufnahme: 13 W pro Leuchtstoffröhre (konventionelle Drosselvor-schaltgeräte)							

Tabelle A.7: Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kommunikation“

Name der Anlage:		Anzahl	tägliche Laufzeit	jährliche Laufzeit	Standby-Leistung	maximale Leistung	Energiebedarf 1)
	Einheiten:	[-]	[h]	[h/a]	[W]	[W]	[kWh/a]
Computer:	Gesamt:				1.422	2.486	9.677
	HP Net-server Serie LM	2	24	6.072	627	627	7.614
	HP Vectra VL 5/xx Series 3	28	8	2.024	6	44	2.063
Monitore:	Gesamt:				392	6.440	10.586
	Sony 17 SF II	28	8	2.024	14	230	10.586
Drucker:	Gesamt:				1.415	10.445	17.485
	Kyocera FS 400	17	8	2.024	8	395	10.928
	Fujitsu DL 6600	3	8	2.024	420	1.060	5.659
	Kyocera FS 1550	1	8	2.024	19	550	898
Gesamtbetrieb:					3.229	19.371	37.749
1) Unter der Annahme, daß ein Teil der Zeit auf den Standby-Betrieb entfällt und während der übrigen Zeit bei voller Leistung gearbeitet wird (Anteil des Standby-Betriebes 20 %).							

Anhang B

Schadstoffemissionen des Ist-Zustandes

Nach GEMIS-Datensätzen STANDARD Aufteilung der Erdgaslieferanten siehe Abschnitt 2.4.

Tabelle B.1: Gesamtemissionen

Energieträger Erdgas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 12.197.704)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	610	60	732	110	1.342
SO ₂	1,5	18	24,5	299	26	317
NO _x	200	2.440	70	854	270	3.293
CH ₄	9	110	571	6.965	580	7.075
NMVOC	9	110	6	73	15	183
Staub	0,5	6	5,2	63	5,7	70
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	2.421	36,5	445	235	2.866
Energieträger Strom (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 2.373.168)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	1.376	580	1.376
SO ₂	0	0	510	1.210	510	1.210
NO _x	0	0	830	1.970	830	1.970
CH ₄	0	0	1.780	4.224	1.780	4.224
NMVOC	0	0	79	187	79	187
Staub	0	0	82	195	82	195
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	1.702	717	1.702
Gesamtemissionen (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 14.570.872)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		610		2.108		2.718
SO ₂		18		1.509		1.527
NO _x		2.440		2.824		5.263
CH ₄		110		11.189		11.299
NMVOC		110		261		370
Staub		6		258		264
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	2.421		2.147		4.568

Tabelle B.2: Prozeßwärme

Energieanwendung Prozeßwärme (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 7.137.803)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	357	60	428	110	785
SO ₂	1,5	11	24,5	175	26	186
NO _x	200	1.428	70	500	270	1.927
CH ₄	9	64	571	4.076	580	4.140
NMVOG	9	64	6	43	15	107
Staub	0,5	4	5,2	37	5,7	41
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	1.417	36,5	261	235	1.677

Tabelle B.3: Kraft

Energieanwendung Kraft (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 2.152.264)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	1.248	580	1.248
SO ₂	0	0	510	1.098	510	1.098
NO _x	0	0	830	1.786	830	1.786
CH ₄	0	0	1.780	3.831	1.780	3.831
NMVOG	0	0	79	170	79	170
Staub	0	0	82	176	82	176
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	1.543	717	1.543

Tabelle B.4: Beleuchtung

Energieanwendung Beleuchtung (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 151.665)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	88	580	88
SO ₂	0	0	510	77	510	77
NO _x	0	0	830	126	830	126
CH ₄	0	0	1.780	270	1.780	270
NMVOC	0	0	79	12	79	12
Staub	0	0	82	12	82	12
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	109	717	109

Tabelle B.5: Kommunikation

Energieanwendung Kommunikation (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 37.749)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	22	580	22
SO ₂	0	0	510	19	510	19
NO _x	0	0	830	31	830	31
CH ₄	0	0	1.780	67	1.780	67
NMVOC	0	0	79	3	79	3
Staub	0	0	82	3	82	3
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	27	717	27

Tabelle B.6: Brauchwarmwasser

Energieanwendung Brauchwarmwasser (Erdgas) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 12.334)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	1	60	1	110	1
SO ₂	1,5	0	24,5	0	26	0
NO _x	200	2	70	1	270	3
CH ₄	9	0	571	7	580	7
NMVOG	9	0	6	0	15	0
Staub	0,5	0	5,2	0	5,7	0
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	2	36,5	0	23,5	3
Energieanwendung Brauchwarmwasser (Strom) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 724)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	0	580	0
SO ₂	0	0	510	0	510	0
NO _x	0	0	830	1	830	1
CH ₄	0	0	1.780	1	1.780	1
NMVOG	0	0	79	0	79	0
Staub	0	0	82	0	82	0
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	1	717	1
Gesamtemissionen Brauchwarmwasser (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 13.058)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		1		1		2
SO ₂		0		1		1
NO _x		2		1		4
CH ₄		0		8		8
NMVOG		0		0		0
Staub		0		0		0
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂		2		1		3

Tabelle B.7: Raumwärme

Energieanwendung Raumwärme (Erdgas) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 5.047.568)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	252	60	303	110	555
SO ₂	1,5	8	24,5	124	26	131
NO _x	200	1.010	70	353	270	1.363
CH ₄	9	45	571	2.882	580	2.928
NMVOC	9	45	6	30	15	76
Staub	0,5	3	5,2	26	5,7	29
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	1.002	36,5	184	235	1.186

Energieanwendung Raumwärme (Strom) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 12.000)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	7	580	7
SO ₂	0	0	510	6	510	6
NO _x	0	0	830	10	830	10
CH ₄	0	0	1.780	21	1.780	21
NMVOC	0	0	79	1	79	1
Staub	0	0	82	1	82	1
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	9	717	9

Gesamtemissionen Raumwärme (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 5.059.568)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		252		310		562
SO ₂		8		130		137
NO _x		1.010		363		1.373
CH ₄		45		2.904		2.949
NMVOC		45		31		77
Staub		3		27		30
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂		1.002		193		1.195

Anhang C

Daten- und Berechnungsblätter vorgeschlagener Maßnahmen

Tabelle C.1: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Dämmung des Kaschierwerks“

Ist-Zustand		
derzeitiger Leistungsbedarf	kW	207
jährliche Laufzeit	h/a	3.309
derzeitiger Energiebedarf	kWh/a	684.963
Gasverbrauch	kWh/a	1.245.387
Fläche	m ²	25
k-Wert Metall/Luft	W/m ² K	50
Temperaturdifferenz	K	155
Wärmeverluststrom	W	193.750
Wärmeverluste insgesamt	kWh/a	641.119
Gasverbrauch	kWh/a	1.165.671
Maßnahme: Dämmung des Kaschierwerks		
Dammfläche	m ²	90
spezifische Kosten	DM/m ²	300
Gesamtinvestitionen	DM	27.000
Oberfläche der Dämmung	m ²	90
k-Wert der Dämmung	W/m ² K	0,80
Temperaturdifferenz	K	155
Wärmestrom durch Dämmfläche	W	11.160
freie Fläche	m ²	10
k-Wert Metall/Luft	W/m ² K	50
zusätzlicher Wärmestrom (Verluste)	W	77.500
Wärmeverluste insgesamt	kWh/a	293.376
Gasverbrauch	kWh/a	533.411
reduzierte Wärmeverluste	kWh/a	347.743
Gasminderverbrauch	kWh/a	632.260
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten	DM	27.000
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	17.360
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur, etc.)	DM/a	0
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,64
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,72

Fortsetzung Tabelle C.1: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Dämmung des Kaschierwerks“

Maßnahme „Dämmung des Kaschierwerks“ (jährlicher Gasminderverbrauch [kWh/a]: 632.260)						
Schadstoff	Emissionsminderung					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	32	60	38	110	70
SO ₂	1,5	1	24,5	15	26	16
NO _x	200	126	70	44	270	171
CH ₄	9	6	571	361	580	367
NMVOC	9	6	6	4	15	9
Staub	0,5	0	5,2	3	5,7	4
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	198,5	126	36,5	23	235	149

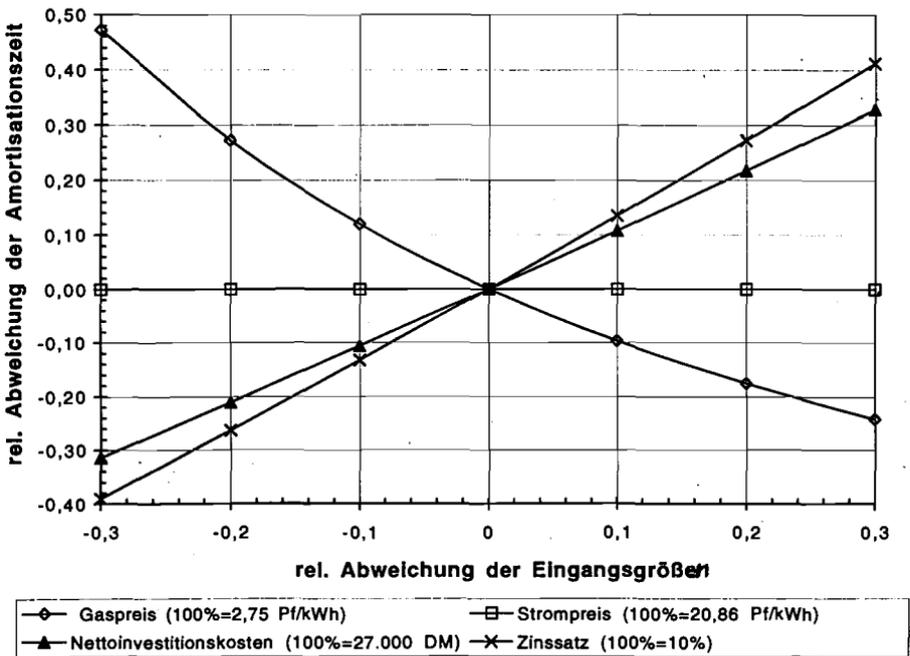


Abbildung C.1: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Dämmung des Kachelwerkes“ (100 % = 1,72 a)

Tabelle C.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I

Ist-Zustand		
Nutzenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	3.926.000
Endenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	7.138.000
Nutzenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	2.776.000
Endenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	5.048.000
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	9.000
Endenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	12.000
Endenergiebedarf Wärme gesamt	kWh/a	12.198.000
Nutzenergiebedarf Strom	kWh/a	2.373.000
mittlerer Leistungsbedarf Dampf	kW	1.186
mittlere Laufzeit Kessel Prozeßwärme	h/a	3.300
mittlere Laufzeit Kessel Raumwärme	h/a	1.200
mittlerer Nutzungsgrad des Kessels	-	0,55
Feuerungswärmeleistung	kW	5.850
Einsatz eines Gas-Otto-BHKW		
Feuerungswärmeleistung	kW	2.220
thermische Leistung	kW	1.200
elektrische Leistung	kW	733
thermischer Wirkungsgrad	-	0,54
elektrischer Wirkungsgrad	-	0,33
gesamter Wirkungsgrad	-	0,87
Stromkennzahl	-	0,61
Einsatz eines Abhitzeessels		
Feuerungswärmeleistung	kW	4.400
Wärmeleistung	kW	4.000
Wirkungsgrad	-	0,9
Energiebilanz		
Wärmelieferung BHKW	kWh/a	3.960.000
Stromlieferung BHKW	kWh/a	2.418.900
Brennstoffbedarf BHKW	kWh/a	7.326.000
Wärmelieferung AHK	kWh/a	2.742.000
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	9.000
Brennstoffbedarf AHK	kWh/a	3.056.667
Brennstoffbedarf gesamt	kWh/a	10.382.667
Eigenstromerzeugung	kWh/a	2.418.900

Fortsetzung Tabelle C.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzekeessel, Variante I

Kostenbetrachtungen		
spezifische Investitionen BHKW	DM/kWel	1.350
spezifische Investitionen AHK	DM/kW	235
Betriebskosten BHKW	%/a	3,3
Betriebskosten AHK	%/a	5,0
spezifischer Strompreis	DM/kWh	0,2086
spezifischer Gaspreis	DM/kWh	0,0275
Investitionen BHKW	DM	989.550
Investitionen AHK	DM	1.034.000
Investitionen gesamt	DM	2.023.550
Betriebskosten BHKW	DM/a	32.655
Betriebskosten AHK	DM/a	51.700
Betriebskosten Ist-Zustand (geschätzt)	DM/a	34.100
Betriebskostensparnis	DM/a	-50.255
Brennstoffkosten alt	DM/a	335.445
Brennstoffkosten neu	DM/a	285.523
Brennstoffkostensparnis	DM/a	49.922
Kosteneinsparung durch Eigenstromerzeugung	DM/a	504.583
jährliche Minderausgaben	DM/a	504.249
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten	DM	2.023.550
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	554.504
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-50.255
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	5,15
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.1	a	4,45
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	5,15
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.1	a	5,01

Fortsetzung Tabelle C.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzekeessel, Variante I

Maßnahme „Gas-Otto-BHKW/Abhitzekeessel/Variante I“		alt		neu			
jährlicher Energiebezug [kWh/a]:		Erdgas: 12.198.000		10.382.667			
		Strom: 2.373.000		0			
Schadstoff	Emissionen						
	beim Verbraucher				vorgelagerter Prozesse (Erdgas)		
	mg/kWh (alt)	kg/a (alt)	mg/kWh (neu)	kg/a (neu)	mg/kWh	kg/a (alt)	kg/a (neu)
CO	50	610	221	2.295	60	732	623
SO ₂	1,5	18	1,5	16	24,5	299	254
NO _x	200	2.440	227	2.357	70	854	727
CH ₄	9	110	17	177	571	6.965	5.929
NMVOG	9	110	28	291	6	73	62
Staub	0,5	6	6	62	5,2	63	54
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO ₂	198,5	2.421	198,5	2.061	36,5	445	379
Schadstoff	Emissionen			Emissionsminderung des Gesamtprozesses			
	vorgelagerter Prozesse (Strom)						
	mg/kWh	kg/a (alt)	kg/a (neu)				
			kg/a				
CO	580	1.376	0	-199			
SO ₂	510	1.210	0	1.257			
NO _x	830	1.970	0	2.179			
CH ₄	1.780	4.224	0	5.194			
NMVOG	79	187	0	17			
Staub	82	195	0	148			
	g/kWh	t/a	t/a	t/a			
CO ₂	717	1.701	0	2.128			

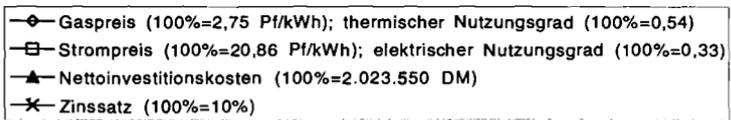
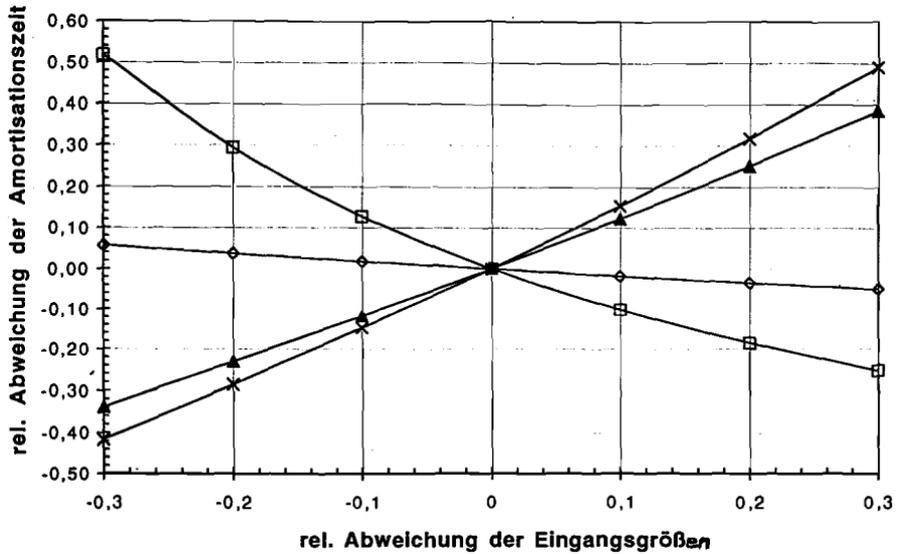


Abbildung C.2: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitzekessel, Variante I“ (100 % = 4,65 a)

Tabelle C.3: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten + Lichtsteuerung/ Produktionsbereich“

Ist-Zustand		
derzeitiger Stromverbrauch	kWh/a	105.000
jährliche Nutzungsdauer	h/a	2.100
Anzahl der einlampigen Leuchten	-	27
Anzahl der zweilampigen Leuchten	-	341
Anzahl der Leuchtstoffröhren	-	709
Stromeinsparung		
elektronische Vorschaltgeräte (20 % Einsparung)	kWh/a	21.000
Lichtsteuerung (Halbierung des Verbrauchs)	kWh/a	42.000
Sonstige Einsparungen		
Verlängerung der Lampenlebensdauer	DM/a	745
Investitionskosten		
einlampige Leuchten, dimmbar, elektronische Vorschaltgeräte 170 DM/Leuchte	DM	4.590
zweilampige Leuchten, dimmbar, elektronische Vorschaltgeräte 200 DM/Leuchte	DM	68.200
Lichtsteueranlage mit Sensor	DM	2.000
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten	DM	75.000
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	13.141
Zusätzliche Einsparungen	DM/a	745
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur, etc.)	DM/a	0
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	9,5
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	6,2
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	9,5
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	7,3

Fortsetzung Tabelle C.3: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Einbau von elektronischen Vorschaltgeräten + Lichtsteuerung/Produktionsbereich“

Maßnahme „Einbau VSG + LS Produktionsbereich“ (jährlicher Stromminderverbrauch [kWh/a]: 63.000)						
Schadstoff	Emissionsminderung					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	37	580	37
SO ₂	0	0	510	32	510	32
NO _x	0	0	830	52	830	52
CH ₄	0	0	1.780	112	1.780	112
NMVOC	0	0	79	5	79	5
Staub	0	0	82	5	82	5
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO ₂	0	0	717	45	717	45

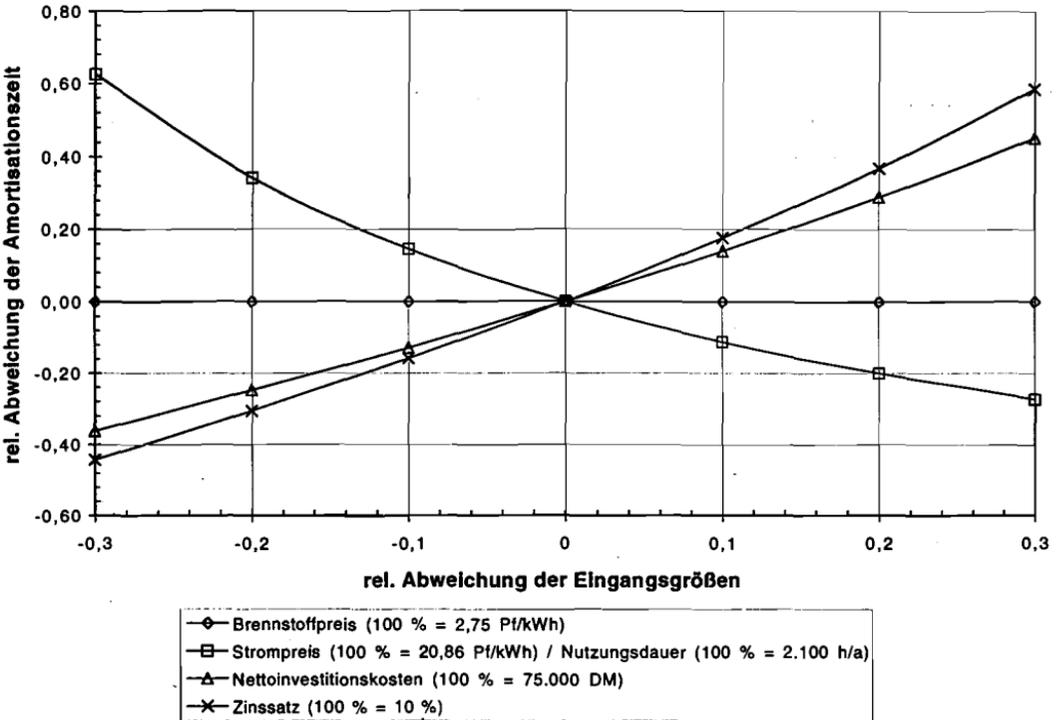


Abbildung C.3: Sensitivitätsanalyse zur Energiesparmaßnahme „Einbau von elektronischen Vor-schalgeräten und Lichtsteuerung/Produktionsbereich (100 % = 7,3 a)

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S. | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S. | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S. | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S. | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe
der Infrarot-Thermographie
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |
| 9 | Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie –
Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S. | 20,00 DM |
| 10 | Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und
Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S. | 15,00 DM |
| 11 | Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S. | 25,00 DM |
| 12 | Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung
von Wässern und Feststoffen
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S. | 28,00 DM |
| 13 | Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen
– Erstbewertung und normierte Charakterisierung –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S. | 15,00 DM |
| 14 | Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger
Problemabfälle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S. | 25,00 DM |
| 15 | Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S. | 20,00 DM |
| 16 | Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung
einer Textilreinigungsanlage
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S. | 15,00 DM |

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

- 17 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbertechnischen Versuehskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. 20,00 DM
- 18 Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. 25,00 DM
- 19 Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. 25,00 DM
- 20 Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. 20,00 DM
- 21 Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. 15,00 DM
- 22 Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. 40,00 DM
- 23 Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. 25,00 DM
- 24 Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. 25,00 DM
- 25 Thermodynamische Analyse der Verfahren zur thermischen Müllentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 121 S. 25,00 DM
- 26 Normierung und Konventionen in der Abfallanalytik – Aufgaben und Ziele
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 188 S. 28,00 DM
- 27 Entsorgungsbericht 1994 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 92 S. 20,00 DM
- 28 Umweltüberwachung im Spannungsfeld; integral/medial – privat/staatlich
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 289 S. 30,00 DM
- 29 Bauabfallentsorgung – von der Deponierung zur Verwertung und Vermarktung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 181 S. 28,00 DM
- 30 Ergebnisse von Dioxin-Emissionsmessungen an Industrieanlagen in NRW
– Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 114 S. 20,00 DM
- 30 Results of Measurements of the Emissions of Dioxins by Industrial Plants in North Rhine-Westphalia – Dioxins Measurement Programme
North Rhine-Westphalia – Final Report 1996
English translation of the report LUA-Materialien No. 30 (1996); original edition published in German language – Translated by Edith Navé, Hohenbrunn, Germany
Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 102 S. 30,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

31	Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in NRW Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S.	28,00 DM
32	Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von Herrn Abteilungsdirektor Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S.	20,00 DM
33	Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/ Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr – Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S.	30,00 DM
34	Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten Entwicklungen und Erkenntnisse Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S.	18,00 DM
35	Physikalisch-chemische und biologische Auswirkungen bei der Verwendung von Waschbergen in Schiffahrtskanälen Untersuchungsbericht des Arbeitskreises „Waschberge im Wasserbau“ Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 154 S.	25,00 DM
36	Anforderungen an sachverständige Stellen für die Bekanntgabe und die Zulassung im Bereich des Immissionserschutzes Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 132 S.	25,00 DM
37	Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 275 S.	30,00 DM
38	Zivile Anschlußnutzung von Militärstandorten – Risikofaktor Altlasten/Bodenbelastung – Tagungsband Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 168 S.	25,00 DM
39	Flächenhafter Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser – Abschlußbericht, Dezember 1994 Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 217 S.	30,00 DM
40	Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen Teil I: Oberirdische Gewässer Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 40 S.	15,00 DM
41	Brand- und Zersetzungsprodukte Abschlußbericht des Projekts „Integration von Daten zu Brand- und Zersetzungsprodukten in das Informationssystem für gefährliche/ umweltrelevante Stoffe (IGS)“ Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 134 S.	25,00 DM
42	Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen 9. Aachener Kolloquium am 5. Dezember 1996 – Tagungsband – Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 156 S.	25,00 DM
43	Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe (The European Dioxin Inventory) – Final Report – Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 926 S.	50,00 DM

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

44	Emissionskataster der genehmigungsbedürftigen Anlagen im Lande Nordrhein-Westfalen Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 32 S.	15,00 DM
45	Entsorgungsbericht 1995 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 101 S.	22,00 DM
46	Validierung von Passivsammlern für Immissionsmessungen von Kohlenwasserstoffen Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 95 S.	22,00 DM
46	Validation of Passive Samplers for Measurements of Hydrocarbons in Ambient Air English translation of the report LUA-Materialien No. 46 (1998) original edition published in German language Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 92 S.	30,00 DM
47	Leitfaden für Analysen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung von Abfällen aus Haushaltungen Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 131 S.	25,00 DM
48	Kommunale Abfallvermeidungs- und -Verwertungsmaßnahmen in NRW Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 92 S.	25,00 DM
49	Vollzugshilfe zum Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz • Dichtetabelle • EAK-Schlüssel-Kennzeichnung anhand von Nachweispflichten Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 66 S.	25,00 DM
50	Konzept zur Optimierung der Energieversorgung bei einem Unternehmen der Wellpappenherstellung Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES) der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Landesumweltamtes Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 131 S.	30,00 DM