

---

# Materialien

---

Nr. 51

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

Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des  
Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES)  
der Ruhruniversität Bochum

im Auftrag des Landesumweltamtes NRW

---

Essen 1998

---

41105  
Landesumweltamt  
Nordrhein-Westfalen  
Bibliothek

UM 35

00006-51

**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:** Nachrichtensbereitschaftszentrale 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 Textilverarbeitung, 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 Kostentlastung sowie Emissionminderung beitragen.



Essen, im November 1998

Dr. Ing. Harald Irmer  
Präsident des  
Landesumweltamtes NRW



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 Vorwerk	16
2.2.2 Färberei	17
2.2.3 Weberei	18
2.2.4 Warenvorbehandlung	19
2.2.5 Warenveredelung	23
2.2.6 Nebeneinrichtungen	25
2.3 Erfassung der energetischen Betriebsdaten und Erarbeitung einer Energiebilanz	29
2.3.1 Prozeßwärme	32
2.3.2 Raumwärme	35
2.3.3 Brauchwarmwasser	38
2.3.4 Kraft	38
2.3.5 Beleuchtung	41
2.3.6 Kommunikation	43
2.4 Abbildung des Ist-Zustandes im Bereich der Schadstoffemissionen	44
2.5 Zusammenfassende Darstellung der energetischen Situation	49
3. Erarbeitung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und rationellen Energienutzung	50
3.1 Prozeßwärme	52
3.2 Raumwärme	73
3.3 Brauchwarmwasser	80
3.4 Kraft	80
3.5 Beleuchtung	86
3.6 Kommunikation	90
3.7 Innovative Energiesysteme, Einsatz erneuerbarer Energien	91

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
4. Bewertung der verschiedenen Maßnahmen _____	99
4.1 Ranking zur Durchführung von Einzelmaßnahmen _____	99
4.2 Kombination verschiedener Maßnahmen minimaler Amortisationszeiten _____	104
5. Zusammenfassung _____	113
6. Literatur _____	115
7. Anhang _____	120
A Endenergieverbräuche des Istzustandes _____	120
B Schadstoffemissionen des Istzustandes _____	133
C Daten- und Berechnungsblätter vorgeschlagener Maßnahmen _____	145

#### Verzeichnis der Abbildungen

2.1 Grundfließbild des Produktionsablaufs der Textilveredelung nach DIN 28004 _____	15
2.2 Grundfließbild des Vorwerks nach DIN 28004 _____	16
2.3 Grundfließbild der Färberei nach DIN 28004 _____	17
2.4 Grundfließbild der Weberei nach DIN 28004 _____	19
2.5 Grundfließbild der Warenvorbehandlung nach DIN 28004 _____	20
2.6 Grundfließbild der Warenveredelung nach DIN 28004 _____	23
2.7 Grundfließbild der Nebeneinrichtungen nach DIN 28004 _____	26
2.8 Energieflußdiagramm des untersuchten Betriebes für das Betriebsjahr 1995 _____	31
3.1 Resultierende Summenkurven des Abwärmeangebots und des Wärmebedarfs im untersuchten Betrieb _____	61
3.2 Degression der spezifischen Investitionskosten von Platten- und Glasrohrwärmetauschern _____	63
3.3 Kosten- und Amortisationszeiten einer Wärmetauscher- auslegung _____	64
3.4 Skizze des entwickelten Speicherkonzeptes zur Abwärme- nutzung diskontinuierlicher Abwärmeströme _____	69
3.5 Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors _____	82

3.6	Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors bei Stern- und Dreieckschaltung	84
3.7	Funktionsprinzip eines Lastmanagementsystems	85
4.1	Emissionsminderung durch Energiesparmaßnahmen	112
C.1	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Isolierung des NBS-Überlaufes“ (100 % = 0,2 a)	147
C.2	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen“ (100 % = 0,7 a)	150
C.3	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I“ (100 % = 3,30 a)	154
C.4	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“ (100 % = 0,40 a)	157
C.5	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)	160
C.6	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)	163
C.7	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)	166
C.8	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage“ (100 % = 0,81 a)	169
C.9	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher am Mercersierer“ (100 % = 0,61 a)	172
C.10	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Speicher-konzept mit großem Wärmetauscher“ (100 % = 1,90 a)	175
C.11	Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“ (100 % = 1,68 a)	178

## Verzeichnis der Tabellen

2.1	Energie- und Leistungsbedarf im Anwendungsbereich „Kraft“	40
2.2	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Steinkohle“	45
2.3	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Heizöl S“	46
2.4	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Flüssiggas“	46
2.5	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Erdgas“	47
2.6	Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Strom“	47
2.7	Ergebnisse der Schadstoffberechnungen des Betriebes	48
3.1	Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Prozeßwärmeanwendungen durch Kraft-Wärme-Kopplung	59
3.2	Übersicht über die Wärmerückgewinnungsmaßnahmen an den Maschinen	68
3.3	Übersicht über die Dämmmaßnahmen an den Maschinen und die diskutierten Speicherkonzepte	72
3.4	Auftretende Energieströme im Anwendungsbereich „Raumwärme“	73
3.5	Transmissionsverluste durch Gebäudeaußenflächen	74
3.6	Übersicht über die Maßnahmen zur Wärmedämmung	76
3.7	Richtwerte für die Raumlufttemperatur	79
3.8	Energieströme und -einsparungen aufgrund einer Raumtemperaturabsenkung auf 18 °C	79
3.9	Übersicht über die Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs im Anwendungsbereich Raumwärme	79
3.10	Übersicht über exemplarische Motorersatzmaßnahmen	83
3.11	Aufteilung der Beleuchtungsbereiche	86
3.12	Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtung	90
3.13	Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung des Kommunikationsbereiches	91
3.14	Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten innovativer Energietechniken	94
3.15	Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz erneuerbarer Energiesysteme	98
4.1	Prioritätenliste der Einzelmaßnahmen in der Rangfolge ihrer dynamischen Amortisationszeiten	100
4.2	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahmenkombination	107
4.3	Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmenkombination	110
4.4	Emissionsvergleich vor und nach Umsetzung der Maßnahmenkombination	110

4.5	Prozentuale Änderung der Emissionen durch die Maßnahmenkombination	111
<b>Anhang</b>		
A.1	Ermittelte Endenergieverbräuche nach Energieträgern und -anwendungsbereichen	121
A.2	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“	122
A.3	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Raumwärme“	123
A.4	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“	126
A.5	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kraft“	127
A.6	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Beleuchtung“	129
A.7	Übersicht über den ermittelten Endenergieverbrauch im Anwendungsbereich „Kommunikation“	132
<b>B.1 - B.7 Schadstoffemissionen des Unternehmens nach Anwendungsbereichen und Energieträgern</b>		
B.1	Gesamtemissionen	134
B.2	Prozeßwärme	137
B.3	Kraft	140
B.4	Beleuchtung	141
B.5	Kommunikation	141
B.6	Brauchwarmwasser	142
B.7	Raumwärme	142
C.1	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Isolierung des NBS-Überlaufes“	146
C.2	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen“	148
C.3	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitze-kessel, Variante I“	151
C.4	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“	155
C.5	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage“	158

## Inhalt

Seite

C.6	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“ _____	161
C.7	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage“ _____	164
C.8	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage“ _____	167
C.9	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher am Mercerisierer“ _____	170
C.10	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher“ _____	173
C.11	Daten- und Berechnungsunterlagen zur Energieeinsparmaßnahme: „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“ _____	176
	Liste der bisher erschienen LUA-Materialien _____	179

## 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 energetisch, 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 textilverarbeitenden Industrie. Die Untersuchung des Betriebes 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 CO<sub>2</sub>-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 diese Industriebranche 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 textilverarbeitenden 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 werden 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 Auswirkungen einer vorgeschlagenen Optimierungsmäßnahme 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 textilverarbeitende Unternehmen produziert überwiegend Bettwäsche und Tischwaren. Es beschäftigt z.Zt. etwa 180 Mitarbeiter, von denen ein Großteil in der Produktion tätig ist. Als Produktionsrohstoffe bezieht der Betrieb Garne und Stückware unterschiedlicher Qualität. Während das Garn im Vorwerk, der Schlichterei und der Weberei verschiedene Bearbeitungsstufen durchläuft und zu Stückware verarbeitet wird, gelangt die ggf. zugekaufte Stückware direkt in die Warenvorbehandlung. Das Rohgarn hingegen wird in den o.g. Produktionsschritten zunächst auf geeignete Spulträger (Kreuzspulen) umgespult, gefärbt oder auch gebleicht und zur weiteren Verarbeitung mit Schlichte versehen. In der Weberei wird das Garn dann zu Stückware verwebt und in der Warenvorbehandlung gewaschen, gefärbt oder auch gebleicht. In

der abschließenden Veredelung durchläuft die Ware je nach Anforderung an das Produkt verschiedene Veredelungsschritte, welche die Eigenschaften und Qualität der Ware beeinflussen.

1995 betrug der Endenergiebedarf des Unternehmens rund 30 Mio. kWh, wovon nahezu die Hälfte durch den Einkauf von Importsteinkohle gedeckt wurde. So entfielen 13,8 Mio kWh auf den Endenergieträger Steinkohle. Darüber hinaus wurden neben der Steinkohle ca. 7,5 Mio. kWh Heizöl S zur Dampferzeugung eingesetzt, so daß 1995 über 70 % des Endenergiebedarfs der Dampferzeugung zugeführt wurden. Die genannten Brennstoffe wurden in zwei baugleichen Kohlekesseln mit Unterschubfeuerungen sowie einem Schwerölkessel eingesetzt. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen war der Schwerölkessel bereits durch einen modernen Gas-Spitzenlastkessel ersetzt worden. Dieser Kessel wurde jedoch erst im Mai 1996 in Betrieb genommen. Im Bilanzjahr 1995 dagegen wurde der Schwerölkessel noch uneingeschränkt betrieben, so daß dieser in die nachfolgende Energiebilanz integriert wird. Der in den Kesseln gewonnene Niederdruckdampf versorgt den Prozeß- und Raumwärmebedarf.

Neben Kohle und Öl wurde des weiteren Flüssiggas als Brennstoff eingesetzt, das zur Versorgung der Gasfeuerungen in der Senge, den Spannrahmen und der Thermosol-Färbeanlage diente. Im Jahr 1995 wurden in den genannten Aggregaten rund 4,8 Mio. kWh Flüssiggas eingesetzt. Durch die Installation einer Gasleitung zur Versorgung des neu errichteten Gaskessels wird zum Jahresende auch das Flüssiggas durch Erdgas ersetzt und die entsprechenden Flüssiggasanlagen (Verdampfer, Tanklager etc.) außer Betrieb genommen.

Die Strombilanz des Unternehmens wies für das Bilanzjahr 1995 einen Stromverbrauch von etwa 4,2 Mio. kWh aus. Strom findet überwiegend zur Kraftgestehung Verwendung. 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, wobei der Schichtwechsel gegen 14.00 Uhr erfolgt.

Zur Herstellung von Bett- und Tischwaren werden - neben Energie - Garne und Stückwaren, Getreidestärke zur Schlichteherstellung, Farb- und Bleichmittel, verschiedene Chemikalien wie bspw. Natronlauge, Kunststoffe und Frischwasser eingesetzt. Das Frischwasser gewinnt das Unternehmen dabei aus mehreren Wasserbrunnen bzw. einem nah gelegenen Fließgewässer.

Produktionsreste fallen in Form von Verpackungsmaterialien (Papier, Pappe), Textilreststoffe, Kunststoffabfällen, hausmüllähnlichen Gewebeabfällen und Flugasche an. Während der Restmüll und die Flugasche deponiert und das Abwasser der betrieblichen Kläranlage zugeführt wird, gelangen die Kunst- und Textilreststoffe ebenso wie die Papier- und Pappabfälle über einen Altstoffhändler zurück in den Werkstoffkreislauf.

## **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 Grund-

fließbildes nach DIN 28004 Teil 1 (vgl. Abbildung 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 [5]. Abbildung 2.1 zeigt das Grundfließbild des Produktionsablaufes zur Textilverarbeitung im untersuchten Betrieb.

Die zur Produktion eingesetzten Rohstoffe sind neben Garnen unterschiedlicher Art vor allem Hilfsmittel wie bspw. Chemikalien in Form von Farbstoffen, Bleich- oder Waschmitteln. Darüber hinaus wird teilweise auch Stückware zugekauft, um die in der eigenen Weberei hergestellten Stückwaren zu ergänzen. Das in der Weberei eingesetzte Garn wird zunächst im Vorwerk produktionsgerecht aufbereitet und je nach Zustand bzw. Verunreinigung des Materials einem ersten Arbeitsgang im Form von Wasch- und Reinigungsmaßnahmen unterzogen. Das gereinigte Garn durchläuft dann - falls erforderlich - die Spulerei, wo es von den Transportspulen auf Kreuzspulen umgespult wird. Die Kreuzspulen sind Garnträger, die zur Handhabung des Garns in der Färberei und der anschließenden Weberei erforderlich sind. Ein Teil des Garns wird ferner in der Zettelei zu sog. Kettbäumen zusammengestellt, die dem Webstuhl als Grundlage zur Flächenbildung dienen. Die einzelnen Granspulen werden hierzu im Zettelgatter zusammengestellt, eingefädelt und von der Zettelmaschine auf große Metallrollen, sog. Kettbäume, aufgespult. Sowohl die Kettbäume als auch die Schußfäden werden bei Bedarf in der Garnfärberei gebleicht bzw. gefärbt und anschließend im Drucktrockner getrocknet. Die Kettbäume durchlaufen eine weitere Vorbereitungsstufe, bevor sie in die Weberei bzw. das Kettbaumlager gelangen, wobei sie in der Schlichterei mit einem Schlichtemittel versehen werden, um ihre mechanische Festigkeit beim Weben zu erhöhen. Als Schlichtemittel wird dabei Getreidestärke eingesetzt, die in der Schlichteküche mit Wasser und verschiedenen Zusatzstoffen aufbereitet wird.

Die vom Vorwerk bereitgestellten Materialien werden in der Weberei zu Stückwaren verwebt. Besondere Anforderungen werden dabei an die Klimatisierung der Weberei gestellt, weshalb diese mit einer leistungsfähigen Klimaanlage ausgerüstet ist. Nach dem Weben wird die zugekaufte Stückware ebenso wie die Produkte aus der Eigenerzeugung der anschließenden Warenvorbehandlung zugeführt.

Die Warenvorbehandlung faßt eine Vielzahl einzelner Verfahrensschritte zusammen (vgl. Kapitel 2.2.4). Hauptaufgabe der Warenvorbehandlung ist dabei das Färben, Entschlichten, Bleichen, Fixieren und Waschen der Stückware. Hierzu wird ein umfangreicher und energieintensiver Maschinenpark eingesetzt, der einen großen Wasserbedarf aufweist.

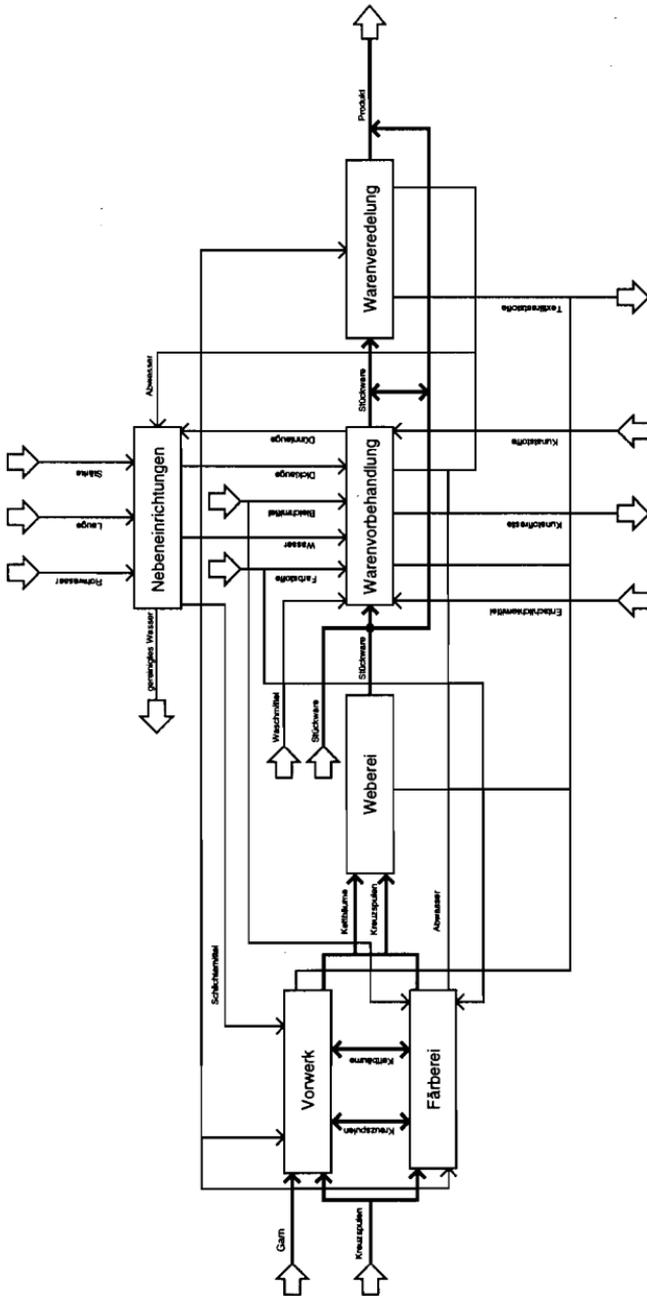


Abb. 2.1: Grundfließbild des Produktionsablaufs der Textilverarbeitung nach DIN 28004

Den Abschluß des Produktionsverfahrens bildet die Warenveredelung. Hier wird die vorbehandelte Ware in vielfältiger Form bearbeitet. Typische Arbeitsgänge sind das Trocknen und Fixieren der Ware in den Spannrahmen, das Sanforisieren, Kalandrieren oder Doublieren (vgl. Kapitel 2.2.5).

In allen Bearbeitungsstufen werden neben der Rohware verschiedene Werk- und Hilfsstoffe eingesetzt, die durch eine Vielzahl von Nebenaggregaten bereitgestellt werden (bspw. Schlichteküche). Darüber hinaus wird Prozeßwärme in Form von Dampf und elektrischer Energie eingesetzt. Die Nebeneinrichtungen dienen der Entsorgung anfallender Reststoffe (z.B. Abwasserkläranlage) sowie darüber hinaus der Aufbereitung verschiedener Produktionsrückstände (z.B. Laugenrückgewinnung). Die Nebenaggregate sind zwar nicht Gegenstand der eigentlichen Produktion, für deren Funktion jedoch von großer Bedeutung.

Eine übersichtliche Darstellung des komplexen Produktionsablaufes erlaubt die Unterscheidung der sechs Teilbereiche

- Vorwerk,
- Färberei,
- Weberei,
- Warenvorbehandlung,
- Warenveredelung und
- Nebeneinrichtungen.

Diese Bereiche werden daher in den folgenden Kapiteln jeweils getrennt erörtert und in einem Grundfließbild detailliert dargestellt (vgl. Abbildungen 2.2 - 2.7).

### 2.2.1 Vorwerk

Der Produktionsabschnitt des Vorwerks umfaßt im wesentlichen die Aufbereitung der Rohstoffe in eine produktionsgerechte Form. Dazu durchlaufen die Textilien verschiedene Arbeitsschritte in der Spulerei, der Zettlerei sowie der Schlichterei. Das Grundfließbild des Vorwerks zeigt Abbildung 2.2.

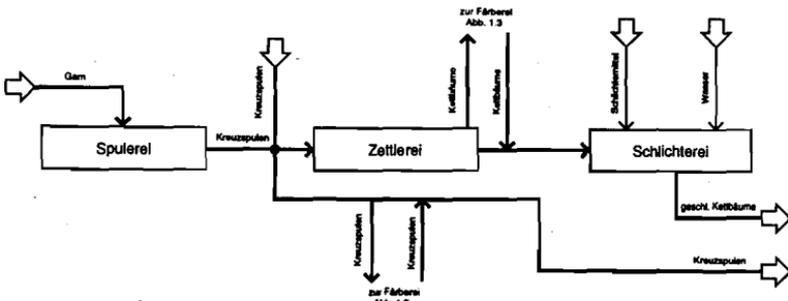


Abb. 2.2: Grundfließbild des Vorwerks nach DIN 28004

In der **Spulerei** befinden sich 4 Kreuzspulmaschinen unterschiedlichen Alters und Größe. Beim Kreuzspulen werden die Garne zur weiteren Materialbehandlung von primären Garntägern in die Kreuzspulform überführt. Als Trag- und Stützkörper werden Hülsen aus Kunststoff verwendet, welche für spätere Färbeprozesse perforiert sind. Die jährliche Betriebszeit kann zu rund 750 Stunden und die installierte Leistung zu rund 50 kW angenommen werden.

In der **Zettlerei** wird ein Teil des Garns auf sogenannte Kettbäume umgespult, wobei die Kettbäume die Grundlage des Webprozesses bilden. Zur Herstellung der Kettbäume stehen zwei Maschinen zur Verfügung. Während die größere Maschine bei einer installierten Leistung von ca. 22 kW rund 3.000 h in Betrieb ist, kommt die kleinere Maschine bei einer installierten Leistung von rund 13 kW nur ca. 670 h zum Einsatz.

Baumwollfäden bestehen aus kurzen Einzelfäden und besitzen eine unebene Oberfläche, die den anschließenden Webvorgang aufgrund unzureichender mechanischer Stabilität behindern. Kettbäume, deren Kettfäden aus Baumwolle bestehen, werden daher zunächst geschlichtet. Hierzu finden zwei unterschiedliche **Schlichteanlagen** Anwendung. Die zulaufende Kette wird hinter einer Leitwalze in das Schlichtebad eingetaucht, die Fäden mit Schlichte benetzt und überflüssige Schlichte durch Quetschwalzen entfernt. Nach einer anschließenden Trocknung wird die Kette wiederum auf den Kettbaum aufgewickelt.

Die größere der vorhandenen Schlichteanlagen hat eine installierte elektrische Leistung von 80 kW<sub>el</sub> und eine thermische Leistung von 120 kW<sub>th</sub> bei einer jährlichen Laufzeit von ca. 3.000 h/a. Die kleinere der Anlagen wird mit ca. 1.750 h/a jährlichen Betriebsstunden seltener eingesetzt, hat eine installierte elektrische Leistung von 40 kW<sub>el</sub> und eine thermische Leistung von ebenfalls 120 kW<sub>th</sub>.

## 2.2.2 Färberei

Der Produktionsabschnitt der Färberei umfasst den Färbevorgang im Bereich der Baum- und Kreuzspulfärbung sowie den Trocknungsprozess im Bereich der Garn-trocknungsanlage. Das Grundfließbild der Färberei zeigt Abbildung 2.3.

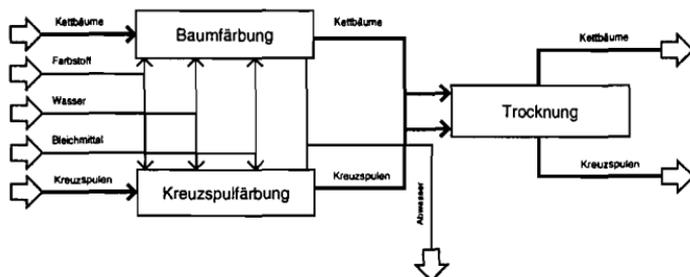


Abb. 2.3: Grundfließbild der Färberei nach DIN 28004

Zur Einfärbung der Garne stehen im Betrieb zwei verschiedene Färbeapparate zur Verfügung. Einerseits werden Kettbäume in der **Baumfärbung**, andererseits die Kreuzspulen im **Kreuzspulfärbeapparat** gefärbt. Dabei werden die Kreuzspulen bzw. die Kettbäume auf speziellen Tragegestellen in die Färbeapparate eingebracht. Hier durchlaufen sie verschiedene Prozeßstufen (Spülen, Färben, Waschen etc.), wobei ein Färbvorgang durchschnittlich ca. 1,5 h dauert. Hinzu kommen etwa 1,5 h für den nachfolgenden Trocknungsprozeß im Drucktrockner.

Die Färbeflotte mit einer Chargenfüllung von ca. 3.000 l wird zum Färben bei 3 bar auf eine Temperatur von ca. 70 °C erhitzt. Beide Apparaturen werden durchschnittlich 2 - 3 mal täglich, d.h. rund 4 h/d, bei einer installierten thermischen Leistung von jeweils 1.390 kW<sub>th</sub> und einer elektrischen Leistung von jeweils 12 kW<sub>el</sub> betrieben.

Die aus den Färbeapparaturen kommenden Kreuzspulen bzw. Kettbäume werden anschließend in der **Garntrocknungsanlage** getrocknet. Sie werden komplett mit Tragegestellen in die Trocknungsanlage gebracht, in welcher sie bei einem Druck von ca. 5 bar rund eine Stunde bei einer Temperatur von ca. 110 °C getrocknet werden. Der Druckluftbehälter des Trockners wird zunächst mit Druckluft beaufschlagt und anschließend mit Dampf beheizt.

Ein 250 kW-Gebläse wälzt die Luft im Trockner während des Trocknungsprozesses um. Während das Kondensat aus der Trockneranlage nicht weiter verwendet wird, ist in der Anlage ein Wärmetauscher installiert, welcher das Gebläse kühlt, wobei der Abwärmestrom in die zentrale Wärmetauscheranlage eingebracht wird. Bei einer durchschnittlichen jährlichen Laufzeit von ca. 730 h/a ist für die Trocknung der eingefärbten Garne eine elektrische bzw. thermische Leistung von 250 kW<sub>el</sub> bzw. 215 kW<sub>th</sub> installiert.

### 2.2.3 Weberei

Im Produktionsbereich der Weberei werden die im Vorwerk vorbehandelten, z.T. geschlichteten, gefärbten und getrockneten Materialien zu Stückware verwebt. Den Warenfluß zeigt im Grundfließbild Abbildung 2.4.

Im Bereich der Weberei werden insgesamt 83 Webmaschinen eingesetzt, die sich in vier verschiedene Typen unterscheiden lassen. Alle Maschinen besitzen dabei jedoch die gleiche elektrische installierte Leistung von 5 kW<sub>el</sub> und wurden im Jahr 1995 durchschnittlich ca. 3.500 h eingesetzt. Als Produktionsabfälle fallen Textilreststoffe an.

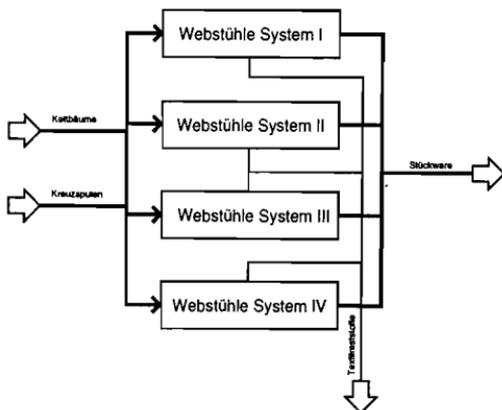


Abb. 2.4: Grundfließbild der Weberei nach DIN 28004

### 2.2.4 Warenvorbereitung

Die Warenvorbereitung umfasst 10 unterschiedliche Produktionsstufen, wobei i.d.R. zunächst die Scher- und Schaumaschinen sowie die Senge durchlaufen werden, bevor die übrigen Produktionsschritte parallel ablaufen. Den Produktionsablauf der Warenvorbereitung zeigt Abbildung 2.5.

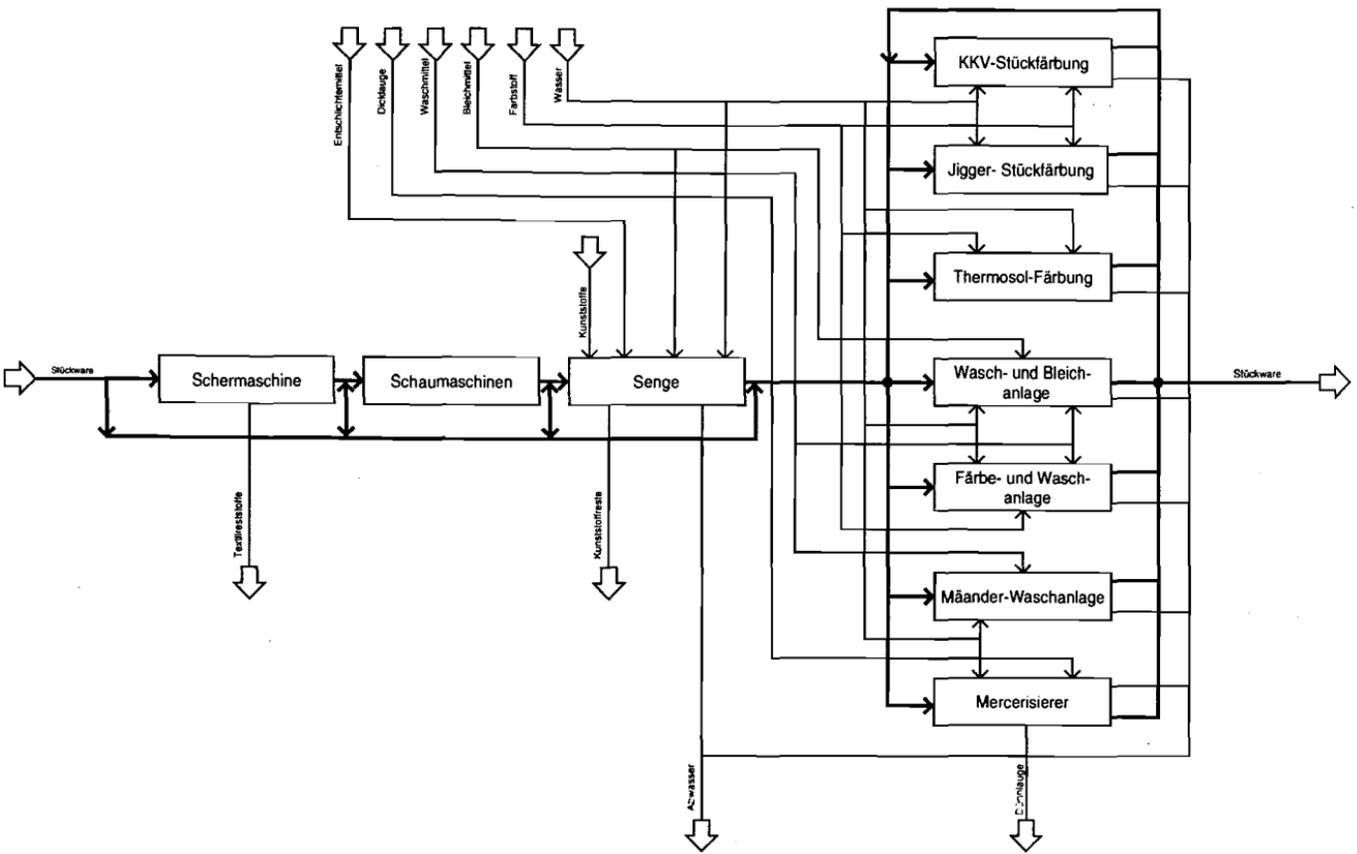


Abb. 2.5: Grundfließbild der Warenvorbehandlung nach DIN 28004

Durch das **Scheren** eines Gewebes werden feine, abstehende Fasern entfernt und die Oberfläche geglättet. Hierzu läuft die zu scherende Ware in der Schermaschine zwischen einem Tisch und dem Schneidzeug hindurch. Die aus der Gewebeoberfläche hervorstehenden Fasern werden durch schnell umlaufende Messerwalzen abgeschoren. Die Schermaschine wurde im Betriebsjahr 1995 etwa 1.820 h genutzt; die installierte elektrische Leistung der Anlage beträgt etwa 10 kW<sub>el</sub>.

Die fertig verarbeiteten Stoffbahnen werden im Rahmen der Rohwarenkontrolle auf den **Schauanlagen** auf ihre Qualität überprüft. Hierzu wird die Stoffbahn von einer Rolle abgewickelt und über eine beleuchtete Platte auf eine andere Rolle geführt. Fehler im Gewebe können auf der Leuchtplatte erkannt werden. Die Schauanlagen sind ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle. Es werden insgesamt sieben Schaummaschinen eingesetzt, welche eine installierte elektrische Leistung von jeweils 1,5 kW<sub>el</sub> haben. Die durchschnittliche Betriebszeit der einzelnen Anlagen betrug 1995 rund 760 h/a.

Das **Sengen** eines Gewebes ist ein Arbeitsgang zur Beseitigung von aus der Gewebeoberfläche hervorstehenden feinen Faserenden, um eine glattere Oberfläche des Stoffes zu erhalten. Hierzu wird das Gewebe in der Sengmaschine durch die offene Gasflamme eines Brenners geführt. Anschließend wird die Stückware bei Bedarf entschlichtet bzw. gebleicht und aufgerollt. Umwickelt mit einer Plastikfolie werden diese Rollen ca. einen Tag auf entsprechenden Ständern gedreht, um die Durchtränkung des gesamten Gewebes zu gewährleisten. die Sengung wurde 1995 ca. 1.700 h genutzt, die installierte thermische und elektrische Leistung beträgt ca. 226 kW<sub>th</sub> bzw. 48 kW<sub>el</sub>. Zur Beurteilung der Maschinenauslastung wurde - sofern möglich - die Standardabweichung der Produktionsgeschwindigkeit bestimmt. Im Falle der Sengung zeigten sich dabei allerdings nur geringe monatliche Unterschiede, wobei die Streuung nur etwa 8,1 % des Jahresmittles betrug.

Die **KKV-Stückfärbeanlage** ist ein Zwei-Walzen-Klotz-Foulard, der zum Färben von Waren mit guter Saugfähigkeit benutzt wird. Der Farbstoff wird durch den Quetschdruck zwischen zwei gummierten Walzen in das Gewebe gepreßt. Die KKV-Anlage ist nicht zum Färben großer Partien geeignet. Zu diesem Zweck wird die kombinierte Färbe- und Waschanlage (s.u.) eingesetzt, die nach dem Kontinue-Verfahren arbeitet. 1995 war die KKV-Anlage mit einer Betriebszeit von 820 h bei einer installierten Leistung von 32 kW<sub>el</sub> nur unvollständig ausgelastet. Darüber hinaus war dieser Zeitraum durch eine sehr ungleichmäßige Nutzung gekennzeichnet. Die Streuung der Produktionsgeschwindigkeit betrug 1995 etwa 26,5 % des Jahresmittelwertes.

Der **Jigger** ist eine Breitfärbemaschine, die sowohl zum Färben als auch zum Entschlichten, Abkochen und Bleichen geeignet ist. Die aufgerollte Ware wird im breiten, faltenlosen Zustand von einer gebremsten Ablaufwalze über Leitwalzen und Breithalter mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch das Färbebad geführt und auf die Zugwalze aufgewickelt. Die Beheizung erfolgt durch Dampf. Von diesem Maschinentyp werden zwei Anlagen (installierte Leistung jeweils 5 kW<sub>el</sub> bzw. 20 kW<sub>th</sub>) genutzt. Die Gesamtauslastung betrug 1995 1026 h, die sich auf beide Anlagen aufteilten. Auch

bei diesen beiden Maschinen ist ein ungleichmäßiger Betrieb zu erkennen. Die Streuung der durchschnittlichen Produktionsgeschwindigkeiten betrug 1995 26,3 %.

Beim Continue-Färbeverfahren im Bereich der **Thermosol-Färbeanlage** wird das Gewebe zunächst mit dem gewünschten Farbstoff durchtränkt. Anschließend wird der Stoff getrocknet und für kurze Zeit auf 180 - 210 °C erhitzt, wodurch der Farbstoff ins Faserinnere diffundiert. Die notwendige Wärme wird durch eine Gasbeheizung sichergestellt. Die Thermosol-Färbeanlage hat eine installierte elektrische bzw. thermische Leistung in Höhe von rund 38 kW<sub>el</sub> bzw. 162 kW<sub>th</sub> und wurde 1995 mit 1.797 h häufig genutzt. Die Streuung der Produktionsgeschwindigkeiten lag hier bei 24,7 %.

Die **Wasch- und Bleichanlage** ist eine „Kombi-Anlage“ und wird sowohl im reinen Wasch- und Bleichbetrieb als auch im kombinierten Wasch- und Bleichbetrieb betrieben. Der Wärmebedarf wird durch eine Dampfbeheizung, z.T. auch durch Direktbeheizung, gedeckt. Im Betriebsjahr 1995 wurde die Maschine rund 2.460 h eingesetzt. Die installierte elektrische bzw. thermische Leistung beträgt ca. 260 kW<sub>el</sub> bzw. rund 1.800 kW<sub>th</sub>.

Die **Färbe- und Waschanlage** ist eine „Continue-Anlage“, die sowohl zum Färben als auch zum Waschen des Stoffes eingesetzt wird. Beide Arbeitsgänge werden getrennt durchgeführt. Der Wärmebedarf wird durch eine Dampfbeheizung gedeckt. Im Betriebsjahr 1995 wurde die Maschine insgesamt 1.696 h (davon im Waschbetrieb 937 h und im Färbebetrieb 759 h) eingesetzt. Die installierte elektrische bzw. thermische Leistung beträgt 105 kW<sub>el</sub> bzw. 1.236 kW<sub>th</sub> im Waschabteil der Anlage sowie weitere 91 kW<sub>el</sub> und 982 kW<sub>th</sub> im Färbeteil der Maschine. Auch die Continue-Anlage wird ungleichmäßig genutzt. Die mittleren monatlichen Produktionsgeschwindigkeiten streuten 1995 um 23,6 % (Färben) bzw. 14,6 % (Waschen) bezogen auf den Jahresdurchschnitt.

Die **Mäander-Waschanlage** dient ebenfalls zum Waschen des Gewebes. Zur Beheizung wird Dampf verwendet. Sie wurde 1995 insgesamt 997 h bei einer installierten Leistung von 23,7 kW<sub>el</sub> und einer Heizleistung von rund 700 kW<sub>th</sub> betrieben. Die Streuung der monatlichen Produktionsgeschwindigkeiten um den mittleren Jahreswert lag bei 25,1 %.

In der **Mercerisier-Anlage** wird das Gewebe aufgeweitet und homogenisiert. Dadurch wird die benetzbare Oberfläche größer, so daß das Farbaufnahmevermögen steigt. Zusätzlich kann der Glanz durch Aufbringen von mechanischer Spannung erhöht werden. Zunächst wird der Stoff durch ein Laugenbad geführt. Dabei muß eine genau definierte Aufenthaltszeit eingehalten werden. In einem zweiten Schritt wird die Lauge mit Wasser entfernt. Mit einer Nutzungszeit von über 2.600 h im Jahre 1995 ist die Mercerisiermaschine entsprechend ihrer Bedeutung in der Produktion hoch ausgelastet. Die installierte Leistung der Mercerisier-Anlage beträgt 63,7 kW<sub>el</sub> bzw. 280 kW<sub>th</sub>. Die monatlichen Produktionsgeschwindigkeiten streuten 4,4 % um den mittleren Jahreswert.

## 2.2.5 Warenveredelung

Der Produktionsbereich der Warenveredelung untergliedert sich in sieben parallel einsetzbare Anlagen und zwei vorgelagerte Spannrahmen, denen neben der Stückware auch Wasser und thermische Energie über zahlreiche Gasbrenner zugefügt werden muß. Den Ablaufplan der Warenveredelung zeigt das Grundfließbild (Abbildung 2.6).

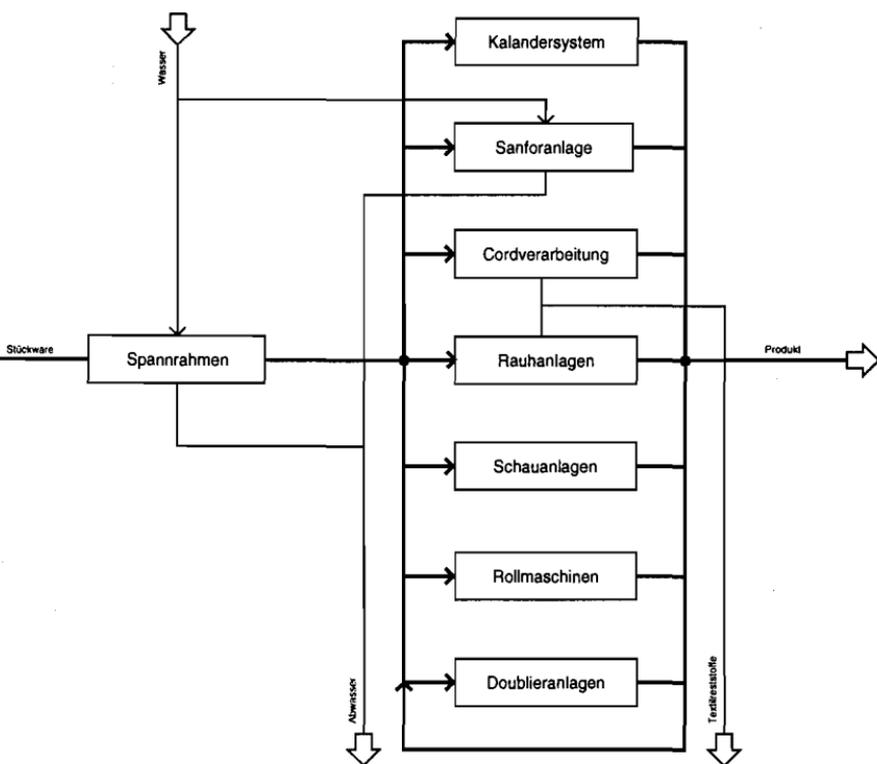


Abb. 2.6: Grundfließbild der Warenveredelung nach DIN 28004

Die **Spannrahmen** sind Vorrichtungen für die Fertigappretur. Sie dienen dem Spannen, Trocknen und Fixieren des Gewebes auf die erforderliche Breite und Länge. Die für die Trocknung erforderliche Beheizung erfolgt durch Gasbrenner. In dem untersuchten Betrieb werden zwei Spannrahmen eingesetzt, die im Jahr 1995 mit einer Nutzungszeit von mehr als 4.500 bzw. 4.750 Stunden zu den stark ausgelasteten Maschinen zählen. Die installierten Leistungen betragen  $541 \text{ kW}_{\text{th}}$  und  $149 \text{ kW}_{\text{el}}$  für den größeren bzw.  $352 \text{ kW}_{\text{th}}$  bzw.  $254 \text{ kW}_{\text{el}}$  für den kleineren Spannrahmen. Die Produktionsauslastung zeigt mit Werten von 7,4 bzw. 6,7 %, bezogen auf das Jahresmittel, nur geringfügige Schwankungen der Produktionsgeschwindigkeit.

In den **Kalendersystemen** erhält das Gewebe nach dem Spannen durch das Kalandrieren bzw. Chintzen ein geschlossenes Aussehen, größere Dichte und Glätte sowie einen höheren Glanz. Die Gewebbahn wird durch mehrere Walzen hindurch geführt, wobei in der Regel dampfbeheizte Walzen auf elastische Gegenwalzen wirken. Durch den Walzendruck auf das Gewebe werden die Fäden zusammengedrückt und die Poren geschlossen. Der Produktionsschritt, für den zwei Maschinen vorhanden sind, wird bei trockenem Stoff durchgeführt. Die Anlagen unterscheiden sich sowohl in der Leistungsfähigkeit und der Beheizung als auch in der Auslastung. Die Beheizung erfolgt beim großen Kalandrierer durch Dampf, der kleine Kalandrierer ist elektrisch beheizt. Während der kleinere Kalandrierer im Jahre 1995 nur rund 760 h in Betrieb war, zählt der größere mit einer Nutzungszeit von 3.050 h zu den hoch ausgelasteten Maschinen. In der Produktionsstatistik zeigen sich dabei deutliche Unterschiede in den Auslastungen der einzelnen Monate. Die Produktionsgeschwindigkeit streut um durchschnittlich 7,5 % des Jahresmittels.

Die **Sanforanlage** gehört wie die Kalandriersysteme zur Trockenausrüstung des Textilgewebes. Das Sanforisieren hat den Zweck, die zu behandelnden Stoffe um ein bestimmtes Maß zu schrumpfen und damit das Einlaufen der fertigen Ware beim Waschen zu verhindern. Die dafür notwendige Beheizung erfolgt durch Dampf. Ferner erfordert das Verfahren die Zugabe von Wasser. Die Nutzungsdauer dieser Anlage betrug im gesamten Jahr 1995 nur 153 h. Sie zählt damit zu den am schlechtesten ausgelasteten Maschinen. Die installierte Leistung der Sanforanlage beträgt 127 kW<sub>th</sub> bzw. 56,5 kW<sub>el</sub>. Sowohl zeitlich als auch von der Produktionsgeschwindigkeit her zeigten sich starke Schwankungen. Hier traten 1995 Streuungen bei den Produktionsgeschwindigkeiten von 37,3 % bezogen auf das Jahresmittel auf.

In der **Cordverarbeitung** kommen eine Cordschneide- und eine Cordbürstenanlage zum Einsatz, Maschinen die speziell auf die Eigenschaften von Cord eingestellt sind. Dieser Bereich wird sehr wenig genutzt, da Cordstoffe kaum nachgefragt werden. Die Cordbürstenanlage wurde daher 1995 nur 75 h betrieben, die Cordschneideanlage wurde 147 h eingesetzt. Die jeweiligen installierten Leistungen betragen 6,6 bzw. 16,5 kW<sub>el</sub>.

Die **Rauhanlage** dient dazu, Stoffbahnen für Bettwäsche einseitig aufzurauen und dem Stoff dadurch eine größeres Wärmehaltevermögen und einen weicheren Griff zu verleihen. Dazu werden Fasern aus dem Gewebegrund durch eine rotierende rauhe Walze angehoben. Die Auslastung dieser Maschine war im Jahr 1995 mit einer Nutzungszeit von nur 118 h bei einer installierten Leistung von 5,5 kW<sub>el</sub> sehr gering.

Die veredelten Stoffbahnen werden - wie schon in der Warenvorbereitung - abschließend auf den **Schauanlagen** auf ihre Qualität, d.h. mögliche Gewebefehler, überprüft. Hierzu wird die Stoffbahn von einer Rolle abgewickelt und über eine beleuchtete Platte auf eine andere Rolle geführt. Fehler im Gewebe können auf der Leuchtplatte erkannt werden. Die Schauanlagen sind ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle. Da sich die im betrachteten Jahr 1995 verbuchten rund 5.300 Betriebsstunden auf insgesamt 7 Maschinen aufteilen, werden diese jedoch zum Teil nur wenig eingesetzt.

Die **Doubliermaschinen** dienen dem Falten und Legen einer die Maschine passierenden Gewebbahn auf halbe Breite. Insgesamt wurde 1995 für diesen Arbeitsgang eine Nutzungszeit von 1.558 h notiert. Diese Zeit teilt sich auf zwei Maschinen auf, so daß bei gleicher Auslastung auf jede Maschine nur eine Betriebszeit von 779 h entfällt. Bei der Produktionsgeschwindigkeit kam es zu einer mittleren Streuung von 9,5 % um den Jahresdurchschnitt. Die Doubliermaschinen besitzen eine installierte Leistung von jeweils 1,5 kW<sub>el</sub>.

Die **Rollmaschinen** werden in der Endkontrolle des Betriebes zur Sichtprüfung der Ware eingesetzt. Es existieren insgesamt drei Geräte, von denen jedoch nur zwei regelmäßig benutzt werden. 1995 wurden insgesamt 1.730 Betriebsstunden bei einer installierten Leistung von jeweils 2 kW<sub>el</sub> verzeichnet. Auch bei diesen Maschinen ist eine zeitlich ungleichmäßige Benutzung festzustellen, wobei die durchschnittlichen monatlichen Produktionsgeschwindigkeiten um 21,9 % gegenüber dem Jahresmittel variierten.

Der **Polrotor** dient dazu, dem zu behandelnden Stoff ein Muster aufzuprägen. Dafür wird das Gewebe zunächst durch eine Infrarot-Heizung einseitig aufgeheizt und anschließend mit einer kalten Prägehülse strukturiert. Der Polrotor hat im gesamten Produktionsprozess nur eine geringe Bedeutung. Er wurde 1995 insgesamt 37 h genutzt und ist daher nicht im Verfahrensfließbild eingezeichnet (vgl. Abb. 2.6). Die installierte Leistung beträgt 5,5 kW<sub>el</sub>.

## 2.2.6 Nebeneinrichtungen

Wie bereits in Abbildung 2.1 dargestellt, nehmen die Nebeneinrichtungen des Betriebes wichtige Aufgaben bei der Ver- und Entsorgung des Produktionsablaufes wahr. Zu den Nebeneinrichtungen sind vor allem das Kesselhaus (Dampfbereitstellung), die Druckluftversorgung, die Wasseraufbereitung, die Klimaanlage der Weberei, die Schlichteküche, die Laboreinrichtungen, die Lager- bzw. Versandabteilung sowie die betriebseigene Kläranlage zu zählen. Die Beschreibung der Nebenanlagen bleibt an dieser Stelle auf die wesentlichen, d.h. für eine Darstellung des Energiebedarfs relevanten Bestandteile beschränkt, da die detaillierte und umfassende Abbildung aller Nebenanlagen nicht zu realisieren ist. So zählen bspw. auch die Flüssiggasaufbereitung oder die Transformatoren (inklusive Blindstromkompensation) ebenso zu den Nebenanlagen, doch ist der Energiebedarf dieser Anlagen im Vergleich zu den genannten Teilbereichen marginal. Gleiches gilt für die Übergabestationen der leitungsgebundenen Energieträger Erdgas und Strom. Auch sie werden nachfolgend nicht näher betrachtet. Der Endenergiebedarf dieser Nebeneinrichtungen findet sich in der Rubrik „Energieversorgung“ im Falle der Prozeßwärme- und Krafterzeugung wieder. Einen Überblick über die wichtigsten Nebeneinrichtungen und deren Verknüpfung mit dem eigentlichen Produktionsprozeß gibt Abbildung 2.7.

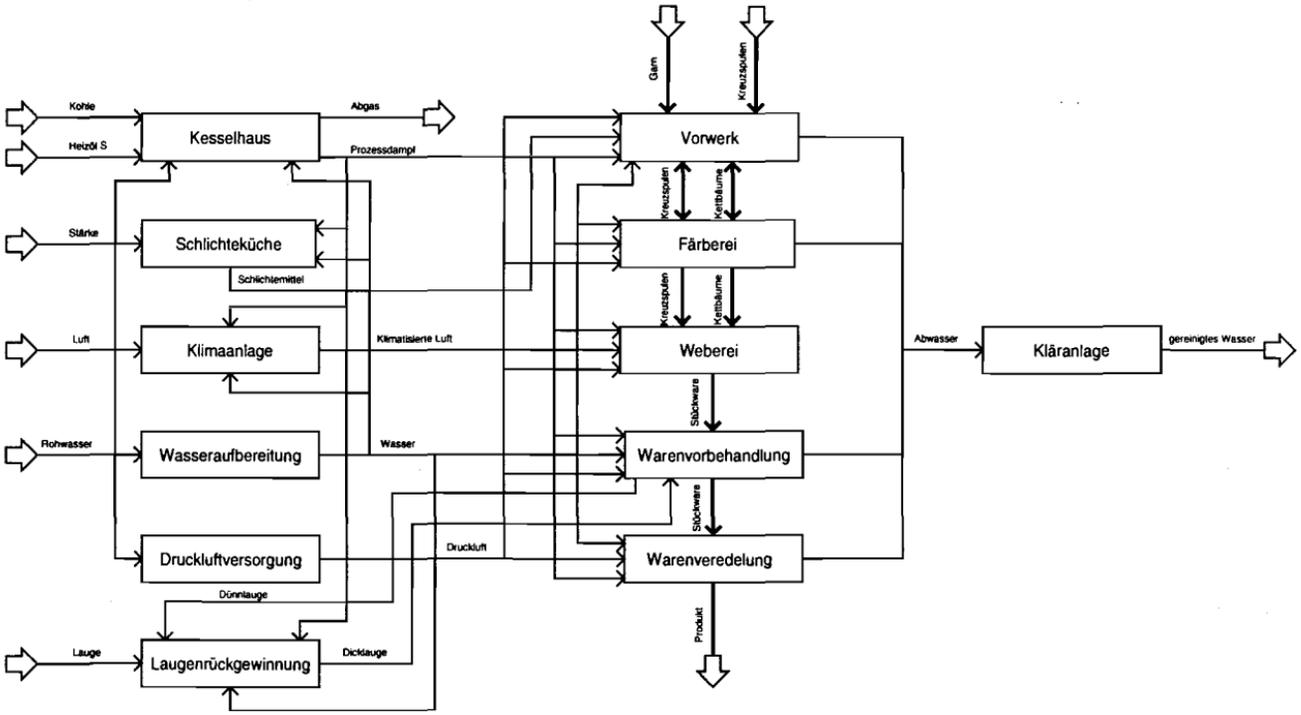


Abb. 2.7: Grundfließbild der Nebeneinrichtungen nach DIN 28004

Das **Kesselhaus** beinhaltet als Herzstück der Wärmeversorgung die Kesselanlage (inklusive Zubehör wie bspw. Speisewasserpumpen etc.), den Kondensat- und Speisewasserbehälter, den Dampfspeicher sowie die Verteilungs- und Drosselanlagen. Zur Ver- und Entsorgung der Kohlekessel befinden sich zwei Stahlbunker zur Kohlebevorratung sowie die automatische Brennstoffbeschickung in Form zweier Förderschnecken und zwei Abgasentstauber, d.h. Fliehkraftabscheider (Multizyklone) im Kesselhaus. Der Schwerölkessel - bzw. jetzt der Gaskessel - ergänzt die Kohlekessel. Die Ver- und Entsorgung beschränkt sich in beiden Fällen auf die Brennstoffzuleitung und den Rauchgasabzug.

Die Dampferzeugung erfolgt durch drei Großwasserraumkesselanlagen, die auf einen gemeinsamen Dampfspeicher arbeiten. Der Speicher dient dem Ausgleich von Lastschwankungen und verbessert so deutlich die Kesselauslastung. Im Speicher selbst liegt Satttdampf vor, der bei einem Druck von ca. 10 bar bereitgestellt wird. Der Dampfspeicher ist über die Frischdampfleitung mit der Verteiler- bzw. Drosselstelle verbunden, die den gesamten Betrieb über verschiedene Dampfkreisläufe versorgt. Die einzelnen Dampfleistungen können vom Kesselhaus durch entsprechende Absperrventile geregelt werden. Der Dampf wird vor der Verteilung auf einen Betriebsdruck von 6 bar gedrosselt.

Die baugleichen Kohlekessel arbeiten jeweils abwechselnd im Schichtzyklus, d.h. sie werden nach einer Betriebszeit von ca. acht Stunden abgefahren. Während ein Kessel in Betrieb ist, wird der zweite Kessel manuell gereinigt bzw. entschlackt. Die maximale Feuerungswärmeleistung der Kohlekessel beträgt ca.  $7,9 \text{ MW}_{\text{th}}$ , was einer Dampfleistung von 8 t pro Stunde bei einem Frischdampfdruck von 13 bar entspricht. Angaben zum bereits demontierten Schwerölkessel waren im Betrieb nicht mehr vorhanden, so daß eine Beschreibung des Kessels nur sehr überschlägig möglich ist. So entsprach nach Angaben des zuständigen Technikers die Dampfleistung und der Frischdampfdruck den entsprechenden Kennzahlen des neu installierten Gaskessels. Dieser besitzt eine maximale Dampfleistung von 10 t/h bei einem Frischdampfdruck von max. 16 bar. Angaben zur installierten Feuerungswärmeleistung, zu den Nutzungsgraden und der Fahrweise des Schwerölkessels dagegen sind nicht möglich.

Im Zuge des Umbaus der Dampferzeugung wurde ein neuer 10 t-Gaskessel installiert, der nunmehr als Spitzenlastmodul arbeitet, während jeweils ein Kohlekessel die Grundlastversorgung übernimmt. Die Feuerungswärmeleistung des Gaskessels beträgt rund  $9 \text{ MW}_{\text{th}}$ , wohingegen die Leistung der Kohlekessel auf max.  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$  begrenzt wurde, so daß z.Zt. insgesamt etwa  $14 \text{ MW}_{\text{th}}$  Feuerungswärmeleistung verfügbar sind. Die maximale Dampfleistung beträgt nunmehr rund 15 t/h. Seitens des Betriebes wird der Kesselbetrieb anhand der Brennstoffverbräuche überwacht, wobei vom Einkauf quartalsweise die Brennstoffkosten und damit der Brennstoffbedarf ermittelt und bilanziert wird. Angaben zur Dampferzeugung, den Nutzungsgraden des Systems oder der zeitlichen Auslastung der Anlage fehlen jedoch weitgehend.

Die **Druckluftversorgung** ist ein komplexes technisches System, dessen Hauptbestandteile nachfolgend erläutert werden. Druckluft findet insbesondere in der Weberei,

der Bleicherei, dem Drucktrockner und darüber hinaus auch z.T. in Pumpen- und Fördereinrichtungen sowie in Regel- und Steueranlagen Verwendung.

Die Druckversorgung arbeitet kontinuierlich während der Produktionszeit, da die Produktionsanlagen ständig Druckluft nachfragen. Zur Druckerzeugung werden zwei Kolben- und ein Schraubenkompressor eingesetzt. Der Schraubenkompressor ist als einstufiges Aggregat mit Öleinspritzung ausgeführt. Seine Nennleistung beträgt 65 kW bei einem Austrittsdruck von 10 bar und einem Fördervolumenstrom von 8,5 m<sup>3</sup>/min. Die beiden luftgekühlten Kolbenkompressoren arbeiten mit einer zweistufigen Verdichtung. Ihre Nennleistung beträgt 54 bzw. 60 kW bei einem Austrittsdruck von ebenfalls 10 bar und einem Fördervolumenstrom von 7,4 m<sup>3</sup>/min.

Alle Kompressoren arbeiten gemeinsam auf einen Druckluftspeicher mit einem Volumen von 20 m<sup>3</sup>. Die Kompressoren werden über einen Druckwächter im Speicherbehälter gesteuert, der den Speicherdruck zwischen 8 und 10 bar hält. Während die Kältetrockner kontinuierlich arbeiten, schalten die Kompressoren nach Erreichen des geforderten Druckniveaus regelmäßig ab. Die Betriebszeit der Druckluftanlage entspricht daher nicht den Kompressorlaufzeiten. Anhand entsprechender Zählerstände wurden die Auslastungszeiten der einzelnen Kompressoren ermittelt. Für das 65 kW-Modul, das im Grundlastbetrieb arbeitet, beträgt die jährliche Betriebszeit ca. 1.900 h. Mit einer angenommenen mittleren Leistungsaufnahme auf 40 kW ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von rund 77.000 kWh. Die beiden Kolbenkompressoranlagen arbeiten als Spitzenlastaggregate, d.h. sie schalten sich nur bei Bedarf - insbesondere während des Drucktrocknerbetriebes - ein. Sie werden jährlich rund 1.000 h betrieben. Ihr Strombedarf beträgt bei einer mittleren Leistungsaufnahme von 35 kW jeweils ca. 35.000 kWh pro Jahr.

Vor der Anwendung wird die Druckluft durch einen Kältetrockner gekühlt und getrocknet. Eine Ausnahme hiervon bildet der Drucktrockner, in dem ungekühlte Druckluft verwendet wird. Der Betriebsdruck der Verteilungsanlage beträgt nach den Kühlaggregaten rund 5 bar. Das Verteilungsnetz ist einstufig ausgeführt, d.h. alle Verbraucher erhalten Druckluft bei gleichem Betriebsdruck, der lediglich durch die Druckverluste im Netz reduziert wird.

Die **Wasserversorgung** wird über mehrere Brunnen sowie ein nahegelegenes Fließgewässer sichergestellt. Nach der Entnahme muß das Wasser zu Hart- und Weichwasser aufbereitet werden, bevor es in der Produktion eingesetzt werden kann. Zu diesem Zweck wird zunächst Eisenchlorid, Kalk und Praestol in verschiedenen Becken zugefügt. Das soweit vorbehandelte Wasser wird in ein Auffangbecken und weiter in das Rohwasserbecken geleitet. Anschließend wird es durch einen Kiesfilter in das Hartwasserbecken und von dort in einen Hochbehälter gepumpt. Aus diesem Speicher kann das in der Produktion benötigte Hartwasser direkt entnommen werden. Der Rest wird in einem weiteren Aufbereitungsschritt in einem Natrium-Tauscher enthärtet und als Weichwasser in das Weichwasserbecken geleitet. Von hier aus gelangt es zu den weiteren Anwendungsbereichen.

Das bei der Produktion anfallende stark alkalische Abwasser wird der betrieblichen Kläranlage zur Vorklärung zugeführt. Hier durchläuft es mehrere Becken und wird mit Schwefelsäure neutralisiert, bevor es zur eigentlichen Kläranlage gepumpt wird.

Da für die Produktion sehr viel Wasser oder Prozeßdampf benötigt wird, ist die Wasserversorgung stark ausgelastet. Die installierte Leistung beträgt ca. 180 kW, die jährliche Nutzungsdauer etwa 2.000 h.

Für die Verarbeitung des Garns in der Weberei ist eine exakte Regelung der Luftfeuchtigkeit und -temperatur notwendig. Zur Einhaltung dieser Bedingungen ist eine leistungsfähige **Klimaanlage** installiert. Als Kühlmittel im Sommer und für die Luftbefeuchtung wird Leitungswasser verwendet. Im Winter wird die Luft mit Prozeßdampf beheizt. Die Nutzungszeit dieser Anlage deckt sich etwa mit dem Betrieb der Weberei von ca. 3.500 h. Die gesamte installierte Leistung für Zu-, Abluftventilator, Befeuchtungsaggregat, Luftheizgerät, Zirkulationspumpe und Trommelfilter beträgt ca. 115 kW.

In der **Schlichteküche** wird die Schlichte für die Schlichtmaschinen des Vorwerks vorbereitet. Das Schlichtemittel wird dabei aus Wasser, Getreidestärke und weiteren Bestandteilen wie bspw. Borax gewonnen. Die Zubereitung erfolgt nach unterschiedlichen Rezepten, die abhängig sind vom zu schlichtenden Material. Das Wasser wird dabei auf ca. 90 °C aufgeheizt, indem Prozeßdampf direkt in den Behälter eingebracht wird. Während des „Kochens“ wird der Behälterinhalt kontinuierlich gerührt. Das Schlichtemittel gelangt anschließend über eine Rohrleitung in Vorrattanks. Die Schlichteküche wird ca. 600 h/a betrieben, wobei eine thermische Heizleistung von etwa 150 kW<sub>th</sub> installiert ist. Die elektrischen Antriebe sind hinsichtlich ihres Energiebedarfs zu vernachlässigen.

Zur kontinuierlichen **Laugenrückgewinnung** von Mercerisierlauge wird eine zweistufige Eindampfanlage genutzt. In dieser Anlage wird Schwachlauge aus der Mercerisieranlage durch Wasserverdampfung aufkonzentriert. Der Laugenkreislauf ist nahezu geschlossen. Nur ein kleiner Anteil der Lauge wird zusammen mit dem Gewebe aus dem System entnommen. Der Rest wird wieder eingedampft und als Dicklauge in den Veredelungsprozeß zurückgeliefert. Die notwendige Beheizung der Anlage geschieht über Prozeßdampf, wobei eine Heizleistung von 830 kW vorgesehen ist.

Die installierte Antriebsleistung von 18,5 kW<sub>mech</sub> verteilt sich auf die im Kreislauf benötigten Pumpen. Die Laugenrückgewinnung wird rund 1.400 h pro Jahr betrieben.

### **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 Jahr 1995. Hierbei sind die Endenergieträger Steinkohle, Heizöl S, Flüssiggas und Strom zu

berücksichtigen (vgl. 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

aufgeschlüsselt. Für die genannten Anwendungsbereiche werden die bestehenden Verbrauchsschwerpunkte sowie die derzeitige Energieversorgung dargestellt. Die Effizienz der Energieversorgung sowie mögliche Ansätze zur Optimierung der bestehenden Energieversorgung werden skizziert. Die detaillierten Ergebnisse der Untersuchungen sind sowohl in Form einer Übersicht (vgl. Anhang A, Tabelle A.1) als auch aufgeschlüsselt für jeden Energieanwendungsbereich in den Tabellen A.2 - 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 ca. 30,3 Mio. kWh (vgl. Abbildung 2.8). Mit 45,4 % des Endenergiebedarfs bzw. 13,8 Mio. kWh deckte der Endenergieträger „Steinkohle“ den weitaus größten Teil der Endenergienachfrage ab. Auf das Heizöl S entfielen mit ca. 7,5 Mio. kWh 24,7 % des Endenergieeinsatzes. Das eingesetzte Flüssiggas deckte weitere 15,8 % (4,7 Mio. kWh) der Energienachfrage. Die Strombilanz des Unternehmens weist für das Jahr 1995 einen Strombezug von 4,3 Mio. kWh aus, der einem Verbrauchsanteil von rund 14 % entspricht. Während die verschiedenen Brennstoffe der Bereitstellung von Prozeß- und Raumwärme dienen, wurde der Strom weitgehend zum Antrieb der Produktionsanlagen aufgewendet.

Steinkohle und Heizöl wurden zur Dampferzeugung eingesetzt. Dampf wird im Unternehmen zur Beheizung der Produktionsanlagen und zur Raumwärmeversorgung genutzt. Insgesamt wurden 1995 21,3 Mio. kWh Endenergie der Dampferzeugung zugeführt. 15,6 Mio. kWh (73,2 %) wurden dabei in den verschiedenen Produktionsanlagen als Prozeßwärme genutzt, während ca. 5,7 Mio. kWh (26,8 %) zur Beheizung der Gebäude aufgewendet wurden.

Flüssiggas dient im betrachteten Unternehmen zum Betrieb von direktbefeuerten Anlagen wie bspw. den Spannrahmen. 1995 wurden ca. 4,8 Mio. kWh Flüssiggas verbrannt, wovon etwa 86 % des Gases in den gasbeheizten Spannrahmen eingesetzt wurden (Spannrahmen I ca. 50 %, Spannrahmen II ca. 36 %). Weitere 8 % des Gases fanden in der Senge Verwendung, während die verbleibenden 6 % in der Thermosol-Färbeanlage verbraucht wurden.

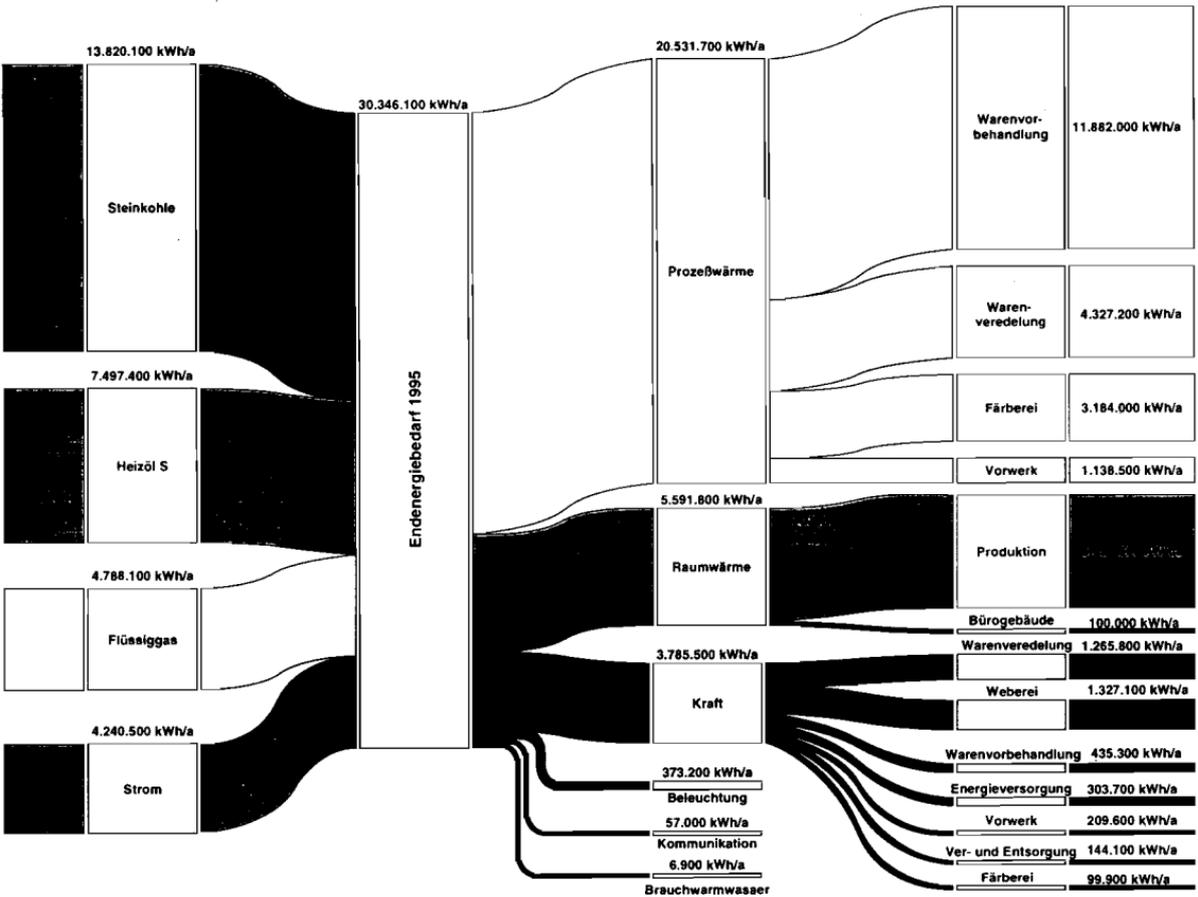


Abb. 2.8: Energieflußdiagramm des untersuchten Betriebes für das Betriebsjahr 1995

Neben den genannten Brennstoffen wurden 1995 im betrachteten Unternehmen ca. 4,3 Mio. kWh Strom benötigt. 3,8 Mio. kWh bzw. rund 90 % des Stroms dienten dabei der Kraftgestehung, d.h. dem Antrieb der Elektromotoren in den verschiedenen Maschinen. Etwa 373.000 kWh Strom (ca. 8,7 %) wurden 1995 zur Beleuchtung der Produktions- und Verwaltungseinrichtungen aufgewendet. Weitere 1,3 % (ca. 57.000 kWh) dienten dem Betrieb von Büro- und Telekommunikationsanlagen. Mit 0,4 % bzw. 0,2 % des Stromverbrauchs fand elektrische Energie darüber hinaus Anwendung zur Raumwärme- bzw. Brauchwarmwasserversorgung durch elektrische Kleingeräte wie Heizlüfter oder Warmwasserbereiter.

Eine zusammenfassende Betrachtung des Brennstoff- und Stromverbrauchs zeigt, daß mit 67,2 % des Endenergiebedarfs der Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ den Endenergiebedarf des betrachteten Betriebes bestimmt. Ursache für den hohen Anteil der Prozeßwärme am Gesamtendenergiebedarf sind die energieintensiven Prozesse in der Warenvorbehandlung, wobei in erster Linie die Erwärmung des Prozeßwassers zu nennen ist. 18,7 % des Endenergieeinsatzes entfallen auf die Beheizung der Gebäude, 12,7 % dienen dem Betrieb elektrischer Antriebe. Auf die Beleuchtung der Produktionsanlagen entfallen darüber hinaus weitere 1,2 % der 1995 eingesetzten Endenergie. Die Verbrauchsanteile der verbleibenden Anwendungsbereiche „Kommunikation“ und „Brauchwarmwasser“ sind mit 0,2 % bzw. ca. 0,02 % dagegen von marginaler Bedeutung. Abbildung 2.8 gibt diese Struktur in Form eines Energieflußbildes (Sankey-Diagramm) wieder. Die weitere Detaillierung der auf den Betriebsbegehungen beruhenden Ergebnisse (vgl. hierzu Anhang A, Tabellen A.3 - A.7 im Anhang A) ist Gegenstand der nachfolgenden Kapitel.

### 2.3.1 Prozeßwärme

#### Ist-Zustand

Die zur Produktion eingesetzte Prozeßwärme wird sowohl in Form von Prozeßdampf als auch z.Zt. noch zu etwa einem Viertel durch Flüssiggas bereitgestellt. Das betriebsinterne Gasversorgungsnetz ist in einem guten Zustand und wird derzeit für den Einsatz von Erdgas vorbereitet. Optimierungsmöglichkeiten sind - mit Ausnahme einer Nutzung der Verbrennungsgasabwärme - hier kaum vorhanden, so daß in den nachfolgenden Betrachtungen der Einsatz und die Nutzung von Gas nur im Hinblick auf mögliche Abwärmepotentiale näher beschrieben wird.

Etwa drei Viertel der zur Prozeßwärmeversorgung eingesetzten Endenergie wird im Kesselhaus in Niederdruckdampf umgewandelt. Die Dampfgestehung beruht dabei auf drei Großwasserraumkesseln, wovon 1995 zwei mit Steinkohle und ein weiterer mit Schweröl befeuert wurden. Letzterer wurde zu Beginn des Jahres 1996 durch einen Gaskessel ersetzt, der nunmehr als Spitzenlastkessel arbeitet. Die beiden Kohlekessel, die kontinuierlich über eine Förderschnecke beschickt werden (Unterschubfeuerung), dienen zur Deckung der Grundlast. Ihre thermische Leistung wurde im Zuge der Umbaumaßnahmen auf ca. 5 MW<sub>th</sub> gedrosselt (ca. 5 t/h Dampfleistung), um die Anforderungen der TA Luft im Hinblick auf die Feststoffemissionen mittels einfacher Rauch-

gasreinigung durch einen Fliehkraftabscheider einhalten zu können. Die Kesselanlagen arbeiten gemeinsam auf einen Dampfspeicher, der kurzzeitige Lastschwankungen ausgleicht. Der Frischdampf gelangt aus dem Speicher über eine im Kesselhaus installierte Drossel- und Verteilerstation in das weitverzweigte Dampfnetz des Betriebes, wobei der Frischdampfdruck hinter Drossel 6 bar beträgt. Das Kondensat gelangt über das einstufige Kondensatnetz zurück in das Kesselhaus und wird dort über den Kondensatsammler mittels Kondensatpumpen in den Speisewasserbehälter gefördert. Aufgrund einer Vielzahl direkt beheizter Aggregate muß kontinuierlich der Kondensatverlust durch aufbereitetes Frischwasser kompensiert werden, das von der zentralen Wasseraufbereitung in Form von Weichwasser, wie z.T. auch in der Produktion Verwendung findet, bereitgestellt wird.

Der mit Abstand wichtigste Dampfverbraucher ist die Naßausrüstung der Warenvorbehandlung. Hier werden in fünf Großanlagen etwa 80 % des Dampfverbrauchs nachgefragt, wobei die NBS-Anlage mit ca. 30 % des jährlichen Dampfverbrauchs die größte wärmeverbrauchende Einzelanlage darstellt. Der Frischdampf dient in der Naßausrüstung i.d.R. zum direkten und indirekten Aufheizen des eingesetzten Prozeßwassers, welches im Rahmen der verschiedenen Wasch-, Färbe- und Bleichprozesse z.T. bis auf 95 °C aufgewärmt wird und maßgeblich den beachtlichen Energiebedarf der Warenvorbehandlung bestimmt. Große Anteile der durch den Dampf zugeführten Wärme finden sich somit im Abwasser der Naßausrüstung wieder, welches z.Zt. nur in geringen Teilen einer Wärmerückgewinnung zugeführt wird.

Dampf wird allerdings auch im Vorwerk, z.B. in der Apperatefärberei oder Schlichterei zur Beheizung der Färbeflotten bzw. Schlichtemaschinen eingesetzt. Weitere Dampfverbraucher sind bspw. die Klimaanlage der Weberei, der Kombikalander der Warenveredelung, die Sanforanlage sowie die Laugenrückgewinnung als Teil der Nebeneinrichtungen. Die Vielzahl der Dampfanwendungen zeigt, daß ein weitläufiges Dampfnetz vorhanden ist.

## **Bewertung**

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

### *Prozeßwärmegestehung*

1995 wurden im betrachteten Unternehmen rund 15,6 Mio. kWh Endenergie der Dampferzeugung zugeführt. Daraus wurden rund 14.000 t Frischdampf (Satttdampf bei 10 bar) erzeugt, was bei einer jährlichen Betriebszeit der Kesselanlagen von rund 4.000 h/a (überschlägige Angabe des Betreibers) einer gemittelten Dampfleistung des Kesselsystems von ca. 3,5 t/h entspricht. Das neu errichtete Kesselkonzept sieht die Grundlastversorgung des Dampfbedarfs durch einen leistungsreduzierten Kohlekessel vor, dessen maximale Dampfleistung nunmehr rund 5 t/h beträgt. Dieser arbeitet auf

den beschriebenen Dampfspeicher, so daß die oben errechnete mittlere Dampfleistung problemlos bereitgestellt werden kann. Eine Überdimensionierung des Grundlastkessels ist angesichts einer mittleren Auslastung von etwa 70 % nicht gegeben, so daß die Kombination aus Grundlastkessel, Gas-Spitzenlastanlage und Dampfspeicher ein insgesamt geeignetes Konzept zur Dampfbereitstellung darstellt.

Aufgrund der neu errichteten Anlagenkomponenten und der noch nicht vollständigen Kesselüberwachung - der Spitzenlastkessel wurde im Mai 1996 in Betrieb genommen - sind belastbare Aussagen zur Effizienz der jetzigen Dampferzeugung durch Wirkungs- oder Nutzungsgrade nicht möglich. Angesichts der geschilderten Konzeption der Dampferzeugung sind allerdings nur wenige Verbesserungen durch technische Maßnahmen denkbar.

Darüber hinaus bietet der derzeitige Betrieb der Kohleanlagen ein mögliches Optimierungspotential. Z.Zt. sind zwei baugleiche Kesselsysteme im Einsatz, deren Laufzeit durch die vorgesehene Entaschung bzw. Entschlackung auf maximal acht Stunden begrenzt ist. Im Normalbetrieb ist daher ein Wechselbetrieb beider Kohlekessel vorgesehen, wobei der in Betrieb befindliche Kessel ab- bzw. der stillstehende Kessel angefahren wird. Diese An- und Abfahrvorgänge sowie die damit verbundenen Energieverluste wiederholen sich somit i.d.R. täglich und sind durch die Kesselkonstruktion bedingt.

#### *Prozeßwärmeverteilung*

Wie eingangs beschrieben, ist im Betrieb ein umfangreiches und weitläufiges Dampfverteilungsnetz installiert, das im Zuge verschiedener betrieblicher Umstrukturierungsmaßnahmen immer wieder umgebaut wurde. Große Teile des Netzes sind dabei relativ alt. Z.T. waren Leckagen und Undichtigkeiten sowie unzureichende Isolierungen - insbesondere an Verzweigungen o.ä. - zu beobachten. Hier entstehende Wärmeverluste könnten durch einfache Nachbesserungen der vorhandenen und prinzipiell ausreichenden Isolierungen vermieden werden. Die Struktur bzw. der Aufbau des Dampfnetzes sollte ebenfalls kontrolliert werden, um die derzeitige Verschaltung der Wärmeverbraucher im Hinblick auf unnötige Wärmeverluste im Verteilungsnetz zu überprüfen. Insgesamt sind jedoch im Bereich der Dampfverteilung keine nennenswerten Einsparpotentiale zu erwarten.

#### *Prozeßwärmeanwendung*

Der eingesetzte Heizdampf wird zu fast 80 % zur Erwärmung von Prozeßwasser eingesetzt. In nur wenigen Maschinen werden Heizflächen dampfbeheizt (z.B. Kombikalander, Schlichtemaschinen, Laugeneindampfungsanlagen). Die Direktbeheizung des Wassers mit Frischdampf ist eine sehr effektive Möglichkeit, Optimierungsmöglichkeiten im Bereich der Beheizung bestehen daher kaum.

Allerdings bestehen beachtliche Möglichkeiten zur Nutzung von Abwärmepotentialen. Aufgrund des hohen und kontinuierlichen Warmwasserbedarfs der Naßausrüstung fallen große Mengen an Abwasser mit Temperaturen von bis zu 95 °C an, die größtenteils ungenutzt in die Abwasseraufbereitung gelangen. Eine Abwärmenutzung ist nur für einen kleinen Teil des Abwassers vorgesehen. So ist die Continue-Anlage mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, in der Frischwasser durch Abwasser „anlagentern“ vorgewärmt wird. Ein weiterer Wärmetauscher ist vorgesehen, um die Abwärme aus der Kühlung des Drucktrockners sowie verschiedener kleinerer Wärmequellen zu nutzen. Dabei durchlaufen die Wärmequellen einen Plattenwärmetauscher, durch welchen frisches Betriebswasser vorgewärmt und in einem Tank zwischengespeichert wird. Bei Bedarf wird Warmwasser aus dem Speicher entnommen. Aussagen zur Wirksamkeit bzw. zur Energierückgewinnung sind aufgrund fehlender Daten nur bedingt möglich. Problematisch gestaltet sich bei einer Bilanzierung der Wärmeströme die Tatsache, daß sowohl Wärmequellen als auch Wärmesenken unkoordiniert durch den Wärmetauscher geführt werden und der Wärmetausch letztlich „zufällig“ erfolgt. Eine grobe Schätzung anhand einer Wasserbilanz zeigt, daß z.Zt. etwa 1,8 Mio. kWh Endenergie, d.h. rund 9 % des Prozeßwärmebedarfs durch die Wärmerückgewinnung eingespart werden.

Große Teile der Wärmequellen sind nicht in die Wärmerückgewinnung integriert, da aufgrund von Begleitstoffen des Wassers (Farbrückstände, Bleichmittel etc.) eine Schädigung der Wärmetauscher befürchtet wird. Durch entsprechend schadstoffempfindliche Wärmetauschersysteme kann die derzeitige Wärmerückgewinnung deutlich erweitert und optimiert werden.

### 2.3.2 Raumwärme

#### Ist-Zustand

Die Raumwärmeversorgung erfolgt im wesentlichen mit Hilfe von dampfbetriebenen Raumheizlüftern unterschiedlichster Nennleistung. Weiterhin sind für die Raumwärmeversorgung des doppelgeschossigen Bürobereichs, des sogenannten Designraumes und der Umkleide- und Sanitärebereiche jeweils ein dampfgespeicherter Rohrbündelwärmetauscher installiert, welcher die Konvektionsplattenheizkörper in den jeweiligen Gebäudeteilen mit Warmwasser versorgen. Zusätzlich sind in Handwerksnebenräumen und kleinen Aufenthaltsräumen 6 elektrische Heizkörper mit einer Heizleistung von insgesamt 18 kW<sub>el</sub> installiert.

Ein nicht unerheblicher Teil der Raumwärmeversorgung wird zusätzlich durch Abwärme vor allem im Bereich der Garnfärberei und der dampfbeheizten und gasbefeuerten Anlagen, wie bspw. der Thermosol-, der Mercerisier-, Conti- und Mäanderanlage sowie dem Spannrahmen bereitgestellt. Allerdings beschränkt sich diese Abwärme auf Gebäudeteile, die sich vor allem im mittleren Bereich des Gesamtkomplexes befinden. In den Räumen, die einer großen Abwärmeemission unterliegen, wird jedoch zusätzlich z.T. stark mit Hilfe der Dampfheizlüfter geheizt, um Schwadenbildung im Deckenbereich zu vermeiden.

Mit ca. 5,6 Mio. kWh/a wird für die Raumwärmeversorgung der Gebäude rund 18,4 % des Gesamtenergieeinsatzes benötigt. Die Raumwärmegestehung mit Hilfe der installierten elektrischen Heizkörper ist dabei mit einem Anteil von rund 0,3 % nahezu unbedeutend. Der Endenergieverbrauch, welcher für die Beheizung des Bürotraktes über einen 100-kW-Rohrbündelwärmetauscher bereitgestellt wird, beträgt mit ca. 147.600 kWh/a rund 2,6 % der gesamten Raumwärmeenergie, während die restlichen ca. 97,4 % nahezu ausschließlich im Produktionsbereich eingesetzt werden. Dabei wird der Prozeßdampf im Verteilungsnetz auf einen Druck von ca. 6 bar gedrosselt, obwohl die installierten unterschiedlichen Dampf-/Luft-Wärmetauscher in der Regel für einen Maximaldruck von 4 bar ausgelegt sind. Die Regelung der vier bestehenden Dampfnetze geschieht über manuell gesteuerte Ventile direkt im Kesselraum und wird so subjektiv gesteuert.

Zusätzlich lassen sich die Heizlüfter in den Gebäudebereichen einzeln schalten, was nach Befragung der Belegschaft jedoch nur selten in Anspruch genommen wird. Die verschiedenen Heizlüftertypen unterscheiden sich bezüglich Baujahr und Leistung erheblich voneinander. Einige Typen sind laut Herstellerangaben bis zu 40 Jahre alt. Im Betrieb befinden sich insgesamt 46 Lüfter im Leistungsbereich von ca. 23 bis 154 kW (bei 6 bar Betriebsdruck). Dabei wird die angegebene Heizleistung nur bei maximalem Luftdurchsatz und vollständiger Kondensation des Heizdampfes erreicht. Die Beheizung des sogenannten Designerraumes und der Umkleidebereiche erfolgt mit Hilfe von 40-kW-Rohrbündelwärmetauschern, welche die installierten Heizkörper mit Warmwasser versorgen.

Das Gebäude hat ein Alter von ca. 100 Jahren und ist z.T. erweitert bzw. umgebaut worden. Die Produktion befindet sich nicht in einer großen Halle, sondern ist einzeln aufgeteilt in viele räumlich getrennte Gebäudebereiche. Diese sind z.T. voneinander durch verschließbare Tore, aber auch durch Schleivorhänge getrennt. Die Gebäudehülle besteht aus einer ca. 45 cm dicken Ziegelwand (Wärmedurchgangszahl  $k = 1,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) mit durchschnittlichem Fensteranteil. Die Fenster, einfach verglast in z.T. ungedämmtem, d.h. unverkittetem Metallrahmen ( $k_F = 5,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) [6], sind teilweise mit Lüftungsklappen versehen und weisen z.T. Beschädigungen auf, bzw. sind nicht verschlossen, weil Rohrleitungen durch Fenster geführt werden.

Während das Dach des eigentlichen Produktionsbereiches hauptsächlich aus ca. 15 cm dickem Naturbimstein mit zusammenhängenden Fensterbändern aus Einfachverglasung besteht, wurde das Dach des Verpackungsbereichs, der Weberei, des Bereichs der Thermosolanlage und der Rohwarenschau mit gedämmtem Wellblech ( $k\text{-Wert} = 0,46 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) ohne Fenster neu gedeckt.

## **Bewertung**

Im Betrieb existieren einige große Verlustpotentiale, durch die der Raumwärmebedarf z.T. erheblich ansteigt. Ein großes Wärmeverlustpotential stellen bspw. offene Tore und Durchgänge innerhalb des Betriebes dar. Zum Transport der Rohwaren sowie fertiger und halbfertiger Produkte innerhalb des Betriebes durchzieht eine Traverse den

Produktionsbereich in West-Ost-Richtung. Die Temperatur in diesem Bereich ist deutlich niedriger als in den sonstigen Bereichen. An den Außenseiten befinden sich keine effektiv-wirksamen Tore bzw. vorhandene Tore sind nicht verschlossen. Da viele Bereiche direkt an diesen unbeheizten und gut durchlüfteten Gang grenzen und da die Tore aufgrund produktionstechnischer Gründe häufig geöffnet sind, ist hier ein vermeidbares Heizwärmepotential zu vermuten.

Während die Bausubstanz aus Ziegelstein ( $k$ -Wert =  $1,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) aufgrund der Wanddicke von ca. 45 cm für einen dem Alter des Gebäudes entsprechenden Wärmeschutz sorgt, sind große Wärmeverluste durch direkten Luftaustausch vor allem im Bereich der einfach verglasten und schlecht gedämmten Fenster zu vermuten. Zur verbesserten Wärmedämmung könnte beim ungedämmten Mauerwerk (Außenwände und Dach) mit Hilfe von Dämmmaterialien ein verbesserter Wärmeschutz erreicht werden. Inwiefern dieser als Innen- oder genehmigungspflichtige Außendämmung vorzusehen ist, müssen spätere Betrachtungen vor allem wegen der produktionsbedingten hohen Luftfeuchtigkeit zeigen. Einsparmöglichkeiten durch eine verbesserte Wärmedämmung verspricht vor allem der Dachbereich der Weberei, der Verpackungs- bzw. der Thermosolanlage und der Rohwarenschau. Darüber hinaus könnte der Ersatz der bestehenden einfach verglasten Fenster durch eine Wärmeschutzverglasung zu weiteren Einsparwirkungen hinsichtlich der Raumwärmeversorgung führen.

Die Verteilung und Anordnung der bestehenden Lüfter ist ebenso inhomogen wie die Gesamtstruktur des Betriebes und nicht im Sinne einer optimalen Raumwärmeversorgung erfolgt, sondern je nach subjektivem Wärmebedarf in bestimmten Teilbereichen des Betriebes. Zwar bietet sich aufgrund der Prozeßdampf-gestehung eine Raumwärmeversorgung auf der Basis von dampfbetriebenen Heizlüftern an, da deren Regelung jedoch manuell und somit subjektiv vorgenommen wird, ist zu prüfen, inwiefern eine dezentrale Regelung mit Hilfe von Temperaturfühlern und elektronischen Thermostatventilen an den installierten Heizlüftern evtl. lokale Überheizungen vermeiden und zu einer Senkung des benötigten Heizenergiebedarfs führen kann. Zu klären ist darüber hinaus, ob evtl. ein Wärmepumpeneinsatz bzw. ein Sonnenkollektoreneinsatz zur Gesteherung eines Teils des Raumwärmebedarfs sinnvoll ist, wenn bestehende Förderprogramme genutzt werden.

Maßgeblicher Kritikpunkt bei der bestehenden Raumwärmeversorgung ist aber nicht nur die Gebäudestruktur einschließlich der z.T. ungenügenden Wärmedämmung, sondern auch die bestehende Regelung und das Verhalten der Mitarbeiter. So werden in zentralen Gebäudebereichen, in denen Maschinen mit z.T. hoher Arbeitstemperatur arbeiten und deren Abwärme für die notwendige Raumwärmeversorgung ausreichend wäre, eine Vielzahl von Raumwärmesystemen auf Vollast betrieben, um bei geöffneten Fenstern eine Schwadenbildung zu vermeiden. Zusätzlich findet direkter Luftaustausch und damit im Winter verstärkter Raumwärmeverlust vor allem durch absichtlich geöffnete Fenster und Tore zur besseren Frischluftversorgung statt. Durch eine verbesserte Aufklärung der Mitarbeiter hinsichtlich der Wertigkeit der Raumwärme und die Vermeidung von gleichzeitigem Heizen und Lüften ließe sich der benötigte Raumwärmeenergiebedarf daher evtl. erheblich senken, so daß auftretende Abwärmeströme die Raumwärmeversorgung allein übernehmen könnten.

### 2.3.3 Brauchwarmwasser

#### Ist-Zustand

Der Brauchwarmwasserbedarf im Betrieb ist äußerst gering. Lediglich im Bürogebäude, im Designerraum, in den Labors und in den Umkleideräumen sind elektrisch betriebene Warmwasserspeicher im Leistungsbereich von ca. 2 bis 4 kW dezentral installiert. Dabei werden die beiden Duschen im Umkleideraum mit einem 80 l- und der Sanitärbereich des Bürogebäudes mit einem 30 l-Warmwasserspeicher versorgt, bei den anderen Geräten handelt es sich um kleine 5 l-Untertischgeräte.

Ausgehend von der Zahl der Beschäftigten, welche Zugang zu Orten mit Brauchwarmwassergestehung haben, und persönlichen Aussagen der Mitarbeiter wird der Warmwasserbedarf mit 500 l/d angenommen, so daß der jährliche Energieverbrauch der elektrischen Warmwasserspeicher zu ca. 7.000 kWh/a ermittelt werden konnte. Er beträgt somit nur ca. 0,02 % am gesamten Endenergieverbrauch. Der größte Bedarf an Brauchwarmwasser besteht im Bereich der Sanitärbereiche in den Umkleideräumen und im Bürogebäude.

#### Bewertung

Aufgrund der geringen Bereitschaftsverluste elektrisch betriebener Warmwasserspeicher ( $\eta_B < 1\%$  [7]) und deren nahezu optimaler Wirkungsgrad von rund 100 % ist die dezentrale Brauchwarmwassergestehung eine günstige Alternative. Daher und wegen des insgesamt sehr geringen Brauchwarmwasserbedarfs besteht kaum Optimierungspotential bei der Brauchwarmwassergestehung.

### 2.3.4 Kraft

#### Ist-Zustand

Der Gesamtbedarf für elektrische Antriebe betrug 1995 ca. 3,8 Mio. kWh. Dies entspricht einem Anteil von 89 % am Gesamtstromverbrauch, wobei eine elektrische Leistung von etwa 2.700 kW installiert war. Die daraus resultierende Vollastbenutzungsdauer errechnet sich zu rund 1.400 h/a.

Der Leistungsbedarf elektrischer Maschinen liegt i.d.R. unterhalb der Leistungssumme aller installierten Verbraucher. Gründe hierfür sind beispielsweise die Überdimensionierung elektrischer Antriebe oder die unvollständige Auslastung der Nennleistung. Weiterhin werden nicht alle Verbraucher einer Anlage gleichzeitig betrieben, woraus ein Gleichzeitigkeitsfaktor kleiner als eins resultiert. Der Bedarfsfaktor  $g$ , der das Verhältnis von benötigter zu installierter Nennleistung wiedergibt, beträgt für Webereien und Betriebe der Textilausrüstung zwischen 0,6 und 0,7 [8, 9]. Bei der Bestimmung des Energiebedarfs des untersuchten Betriebes wurde angenommen, daß die Maschinen im Durchschnitt zwischen 25 % (z.B. Abwasserpumpen) und 80 % (z.B. Klimaanlage)

lage) leistungsmäßig ausgeschöpft sind (vgl. [8, 9]), d.h. nur ein Teil der installierten Nennleistung tatsächlich benötigt wird. So sind bspw. in den für die Maschinen angegebenen Nutzungsdauern unter anderem auch Stillstandszeiten sowie z.T. erhebliche Schwankungen der Produktionsgeschwindigkeiten enthalten, so daß eine entsprechende Berücksichtigung eines Ausnutzungsfaktors erforderlich ist.

Eine Stern-Dreieck-Umschaltung zur Vermeidung von Anlaufspitzen wird im Unternehmen bereits durchgeführt. Teilweise werden auch thyristorgesteuerte Umrichter eingesetzt. Pumpen in den Wasser- bzw. Laugenkreisläufen sind überwiegend drosselgeregelt. Zur Blindstromkompensation sind die drei folgenden Kompensationsanlagen installiert:

1. 6-stufig, Kompensationsleistung 300 kVAr,
2. 12-stufig, Kompensationsleistung 600 kVAr,
3. 12-stufig, Kompensationsleistung 600 kVAr.

Damit steht eine Kompensationsleistung von 1.500 kVAr bei einer gesamten Transformatorleistung von ca. 5.000 kVA zur Verfügung. Die Anlagen arbeiten zuverlässig und auf ausreichendem Niveau. Eine Einzelkompensation von größeren induktiven Verbrauchern findet nicht statt, die u.a. jedoch sinnvoll und somit im Rahmen der Optimierungsuntersuchungen zu überprüfen ist.

Der Bereich der Krafterzeugungen wird in folgende Bereiche eingeteilt, die eine sinnvolle zusammenhängende Beschreibung der Einzelanlagen erlauben:

- Energieversorgung (Kesselhaus, Druckluftversorgung),
- Ver- und Entsorgung (Wasserversorgung, Laugenrückgewinnung),
- Garnfärberei (Baumfärbung, Kreuzfärbung, Garnrocknung),
- Vorwerk (Spulerei, Zettlerei, Schlichterei),
- Weberei,
- Warenvorbehandlung (Schermaschine, Senge, KKV-Anlage, Thermosol-Anlage, NBS-Anlage, Conti-Anlage, Mercerisieranlage, Mäander-Waschanlage, Jigger-Stückfärbearanlage) und
- Warenveredelung (Spannrahmen, Sanforanlage, Kalanderanlage, Cordschneideanlage, Cordbürsteanlage, Polrotor, Rauhanlage, Schaummaschinen, Rollmaschinen, Doubliermaschinen).

Die Aufstellung des Leistungs- bzw. Energiebedarfs der Anlagen zeigt Tabelle 2.1. Bei der Leistungsaufnahme der einzelnen Betriebsteile werden Ausnutzungsfaktoren kleiner als eins sowie elektrische Wirkungsgrade berücksichtigt.

**Tabelle 2.1:** Energie- und Leistungsbedarf im Anwendungsbereich „Kraft“

Betriebsteil	Installierte Leistung [kW]	mittlere Leistungsaufnahme [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
Energieversorgung	349	141	303.719
Ver- und Entsorgung	199	62	144.088
Garnfärberei	274	137	99.895
Vorwerk	205	103	209.611
Weberei	530	374	1.327.051
Warenvorbehandlung	677	338	435.278
Warenveredelung	576	338	1.265.837

Den größten Verbraucher stellt die Warenveredelung bei einer installierten Leistung von ca. 575 kW und einem Stromverbrauch von 1.300.000 kWh/a dar. Die Vollastbenutzungsdauer 1995 beträgt 2.250 h. Der Grund hierfür ist die hohe Auslastung der Spannrahmen und des Kombikalenders.

Die ebenfalls hohe Auslastung der Weberei (2.200 Vollastbenutzungsstunden) bei einer installierten Leistung von 530 kW führte 1995 zu einem sehr hohen Strombedarf von 1.300.000 kWh.

Einen mittleren Energiebedarf von 435.000 kWh bei einer Auslastung von 800 h/a hat die Warenvorbehandlung. Die installierte Leistung in diesem Bereich beträgt 680 kW.

Mit einem Stromverbrauch von 300.000 kWh liegt die Energieversorgung etwas niedriger. Hier ist nur eine Leistung von 350 kW installiert. Die Auslastung lag 1995 bei 1.250 h/a.

Hinsichtlich ihres Leistungs- und Energiebedarfs auf gleichem Niveau liegen das Vorwerk (210.000 kWh bei 205 kW installierter Leistung und einer Auslastung von 1.280 h/a) und der Bereich der Ver-/Entsorgung (144.000 kWh bei 200 kW installierter Leistung und einer Auslastung von 1.200 h/a).

Der kleinste Verbrauchsbereich ist mit 100.000 kWh die Garnfärberei trotz einer installierten Leistung von 275 kW. Dies ist auf die geringe Vollastnutzungsdauer von 460 h im Jahr 1995 zurückzuführen.

## **Bewertung**

Der Maschinenpark im untersuchten Betrieb ist zum Teil älteren Datums. Die Anlagen sind teilweise nicht ausgelastet. Weiterhin ist für verschiedene Maschinen eine zeitlich veränderliche Nutzung zu erkennen. So lassen z.B. die Produktionsgeschwindigkeiten, d.h. die verarbeitete Textilmenge pro Zeiteinheit, der einzelnen Maschinen erhebliche Unterschiede im Jahresverlauf erkennen. Dies deutet darauf hin, daß deren Antriebe in der Regel nicht im Nennlastbereich arbeiten.

Eine Blindleistungskompensation wird bereits ausreichend durchgeführt. Hierfür sind drei Anlagen vorgesehen. Die Zuleitungen zwischen Kompensationsanlagen und Verbrauchern werden weiterhin durch Blindströme belastet. Bei hohen Blindlasten werden daher unnötige Stromwärmeverluste verursacht, die sich negativ auf den Gesamtwirkungsgrad der Anlagen auswirken. Zudem sind die Zuleitungen für den jeweiligen Zweck überdimensioniert. Es sollte deshalb geprüft werden, ob große Blindleistungsverbraucher eventuell einzeln oder in kleineren Gruppen kompensiert werden können.

Ein Leistungswächter zur Reduzierung von elektrischen Spitzenlasten ist bereits vorhanden. Durch die damit optimierte Anlagenfahrweise wird die vom Stromversorgungsunternehmen bereitzustellende Anschlußleistung begrenzt und dadurch der Leistungspreis verringert. Weiterhin sollten Schwankungen in den Produktionsgeschwindigkeiten, die nicht verfahrensbedingt sind, vermieden werden. Stattdessen sollte mit der jeweils optimalen Auslastung produziert werden, um die vorhandenen Antriebe weitgehend auszulasten.

Da elektrische Antriebe einen mit sinkender Last fallenden Wirkungsgrad- und Leistungsfaktorverlauf aufweisen, sollten diese möglichst im Nennlastbereich betrieben werden. Wo dies nicht möglich ist, kann bei Drehstromantrieben eine Umschaltung von Dreieck- auf Sternschaltung Energieeinsparungen bringen.

Weitere Einsparungen lassen sich bei der Kompressoren und Lüftern der Pumpenantriebe realisieren, indem statt einer Drosselregelung ein drehzahl geregelter Antrieb eingesetzt wird.

### **2.3.5 Beleuchtung**

#### **Ist-Zustand**

Der Gesamtenergiebedarf für die Beleuchtung beträgt etwa 370.000 kWh pro Jahr. Dies entspricht einem Anteil von 8,8 % am gesamten Strombedarf. Die Gesamtleistung für die Beleuchtung liegt bei 150 kW.

Für die Innenbeleuchtung des Produktionsbereiches (Hallen, Werkstätten und Werkstattlager) werden Leuchtstoffröhren der Leistungsklassen 58 W, 36 W und 18 W eingesetzt. Hauptsächlich werden freistrahrende Leuchten mit einer oder zwei Leuchtstoffröhren verwendet. In geringerem Umfang kommen auch Wannenleuchten zum

Einsatz. Sämtliche Leuchten sind mit konventionellen Drosselvorschaltgeräten ausgerüstet. Bei etwa jeder zweiten Leuchte ist eine Blindstromkompensation durchgeführt. Die übrigen auftretenden Blindlasten werden von der zentralen Kompensationsanlage des Betriebes aufgefangen. Die insgesamt in den Produktionshallen und den Nebengebäuden installierte Beleuchtungsleistung beträgt etwa 99 kW. Hinzu kommen 26 kW für die Vorschaltgeräte.

Die Decken der Produktionshallen sind mit Oberlichtern versehen, diese sind jedoch insbesondere in den feuchten Produktionsbereichen zum Teil sehr verschmutzt und verringern den Tageslichteinfall. Insgesamt vermitteln die Hallen einen hellen Eindruck. Tageslichtabhängige Lichtmanagement-Systeme existieren nicht. Die Beleuchtungseinrichtungen sind in einzelnen Gruppen manuell nach Bedarf schaltbar.

In der Eingangshalle des Verwaltungsbereiches sind runde Halogenleuchten mit einer Gesamtleistung von 5 kW an der Decke installiert. Weiterhin werden im Erdgeschoß Quadratleuchten mit jeweils 4 Röhren von 18 W eingesetzt (Leistung inkl. Vorschaltgeräte 2,2 kW). Der erste Stock verfügt über 120 Leuchten mit jeweils 4 Röhren (Leistung inkl. Vorschaltgeräte 11,3 kW), die jeweils zur Hälfte aus Spiegelreflektor und Parabolrinnen-Rasterleuchten bestehen. Durch große Lichtbänder und Fenster ist dieses Stockwerk sehr hell. Ein Lichtmanagementsystem ist nicht vorhanden, die Leuchten werden manuell und für jeden Raum einzeln geschaltet.

Die Beleuchtung für den Außenbereich (Parkplatz, Fahrwege) besteht aus Hochdruck-Quecksilberdampfleuchten (HQL-Lampen) von 125 und 250 W. Sie werden ebenfalls manuell gesteuert. Die Leistungsaufnahme der HQL-Lampen sowie der zugehörigen Vorschaltgeräte beläuft sich auf etwa 5,5 kW.

## **Bewertung**

Der Anteil der Beleuchtung ist gemessen am Gesamtstrombedarf nur gering. Da die überwiegende Anzahl der Leuchten jedoch hohe Benutzungszeiten aufweisen, würden sich Investitionen in diesem Bereich innerhalb überschaubarer Zeiträume amortisieren. Insbesondere im Produktionsbereich ergeben sich viele Einsparmöglichkeiten, da hier sowohl der größte Leistungsanteil als auch die älteste Technik installiert ist.

Zunächst können die vorhandenen freistrahrenden Leuchten durch Spiegelrasterleuchten ersetzt werden. Diese Leuchtenart konzentriert den austretenden Lichtstrom wesentlich besser auf die Arbeitsplätze als die derzeitigen freistrahrenden oder Wanneneuchten. Die an den Arbeitsplätzen vorhandene Beleuchtungsstärke wird dadurch so erhöht, daß die Zahl der insgesamt installierten Leuchten und damit auch die elektrische Anschlußleistung reduziert werden kann.

Durch den Einsatz der konventionellen Drosselvorschaltgeräte mit elektronischen Vorschaltgeräten läßt sich die Anschlußleistung bei gleichbleibender Leuchtenzahl weiter senken. Durch den Betrieb mit hochfrequenter Spannung wird die Lichtausbeute der

Leuchtstofflampe erheblich verbessert und die Lebensdauer um bis zu 50 % erhöht. Außerdem wird der Blindleistungsbezug der Leuchten fast vollständig eliminiert [10].

Da die Hallen über große Oberlichter verfügen, ist unter Umständen der Einsatz eines tageslichtabhängigen Lichtmanagementsystems vorteilhaft. Durch die Anpassung des Lichtstromes an das einfallende Tageslicht kann nochmals eine erhebliche Einsparung erreicht werden [10]. Voraussetzung ist allerdings, daß auch dimmbare elektronische Vorschaltgeräte installiert werden.

Im Verwaltungsbereich ist dagegen nur ein geringes Einsparpotential vorhanden. Die hier genutzten Leuchten entsprechen dem Stand der Technik bzw. werden aus repräsentativen Gründen eingesetzt (Eingangshalle). Durch den hohen Tageslichteinfall könnte sich allerdings auch hier der Einsatz eines Lichtmanagementsystems lohnen.

### **2.3.6 Kommunikation**

#### **Ist-Zustand**

Der Gesamtenergiebedarf für die Kommunikation beträgt etwa 57.000 kWh pro Jahr. Dies entspricht einem Anteil von 1,3 % des gesamten Strombedarfes. Die maximale Leistungsaufnahme beträgt etwa 20 kW.

Die installierte Rechneranlage besteht aus einem Netserver sowie 34 vernetzten Arbeitsplätzen. Dazu existieren noch 7 Einzelplatzrechner ohne Netzanbindung. Für die Druckausgabe sind insgesamt 17 Drucker vorhanden, von denen jedoch nur 10 in das Netzwerk eingebunden sind.

Eine Stromspareinrichtung, die das jeweilige Gerät nach einer bestimmten Zeit der Nichtbenutzung automatisch in den Standby-Modus bei geringerem Stromverbrauch versetzt, ist nicht vorhanden.

Daneben werden verschiedene andere Bürogeräte (Faxgeräte, Telefone, Kopierer) genutzt, die alle dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Von diesen Geräten besitzen die Kopierer die größte Leistungsaufnahme (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 der Rechneranlage (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 Komponenten sind mit keiner Stromsparfunktion ausgerüstet, die das Gerät bei Arbeitspausen in einen Standby-Modus bei geringerem Stromverbrauch versetzt.

Energetische Optimierungsmöglichkeiten sind in diesem Anwendungsbereich dennoch vorhanden. Prinzipiell gäbe es die Möglichkeit, die komplette Rechneranlage zu ersetzen und dann Geräte mit Energiesparfunktion zu installieren.

## 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“ [13] 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 Importsteinkohle, schweres Heizöl, Erdgas, Flüssiggas 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 CO<sub>2</sub>,
- Kohlenmonoxid CO,
- Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>,
- Stickoxide NO<sub>x</sub>,
- flüchtige „Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe“ (NMVOC),
- Methan und
- Staub

Berücksichtigung [11]. 1995 wurden im betrachteten Betrieb Importsteinkohle, schweres Heizöl (HS) und Flüssiggas (Propangas mit geringen Anteilen Butan) zur Wärmeversorgung eingesetzt.

Obwohl Erdgas 1995 im betrachteten Unternehmen nicht eingesetzt und daher bei der Erstellung einer betrieblichen Emissionsbilanz nicht berücksichtigt wurde, werden nachfolgend auch die Emissionsfaktoren dieses Energieträgers beschrieben, da er seit Mai 1996 im Betrieb eingesetzt wird. Ferner ist ein direkter Vergleich der Emissionsfaktoren der substituierten Energieträger Flüssiggas und Heizöl S im Hinblick auf eine zu erwartende Schadstoffminderung interessant.

Etwa 22 % des in der Bundesrepublik Deutschland eingesetzten Erdgases stammt aus inländischer Förderung [4, 11, 13]. 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 stammt aus sonstigen Importländern, die an dieser Stelle nicht weiter aufgeschlüsselt werden. Diese Aufteilung wurde in den GEMIS-Datensatz „Standard“ übernommen.

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.

In den Tabellen 2.2 - 2.6 sind die spezifischen Emissionen beim Verbraucher, bei vorgelagerten Prozessen und für den Gesamtprozeß für die einzelnen Energieträger zusammengestellt.

**Tabelle 2.2:** Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Steinkohle“

Schadstoff	spezifische Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	mg/kWh		
CO	190	30	220
SO <sub>2</sub>	2.200	70	2.270
NO <sub>x</sub>	510	50	560
CH <sub>4</sub>	36	1.804	1.840
NMVOG	36	3	39
Staub	51	7	58
	g/kWh		
CO <sub>2</sub>	336	19	355

**Tabelle 2.3:** Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Heizöl S“

Schadstoff	spezifische Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	mg/kWh		
CO	155	35	190
SO <sub>2</sub>	1.770	190	1.960
NO <sub>x</sub>	410	110	520
CH <sub>4</sub>	11	74	85
NMVOC	11	67	78
Staub	41	14	55
	g/kWh		
CO <sub>2</sub>	283,6	36,4	320

**Tabelle 2.4:** Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Flüssiggas“

Schadstoff	spezifische Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	mg/kWh		
CO	100	40	140
SO <sub>2</sub>	0	190	190
NO <sub>x</sub>	200	110	310
CH <sub>4</sub>	0	76	76
NMVOC	10	68	78
Staub	0,5	13,5	14
	g/kWh		
CO <sub>2</sub>	229,1	36,9	266

**Tabelle 2.5:** Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Erdgas“

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

**Tabelle 2.6:** Emissionsfaktoren des Endenergieträgers „Strom“

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

### Emissionsbilanz des Betriebes

Anhand der verschiedenen Zahlen aus den Tabellen 2.2 und 2.6 kann der Ist-Zustand im Bereich der Schadstoffemissionen für den diskutierten Betrieb beschrieben werden. Tabelle 2.7 zeigt das Ergebnis.

**Tabelle 2.7:** Ergebnisse der Schadstoffberechnungen des Betriebes

Schadstoff	jährliche Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
	kg/a		
CO	4.267	3.328	7.595
SO <sub>2</sub>	43.674	5.464	49.138
NO <sub>x</sub>	11.080	5.562	16.642
CH <sub>4</sub>	580	33.398	33.978
NM VOC	628	1.204	1.832
Staub	1.015	614	1.629
	t/a		
CO <sub>2</sub>	7.867	3.753	11.620

Der mengenmäßig bedeutendste Luftschadstoff ist das CO<sub>2</sub>. 1995 setzte das Unternehmen rund 12.000 t CO<sub>2</sub> frei, wovon etwa 42 % auf den Endenergieträger Kohle entfielen, der allerdings 45 % des Endenergiebedarfs deckte. Auf den Stromverbrauch von etwa 4,2 Mio. kWh - dies sind ca. 14 % des Energiebezugs - entfiel mit etwa 26 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen der zweitgrößte Anteil. Auf das Heizöl entfielen ca. 20 % und auf das Flüssiggas weitere 11 % der errechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Der Ausstoß an Schwefeldioxid betrug 1995 etwa 49 t und ist damit die zweitgrößte Schadstoffkomponente, wobei allein 31 t SO<sub>2</sub> (ca. 63 %) durch die Verbrennung der Kohle entstehen. 30 % der Schwefelemissionen sind ferner auf das Heizöl zurückzuführen. Ferner wurden 1995 ca. 75 t CO sowie 16 t Staub frei, wobei diese Schadstoffkomponenten maßgeblich der Kohle anzulasten sind.

Durch den Ersatz der Mineralölprodukte Heizöl S und Flüssiggas durch Erdgas sind signifikante Verringerungen der Schadstoffemissionen zu erwarten, ohne eine Optimierung der bestehenden Energieversorgung zu realisieren. Ursache ist die geringe Schadstoffbelastung des Erdgases. Unter der Annahme, daß das Erdgas die o.g. Energieträger vollständig substituiert und ein gleichbleibender Endenergieeinsatz notwendig ist, reduzieren sich die errechneten Emissionen aller Schadstoffkomponenten deutlich. So werden bspw. allein rund 800 t/a CO<sub>2</sub> (ca. 7 % der heutigen Gesamtemissionen) weniger an die Umgebung abgegeben.

Die detaillierten Ergebnisse der Schadstoffberechnungen sind in Anhang B zusammengefaßt. Neben der Aufschlüsselung der Gesamtemissionen auf die verschiedenen Anwendungsbereiche sind ferner die Gesamtemissionen, die Emissionen beim Verbraucher und die Emissionen aus vorgelagerten Prozessen detailliert dargestellt.

## 2.5 Zusammenfassende Darstellung der energetischen Situation

Die Endenergiebedarf des untersuchten Betriebes betrug im Jahre 1995 rund 30,3 Mio. kWh, wovon etwa 21,3 Mio. kWh auf den Endenergieträger Steinkohle und schweres Heizöl entfielen. Die Brennstoffe werden zur Gesteuerung von Prozeßwärme (Niederdruckdampf) sowie zur Raumwärme- und Brauchwarmwasserversorgung der Produktions- und Bürogebäude eingesetzt. Ferner wurden etwa 4,7 Mio. kWh eingesetzt, die zum Betrieb verschiedener Gasbrenner (Senge, Spannrahmen, Thermosol-Anlage) benötigt wurden. Den größten Anteil am thermischen Energieverbrauch nimmt die Prozeßwärme mit ca. 78,5 % ein. Auf die Raumwärme entfallen 21,4 % der Wärmeanwendung, während die Brauchwarmwasserversorgung mit ca. 0,1 % dagegen zu vernachlässigen ist.

Darüber hinaus wurden 1995 rund 4,2 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 etwa 90 % am Stromverbrauch bestimmt werden. Der Anteil der Beleuchtung beträgt ca. 9 % und der der Kommunikation rund 1 %. Die elektrische Brauchwarmwassererwärmung und Raumheizung besitzen einen nur 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 [14]):

- 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 [14]. 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:

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

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 Grenz betrachtungen, da i.d.R. eine Mischfinanzierung erfolgt, wobei in diesem Fall die Ergeb-

nisse 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 wird ein Wert von 2 % zugeordnet.

### 3.1 Prozeßwärme

Mit etwa 67 % des Endenergiebedarfs bzw. einem Endenergieeinsatz von rund 22 Mio. kWh/a ist der Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ im betrachteten Unternehmen von zentraler Bedeutung (vgl. Kapitel 2.3). Etwa ein Viertel der Prozeßwärme wird durch den Einsatz von Gas gedeckt, wobei der Brennstoff direkt in den entsprechenden Maschinen eingesetzt wird. 75 % der zur Prozeßwärmeversorgung eingesetzten Endenergie wird in den drei Dampferzeugern des Betriebes eingesetzt. Dabei ist die Warenvorbehandlung mit etwa 12 Mio. kWh/a der mit Abstand größte Prozeßwärmeverbraucher. Die größten Wärmeverbraucher sind die dampfbeheizten Maschinen NBS-Anlage, die Wasch- und Färbeanlage (Continue-Anlage), die „Mäander“-Waschanlage, die Garnfärberei, der Mercersisierer sowie die gasbeheizten Spannrahmen in der Warenveredelung. Der Prozeßdampf wird überwiegend zur Wassererwärmung in den verschiedenen Waschprozessen, zur Beheizung von Dämpfern sowie für Trocknungs- und Eindampfprozesse eingesetzt, wobei die Warmwassererzeugung mit 10,5 Mio. kWh den größten Prozeßwärmeverbraucher darstellt.

Dampf wird im betrachteten Unternehmen durch zwei kohlebefeuerte Grundlastkessel (5 MW<sub>th</sub>) und - seit Mai 1996 - einen gasbefeuerten Spitzenlastkessel (9 MW<sub>th</sub>) bereitgestellt. Insgesamt beträgt die installierte Feuerungswärmeleistung 14 MW<sub>th</sub>, wodurch eine maximale Frischdampfleistung von ca. 18 t/a erreichbar ist. Das Kesselsystem ist zur Versorgung des Betriebes mit Raum- und Prozeßwärme ausgelegt und zum kurzzeitigen Ausgleich von Lastschwankungen mit einem Dampfspeicher ausgestattet. Der zufriedenstellende Nutzungsgrad der Gesamtanlage liegt im Normalbetrieb, d.h. einer durchschnittlichen Dampfleistung von etwa 5 t/h bei ca. 70 % (einschließlich Verteilungsverluste), wobei dann i. d. R. nur die Kohlekessel arbeiten. Die Kesselanlage verfügt ferner durch den Gaskessel über ausreichende Leistungsreserven, um mögliche Lastspitzen zu kompensieren.

#### Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs und zur Senkung des derzeitigen Nutzenergiebedarfs

Ansätze zur Reduktion des derzeitigen Wärmebedarfs im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ bestehen im betrachteten Unternehmen kaum. So ist bspw. eine Absenkung der Prozeßtemperaturen in einzelnen Arbeitsschritten kaum sinnvoll möglich und wird daher nicht betrachtet. Optimierungsmöglichkeiten bestehen im Bereich der Dampfverteilung, wobei die jetzige Struktur der Dampfnetze durch verschiedene An- und Umbaumaßnahmen im Betrieb bestimmt wurde. Durch eine verbesserte Dampfverteilung

bzw. eine Verbesserung der Dampfnetze selbst sind Einsparungen beim Wärmebedarf zu erwarten, die jedoch nicht zu quantifizieren bzw. monetär zu bewerten sind.

Erhebliche Energieeinsparungen sind allerdings durch eine **effizientere Nutzung der durch die Wärmerückgewinnung** zur Verfügung stehenden Wärmepotentiale vorhanden, die z.Zt. nur sporadisch genutzt werden. Umfangreiche Vorschläge zum konsequenten Ausbau der Wärmerückgewinnung werden zu einem späteren Zeitpunkt erarbeitet (vgl. hierzu Abschnitt „Maßnahmen zur betrieblichen Energierückgewinnung und Abwärmenutzung“ dieses Kapitels). An dieser Stelle werden lediglich zwei Maßnahmen diskutiert, die den Nutzwärmebedarf des Unternehmens reduzieren können.

Die **NBS-Anlage** dient zum Waschen und Bleichen der Textilien in der Warenvorbehandlung. Sie besteht aus insgesamt fünf Waschstufen (I - V), einem Dämpfer und einem Dampftrockner. Die Textilien werden in den zwei Waschstufen V und VI gewaschen und anschließend gebleicht, wobei die aufgebrachte Bleiche im nachgeschalteten Dämpfer auf die Textilien einwirkt. Anschließend werden die Stoffbahnen in den Waschstufen I - III gewaschen und verlassen nach einer Trocknung im Dampftrockner die Anlage. Die Flußrichtung des Prozeßwassers ist der Stoffflußrichtung entgegengesetzt. Das Frischwasser wird der Anlage somit in der ersten Waschstufe zugeführt und verläßt die Anlage nach der Waschstufe V.

Das Abwasser der dritten Waschstufe wird über einen Überlauf der vierten zugeführt. Dabei kühlt es sich um etwa 20 K ab und muß anschließend in den Waschstufen IV und V wieder auf 95 °C erwärmt werden. Dabei entsteht ein Wärmebedarf von rund 300.000 kWh Nutzenergie, was einem Endenergieeinsatz von über 450.000 kWh entspricht. Durch eine Dämmung der entsprechenden Wasserleitungen und eine Kapseleung des Überlaufes kann dieser Energieverlust weitgehend vermieden werden. Die Kosten für eine entsprechende Maßnahme wurden in Anlehnung an die Aufwendungen für die Isolierung von Wärmetauschern mit ca. 1.000 - 2.000 DM beziffert [15]. Unter der Annahme, daß mindestens 50 % der derzeitigen Wärmeverluste des Überlaufes, d.h. 228.000 kWh Endenergie eingespart werden können, amortisiert sich eine solche Investition aufgrund geringer Investitionskosten und der Tatsache, daß keine zusätzlichen Betriebs- oder Wartungskosten anfallen, sowohl eigen- als auch fremdfinanziert innerhalb von etwa 2 - 3 Monaten. Die möglichen Emissionsminderungen dieser Maßnahme, bedingt durch einen verminderten Energieeinsatz, betragen bspw. im Falle des Luftschadstoffs CO<sub>2</sub> etwa 78 t/a.

Weitere Wärmeverluste, die durch eine Wärmedämmung zu reduzieren sind, fallen in den ungedämmten Schlichtetanks der **Schlichterei** sowie den verschiedenen Schlichteleitungen zwischen Tanks, Schlichteküche und den Schlichtemaschinen an. Die Schlichte (Stärke-Wasser-Gemisch) wird nach ihrer Aufbereitung in der Schlichteküche in verschiedene Vorrattanks gepumpt. Dort kühlt sie sich von einer Temperatur von rund 100 °C, bei der die Schlichte aufgeköcht wird, auf annähernd Raumtemperatur (25 °C) ab. In den Schlichtemaschinen wird die Schlichte anschließend durch Dämpfer mit einem Energieaufwand von rund 93.000 kWh/a wieder auf 85 °C aufgeheizt. Eine Wärmedämmung der Leitungen sowie der acht Schlichtetanks könnte die

Abkühlung reduzieren und den Endenergiebedarf der beiden Dämpfer an den Schlichtemaschinen verringern.

Zur Berechnung der Investitionskosten einer solchen Dämmmaßnahme werden Listenpreise für das Isoliermaterial zugrunde gelegt. Die spezifischen Kosten von Isolierschichten aus Steinwolle mit einer Dicke von 30 mm und einem Isolierdurchmesser von 108 mm betragen etwa 10 DM/m. Die Kosten für geeignete Isoliermatten zur Dämmung der Schlichtetanks aus dem gleichen Material und gleicher Dicke betragen ca. 11 DM/m<sup>2</sup>. Werden auch durch diese Maßnahme mindestens 50 % der derzeitigen Energieerluste eingespart, so amortisieren sich die erforderlichen Investitionen von ca. 900 DM innerhalb von 0,64 a (Eigenfinanzierung) bzw. 0,66 a (Fremdfinanzierung). Die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um etwa 16 t/a verringert.

### Maßnahmen zur Verbesserung der Nutzungsgrade bei der Energieversorgung

Obwohl die vorhandene oben beschriebene Kesselanlage zufriedenstellend arbeitet, bestehen Optimierungsmöglichkeiten durch den Ausbau der Kohlekessel. Die z.Zt. betriebenen Kessel werden durch eine Unterschubfeuerung automatisch mit Brennstoff versorgt. Allerdings fehlt eine automatische Entaschung bzw. -entschlackung, so daß die Kohlekessel nach einer Betriebszeit von ca. 8 h abgefahren und manuell gereinigt werden müssen. Neben hohen Personalkosten für die Wartung der Kessel sind mit den An- und Abfahrvorgängen auch Energieverluste verbunden, die durch einen kontinuierlichen Betrieb der Kessel, der z.B. durch eine **automatische Asche- und Schlackeabfuhr** möglich wäre, vermieden werden könnten. Unter Umständen könnte darüber hinaus einer der beiden Kohlekessel vollständig demontiert und ggf. verkauft werden. Die zu veranschlagenden Kosten einer entsprechenden Umbaumaßnahme sind dabei sehr spezifisch und an dieser Stelle nicht zu quantifizieren. Gleiches gilt für die zu erwartenden Energieeinsparungen. Ein entsprechender Vorschlag sollte jedoch durch den Anlagenbetreiber im Rahmen eines Kostenvoranschlags überprüft werden.

Neben einer Optimierung des vorhandenen Kesselsystems bestehen ferner vielfältige Möglichkeiten zur Reduktion des Endenergiebedarfs bei der Dampferzeugung durch den Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage. Der Einsatz eines **Blockheizkraftwerkes** mit zusatzgefeuerten Abhitzeessel zur gleichzeitigen Wärme- und Stromversorgung des Betriebes stellt eine weitere interessante 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 sollte und eventuelle Lastspitzen durch einen zusatzgefeuerten Abhitzeessel versorgt werden sollten. Der Prozeßwärmebedarf des Betriebes wird dabei durch wenige große Maschinen bestimmt, die i.d.R. kontinuierlich 16 h täglich in Betrieb sind, wobei mögliche Lastschwankungen durch den Dampfspeicher abgefedert werden. Aufgrund des Zweischichtbetriebes der Anlagen er-

rechnen sich jährliche Vollastbetriebsstunden von rund 4.000 h/a. Die nachfolgenden KWK-Konzepte werden daher für eine solche Betriebszeit dimensioniert.

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 ausschließlich zur Versorgung des Prozeßwärmebedarfs ausgelegt ist (ca. 15 Mio. kWh/a), sowie ein zweites, das sowohl die erforderliche Prozeßwärme bereitstellt als auch die Raumwärmeversorgung übernehmen kann (ca. 20 Mio. kWh/a). Der Unterschied beider Konzeptionen äußert sich dabei in der Dimensionierung des Abhitzeessels. Zur technischen Auslegung des MHKW-Moduls wird der mittlere Dampfbedarf von ca. 5 t/h zugrundegelegt. Dieser Leistungsbedarf sollte im Normalbetrieb durch das BHKW bereitgestellt werden. Der vorgesehene Abhitzeessel dient 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, 16, 17]. Dies verdeutlicht die nachfolgende Betrachtung, wonach selbst bei einem guten elektrischen Nutzungsgrad der KWK-Anlage von ca. 35 % bezogen auf die Feuerungswärmeleistung, die vom EVU zu zahlende Einspeisevergütung bei einem derzeitigen Brennstoffpreis von ca. 2,8 Pfg./kWh mindestens 8 Pfg./kWh betragen müßte, um allein die Brennstoffkosten zu decken. Weitere Kosten sind zudem für Personal und Kapaldienst in Ansatz zu bringen; dieser Preis ist i.d.R. nicht zu erzielen. Bei einem jährlichen Strombedarf des Unternehmens von derzeit rund 4,2 Mio. kWh und einer jährlichen Laufzeit der KWK-Anlage von etwa 4.000 h/a, errechnet sich für eine KWK-Anlage, die während dieser Zeit kontinuierlich im Vollastbetrieb arbeitet und den betrieblichen Stromverbrauch abdeckt, eine maximale elektrische Leistung von rund 1.060 kW. Aufgrund unterschiedlicher 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 etwa 0,55 eine thermische Leistung von ca. 1.920 kW sowie eine Feuerungswärmeleistung von rund 3.320 kW errechnet, fallen beide Zahlen beim Dieselaggregat kleiner aus. Die bei einer vorgegebenen elektrischen Leistung von etwa 1.060 kW verfügbare thermische Leistung des Diesel-BHKW beträgt bei einer üblichen Stromkennzahl von etwa eins rund 1.080 kW. Die jährliche Wärmelieferung des Dieselmotors fällt demnach geringer aus als bei einem vergleichbaren Gas-Otto-Motor, so daß der Abhitzeessel häufiger zur Anwendung kommt. Die Wärmeübertragung des BHKW an den Dampfkreislauf erfolgt zweistufig, wobei die im Kühlwasser- und Schmiermittelkreislauf enthaltene Energie der Speisewasservorwärmung, die Abgaswärme des BHKW über einen Niedertemperaturabwärmekessel (Arbeitstemperatur etwa 400 °C) direkt der Dampferzeugung zugeführt wird. Der Nutzungsgrad des Abhitzeessels liegt bei ca. 90 %. Die Feuerungswärmeleistung des Abhitzeessels wird in Abhängigkeit der thermischen Leistung der BHKW-Module bestimmt, wobei die installierte Gesamtleistung der Dampferzeugung dem Leistungsbedarf der Wärmeerzeuger bzw. der der-

zeitigen Versorgung entsprechen sollte. Die Leistung der z.Zt. vorhandenen Kesselanlage beträgt rund  $14 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Für die an die Dampfversorgung angeschlossenen Wärmeverbraucher errechnet sich eine maximale Anschlußleistung von ca.  $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ , so daß im Falle einer reinen Prozeßwärmebereitstellung (Variante II) eine thermische Gesamtleistung des BHKW und des zusatzgefeuerten Abhitzeessels von  $14 \text{ MW}_{\text{th}}$  vorgesehen wird, während für die kombinierte Versorgung von Prozeß- und Raumwärme (Variante I)  $10 \text{ MW}_{\text{th}}$  installiert werden sollen. Daraus errechnet sich die erforderliche Feuerungswärmeleistung des Abhitzeessels, die im Falle der Variante II in Kombination mit dem Gas-Otto-BHKW  $7.000 \text{ kW}_{\text{th}}$  bzw. rund  $7.500 \text{ kW}_{\text{th}}$  in Kombination mit dem Diesel-BHKW beträgt. Für die Variante I errechnen sich die Feuerungswärmeleistungen der Abhitzeessels von ca.  $11.000 \text{ kW}_{\text{th}}$  (Gas-Otto-BHKW) bzw. ca.  $11.500 \text{ kW}_{\text{th}}$  (Diesel-BHKW).

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 Vertragsgestaltung, die eine vollständige Leistungsbereitstellung vorsieht, würde für den hier betrachteten Betrieb hohe jährliche Kosten verursachen, ohne daß i.d.R. ein Strombezug erfolgt, und einen wirtschaftlichen Einsatz einer KWK-Anlage mit Sicherheit verhindern. Eine Vertragsgestaltung dagegen, bei der zu Lasten eines hohen Arbeitspreises ein nur geringer bzw. kein Leistungspreis zu entrichten ist (z.B. das Tarifmodell Z), 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  $0,35 \text{ DM/kWh}$  zugrundegelegt.

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  $4,3 \text{ Mio. kWh/a}$  bzw.  $4,8 \text{ Mio. kWh/a}$ , wobei die erstgenannte Zahl für ein Diesel-BHKW mit gasgefeuertem Abhitzeessels und die zweite Zahl für ein Gas-Otto-BHKW mit gleichem Kessel errechnet wurde. Neben der vollständigen Eigenstromversorgung durch das BHKW (ca.  $4,2 \text{ Mio. kWh/a}$ ) führt ein höherer Nutzungsgrad der Wärmebereitstellung durch die Kombination „Gas-Otto-BHKW/Abhitzeessels“ auch zu einer Brennstoffeinsparung gegenüber der bestehenden Wärmeversorgung. Im Falle des Diesel-BHKW ist dagegen ein zusätzlicher Brennstoffeinsatz von ca.  $14.000 \text{ kWh/a}$  notwendig. Für die Konzeptvariante II, d.h. der ausschließlichen Prozeßwärme- und Stromgestehung, errechnen sich bei vollständiger Eigenstromerzeugung

gung Brennstoffmehrerbräuche zwischen 830.000 kWh/a (Gas-Otto-BHKW) und 1,4 Mio. kWh/a (Diesel-BHKW).

Aus wirtschaftlichen Erwägungen dagegen ergibt sich ein anderes Bild. So weisen die energetisch günstigen Varianten (Konzept I) deutlich höhere Investitionskosten auf, die letztlich zu längerer Amortisationszeit führen. Mit dem Aufbau eines Gas-Otto-BHKW mit einem 11 MW<sub>th</sub>-Abhitzeessel sind Investitionen von etwa 3,9 Mio. DM (Gas-Diesel-BHKW und gleicher Kessel ca. 4,3 Mio. DM) verbunden, während ein kleinerer Abhitzeessel zur reinen Prozeßwärmeversorgung etwa 1 Mio. DM günstiger ist. Dabei ist jedoch zu beachten, daß ein konventioneller Dampfkessel zur Raumwärmeversorgung, wie er bei der Variante I zusätzlich installiert werden müßte, weitere Investitionen von rund 700.000 DM erfordert, so daß letztlich für das Anlagenkonzept I zusätzlich Investitionen von etwa 300.000 DM erforderlich sind. In allen Fällen werden durch die vollständige Eigenstromerzeugung Bezugskosten von etwa 1,5 Mio. 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 auf der Basis eines Blockheizkraftwerkes sind im Vergleich zur heutigen Versorgung zusätzliche Betriebskosten zwischen 90.000 DM/a (Gas-Otto-BHKW, Variante II) und 150.000 DM/a (Diesel-BHKW, Variante I) aufzubringen, wobei - mit Ausnahme des Gas-Otto-BHKW in der Variante I - neben zusätzlichen Aufwendungen für Wartung, Instandhaltung und Personal auch höhere Brennstoffkosten einzuplanen sind.

Die errechneten Amortisationszeiten der o.g. Anlagenkonzepte liegen - selbst für den Fall einer vollständigen Fremdfinanzierung (Zinssatz 10 %) - unterhalb von vier Jahren. Für die Konzeptvariante II (Prozeßwärmeversorgung) errechnen sich dynamische Amortisationszeiten von 2,2 Jahren (Gas-Otto-BHKW) bzw. 2,7 Jahren (Diesel-BHKW) bei einer Eigenfinanzierung und von 2,4 Jahren (Gas-Otto-BHKW) bzw. 2,9 Jahren (Diesel-BHKW) einer Fremdfinanzierung. Für die Konzeptvariante I, d.h. eine kombinierte Raum- und Prozeßwärmeversorgung liegen die Amortisationszeiten aufgrund der höheren Gesamtinvestitionen zwischen 3,0 und 3,8 Jahren. Dabei bildet die Variante „Diesel-BHKW und gasgefeuerter Abhitzeessel“ (11.000 kW Feuerungswärmeleistung) die wirtschaftlich interessanteste Alternative.

Zum Abschluß der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 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.

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. CO<sub>2</sub>-Einsparungen zwischen 2.500 t und 3.200 t jährlich durch die KWK-Systeme denkbar. Beachtliche Emissionsminderungen sind auch für die anderen Luftschadstoffe möglich.

Neben einer KWK-Anlage auf der Basis eines BHKW bildet die Kombination einer Gasturbine mit einem Abhitzekegel 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 wird in Anlehnung an die Betriebszeit mit 4.000 h/a festgesetzt. Ferner werden erneut die Konzeptvariante I (Stromerzeugung 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 - 25 %, vgl. [16 - 18]) gekennzeichnet. Dagegen liegen die thermischen Nutzungsgrade mit ca. 50 - 60 % höher. Bei einer vorgegebenen Wärmeleistung der Turbine von 1.060 kW ist bei einem Wärmenutzungsgrad von ca. 25 % eine Feuerungswärmeleistung von 4.240 kW erforderlich, wobei das Aggregat dann eine thermische Leistung von 2.290 kW bereitstellt (thermischer Nutzungsgrad ca. 54 %). Die Abgase der Gasturbine werden analog zu den BHKW-Abgasen in einem nachgeschalteten Abhitzekegel zur Dampferzeugung genutzt. Die Auslegung des Abhitzekegels erfolgt analog zur oben geschilderten Vorgehensweise, so daß sich erneut eine Feuerungswärmeleistung des Kegels von 10.000 kW im Falle der kombinierten Raum- und Prozeßwärmeversorgung bzw. 7.000 kW für die alleinige Prozeßwärmebereitstellung errechnen.

Durch den Einsatz einer KWK-Anlage, die aus der Kombination einer Gasturbine und einem Abhitzekegel besteht, sind Endenergieeinsparungen von rund 2,7 Mio. kWh/a (Variante I) bzw. 1,3 Mio. kWh/a (Variante II) zu realisieren. Bedingt durch einen im Vergleich zur derzeitigen Wärmeversorgung geringen thermischen Nutzungsgrad der Gasturbine ist im Falle der kombinierten Wärmeversorgung ein zusätzlicher Brennstoffeinsatz von rund 1,5 Mio. kWh/a gegenüber der heutigen Wärmeversorgung erforderlich, im Falle der reinen Prozeßwärmeversorgung (Variante II) errechnet sich ein zusätzlicher Brennstoffverbrauch von 2,9 Mio. kWh/a. Diese Mehrverbräuche reduzieren das Endenergieeinsparpotential deutlich.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, daß die Variante II eine ökonomisch durchaus interessante Möglichkeit zur Endenergieeinsparung durch die Kraft-Wärme-Kopplung darstellt. Variante I (kombinierte Wärmeerzeugung) erfordert mit Investitionen von insgesamt etwa 5,3 Mio. DM gegenüber etwa 3,7 Mio. DM im Falle der Alternative II, die in erster Linie auf die Zusatzkosten für den leistungsstärkeren Abhitzekegel zurückzuführen sind. Der zusätzliche Leistungsbedarf des Abhitzekegels 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<sub>th</sub> erfordert [19, 20]. Beide KWK-Konzeptionen erzeugen etwa 4,2 Mio. kWh/a Strom, wodurch Kosteneinsparungen in Höhe von etwa 1,5 Mio. DM/a (Preisbasis ist der jetzige Strompreis von ca. 35 Pfg./kWh) erzielt werden. Deutliche Kostenunterschiede zeigen sich in den Betriebskosten, die vor allem durch den zusätzlichen Brennstoffbedarf zu begründen sind. Durch den Einsatz einer KWK-Anlage der Variante I fallen zusätzliche Betriebskosten von ca. 250.000 DM/a an, wobei etwa 50.000 DM für den zusätzlichen Brennstoffbedarf aufzuwenden sind.

Bei der Variante II erhöhen sich die Betriebskosten um etwa 220.000 DM gegenüber der derzeitigen Versorgung, wovon ca. 96.000 DM auf den Brennstoff entfallen. Durch die beachtlichen Kosteneinsparungen beim Strombezug amortisieren sich jedoch auch die hohen Investitionen der KWK-Anlage (Variante I) selbst im Falle der Fremdfinanzierung in weniger als 6 Jahren. Für die Konzeptvariante II werden Amortisationszeiten von 3,1 Jahren (Eigenfinanzierung) bzw. 3,4 Jahren (Fremdfinanzierung) errechnet.

Vor allem durch die vollständige Vermeidung des heutigen Strombezugs besteht auch beim Einsatz einer Gasturbinenanlage ein beachtliches Potential zur Emissionsminderung. Am Beispiel des Luftschadstoffs CO<sub>2</sub> sind dabei Einsparungen von etwa 2.000 t/a (Variante II) bzw. 2.500 t/a (Variante I) möglich.

Tabelle 3.1 faßt nachfolgend die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen zum Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung in der betrieblichen Energieversorgung zusammen. Dabei zeigt sich, daß das Gas-Otto-BHKW sowohl im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit als auch bei den möglichen Potentialen zur Energieeinsparung und Emissionsminderung - unabhängig von der Anlagenkonzeption - die günstigsten Randbedingungen aufzeigt. Für den Einsatz einer Gasturbinenanlage dagegen ergeben sich die ungünstigen Randbedingungen.

**Tabelle 3.1:** Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Prozeßwärmanwendungen durch Kraft-Wärme-Kopplung

Maßnahme	Gas-Otto-BHKW		Diesel-BHKW		Gasturbine	
	Variante I	Variante II	Variante I	Variante II	Variante I	Variante II
<b>Einsparungen:</b>						
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	547	-827	-0,1	-1.388	-1.526	-2.900
Strom [Tsd. kWh/a]:						4.240
CO <sub>2</sub> [t/a]:	3.228	2.756	3.040	2.564	2.517	2.045
<b>Kosten:</b>						
Investitionen [Tsd. DM]:	3.857	2.917	4.293	3.353	5.272	3.672
Betrieb [Tsd. DM/a]:	-137	-90	-154	-106	-204	-124
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	18	-28	-0,5	-46	-51	-96
Strom [Tsd. DM/a]:	1.463					
Förderung:	z.Zt. keine					
<b>Dynamische Amortisationszeit [a]:</b>						
Eigenfinanzierung:	3,04	2,22	3,56	2,69	4,98	3,13
Fremdfinanzierung:	3,30	2,36	3,84	2,90	5,68	3,41
Anmerkung: Negative Zahlen bedeuten Mehrausgaben, Mehrverbräuche etc.						

## Maßnahmen zur betrieblichen Energierückgewinnung und Abwärmenutzung

Dem Prozeßwärmebedarf des Unternehmens stehen jährlich rund 8,6 Mio. kWh Abwärme auf einem Temperaturniveau von bis zu 120 °C aus verschiedenen Verarbeitungsprozessen gegenüber. Dieses Potential geht bislang größtenteils ungenutzt mit dem Abwasser in die Kanalisation bzw. in Form von Abgasen in die Umgebung verloren. Zur Nutzung dieser Abwärme sind zahlreiche Möglichkeiten denkbar. Zur Entwicklung einer optimalen Vorgehensweise wird daher zunächst eine theoretische Analyse der Struktur des Abwärmeangebots und Wärmebedarfs in Form einer **Wärmeintegrationsanalyse** durchgeführt.

Die Wärmeintegrationsanalyse bewertet, welcher Anteil der anfallenden Abwärme den Verarbeitungsprozessen rückgeführt werden kann, d.h. wie hoch das Einsparpotential durch Wärmerückgewinnung in dem untersuchten Betrieb ist. Die absolute Summe der Abwärme sagt dabei zunächst wenig über die Qualität der Energieströme aus. Wärme kann mit Hilfe eines Wärmetauschers nur von einem höheren auf ein niedriges Temperaturniveau übertragen werden, womit ein Abwärmeangebot bei niedrigen Temperaturen ungeeignet zur Deckung eines Wärmebedarfs bei hohen Temperaturen ist. Die Wärmeintegrationsanalyse trägt diesem Sachverhalt Rechnung, in dem Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Abhängigkeit des Temperaturniveaus analysiert werden. Dazu werden alle für die Wärmerückgewinnung in Frage kommenden Wärmeströme entsprechend der Temperaturniveaus zu einer sogenannten „kalten“ Summenkurve und die Abwärmemengen zu einer „warmen“ Summenkurve addiert. Die beiden Summenkurven werden bis zu einer Berührung im sog. „Pinch Point“ gegeneinander verschoben. Die resultierende Überdeckung beider Kurven stellt die maximal rückgewinnbare Energie dar (vgl. Abbildung 3.1). Der Anteil der Wärmenachfrage, die rechts von der Überdeckung beider Kurven liegt, ist ein verbleibender Wärmebedarf, der dem Betrieb selbst bei vollständiger Ausschöpfung des rückgewinnbaren Wärmepotentials noch zugeführt werden muß. Dagegen kann die Abwärme links der Überdeckung als Abwärme im Betrieb nicht genutzt werden [37, 38, 39, 40].

Die Summenkurven des hier untersuchten Unternehmens sind in Abbildung 3.1 dargestellt. In die Integrationsanalyse wurde ein jährlicher Wärmebedarf von 14,5 Mio. kWh Nutzenergie sowie alle im Betrieb anfallenden Abwärmeströme einbezogen.

Als Ergebnis der Wärmeintegrationsanalyse zeigt sich ein Wärmepotential von etwa 7,4 Mio. kWh, das theoretisch durch Abwärmenutzung gedeckt werden kann, wodurch Endenergieeinsparungen von ca. 11 Mio. kWh erzielt werden können. Dieses Potential ist als theoretische Obergrenze der Wärmerückgewinnung zu verstehen und nur unter der Voraussetzung verlustloser Wärmeübertragungsprozesse sowie der vollständigen zeitlichen Übereinstimmung von Abwärmeangebot und Wärmenachfrage bzw. verlustloser Wärmespeicher zu realisieren. Aus der Integration wurden solche Wärmebedarfe ausgeschlossen, deren Prozeßtemperaturen über der maximal zur Verfügung stehenden Abwärmetemperatur von 120 °C (Abgastemperatur der Spannrahmen, Senge und Thermosolanlage) liegen und für eine Abwärmenutzung nicht in Frage kommen. Dies betrifft Teile der NBS- sowie der Continueanlage. Alle Verdampfungsprozesse finden bei Umgebungsdruck statt und finden sich daher in Abbildung 3.1 als Parallele zur

Energieachse bei 100 °C wieder. Aufgrund der geringen Abwärmeströme bei hohen Temperaturen ist das Potential, den Energiebedarf für Verdampfungen aus Abwärme zu bestreiten, verschwindend gering, daher sollte das Augenmerk der Untersuchungen auf Wärmebedarfe unter 100 °C gelenkt werden.

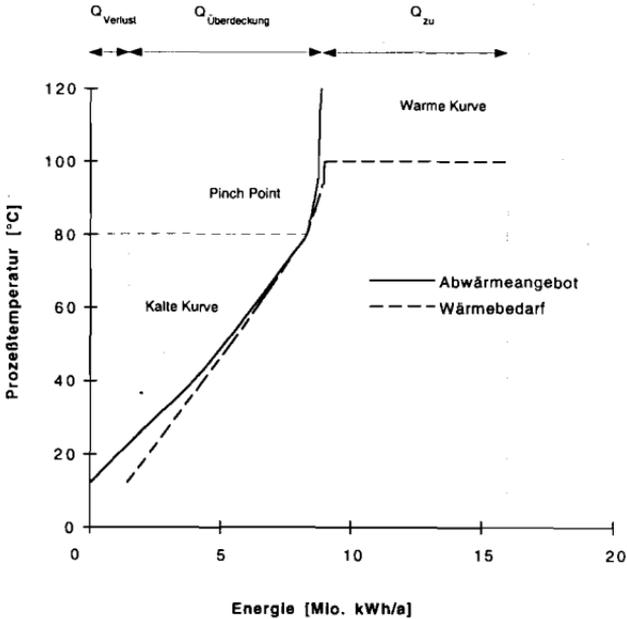


Abb. 3.1: Resultierende Summenkurven des Abwärmeangebots und des Wärmebedarfs im untersuchten Betrieb

Der „Pinch Point“, d.h. der Berührungspunkt der Summenkurven, ist eine markante Größe der Wärmeintegrationsanalyse. Hier lassen sich die Kurven in zwei Bereiche aufteilen, das System „Wärmesenke“ (oberhalb der Pinchtemperatur), dem Wärme zugeführt werden muß und dem System „Wärmequelle“ (unterhalb der Pinchtemperatur), mit einem Wärmeüberschuß. Die Aufteilung in zwei Teilsysteme veranschaulicht eine der wichtigsten Regeln der Wärmeintegrationsanalyse, daß in einem energetisch optimalen Wärmerückgewinnungskonzept Wärme nicht von einer Temperatur oberhalb der Pinchtemperatur auf ein Temperaturniveau unterhalb der Pinchtemperatur übertragen werden darf. Eine solche Maßnahme würde den Wärmebedarf der Wärmesenke, ebenso wie die aus der Wärmequelle abzuführende Wärmemenge steigern [37 - 40].

Abwärmeströme können sowohl direkt, wie auch indirekt genutzt werden. Eine direkte Nutzung setzt voraus, daß der Zustand des Abwärmeträgermediums den prozeßtechnisch geforderten Bedingungen entspricht. So können z.B. unverschmutzte warme Abwässer eines Arbeitsprozesses als Warmwasser direkt einem anderen Bedarfsprozeß zugeleitet werden. Bei verschmutzten Abwässern ist hingegen i.a. nur eine indirekte Nutzung möglich. Dazu werden die warmen Abwässer über einen Wärmetauscher ge-

führt, wo die Abwärme an einem Frischwasserstrom übertragen wird. Der Einsatz von Wärmetauschern ist dabei nur bei einem gleichzeitigen Wärmeangebot und -bedarf sinnvoll. Ist eine Gleichzeitigkeit von Wärmebedarf und -angebot nicht gegeben, kann das Abwärmepotential nur unvollständig ausgeschöpft werden. Eine zuverlässige Übereinstimmung des Bedarf- und Angebotsprofils ist vor allem dann gegeben, wenn die Abwärme einer Maschine zur Deckung des eigenen Wärmebedarfs genutzt werden kann. Dennoch sollte die Wärmerückgewinnung aus chargenweise anfallenden Abwärmeströmen sowie die Kopplung der Wärmeströme unabhängig voneinander betriebener Aggregate betrachtet werden. Zur Minimierung der Ungleichzeitigkeitsverluste kann ein Speichersystem als Puffer in den Wärmeaustauschprozeß integriert werden. Die anfallende Abwärme wird dabei über einen Wärmetauscher an einen Frischwasserstrom übertragen, der anschließend in einen Speicher geleitet wird. Liegt bei einem angeschlossenen Bedarfsprozeß ein Warmwasserbedarf vor, so kann dieser aus dem Speicher gedeckt werden. Eine direkte Befüllung des Speichers, unter Umgehung des Wärmetauschers mit unverschmutzten Abwässern, ist ebenfalls sinnvoll.

Für den untersuchten Betrieb wurden für die Wärmerückgewinnung aus Abwässern geschraubte Plattenwärmetauscher aus Edelstahl gewählt. Kernstück dieser Technik sind die Wärmetauscherplatten, die für einen verbesserten Wärmeübergang mit einer Prägung (sog. Fischgrätmuster) versehen sind. Dichtungen sorgen für einen festgelegten Abstand der Platten zueinander und für eine Abdichtung der Strömungskanäle. Die Platten werden in einem Gestell auf einer Tragwelle montiert, das auf der einen Seite aus einer feststehenden Gestellplatte mit den Wasseranschlüssen und auf der anderen Seite aus einem beweglichen Deckel besteht. Das kalte und das warme Fluid, auch primär- und sekundärseitiges Mediums genannt, fließen - durch die Platten getrennt -, im Gegen-, Gleich- oder Kreuzstrom aneinander vorbei, wobei das kalte Fluid die Abwärme aufnimmt und sich erwärmt, während sich das warme Fluid abkühlt. In Abhängigkeit von der benötigten Wärmetauscherfläche erhöht sich die Anzahl der Wärmetauscherplatten. Die Wärmetauscher können aufgeschraubt und auseinandergezogen werden, um die Platten mit einem Hochdruckreiniger zu reinigen oder ggf. defekte Platten auszutauschen. Als Werkstoffe für die Platten stehen u.a. Edelstahl und Titan zur Verfügung, wobei in dem betrachteten Betrieb nur bei erhöhten Chlorid-Belastungen des Wassers Titan verwendet werden muß. Bei Feststoffbelastungen der Abwässer von über 10 % müssen sogenannte „Freistrom“-Plattenwärmetauscher mit größeren Plattenabständen und Abmaßen eingesetzt oder ein Filter vor den Wärmetauscher im Abwasserstrom montiert werden. Die Wärmedurchgangskennzahl dieser Aggregate, als Maß für die von der Fläche und der treibenden Temperaturdifferenz abhängigen Wärmeübertragungsleistung, liegt bei 4.000 bis 6.500 W/(m<sup>2</sup>K). Da gerade bei der Verwendung belasteter Abwässer mit Verunreinigungen (sog. „Fouling“) und den damit verbundenen Verlusten beim Wärmedurchgang gerechnet werden muß, wurde für die Berechnungen die untere Grenze des Kennzahlbereiches von 4.000 W/m<sup>2</sup>K angenommen [15, 41 - 43].

Die flächenspezifischen Investitionskosten für die Wärmetauscherplatten liegen für Anwendungen mit Flächen unter 20 m<sup>2</sup> im Mittel bei 540 DM/m<sup>2</sup> und reduzieren sich bei Flächen über 500 m<sup>2</sup> bis auf ca. 70 DM/m<sup>2</sup> [15]. Die in [15] angegebenen spezifischen Investitionskosten wurden bereichsweise (Bereich I - III) in Exponentialfunktio-

nen transformiert und sind in der Abbildung 3.2 bis zu einer Gesamtfläche von 250 m<sup>2</sup> graphisch dargestellt.

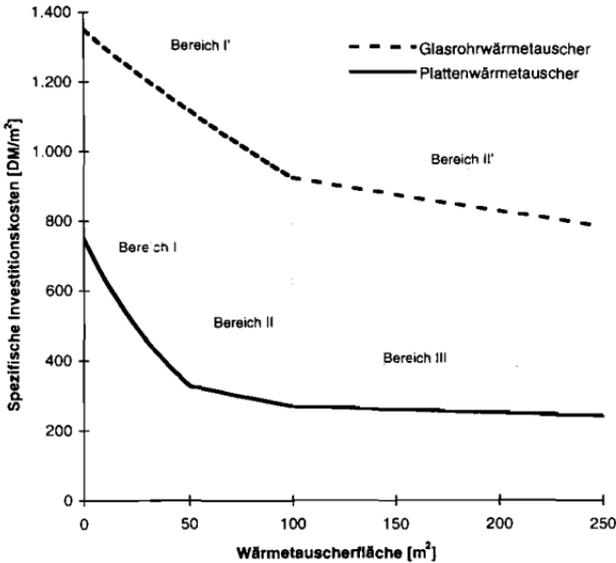


Abb. 3.2: Degression der spezifischen Investitionskosten von Platten- und Glasrohrwärmetauschern [15]

Für Nebenaggregate des Wärmetauschers - Gestell, Pumpe, Isolierhaube u.a. - muß ein Aufschlag von durchschnittlich 12,5 % der Plattenkosten angesetzt werden. Die Kosten für eine Montage des Wärmetauschers liegen bei 20 % der Investitionskosten. Zusätzlich fallen pro Jahr Wartungskosten in Höhe von 5 % der Investitionskosten an. Die Druckverluste auf jeder Seite der Wasserströme im Wärmetauscher von jeweils 27 W pro m<sup>2</sup> Wärmetauscherfläche müssen mit Pumpenenergie ausgeglichen werden. Der daraus resultierende Stromverbrauch und die damit verbundenen Kosten werden mit den Wartungskosten zu den Betriebskosten zusammengefaßt [15].

Den Kosten für die Anschaffung und den Betrieb eines Wärmetauschers stehen Minder Ausgaben für eingesparte Energie gegenüber. Die Energieeinsparung ist maßgeblich von der zugelassenen kleinsten Temperaturdifferenz zwischen primär- und sekundärseitigem Medium - der Grädigkeit des Wärmetauschers - abhängig. Bei den hier verwendeten Gegenstromwärmetauschern wird das Frischwasser bis zu dieser Temperaturdifferenz an die Eingangstemperatur des warmen Abwassers aufgewärmt. Eine höhere Erwärmung durch eine kleinere Temperaturdifferenz und daraus resultierender wachsender Energieeinsparung kann nur mit größeren Austauschflächen realisiert werden, wodurch die Kosten für den Wärmetauscher steigen.

In Abbildung 3.3 wird an einer beispielhaften Wärmetauscheranlegung der Zusammenhang zwischen der Grädigkeit und den Kosten einer Wärmetauscheranwendung

verdeutlicht. Dabei sind in Abhängigkeit von der Grädigkeit neben den jährlichen Kapital- und Betriebskosten auch der finanzielle Wert unerschlossener Energieeinsparpotentiale als Energiekosten abgebildet. Aus der Summe der drei Kurven Kapital-, Betriebs- und Energiekosten ergibt sich die Gesamtkostenkurve der Anwendung.

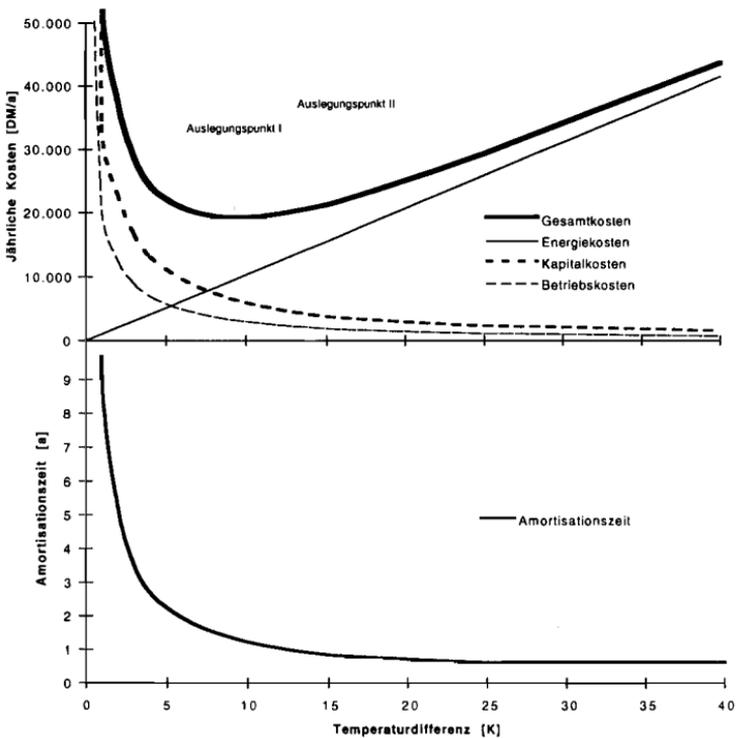


Abb. 3.3: Kosten und Amortisationszeiten einer Wärmetauscheranlage

Mit einem beliebig großen Wärmetauscher könnten die Energiekosten nahezu vollständig eingespart werden, die Kapital- und Betriebskosten würden dadurch allerdings unendlich groß. Umgekehrt bedingt ein klein dimensionierter Wärmetauscher zwar geringe Kapitalkosten, dafür wird auch kaum Energie eingespart. In Abhängigkeit der Parameter des Wärmetauschers (Wärmetauschermedien und Auslastung) ergibt sich zwischen diesen Extrema eine Temperaturdifferenz für ein wirtschaftlich optimales Verhältnis von Kosten zu Minderausgaben (Auslegungspunkt I). Diese kostenoptimale Temperaturdifferenz wird für alle Wärmetauscher berechnet und den nachfolgenden Konzepten zugrunde gelegt.

Abbildung 3.3 zeigt weiter, daß es für die Amortisationszeit der Anlage kein von der Grädigkeit abhängiges Optimum gibt. Zwangsläufig ist die im Kostenoptimum getätigte Wärmetauscheranlage nicht die sich am schnellsten amortisierende.

Im konkreten Fall des betrachteten Unternehmens, läßt sich eine wirkungsvolle kontinuierliche Wärmerückgewinnung durch Abwasser-/Frischwasserwärmetauscher an der NBS, Continue, dem Mercerisierer und Mäander realisieren. Zusätzlich ist ein Wärmespeicherungssystem vorgesehen, das durch den Kondensat- und Kühlwasserstrom der Laugenrückgewinnungsanlage sowie den Abwärmestrom der Garnfärberei gespeist wird und sowohl den Mercerisierer als auch die Garnfärberei und ggf. die Jigger und die Schlichteküche mit Warmwasser versorgen kann.

### **Wärmerückgewinnung mit Wärmetauschern an den Maschinen**

Für die NBS-Anlage errechnet sich ein jährlicher Prozeßwärmebedarf von insgesamt 5,7 Mio. kWh/a Endenergie, wovon rund 2,3 Mio. kWh/a allein für die Warmwassergestehung benötigt werden. An dem Dämpfer der Anlage sind keinerlei Optimierungsmöglichkeiten ersichtlich. Das gleiche gilt für den Dampftrockner am Ende des Verarbeitungsprozesses. Die in diesen Aggregaten eingesetzten Energieströme entweichen ungefaßt als Heißluft und Wasserdampf in die Umgebung.

Das 95 °C warme Abwasser aus der letzten Waschstufe ließe sich dazu verwenden, in einem Wärmetauscher das Frischwasser der Anlage auf 91 °C vorzuwärmen. Die ursprünglich für die erste Waschstufe eingestellte Prozeßtemperatur von 75 °C stellt dabei keine Obergrenze für die Wärmerückgewinnung dar. Höhere Temperaturen sind auch bei diesem Aggregat erwünscht, ließen sich aber bisher leistungsmäßig nicht realisieren. Mit einer höheren Wassertemperatur in der ersten Waschstufe sinkt auch der Energiebedarf, um die in der zweiten Waschmaschine gewünschten 95 °C zu erreichen.

Der berechnete Wärmetauscher hat eine Austauschfläche von 31 m<sup>2</sup> und sollte entweder am Frischwasserzufluß der ersten Waschstufe oder am Abwasserabfluß der fünften Waschstufe installiert werden. Durch die Wärmerückgewinnungsmaßnahme ließe sich der Gesamtenergieverbrauch der Anlage um 1,8 Mio. kWh bzw. 32 % der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 614 t/a reduzieren. Diese Maßnahme kann mit Investitionen von 21.700 DM durchgeführt werden und wird sich eigenfinanziert in 0,39 a und fremdfinanziert innerhalb von 0,40 a amortisieren.

An der Färberei- und Waschanlage ist ebenfalls im Bereich der Wärmerückgewinnung ein erhebliches Energieeinsparpotential erkennbar. Z.Zt. sind zur Versorgung dieser Anlage jährlich 3,4 Mio. kWh/a Endenergie notwendig, wovon 2,8 Mio. kWh bzw. 82 % für die Wassererwärmung in den vier Waschstufen auf 80 °C bzw. 50 °C im zweiten Dämpfer benötigt werden. Der Dämpfer am Anfang der Anlage verbraucht rund 600.000 kWh/a für die mangels gefaßter Abwärmeströme kein energetisches Optimierungspotential durch Wärmerückgewinnung erkennbar ist.

Die Waschstufen der Continue-Anlage sind zu zwei Waschstufenpaaren zusammengeschaltet, die aus der 1. und 2. bzw. 3. und 4. Waschstufe gebildet werden. Alle Waschstufen besitzen eine eigene Frischwasserzufuhr, die Abwässer der 2. bzw. 4. Waschstufe werden jedoch in die 1. bzw. 3. Waschstufe rückgeführt. Dadurch fällt nur an der

1. und 3. Waschstufe jeweils ein doppelter Abwasserstrom an. Ein mögliches Konzept wäre eine Trennung der Abwasserströme in vier Ströme, um dann in vier Wärmetauschern das Frischwasser jeder einzelnen Waschmaschine vorzuwärmen. Rationeller wäre es jedoch, den ganzen Abwasserstrom eines Waschstufenpaares mit der Frischwasserzufuhr zu koppeln und hinter dem Wärmetauscher den erwärmten Frischwasserstrom für die beiden Waschstufen zu teilen. Die Anzahl an Wärmetauschern wäre damit halbiert.

Ein kostenoptimaler Wärmetauscher, der Abwasser und Frischwasser der 1. und 2. Waschstufe koppelt, hat eine Austauschfläche von  $46 \text{ m}^2$  und damit eine Übertragungsleistung von  $743 \text{ kW}$ . Die notwendige Investition beläuft sich auf  $25.200 \text{ DM}$ , wodurch  $1 \text{ Mio. kWh/a}$  an Endenergie bzw. rund  $350 \text{ t CO}_2$  pro Jahr eingespart werden können. Die Amortisationszeit für diese Ausgabe beträgt  $0,81 \text{ a}$  bei Eigen- und  $0,84 \text{ a}$  bei Fremdfinanzierung.

Der Abwasserstrom der Waschstufen 3 und 4 wird bereits über einen Wärmetauscher geführt. Dieser erwärmt das Frischwasser für die 4. Waschstufe bis zu einer Temperatur von  $56 \text{ }^\circ\text{C}$ . In die Kalkulation eines Ersatzes des bisherigen durch einen neuen größeren Wärmetauscher, mit dem sich das Abwärmepotential der Abwässer stärker ausnutzen läßt, müssen die bereits realisierten Einsparungen miteinbezogen werden. Der berechnete Wärmetauscher bringt zusätzlich Einsparungen mit  $1 \text{ Mio. kWh/a}$  sowie  $388 \text{ t CO}_2/\text{a}$  und amortisiert sich eigenfinanziert innerhalb von  $0,76 \text{ a}$  und fremdfinanziert innerhalb von  $0,78 \text{ a}$ .

Ein weiterer Wärmetauscher ist für den zweiten Dämpfer der Continue vorzusehen. Mit einer Austauschfläche von  $12 \text{ m}^2$  werden das Frischwasser mit dem  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  warmen Abwasser des Dämpfers bis auf  $46 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmt. Ein solcher Wärmetauscher kostet  $11.700 \text{ DM}$  und spart  $494.000 \text{ kWh/a}$  bzw. rund  $169 \text{ t CO}_2/\text{a}$  ein. Die Investition amortisiert sich eigenfinanziert innerhalb von  $0,78 \text{ a}$  und fremdfinanziert in  $0,81 \text{ a}$ .

Ein vollständiges Wärmerückgewinnungskonzept für die gesamte Continue-Anlage wäre durch die Installation aller drei o.g. Wärmetauscher mit Investitionen von insgesamt  $62.700 \text{ DM}$  realisiert. Über den jährlichen Minderverbrauch an Endenergie von  $2,7 \text{ Mio. kWh}$  ( $= 79 \%$  des Gesamtenergieverbrauches der Continue-Anlage) amortisiert sich bei der Eigenfinanzierung in  $0,79 \text{ a}$  und bei Fremdfinanzierung in  $0,81 \text{ a}$ . Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen reduzieren sich dabei um  $910 \text{ t/a}$ .

Die **Mäander-Waschanlage** besteht aus zwei Waschstufen, die bei  $76 \text{ }^\circ\text{C}$  bzw.  $98 \text{ }^\circ\text{C}$  betrieben werden und jährlich  $1,0 \text{ Mio. kWh}$  Endenergie verbrauchen. Die in den Abwässern enthaltene Wärme geht bisher bei diesen Temperaturen ungenutzt in die Kanalisation verloren und kann durch zwei Wärmetauscher größtenteils rückgewonnen werden. Zusätzlich wird die Warmwasserversorgung der ersten Waschmaschine über das Kühlwasser-Auffangbecken des Druckrockners empfohlen. Der jährliche Kühlwasseranfall des Druckrockners liegt um rund  $20 \%$  über dem Wasserbedarf der Waschmaschine, so daß von einer gesicherten Warmwasserversorgung aus dem Speicherbecken des Druckrockners ausgegangen werden kann. Diese Maßnahme ist nun mit geringen zusätzlichen Kosten verbunden, da größtenteils bereits existierende Ver-

teilungsstrukturen für Warmwasser aus dem Drucktrocknerbecken genutzt werden können. Da die Frischwassertemperatur an der ersten Waschmaschine damit 40 °C beträgt, kann der Wärmetauscher hier kleiner und somit kostengünstiger ausgelegt werden. Das Konzept mit zwei Wärmetauschern, Rohrleitungsverbindungen und ggf. -dämmungen ist mit Investitionen von 22.700 DM umsetzbar und amortisiert sich eigenfinanziert in 0,78 a und fremdfinanziert in 0,81 a. Durch die Endenergieeinsparungen von 940.000 kWh, also 92 % des Gesamtbedarfes reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Betriebes um 323 t/a.

Die Abwässer aus dem Dämpfer des **Mercerisierers** lassen sich ebenfalls für eine Wärmerückgewinnung in Wärmetauschern einsetzen. Es wird Wasser mit einer errechneten Temperatur von ca. 39 °C aus dem Spülbereich der Anlage in den Dämpfer gepumpt und hier mit Direkt Dampf auf 88 °C erwärmt. Dafür müssen jährlich rund 153.000 kWh/a der insgesamt benötigten Energie von 1,1 Mio. kWh eingesetzt werden. Die Abwässer des Dämpfers können jedoch für eine Vorwärmung des 39 °C warmen Speisewassers verwendet werden. Ein kostenoptimaler Wärmetauscher arbeitet mit einer Austauschfläche von 2 m<sup>2</sup>, einer konstanten Temperaturdifferenz von 4 °C und kostet 2.600 DM. Dabei können jährlich 141.000 kWh und damit 48 t/a CO<sub>2</sub> eingespart werden, womit sich die Investition sowohl bei einer Eigenfinanzierung in 0,59 a und bei einer Fremdfinanzierung innerhalb von 0,61 a amortisiert.

Die 120 °C heißen Abgase der **Air und Montex Spannrahmen, Thermosolanlage und Senge** können prinzipiell zur Vorwärmung der Verbrennungsluft für die jeweiligen Brenner verwendet werden. Das Abwärmepotential beträgt hier mit rund 280.000 kWh etwa 6 % des Gasverbrauches dieser Anlagen. Bei vollständiger Ausschöpfung könnten damit jährlich 75 t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden. Die für solche Anwendungen vorgesehenen Abgaswärmetauscher aus Borsilkatglas benötigen aufgrund ihrer niedrigen Wärmedurchgangszahl von 15 bis 70 W/m<sup>2</sup>K eine im Vergleich zu Wasser/Wasser-Wärmetauschern größere Austauschfläche. Es muß mit einer hohen Verschmutzung der Wärmetauscherflächen durch Chemikalien und Feuchtigkeit aus den bearbeiteten Textilien gerechnet werden, so daß den Berechnungen der untere Wert des Wärmedurchgangszahlbereichs zugrunde gelegt wird. Die flächenspezifischen Investitionskosten der Glasrohrwärmetauscher liegen etwa um das Doppelte höher als die der Plattenwärmetauscher (vgl. Abbildung 3.2). Die Amortisationsrechnungen für alle vier Abgaswärmetauscher zeigen, daß sich diese Anlagen nicht innerhalb ihrer Lebensdauer amortisieren, und daher für ein rationelles Wärmerückgewinnungskonzept nicht empfohlen werden können [15].

Die Ergebnisse der bisherigen Ausführungen zur Wärmerückgewinnung sind in Tabelle 3.2 zusammengefaßt. Durch die Installation eines Wärmetauschers an der NBS-Anlage lassen sich die von allen Wärmerückgewinnungsmaßnahmen niedrigsten Amortisationszeiten von 0,4 a realisieren. Ebenfalls geringe Amortisationszeiten besitzt der Wärmetauscher an der Mercerisieranlage. Dafür sind die Endenergieeinsparungen dieser Maßnahme um eine Größenordnung kleiner als die der Maßnahmen an der NBS- und Continue-Anlage. Die größten Endenergieeinsparungen von rund 2,7 Mio. kWh sind durch Wärmetauscher an der Continue-Anlage möglich.

**Tabelle 3.2:** Übersicht über die Wärmerückgewinnungsmaßnahmen an den Maschinen

Maßnahme	Wärmetauscher							
	NBS	Continue	Mäander	Mercedesisierer	Montex	Air	Senge	Thermosol
Einsparungen:								
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	1.800	2.661	943	141	93	150	22	16
Strom [Tsd. kWh/a]:	-4,2	-8,1	-1,1	-0,3	-	-	-	-
CO <sub>2</sub> [t/a]:	614	908	323	48	25	40	5,9	4,3
Kosten:								
Investitionen [Tsd. DM]:	22	63	23	2,6	58	83	38	29
Betrieb [Tsd. DM/a]:	2,2	5,1	1,2	0,2	2,1	3,0	1,4	1,0
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-59	-88	-31	-4,7	-4,6	-7,4	-1,1	-0,8
Förderung:	z.Zt. keine							
Dynamische Amortisationszeit [a]:								
Eigenfinanzierung:	0,39	0,79	0,78	0,59	∞	∞	∞	∞
Fremdfinanzierung:	0,40	0,81	0,81	0,61	∞	∞	∞	∞
Anmerkung: Negative Werte stehen für Mehrverbräuche bzw. -ausgaben								

### Wärmerückgewinnung mit einem Speicherkonzept

Das vorgeschlagene Speicherkonzept basiert teilweise auf Komponenten der bereits existierenden Wärmerückgewinnungsanlage. Diese Anlage besteht aus zwei gedämmten Warmwassertanks mit 14,1 bzw. 15 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen sowie einem Auffangbecken aus Beton mit den Abmaßen 8 m x 12 m x 2,5 m. Das Betonbecken wird mit dem Kühlwasser des Drucktrockners befüllt, die Wassertanks aus den unverschmutzten Abwässern der Laugenrückgewinnungsanlage sowie mit Frischwasser, das zuvor in einem Plattenwärmetauscher mit den warmen Abwässern aus der Garnfärberei auf 40 °C erwärmt wurde. Aus diesen Behältern werden zeitweilig die NBS- und Continue-Anlage sowie die Dampfkessel mit 40 °C warmen Wasser versorgt.

Eine Umstrukturierung der bestehenden Anlage wird aus mehreren Gründen notwendig. Sobald Wärmetauscher an der NBS- und Continue-Anlage installiert werden, fehlen der Wärmerückgewinnungsanlage zwei essentielle Warmwasserabnehmer. Außerdem fehlt das Kühlwasser des Drucktrockners dem Gesamtsystem, da es im Rahmen der Wärmerückgewinnung dem Mäander zugeführt werden soll.

In Ihrer bisherigen Ausführung nutzt die Anlage das mögliche Einsparpotential nur teilweise aus. Das jährliche Abwasservolumen aus der Laugenrückgewinnungsanlage ist ungefähr genauso groß ist wie das jährliche Volumen des über den Plattenwärmetauscher (Abwässer aus der Garnfärberei) erwärmten Frischwassers. Die Mischtemperatur des Warmwassers in den Speichern müßte daher fast 60 °C betragen und nicht 40 °C, wie dies z.Zt. der Fall ist. Diese geringe Durchschnittstemperatur läßt darauf schließen, daß die Beladung der Tanks hauptsächlich über den Plattenwärmetauscher (Abwässer der Garnfärberei) erfolgt, anstatt - was rationeller wäre - aus den im Mittel über 70 °C warmen Abwässern der Laugenrückgewinnung. Nach Aussagen von Mitarbeitern werden die Anschlüsse der NBS-Anlage und Continue an die Wärmerückgewinnung nicht in dem Maße genutzt, wie Warmwasser zur Verfügung steht. Dies kann u.U. zur Folge haben, daß die Speicher neue Abwärmeströme nicht aufnehmen können. So werden bspw. Abwässer aus der Laugenrückgewinnung mangels vorhandener Wärmesenken häufig direkt in die Kanalisation geleitet.

Jährlich werden der Wärmerückgewinnungsanlage etwa 15.200 m<sup>3</sup> als Frischwasser über den Plattenwärmetauscher zugeführt. Dazu kommen maximal 15.900 m<sup>3</sup> aus der Laugenrückgewinnung und 5.600 m<sup>3</sup> aus dem Drucktrockner. Wird das jährliche Wasseraufkommen bei 40 °C genutzt, so errechnen sich etwa 1,8 Mio. kWh als theoretische Obergrenze möglicher Endenergieeinsparungen durch die bisherige Wärmerückgewinnung. Das aufgrund veränderter Rahmenbedingungen erstellte neue Speicherkonzept zeigt Abbildung 3.4.

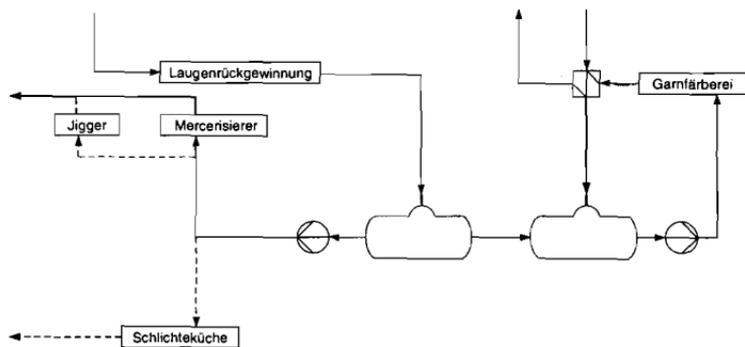


Abb. 3.4: Skizze des entwickelten Speicherkonzeptes zur Abwärmenutzung diskontinuierlicher Abwärmeströme

Das Speicherkonzept sieht eine Trennung in zwei Kreisläufe mit jeweils einem Speicher vor. Der erste Kreislauf wird aus den Abwässern der **Laugenrückgewinnung** gespeist und versorgt in erster Linie den **Mercerisierer**. Der zweite Kreislauf wird hingegen durch Frischwasser gespeist, das in einem Wärmetauscher durch die Abwärme der **Garnfärberei** vorgewärmt wird. Das warme Wasser des zweiten Tanks wird wieder der Garnfärberei zugeführt, die sich dadurch praktisch selbst versorgt. Zwischen

dem ersten und dem zweiten Tank wird ein Überlauf vorgesehen. Bei einer vollständigen Füllung des ersten Tanks kann dadurch der zweite genutzt werden.

Als Hauptvorteil dieses Systems gegenüber dem bisherigen ist zu nennen, daß die angeschlossenen Verbraucher „Garnfärberei“ und „Mercerisierer“ mit großer Wahrscheinlichkeit kontinuierlich und verlässlich mit warmen Wasser versorgt werden können. Die Garnfärberei kann sich grundsätzlich selbst mit Warmwasser versorgen und das Abwasserangebot der Laugenrückgewinnung ist mehr als ausreichend, um den Bedarf des Mercerisierers zu decken. Darüber hinaus wird durch den Überlauf aus dem ersten in den zweiten Tank eine weitgehende Nutzung des Wasser aus der Laugenrückgewinnungsanlage sichergestellt, wodurch Frischwasser eingespart wird.

Eine Kombination der Laugenrückgewinnung mit dem Mercerisierer ist deshalb von Vorteil, weil der Betrieb der Laugenrückgewinnung mit der Auslastung des Mercerisierers in Zusammenhang steht. Die während des Betriebes des Mercerisierers anfallende Dünnlauge wird in einem 20 m<sup>3</sup> fassenden Auffangbehälter gesammelt, in der Laugenrückgewinnungsanlage eingedampft und anschließend dem Mercerisierer als Dicklauge wieder zugeführt. Das beim Betrieb der Laugenrückgewinnungsanlage anfallende Kühlwasser und Kondensat von 15.900 m<sup>3</sup> pro Jahr übersteigt den jährlichen Warmwasserbedarf des Mercerisierers von 9.100 m<sup>3</sup>. Die zeitliche Auslastung des Mercerisierers ist mit 2.600 h/a gegenüber 1.400 h/a allerdings bedeutend höher. Durch die Verwendung eines Speichers können die unterschiedlichen Auslastungsprofile der Anlagen zum Teil ausgeglichen werden. Der Wasserüberschuß der Laugenrückgewinnung wird in den zweiten Tank geleitet und steht dort der Garnfärberei zur Verfügung.

Die Garnfärberei wird diskontinuierlich betrieben und weist dabei einen Endenergiebedarf von 2,9 Mio. kWh/a auf. Während der Verarbeitungsprozesse werden unterschiedliche Flotten in Druckbehältern mehrfach mit Wasser gefüllt, ggf. beheizt und anschließend wieder entleert. Bei der Entleerung einer warmen Charge wird das i.d.R. 80 °C warme Abwasser über einen Plattenwärmetauscher geleitet, um einen gleichgroßen Frischwasserstrom zu erwärmen. Das erwärmte Frischwasser wird im Tank bis zum nächsten Warmwasserbedarf der Garnfärberei zwischengespeichert. Der Plattenwärmetauscher muß eine hohe Übertragungsleistung aufweisen, um ein schnelles Ablassen des Wassers aus der Garnfärberei für eine Befüllung mit der nächsten Charge nicht zu behindern. Er wird hier auf einen Abwasservolumenstrom von 100 m<sup>3</sup>/h ausgelegt, wodurch eine Entleerung der 3 bis 5 m<sup>3</sup> fassenden Färbekammer innerhalb von 2 - 3 min gewährleistet ist.

Die im folgenden beschriebene Wärmetauscheranlegung ist die Grundlage der in Abbildung 3.3 gezeigten Kostenkurven. Ein mit der kostenoptimalen Temperaturdifferenz von 9 K ausgelegter Wärmetauscher (vgl. Auslegungspunkt I in Abbildung 3.3) hat eine Austauschfläche von 190 m<sup>2</sup> und eine Wärmeleistung von 6.851 kW. Neben der Investition für einen Wärmetauscher von 74.500 DM sind Investitionskosten von etwa 6.000 DM für isolierte Rohrleitungen zum Mercerisierer und der Garnfärberei sowie für Isoliermaßnahmen an den existierenden Abwasserleitungen der Warmwasserversorger „Laugenrückgewinnung“ und „Garnfärberei“ aufzuwenden. Die Kosten

von korrosionsbeständigen Wasserleitungen aus Edelstahl, mit einem Innendurchmesser von 100 mm, betragen etwa 56 DM/m Rohrlänge. Zur Verteilung des Warmwassers innerhalb des Systems sind Pumpen notwendig. Dabei kann zum Teil auf bereits existierende Pumpen zur Versorgung der bisherigen Rückgewinnungsanlage zurückgegriffen werden. Da eine Teilung des bestehenden Warmwassernetzes in zwei Kreisläufe vorgesehen ist, wird der Kauf einer weiteren Pumpe erforderlich. Für diesen Anwendungsbereich wird eine übliche Kreiselpumpe mit 2,2 kW Antriebsleistung sowie einer maximalen Förderleistung von 72 m<sup>3</sup>/h ausgewählt. Die Investitionskosten belaufen sich auf ca. 4.000 DM, die jährlichen Betriebskosten werden mit 2 % der Investitionskosten kalkuliert [44]. Die durch den Transport des warmen Wassers in den Leitungen und der vorübergehenden Speicherung entstehenden Wärmeverluste an die Umgebung wurden für das vorliegende Konzept mit ca. 15.000 kWh/a berechnet.

Die Investitionskosten des hier diskutierten Speicherkonzeptes bestehen zu rund 85 % aus den Aufwendungen für den Wärmetauscher. Aufgrund dieses hohen Investitionsaufwandes werden daher zusätzlich noch zwei kostengünstigere Wärmetauscheralternativen diskutiert. Die erste wird mit einer Austauschfläche ausgelegt, die mit 94 m<sup>2</sup> weniger als die Hälfte der 190 m<sup>2</sup> betragen soll. Die kleinste Temperaturdifferenz in diesem Wärmetauscher beträgt 16 K (vgl. Auslegungspunkt II in Abbildung 3.3), wodurch mit 1,1 Mio. kWh/a durch diese Anlage 148.000 kWh/a bzw. 12 % weniger an Nutzenergie zurückgewonnen werden können als mit dem sich bei einer Grädigkeit von 9 K ergebenden größerem Wärmetauscher. Die Investitionskosten liegen dafür mit 40.500 DM niedriger. Als zweite Alternative wird eine Weiterverwendung des bisher im Abwasserstrom der Garnfärberei installierten Wärmetauschers untersucht. Zusätzliche Kosten für einen Wärmetauscher fallen bei diesem Konzept nicht an. Da der Wärmetauscher allerdings nur eine Vorwärmung des Frischwassers auf maximal 40 °C zuläßt, können so nur 590.000 kWh Nutzenergie (57 % der Einsparungen des großen Wärmetauschers) aus dem Abwasser der Garnfärberei rückgewonnen werden.

Die gesamten Investitionskosten des beschriebenen „Speichermodells“ mit großem Wärmetauscher belaufen sich auf 84.600 DM. Durch die zusätzlichen Energieeinsparungen von 1,7 Mio. kWh gegenüber dem bisherigen Speicherkonzept amortisiert sich diese Investition nach 1,8 a bei Eigenfinanzierung bzw. 1,9 a bei Fremdfinanzierung. Die Reduktion der bisherigen CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt jährlich ca. 577 t/a. Wird ein kleinerer Wärmetauscher installiert, kostet das vorgeschlagene Speicherkonzept ca. 51.000 DM. Hierbei können rund 1,5 Mio. kWh/a an Endenergie eingespart werden, wodurch sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 502 t/a verringern. Die Amortisationszeiten dieser Investition betragen bei Eigenfinanzierung 1,20 a und bei Fremdfinanzierung 1,25 a. Wird der bisher installierte Wärmetauscher weiterverwendet, kann das Konzept bereits durch Investitionen von 10.000 DM realisiert werden. Mit dieser Variante läßt sich eigenfinanziert eine Amortisationszeit von 0,49 a und fremdfinanziert von 0,50 a erreichen. Die zusätzlichen Endenergieeinsparungen dieser Speichervariante betragen 733.000 kWh/a. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Betriebes lassen sich damit um ca. 250 t/a senken.

Sofern das Speichersystem nicht genutzte Reservekapazitäten aufweist, kann es auch zur Versorgung der Jigger, Schlichteküche und des Kessels mit Speisewasser ver-

wendet werden. Für diese Maßnahmen müssen zusätzliche Rohrleitungen zwischen den Speichern und den neuen Verbrauchern verlegt werden. Eine Anbindung der Jigger an die Leitung des Mercerisierers ist bei Investitionen von 2.000 DM möglich. Diese Maßnahme ermöglicht Einsparungen von 41.400 kWh und 14 t/a CO<sub>2</sub>, wodurch sich die Ausgaben bei einer Eigenfinanzierung innerhalb von 1,6 a und bei einer Fremdfinanzierung in 1,7 a amortisieren. Die Investitionen für eine Rohrleitung zur Schlichteküche sind aufgrund der großen Entfernung zum Speicher mit 14.000 DM deutlich höher. Mögliche Einsparungen liegen hier bei 62.000 kWh/a bzw. 21 t/a CO<sub>2</sub> und die Amortisationsdauer einer eigenfinanzierten Investition bei 10,4 a bzw. 14,3 a bei einer Fremdfinanzierung. Eine Anbindung des Kessels ist bereits vorhanden. Hier wäre gegebenenfalls mit Kosten für die Isolierung der bestehenden Leitung zu rechnen. Da hinsichtlich des Kesselspeisewassers keine Daten vorliegen, wird diese Maßnahme nicht in die Untersuchung einbezogen. In der Tabelle 3.3 werden die einzelnen Speicherkonzepte und die Anbindungen der zusätzlichen Verbraucher zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 3.3:** Übersicht über die Dämmmaßnahmen an den Maschinen und die diskutierten Speicherkonzepte

Maßnahme	Speicherkonzept					Dämmmaßnahmen	
	Großer WT	Kleiner WT	Bisheriger WT	Jigger	Schlichteküche	NBS	Schlichteret
Einsparungen:							
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	1.702	1.483	733	41	62	228	47
Strom [Tsd. kWh/a]:	-10	-9	-8	-	-	-	-
CO <sub>2</sub> [t/a]:	577	502	246	14	21	78	16
Kosten:							
Investitionen [Tsd. DM]:	85	51	10	2,0	14	1,5	0,9
Betrieb [Tsd. DM/a]:	6,5	5,0	3,2	0,06	0,4	0,08	0,03
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-56	-49	-24	-1,4	-2,1	-7,6	-1,5
Förderung:	z.Zt. keine						
Dynamische Amortisationszeit [a]:							
Eigenfinanzierung:	1,79	1,20	- 0,49	1,59	10,4	0,21	0,64
Fremdfinanzierung:	1,90	1,25	0,50	1,68	14,4	0,21	0,66
<b>Anmerkung:</b> Negative Werte bedeuten Mehrverbräuche bzw. -ausgaben							

Dem Vorteil der zusätzlichen Energieeinsparungen durch diese Erweiterungen steht als Nachteil die verringerte Überschaubarkeit des Systems gegenüber. In ungünstigen Fällen können die vermehrten Wasserabflüsse einen oder beide Tanks völlig entleeren und somit die kontinuierliche Versorgung der großen Verbraucher gefährden.

## 3.2 Raumwärme

Im Anwendungsbereich „Raumwärme“ werden im betrachteten Unternehmen mit ca. 5,6 Mio. kWh rund 18,4 % des gesamten Endenergieverbrauchs eingesetzt (vgl. Kapitel 2.3.2). Für die Nutzenergiebereitstellung werden nahezu ausschließlich Heizlüfter eingesetzt, welche mit Dampf (6 bar) gespeist werden. Darüber hinaus kommen im Bereich der Umkleieräume, im sogenannten Designerraum und im gesamten Bürogebäude Plattenkonvektionsheizkörper zum Einsatz, welche über drei verschiedene Dampf-Wasser-Wärmetauscher gespeist werden. Schließlich tragen eine kleine Anzahl elektrisch betriebener Radiatoren, deren Endenergiebedarf mit rund 18.000 kWh/a unbedeutend ist, zum Raumwärmeenergieverbrauch bei. Der darüber hinaus benötigte Raumwärmeenergiebedarf wird durch innere Wärmequellen - z.B. in Form von Abwärme - bereitgestellt, wobei von einer anteiligen Nutzung der inneren Wärmequellen während der Heizperiode ausgegangen wird. Eine Übersicht über die im Anwendungsbereich „Raumwärme“ auftretenden Energieströme zeigt Tabelle 3.4.

Tabelle 3.4: Auftretende Energieströme im Anwendungsbereich „Raumwärme“

Energiestrom	Größe [kWh/a]
Innere Abwärme	3.996.000
Lüftungsverluste	5.951.000
Transmissionswärme	1.839.657
Heizenergieverbrauch	3.794.000
Gesamtwärmebedarf	7.790.000

Durch innere Wärmequellen, insbesondere durch verschiedene Anlagen im Bereich der Färberei und der Warenvorbehandlung sowie durch die Spannrahmen werden während der Heizperiode anteilig ca. 4 Mio. kWh an Nutzenergie bereitgestellt. Der daraus resultierende Gesamtenergiebedarf im Anwendungsbereich „Raumwärme“ in Höhe von ca. 7,8 Mio. kWh/a teilt sich zu ca. 1,8 Mio. kWh in Transmissions- und zu ca. 5,9 Mio. kWh in Lüftungsverluste (Luftwechselzahl rund 2,2 h) auf.

Besonders hohe Wärmeverluste ergeben sich nach Tabelle 3.4 durch die erheblichen Lüftungsverluste aufgrund der hohen Luftwechselzahl bei großem Raumvolumen. Gründe hierfür sind vor allem die aufgrund der in der Warenvorbehandlung und -veredelung z.T. starken Geruchsbelästigung häufig geöffneten Dachfenster und Tore. Der Ist-Zustand der einzelnen Transmissionsverluste ist in Tabelle 3.5 dargestellt.

Aus Tabelle 3.5 wird deutlich, daß bedingt durch hohe k-Werte (vgl. Kapitel 2.3.2) - vor allem im Bereich des Daches (k-Wert = 1,47 W/m<sup>2</sup>K) und der Wandflächen (k-Wert = 1,29 W/m<sup>2</sup>K) - z.T. hohe Transmissionsverluste auftreten. 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 [45].

**Tabelle 3.5: Transmissionsverluste durch Gebäudeaußenflächen**

Gebäudehüllfläche	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Transmissionsverluste [kWh/a]
Außenwände	4.600	350.300
Dachfläche - Naturbims	14.650	1.017.600
Dachfläche - Blech, ged.	2.100	45.600
Fußboden	17.600	443.580
Fensterfläche - Doppelglas	110	17.170
Fensterfläche	1.260	387.750

### 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 insbesondere Maßnahmen zur Verringerung der Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle und zur Senkung der hohen Luftwechselzahl von rund 2,15 bedingten Lüftungsverluste analysiert.

Wärmeschutzmaßnahmen in Form einer nachträglichen Wärmedämmung der an die Außenluft grenzenden Flächen der Gebäudehülle sollten möglichst im Rahmen einer geplanten Gebäudesanierung vorgesehen werden. Falls eine solche Sanierung 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 Feuchteschäden 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 [30].

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der an die Außenluft grenzenden Gebäudeteile konnten mit Hilfe von Material- und Dickenbestimmungen in der Größenordnung von rund 0,46 - 1,47 W/m<sup>2</sup>K bei den an die Außenluft und den Boden grenzenden Flächen bzw. bis zu 5,2 W/m<sup>2</sup>K bei den einfachverglasten Fenstern bestimmt werden [31]. Der Vergleich zu dem für Neubauten nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 einzuhalten k-Wert von 0,5 W/m<sup>2</sup>K [32] zeigt, daß durch eine Wärmedämmung der Außenwände und des Dachbereichs - aufgrund des z.T. um den Faktor 2 erhöhten Wärmedurchgangskoeffizienten - bzw. durch einen Austausch der Verglasung eine erhebliche 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. Holz-, Kokos- oder Torffaserstoffe, Schaumstoffe, wie bspw. Polystyrol, Polyurethan 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 Fugenteils um bis zu 50 % und die Eigenschaft, daß der Dämmstoff nicht brennbar und thermisch stabil ist. Eignung zur Dachdämmung weisen auch Polystyrol- und Polyurethan-Hartschäume in Plattenformat auf. Diese verfügen über einen Witterungsschutz und sind besonders zur Außendämmung von Flachdächern geeignet [33]. 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 Flächengrößen und Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt und eine, für die angenommene Heizperiode September - April aus Klimadaten [34] berechneten durchschnittliche Temperaturdifferenz von rund 10 K, ermittelt.

Mit der Wahl eines für Wanddämmungen üblichen Dämmstoffes, einer Polystyrol-Verbundplatte der Dicke 0,15 m (Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  0,035 W/mK), läßt sich für die aus Ziegelstein bestehende Außenwand ein neuer Transmissionswärmestrom von rund 53.600 kWh/a berechnen. Gegenüber dem Ist-Zustand bedeutet dies unter Berücksichtigung des Kesselnutzungsgrades von 0,68 eine Endenergieeinsparung in Höhe von ca. 438.000 kWh/a bzw. eine Kostenersparnis in Höhe von rund 14.500 DM/a (vgl. Tabelle 3.6).

Zur Kostenabschätzung der Außenwanddämmung können spezifische Investitionskosten in Höhe von 45 DM/m<sup>2</sup> angenommen werden. Hierbei ist zu beachten, daß für die eigentlichen Dämmplatten ein Schichtdickenpreis von rund 1 DM/cm angenommen werden kann, die Kosten für die gewählte Dicke der Dämmstoffe jedoch gegenüber den darüber hinaus anfallenden Kosten für Montagearbeiten bzw. Zubehör unbedeutend ist. Die angenommenen gesamten Investitionskosten belaufen sich für die gesamte Wandfläche aus Ziegelstein auf ca. 207.000 DM. Werden die Investitionen den o.a. Einsparungen gegenübergestellt zeigt sich, daß eine Außenwanddämmung trotz des schlechten Kesselnutzungsgrades aufgrund der sehr geringen Brennstoffpreise wirtschaftlich nicht durchführbar ist. So berechnet sich die dynamisch Amortationszeit zu rund 21,3 Jahren. Bei einer Fremdfinanzierung dieser Maßnahme mit einem angenommenen kalkulatorischen Zinssatz von 10 %, läßt sich eine dynamische Amortationszeit nicht mehr berechnen.

Auch wenn die Investitionen einer Wärmedämmung hinsichtlich des wirtschaftlichen Betriebs gerade im industriellen Bereich nicht durchführbar ist, ist diese aus Sicht der Energie- und Emissionseinsparung durchaus interessant. So ist durch eine Endenergieeinsparung in Höhe von 437.000 kWh/a (Dämmung der Außenwandfläche) bspw. eine jährliche Emissionseinsparung von rund 150 t CO<sub>2</sub> erzielbar.

Ähnliche Ergebnisse werden auch bei einer angenommenen Wärmedämmung der vorhandenen Dachfläche aus Naturbims erzielt. Wird diese mit großflächigen Platten aus Steinwolle nachträglich gedämmt und hierfür spezifische Investitionskosten in Höhe von 45 DM/m<sup>2</sup> (inkl. Montage) angenommen, lassen sich Endenergieeinsparungen in Höhe von rund 1,3 Mio. kWh erzielen. Hierfür sind Investitionen in Höhe von rund 660.000 DM notwendig. Daraus ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit in Höhe von ca. 23,9 Jahren (bei Fremdfinanzierung nicht bestimmbar), welche im industriellen Bereich nicht vertretbar sind. Würde eine derartige Wärmedämmung der Dachfläche aus Naturbims durchgeführt, ließen sich bspw. jährliche Emissionen von rund 445 t CO<sub>2</sub> vermeiden.

Weitere Kostenabschätzungen zu Wärmedämmmaßnahmen im Bereich der Dachfläche aus gedämmten Wellblech und des Fußbodens bzw. hinsichtlich des Ersatz der vorhandenen Fenster durch Thermo-Doppelverglasung (spez. Investitionskosten 420,00 DM/m<sup>2</sup>) oder Wärmeschutzglas (spez. Investitionskosten 520,00 DM/m<sup>2</sup>) führen zu ähnlichen, noch ungünstigeren wirtschaftlichen Ergebnissen, d.h. es lassen sich schon bei einer angenommenen Eigenfinanzierung keine dynamischen Amortisationszeiten berechnen. Die detaillierten Ergebnisse sind in Tabelle 3.6 dargestellt.

**Tabelle 3.6:** Übersicht über die Maßnahmen zur Wärmedämmung

Maßnahme:	Außenwände - Ziegelstein	Dachfläche - Naturbims	Dachfläche - Blechged.	Fußboden	Fenster, Doppelglas	Fenster - WS-Doppelglas	Fenster - WS-Glas
<b>Einsparungen:</b>							
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	438	1.297	49	531	14	264	429
CO <sub>2</sub> [t/a]:	150	445	17	182	5	91	147
<b>Kosten:</b>							
Investitionen [Tsd. DM]:	207	660	84	705	57	532	658
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-14,5	-43,1	-1,6	-17,6	-0,5	-8,8	-14,3
Förderung:	Darlehn: 5,25 %						
<b>Dynamische Amortisationszeit [a]:</b>							
Eigenfinanzierung:	21	24	∞	∞	∞	∞	∞
Fremdfinanzierung:	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
<b>Anmerkung:</b> Wärmedämmmaßnahmen werden wirtschaftlich nur in Eigenmontage sinnvoll							

Um die in Tabelle 3.4 aufgeführten hohen jährlichen Lüftungsverluste in Höhe von z.Zt. 5,9 Mio. kWh zu reduzieren, bietet sich - neben organisatorischen Maßnahmen (s.u.) - eine Abdichtung der Fensterrahmen an, welche bisher aus einem einfachen Metallrahmen bestehen. Wird von einem bisher anzunehmenden Fugendurchlässigkeitsfaktor von 2 für Metallrahmen ausgegangen [35] lassen sich mit einer nachträglichen Fensterfugenabdichtung mit Dichtungsbändern bspw. aus Moosgummi (Fugendurchlässigkeitsfaktor 1,5 [35]) Lüftungsverlusteinsparungen von rund 156.000 kWh/a und damit Endenergieeinsparungen von rund 230.000 kWh berechnen. Die daraus resultierende jährliche Kostenersparnis beträgt ca. 7.600 DM.

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 bei Eigenfinanzierung bzw. rund 16 Jahre bei Fremdfinanzierung 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 verminderten Lüftungsverlusten zudem jährliche Emissionsminderungen von ca. 79 t CO<sub>2</sub> berechnen. Detaillierte Angaben zu den Berechnungen und Ergebnissen finden sich in Tabelle 3.9.

Da im betrachteten Unternehmen während des Produktionsprozesses z.Z. jedoch mit hohen Schadstoffemissionen in die Umgebungsluft gerechnet werden muß, sind Maßnahmen zur Vermeidung von Lüftungsverlusten in einzelnen Gebäudebereichen lokal zu prüfen und einzusetzen.

Infolge der im Vergleich zu den Prozeßwärmeanwendungen geringen Laufzeit und der vergleichsweise schlechten Auslastung der Raumwärmesysteme ist der durchschnittliche Kesselnutzungsgrad sehr niedrig. Dies führt zu unnötig hohen Endenergieverbräuchen im Anwendungsbereich Raumwärme. Als Alternative bietet sich die Installation eines auf den Dampfbedarf im Anwendungsbereich „Raumwärme“ ausgelegten Dampferzeugers, d.h. ein Austausch des Kessels an. Dieser Kessel kann im Sommer abgeschaltet werden und während der Heizperiode bei einer höheren Auslastung und somit einen wesentlich höheren Kesselnutzungsgrad arbeiten.

Bei einem nach Tabelle 3.4 benötigten Nutzenergiebedarf im Anwendungsbereich „Raumwärme“ ließen sich bei einer angenommenen Kesselnutzungsgradsteigerung von 0,68 auf 0,8 während der Heizperiode rund 853.000 kWh<sub>th</sub> einsparen, wodurch sich eine Kosteneinsparung in Höhe von ca. 28.300 DM/a berechnet. Ausgegangen wird hierbei von einem Dampferzeuger mit einer Leistung von 3,2 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<sub>th</sub> ausgegangen werden [19, 36], so daß sich mit der Gesamtsumme der Investitionen von rund 550.000 DM und der o.a. jährlichen Kosteneinsparung für den Fall einer Eigenfinanzierung eine dynamische Amortisationszeit von ca. 37 Jahren be-

rechnen läßt. Bei Fremdfinanzierung ist die dynamische Amortisationsdauer nicht berechenbar.

Hinsichtlich der resultierenden Emissionsminderungen läßt sich der Schadstoffaustöß durch den Einsatz der Kesselanlage im Anwendungsbereich „Raumwärme“ um rund 290 t/a CO<sub>2</sub> reduzieren. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 3.9.

Neben den bisher vorgestellten investiven Maßnahmen zur Energieeinsparung im Anwendungsbereich „Raumwärme“ sei im Rahmen der vorliegenden Studie auch eine nicht-investive, organisatorische Maßnahme erwähnt, welche zu durchaus beachtlichen Energieeinsparungen führen kann. Untersucht wurde für den betrachteten Betrieb eine **Temperaturabsenkung** der Raumluft um durchschnittlich 1 °C. Dazu ist es notwendig, entweder Raumtemperaturthermostate einzubauen oder die vorhandenen Raumheizungssysteme maßvoller einzusetzen. Sinnvoll erscheint diese Maßnahme, wenn die Temperatur-Richtwerte aus Tabelle 3.7 auf der Basis der DIN-Norm 1946, Teil 2 mit den tatsächlichen Raumtemperaturen während der Heizperiode verglichen und dabei überhöhte durchschnittliche Temperaturen festgestellt werden [37]. Da im betrachteten Unternehmen von einer im Bereich der Produktion überwiegend stehenden Tätigkeit auszugehen ist, könnte nach Tabelle 3.7 die durchschnittliche Raumtemperatur 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 3.8).

Aus Tabelle 3.8 wird deutlich, daß sich die nicht-investive Maßnahme einer Raumtemperatursenkung um 1 °C rund 577.000 kWh Brennstoff einsparen lassen, was zu jährlichen Kostensenkungen in Höhe von rund 19.000 DM führt. Darüber hinaus lassen sich die durch den Brennstoffverbrauch verursachten jährlichen Schadstoffemissionen um etwa 198 t CO<sub>2</sub> vermindern. Inwieweit eine solche Raumlufttemperaturabsenkung jedoch im betrachteten Unternehmen sinnvoll und vor allem realisierbar ist, kann nur durch Mitarbeiterbefragungen während der Heizperiode abgeschätzt werden, da durch ungünstige Lüftungsverhältnisse (bspw. durch offene Tore 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 rationelleren Einsatz der Heizlüfter oder durch Schließen von Toren und Fenstern während der Heizperiode Einspareffekte bezüglich des Raumwärmeenergiebedarfs ergeben. Vorteilhaft wäre sicherlich der Austausch defekter Fenster und der verstärkte Einsatz von Plastikvorhängen, bzw. schwenkbaren Plastiktüren - evtl. optisch gesteuert -, so daß der einfallende Kaltluftanteil z.T. maßgeblich reduziert werden könnte.

**Tabelle 3.7:** Richtwerte für die Raumlufttemperatur [37]

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

**Tabelle 3.8:** Energieströme und -einsparungen aufgrund einer Raumtemperaturabsenkung auf 18 °C

Energiestrom	Größe [kWh/a]
Transmissionswärmeverlust, neu	2.029.000
Lüftungswärmeverlust, neu	5.361.000
Gesamtwärmeverlust, neu	7.400.000
Gesamtwärmeverlust, alt	7.791.000
Nutzenergieeinsparung	391.000
Endenergieeinsparung	577.000

**Tabelle 3.9:** Übersicht über die Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs im Anwendungsbereich Raumwärme

Maßnahme:	Fensterverkittung	Kessel-Raumheizung	Temperaturabsenkung
Einsparungen:			
Brennstoff [Tsd. kWh/a]:	230	853	577
CO <sub>2</sub> [t/a]:	179	293	198
Kosten:			
Investitionen [Tsd. DM]:	67,5	551	-
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-7,6	-28,3	-19,1
Förderung:	Darlehen: 5,25 %	z.Zt. keine	-
Dynamische Amortisationszeit [a]:			
Eigenfinanzierung:	11,1	37,3	∞
Fremdfinanzierung:	15,7	∞	∞

## **Reduktion des Energiebedarfs im Bereich Raumwärme durch den Einsatz innovativer und regenerativer 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 Gesteuerung 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. 6.950 kWh/a elektrische Energie benötigt. Der daraus resultierende Anteil am gesamten Energieverbrauch des Unternehmens ist mit 0,02 % nur unbedeutend. Der größte Warmwasserbedarf besteht im Bereich der Umkleieräume. Dort werden die Duschen und andere Warmwasserquellen durch Warmwasserspeicher gespeist. Da bei dem angenommenen geringen Verbrauch an Brauchwarmwasser keine Alternativen zur dezentralen Gesteuerung über elektrisch betriebene Warmwasserspeicher sinnvoll sind, wird im Rahmen dieser Untersuchung überprüft, inwieweit das Brauchwarmwasser mit Hilfe erneuerbarer Energiequellen bereitgestellt werden kann. In Kapitel 3.7 wird dabei bewertet, inwieweit einerseits der Betrieb einer **Solaranlage** und verschiedener **Wärmepumpen** zur gekoppelten Gesteuerung von Raumwärme- und Brauchwarmwasserenergie (vgl. Kapitel 3.2) 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. 3,8 Mio. kWh/a einem Anteil von 89 % am gesamten Stromverbrauch. Dieser Wert deutet darauf hin, daß die Anlagen im Jahresdurchschnitt mit nur 40 bis 50 % ihrer installierten Leistung betrieben werden.

In diesem Bereich sind die erzielbaren Einsparungen nach Literaturangaben teilweise beträchtlich. Die Durchführung von Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung setzt allerdings detaillierte Kenntnisse der Einsatzweise, der Auslastung und der Bauart der elektrischen Antriebe voraus. Da betriebliche Messungen im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchführbar waren, können die folgenden Ausführungen nur grobe Hinweise auf die Möglichkeiten zur Minimierung des Antriebsenergieverbrauchs geben (vgl. auch [4, 38, 39]).

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 Drehzahlver-

laufs voraus. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß ein großer Teil der in der Industrie eingesetzten Antriebe überdimensioniert ist. Als Gründe hierfür kommen die Unkenntnis des genauen Lastspiels, ein ausgeprägtes Sicherheitsdenken sowie Fehleinschätzungen der Motoreigenschaften in Frage [39].

Die Überdimensionierung von Motoren wirkt sich in mehrfacher Hinsicht negativ aus. Zum einen werden die Investitionskosten unnötig erhöht und zum anderen werden überdimensionierte Antriebe zwangsläufig im Teillastbereich bei einem schlechteren Wirkungsgrad betrieben.

Abbildung 3.5 zeigt den typischen Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades eines Drehstrom-Asynchronmotors in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung. Er 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. Bei sich regelmäßig wiederholenden Lastspielen muß allerdings auf die Einhaltung der thermischen Maximalbelastung für den Antrieb geachtet werden [4, 39]. 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. Bei der Auswertung der Produktionsstatistik des untersuchten Unternehmens zeigten sich sehr große Schwankungen der Produktionsgeschwindigkeit bei einem Teil der Anlagen. Insbesondere sind hier die Färbe- und Waschanlagen sowie die Sanforanlage zu nennen, bei denen es zu Streuungen der Produktionsgeschwindigkeit von 25 bis 35 % um den jahresmittleren Wert kam. Dies deutet auf einen sehr ungleichmäßigen Betrieb mit weit weniger als der Nennleistung hin, der sich energetisch sehr ungünstig auswirkt.

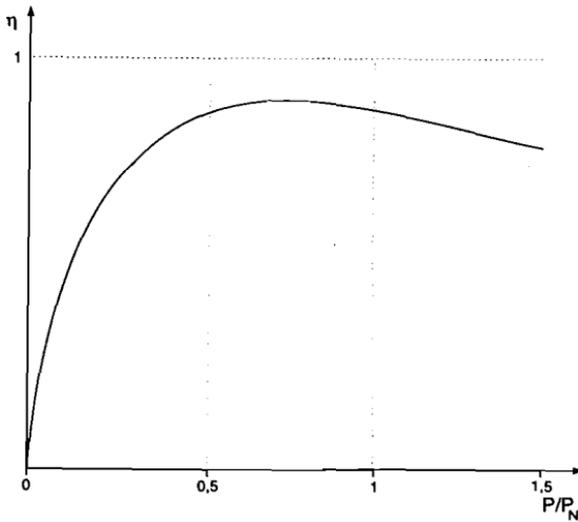


Abb. 3.5: Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors

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 im Hinblick auf den Energieverbrauch 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. Das mögliche Energieeinsparpotential für die Optimierung der Anlagenbetriebsweise wird auf etwa 25 % gegenüber dem Ist-Zustand geschätzt [38].

Der Austausch von überdimensionierten, funktionsfähigen Antrieben läßt sich wirtschaftlich in der Regel nur in Fällen extremer Überdimensionierung mit tatsächlichen Belastungen unterhalb von einem Drittel der Nennleistung rechtfertigen, da der Wirkungsgrad erst unter einer Auslastung von 50 % deutlich zurückgeht. Tabelle 3.10 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. 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-Motors gegen einen gebrauchten 1,1 kW-Motor nur 1,5 Jahre bei Eigenfinanzierung und 1,6 Jahre bei Fremdfinanzierung beträgt. Zum Vergleich ergibt sich für den Tausch eines 45 kW-Motors gegen einen gebrauchten 22 kW-Motor eine

Amortisationsdauer von 4,1 Jahren bei Eigenfinanzierung und 4,5 Jahren bei Fremdfinanzierung. Der Grund für die kürzere Amortisationsdauer kleinerer Motoren liegt in ihrem stärkeren Wirkungsabfall unter Teillast. Weiter wird deutlich, daß der Tausch gegen überholte Gebrauchtmotoren unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wesentlich günstiger ist, da deren Investitionskosten im Durchschnitt um 30 bis 40 % günstiger als bei fabrikneuen Motoren sind (vgl. Firmenangaben in [40, 41]). Die für die Berechnung notwendigen Wirkungsgrade wurden aus der Literatur entnommen (vgl. [42]). Die Sensitivitätsanalyse ergibt eine fast lineare Abhängigkeit der Amortisationszeit von den Nettoinvestitionskosten. Bei um 20 % geringeren Motorersatzkosten würde sich die dynamische Amortisationszeit ebenfalls um 20 bis 25 % reduzieren, d.h. eine Wirtschaftlichkeit wäre bereits noch früher gegeben.

**Tabelle 3.10:** Übersicht über exemplarische Motorersatzmaßnahmen

Maßnahme:	45 kW → 22 kW		15 kW → 7,5 kW		2,2 kW → 1,1 kW	
	Neumotor	Gebrauchtmotor	Neumotor	Gebrauchtmotor	Neumotor	Gebrauchtmotor
Einsparungen:						
Strom [Tsd. kWh/a]:	0,850	0,850	0,730	0,730	0,200	0,200
CO <sub>2</sub> [t/a]:	0,61	0,61	0,52	0,52	0,14	0,14
Kosten:						
Investitionen [Tsd. DM]:	2	1,1	0,750	0,550	0,190	0,100
Strom [Tsd. DM/a]:	0,30		0,26		0,07	
Förderung:	z.Zt. keine					
Dynamische Amortisationszeit [a]:						
Eigenfinanzierung:	7,9	4,1	3,2	2,3	2,9	1,5
Fremdfinanzierung:	9,9	4,5	3,4	2,4	3,2	1,6

Eine weniger 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 [39].

In Abbildung 3.6 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. Die Möglichkeit der Stern-Dreieck-Umschaltung wird in dem untersuchten textilverarbeitenden Betrieb insbesondere zur Strombegrenzung beim Anfahren einiger Anlagen bereits genutzt. Da diese Maßnahme eine preiswerte Alternative zum Austausch von Motoren bei großen Einsparpotentialen darstellt, sollte eine Ausweitung auf alle Antriebe geprüft werden, die ständig mit einer Auslastung von weniger als 40 % ihrer Nennleistung betrieben werden.

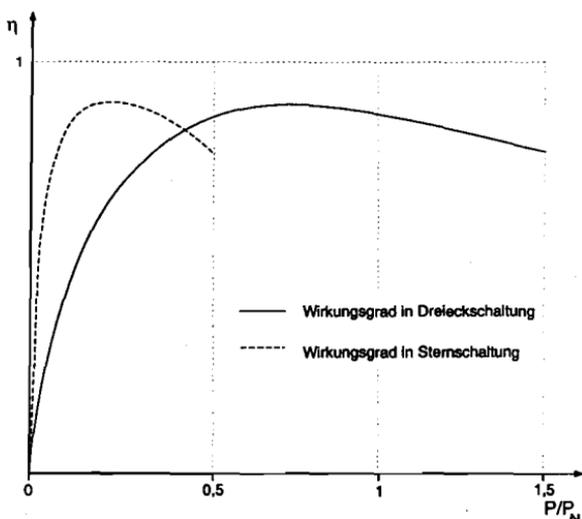


Abb. 3.6: Wirkungsgradkennlinie eines Elektromotors bei Stern- und Dreieckschaltung

Eine stufenlose Drehzahlsteuerung über Frequenzumrichter ist sinnvoll bei Antrieben, die mit mehreren veränderlichen Arbeitspunkten betrieben werden. Typische Einsatzbereiche sind hierbei Lüfter-, Pumpen- und Gebläsemotoren, wie z.B. die Lüfter oder Abluftventilatoren in den Produktionshallen, die Kesselspeisewasserpumpen und die Pumpen der Wasser- und Laugenkreisläufe. Diese Maschinen sollten bei wechselnden Anforderungen an die Fördermengen nicht wie bisher fast ausschließlich drossel- sondern drehzahleregelt eingesetzt werden. Für diese Maßnahme werden die möglichen Einsparpotentiale auf 15 % gegenüber dem Ist-Zustand geschätzt [38]. 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.

Ein Lastmanagementsystem dient dazu, Lastspitzen durch den gleichzeitigen Einsatz großer Stromabnehmer - z.B. bei parallelen Anlaufvorgängen - zu begrenzen. Hierbei entscheidet ein beim Endkunden im Hintergrund arbeitender Optimierungsrechner, ob einzelnen Verbrauchern die angeforderte Leistung zugeteilt wird oder ob die entsprechende Anlage 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 nacheinander abgeschaltet und so bald wie möglich wieder ans Netz genommen. Voraussetzung für den Einsatz einer Anlage zur Höchstlastoptimierung ist die zeitflexible Einsetzbarkeit mindestens eines Teils der Produktionsanlagen, so daß ein Ausgleich von Lastspitzen und Lasttälern erfolgen kann. Abbildung 3.7 verdeutlicht das Funktionsprinzip dieses Verfahrens. Die Darstellung ist stark vereinfacht, zeigt aber das Prinzip, nach dem derartige Systeme arbeiten. In einem Zeitraum  $\Delta t$  werden drei Maschinen eingesetzt. Maschine A wird durchgehend betrieben, Maschine B und C nur zeitweise. Wenn es gelingt, Maschine C während des Produktionsstillstands der Maschine B einzusetzen, dann kann die Spitzenlast  $P_{\max}$  um den Betrag  $\Delta P$  gesenkt werden.

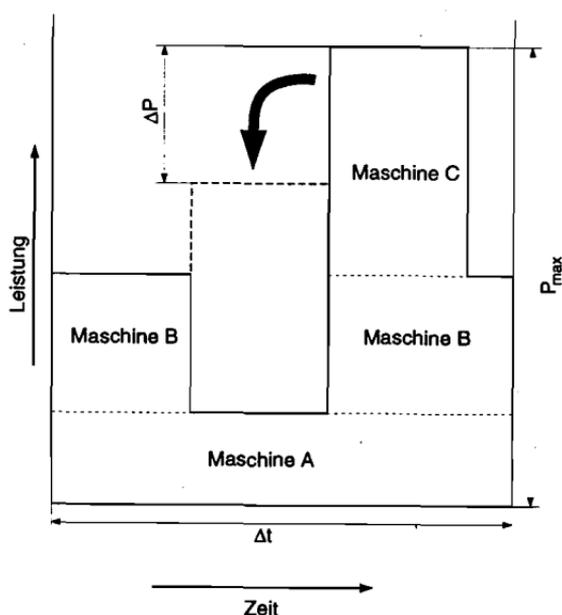


Abb. 3.7: Funktionsprinzip eines Lastmanagementsystems

Das Ziel einer solchen Maßnahme ist, die Anschlußleistung und damit die Leitungskosten eines Unternehmens zu reduzieren und den Strompreis maßgeblich zu senken. Der Stromtarif des untersuchten Betriebs enthält zur Zeit nur einen sehr hohen Arbeits-

und keinen Leistungspreis. Trotzdem wurde ein Lastoptimierungssystem installiert, obwohl damit das eigentliche Ziel der Leistungskostenreduzierung verfehlt wird. Hintergrund dieser Entscheidung ist die Neuaushandlung des Stromlieferungsvertrages, die in naher Zukunft erfolgen soll. In der Zwischenzeit sollen Erfahrungen mit dem System gesammelt werden. Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Anlage können wegen der bisher sehr kurzen Nutzungszeit jedoch noch nicht getroffen werden.

### 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,
- Keller,
- 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 3.11 gibt einen Überblick über die Daten der einzelnen Bereiche.

Tabelle 3.11: Aufteilung der Beleuchtungsbereiche

Beleuchtungsbereich	jährliche Laufzeit [h/a]	Lampenleistung (inkl. Vorschaltgeräte) [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
Produktionsbereich	3.100	105,3	327.000
Nebenräume	1.600	17,7	28.300
Keller	400	2,3	900
Büroräume	750	18,8	14.100
Außenbereich	500	5,4	2.700
Gesamt	2.490	149,5	373.000

Aufgrund der geringen Nutzungszeiten und des relativ niedrigen Energieverbrauches besitzen beleuchtungstechnische Maßnahmen im Keller, 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. Zudem sind die Büroräume bereits mit moderner Beleuchtungstechnik ausgestattet. Geringe Einsparungen lassen sich möglicherweise durch das

energiebewußte Nutzverhalten - wie z.B. Abschaltung nicht benötigter Leuchten, Abschaltung bei Tageslichteinfall - erzielen.

Im folgenden werden verschiedene Möglichkeiten im Produktionsbereich und den Nebenräumen beschrieben, die - miteinander kombiniert - eine Senkung des derzeitigen Strombedarfs um 65 bis 75 % ermöglichen [43, 10, 44]. Mehrere durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen der Beleuchtungstechnik in verschiedenen Industriebetrieben bestätigen diese Daten (vgl. z.B. [39, 45]).

Der Ersatz der derzeitigen freistrahrenden Einzelleuchten durch moderne **Spiegelrastrerleuchten** 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 [10, 43, 44]. Für die Installation von Spiegelrastrerleuchten mit konventionellen Vorschaltgeräten werden Investitionen von ca. 210 DM pro einlampiger Leuchte notwendig. Bei Einsatz nicht-dimmbarer elektronischer Vorschaltgeräte erhöht sich diese Summe auf ca. 290 DM und bei dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten auf 360 DM für eine einlampige Leuchte [46, 47]. 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 [43]. Damit 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 Leuchten für Leuchtstoffröhren [46, 48].

Der Einsatz einer **Tageslichtproportionalsteuerung** ist nur sinnvoll in Räumen mit Tageslichteinfall. Da die Hallen des Produktionsbereichs entweder über verglaste Shed-Dächer oder große Fenster an den Außenwänden verfügen, ist die Installation eines Lichtmanagementsystems zu überprüfen. Voraussetzung für die Lichtsteuerung ist allerdings, daß die Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten zur Hel-

ligkeitssteuerung 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 [10, 44, 45]. Die Kosten für dimmbare EVG liegen bei 170 DM für einlampige Leuchtstoffröhrenlampen und damit um den Faktor zwei höher als bei nicht-dimmbaren EVG. Ein Lichtsteuergerät mit den dazugehörigen Lichtsensoren, das die Ansteuerung von 300 Leuchten in drei verschiedenen Gruppen ermöglicht, kostet etwa 1.000 DM [46, 47].

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 Amortisationszeiten um 25 bis 35 %, so daß eine wirtschaftliche Amortisation wesentlich früher als bei den zugrunde gelegten 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. 135.000 DM für die rund 1.500 einlampigen Leuchten beträgt die mögliche Stromeinsparung 65.000 kW/a. Unter Berücksichtigung weiterer Einsparungen in Höhe von 2.300 DM/a für die verlängerte Lebensdauer der Leuchtstoffröhren ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 6,1 Jahren bei kompletter Eigenfinanzierung und 7,2 Jahren bei Fremdfinanzierung. Dabei beträgt die mögliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen 47 t pro Jahr.

Soll eine **tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung** eingesetzt werden, müssen die vorhandenen Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten sowie einem tageslichtproportionalen Steuermodul ausgerüstet werden. Hierfür fallen Investitionskosten von 165.000 DM bei einer jährlichen Stromersparnis von 195.000 kWh und Einsparungen der Lampenersatzkosten von 2.300 DM/a an. In diesem Fall ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit bei Eigenfinanzierung von 4,1 Jahren und bei Fremdfinanzierung von 4,6 Jahren. Der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird durch diese Maßnahme um 140 t pro Jahr reduziert.

Werden im gesamten Produktionsbereich **einlampige 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. 65.000 kWh/a und damit die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen 47 t/a. Mit Investitionskosten von

250.000 DM für 1.200 Leuchten ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit zwischen 14,6 Jahren bei Eigenfinanzierung und 25,8 Jahren bei Fremdfinanzierung.

Bei einem kompletten Austausch der bestehenden Beleuchtungsanlage gegen **einlampige Spiegelrasterleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten** kann die Anzahl der Leuchtstoffröhren um 20 % auf 1.200 Stück und die Verlustleistung der Leuchten ebenfalls um 20 % reduziert werden. Der Strombedarf wird dadurch um 130.000 kWh/a gesenkt. Zusammen mit Lampeneinsparungen in Höhe von 1.850 DM/a und Investitionskosten von 348.000 DM für 1.200 Leuchten beträgt die dynamische Amortisationsdauer bei Eigenfinanzierung 8,8 Jahre und Fremdfinanzierung 11,3 Jahre. Dabei wird der jährliche CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 93 t verringert.

Durch die Installation von **einlampigen Spiegelrasterleuchten, dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten und einer tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung** kann die Amortisationszeit etwas verkürzt werden. Die gesamten jährlichen Stromeinsparungen betragen in diesem Fall 228.000 kWh. Die Einsparungen der Lampenersatzkosten liegen ebenfalls bei 1.850 DM/a. Bei 1.200 einlampigen Leuchten mit 58 W-Leuchtstoffröhren betragen die Investitionskosten inklusive dimmbarer elektronischer Vorschaltgeräte und den nötigen Steuermodulen insgesamt 442.000 DM. Die Maßnahme amortisiert sich bei kompletter Eigenfinanzierung nach 6,2 Jahren, bei Fremdfinanzierung nach 7,3 Jahren. Die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Betriebes können in diesem Fall um 163 t gesenkt werden.

## **Nebenträume**

Der Bereich der Nebenträume umfaßt insbesondere die Werkstätten, Labore und Kleinlager sowie die Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Kesselraum, Kompressoranlage, Wasserturm, Traforaum) und alle nur sporadisch genutzten Räume des Betriebes. In diesem Sektor ist die Benutzungsdauer wesentlich geringer als im Produktionsbereich (vgl. Tabelle 3.11). Aus diesem Grund amortisieren sich Investitionen auch erst nach einem erheblich längeren Zeitraum. Durch den in der Regel nur geringen Tageslichteinfall ist der Einsatz einer tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung wenig sinnvoll. Auf die Betrachtung einer derartigen Maßnahme wurde daher verzichtet. Da die Amortisationsdauer bei Installation von Spiegelrasterleuchten durch die geringere Nutzungsdauer höher als im Produktionssektor ist, ist auch diese Investition nicht ratsam.

Die Installation von elektrischen Vorschaltgeräten in den vorhandenen Leuchten dieses Bereiches würde Investitionskosten von 25.000 DM verursachen. Die erzielbare Stromersparnis beträgt bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 1.600 h/a ca. 6.400 kWh. Weiterhin werden Lampenersatzkosten jährlich um 220 DM reduziert. Mit diesen Daten errechnet sich eine dynamische Amortisationsdauer von 13,1 Jahren bei vollständiger Eigenfinanzierung und 20,9 Jahren bei Fremdfinanzierung. Diese Maßnahme verringert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 4,6 t pro Jahr. Tabelle 3.12 faßt die wesentlichen Ergebnisse der diskutierten Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes im Anwendungsbereich „Beleuchtung“ zusammen.

**Tabelle 3.12:** Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtung

Maßnahme:	Produktionsbereich					Nebenträume
	EVG	EVG, LST	SRL, KVG	SRL, EVG	SRL, EVG, LST	EVG
Einsparungen:						
Strom [Tsd. kWh/a]:	65	195	65	130	228	6,4
Zusätzliche Einsparungen [Tsd. DM/a]	2,3	2,3	-	1,8	1,8	0,22
CO <sub>2</sub> [t/a]:	47	140	47	93	163	4,6
Kosten:						
Investitionen [Tsd. DM]:	135	265	250	348	442	25
Strom [Tsd. DM/a]:	22,7	68,5	22,7	45,7	80,1	2,2
Förderung:	z.Zt. keine					
Dynamische Amortisationszeit [a]:						
Eigenfinanzierung:	6,1	4,1	14,6	8,8	6,2	13,1
Fremdfinanzierung:	7,2	4,6	25,8	11,3	7,3	20,9
Anmerkung: EVG: Elektronische Vorschaltgeräte, KVG: Konventionelle Vorschaltgeräte, SRL: Spiegelrasterleuchten, LST: Lichtsteuerung						

### 3.6 Kommunikation

Im Bereich der Kommunikation gibt es nur geringe Einsparpotentiale, die sich auf die Rechneranlage beschränken. Der derzeitige Strombedarf des untersuchten Betriebes im Sektor Datenverarbeitung beträgt 57.000 kWh/a. Die Geräte verfügen über keine Stromsparfunktion. Bei Austausch der kompletten Rechneranlage gegen moderne, stromsparende Geräte könnten Stromeinsparungen von ca. 25 % bzw. 14.000 kWh/a und damit eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses um 8,2 t/a realisiert werden. Bei Investitionskosten von ca. 125.000 DM für diese Maßnahme sind allerdings keine Amortisationszeiten bestimmbar bzw. diese liegen außerhalb des Rechenbereiches. Diese Investition würde sich nicht in absehbaren Zeiträumen amortisieren. Da die Abschreibungszeiträume bei Geräten der Kommunikationselektronik sowieso nur drei bis fünf Jahre betragen, sollte daher bei einer geplanten Erneuerung aus Modernisierungsgründen auf den Stromverbrauch der neuen Geräte geachtet werden. Als weitere Möglichkeit bliebe nur die Abschaltung der Rechner in Arbeitspausen. Im Hinblick auf den vernetzten Betrieb ist davon jedoch abzuraten.

**Tabelle 3.13:** Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung des Kommunikationsbereiches

Maßnahme:	Ersatz der Rechneranlage
Einsparungen:	
Strom [Tsd. kWh/a]:	11,4
CO <sub>2</sub> [t/a]:	8,2
Kosten:	
Investitionen [Tsd. DM]:	125
Strom [Tsd. DM/a]:	4,0
Förderung:	z.Zt. keine
Dynamische Amortisationszeit [a]:	
Eigenfinanzierung:	-
Fremdfinanzierung:	-
Anmerkungen: Amortisationszeiten sind nicht zu bestimmen	

### 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 Gesteherung der Raumwärme- und Brauchwarmwasserenergie (vgl. Kapitel 3.3) und andererseits der Einsatz einer **200-kW-Brennstoffzelle** wirtschaftlich ist. Im Bereich der erneuerbaren Energien werden darüber hinaus auch die Möglichkeiten zum Einsatz einer **Windkraftanlage**, **Photovoltaiksystemen** und **solarthermischen Kollektoren** betrachtet.

#### Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpensystemen

Für die gekoppelte Raumwärme- und Brauchwarmwassergesteherung wurde die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes einerseits je einer 60-kW-Elektrowärmepumpe und gasmotorischen **Verbrennungsmotorwärmepumpe** mit den genutzten Wärmequellen Außenluft und Erdreich und andererseits einer 60 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 [50] und deren Nutzenergie anteilmäßig zu 96 % im Anwendungsbereich „Raumwärme“ und zu 4 % im Anwendungsbereich „Brauchwarmwasser“ genutzt wird (vgl. 2.3). Im folgenden werden die entstehenden Kosten- und Einsparungspotentiale aufgrund der bislang unterschiedlichen Nutzenergiebereitstellung in den angesprochenen Anwendungsbereichen getrennt voneinander betrachtet.

Bei Leistungszahlen von 2,6 und 3,2 [50] für Elektrowärmepumpen mit den Wärmequellen Außenluft und Erdreich, einer Heizzahl von 1,2 für die untersuchte Absorptionswärmepumpe und Heizzahlen von 1,5 bzw. 1,8 für die gasmotorisch betriebenen Verbrennungsmotorwärmepumpen zur Wärmenutzung der Außenluft bzw. des Erdreichs lassen sich Endenergieeinsparungen im Anwendungsbereich „Raumwärme“ in Höhe von rund 90.000 bis 172.000 kWh/a berechnen. Hierbei werden die geringsten Endenergieeinsparungen beim Einsatz der Absorptionswärmepumpe und die größten Einsparungen durch den Einsatz einer Elektrowärmepumpe erzielt.

Den resultierenden Kostenersparnissen in Höhe von rund 7.400 DM/a bei den Elektrowärmepumpen, 3.200 DM/a bei der Absorptionswärmepumpe bzw. rund 4.000 (4.600) DM/a bei der Verbrennungsmotorwärmepumpe Wärmequelle Außenluft (Erdreich) stehen neben den anteiligen Investitionskosten in Höhe von ca. 110.000 DM (Elektrowärmepumpe - Luft), 243.000 DM (Elektrowärmepumpe - Erdreich), 55.000 DM (Absorptionswärmepumpe), 203.000 DM (Gasmotorwärmepumpe - Erdreich) bzw. 93.000 DM für die Gasmotorwärmepumpe - Außenluft auch die fixen und variablen Betriebskosten entgegen. Diese belaufen sich anteilig bei den Elektrowärmepumpen auf 20.700 (Erdreich) bis 25.300 (Luft) DM/a und bei den anderen Wärmepumpenkonzepten im Bereich zwischen 4.900 (Absorptionswärmepumpe) und 6.100 (Gasmotorwärmepumpe - Luft) DM/a.

Durch die Nutzung innovativer Techniken läßt sich vom Bundesamt für Wirtschaft für den Einsatz einer Wärmepumpenanlage eine Förderung von 300 DM/kW beantragen, wobei die maximale Fördersumme in Höhe von 20.000 DM nicht überschritten werden kann. Trotz dieser für den Anwendungsbereich „Raumwärme“ anteiligen Förderung in Höhe von jeweils 17.280 DM läßt sich bei keiner Wärmepumpenanwendung eine dynamische Amortisationszeit bestimmen, da die jährlichen Betriebskosten höher sind als die jährliche Kostenersparnis.

Abgesehen von der wirtschaftlichen Unrentabilität lassen sich durch den Einsatz einer Wärmepumpenanlage Emissionsminderungen in Höhe von 30 und 41 t/a CO<sub>2</sub> bei den Elektrowärmepumpenkonzepten, 28 t/a bei der Absorptionswärmepumpe und 46 t/a CO<sub>2</sub> bzw. 37 t/a CO<sub>2</sub> bei dem Konzept der Gasmotorwärmepumpe zur Nutzung der Erdwärme bzw. der Gasmotorwärmepumpe zur Nutzung der Außenluftwärme bestimmen. Weitere Einzelheiten zu den Berechnungen finden sich in Tabelle 3.14.

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 resultierenden Endenergieeinsparungen in Höhe von rund 3.300 kWh/a bei der Elektrowärmepumpe zur Wärmenutzung der Außenluft und rund 3.900 kWh bei der Elektrowärmepumpe zur Wärmenutzung des Erdreichs. Beim Einsatz einer Absorptionswärmepumpe lassen sich rund 5.800 kWh einsparen und beim Einsatz einer Gasmotorwärmepumpe mit der Wärmequelle Außenluft (Erdreich) reduziert sich der Endenergiebedarf um rund 5.600 (5.700) kWh/a.

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 [50], welche anteilmäßig (4 %) in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einzurechnen sind. Darüber hinaus kann von zusätzlichen Investitionskosten in Höhe von rund 8.000 DM ausgegangen werden, welche für die Anschaffung eines ausreichend dimensionierten Warmwasserspeichers (1.000 l), der Verbindungsleitungen zu den einzelnen Zapfquellen und deren Montage aufzubringen sind [51].

Zu beachten ist, daß das Bundesamt für Wirtschaft (BAW) die Installation einer Wärmepumpe bis zu einer Höchstsumme von 20.000 DM je Anlage zu 300 DM/kW fördert [52]. Bei gesamten, anteiligen Betriebskosten in Höhe von rund 100 DM/a (120 DM/a) bei den Elektrowärmepumpen, ca. 340 DM/a bei der Absorptionswärmepumpe und rund 310 DM/a bzw. 330 DM/a beim Einsatz einer Gasmotorwärmepumpe, Wärmequelle Außenluft bzw. Erdreich [50] lassen sich dynamische Amortisationszeit für den Einsatz der Wärmepumpen im Bereich zwischen rund 7 und 19 Jahren bei Eigenfinanzierung und im Bereich von 8 - 24 Jahren im Bereich der Fremdfinanzierung berechnen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß es sich beim Einsatz der verschiedenen Wärmepumpenkonzepte um eine Kombinationsanwendung zur Bereitstellung eines Teils der Raumwärme handelt. Hierfür ließen sich jedoch keine Amortisationszeiten berechnen, wodurch auch eine Nutzung der Wärmepumpentechnik im Bereich der Brauchwarmwassergestehung entfällt.

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 2,4 t/a (2,8 t/a), die Anwendung einer Absorptionswärmepumpe zur Wärmenutzung der Außenluft zu rund 2,4 t/a und der Einsatz der Gasmotorwärmepumpen zu einer Reduktion in Höhe von rund 3,0 t/a (Wärmequelle Erdreich) bzw. 2,7 t/a (Wärmequelle Außenluft) CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen führen würde.

### **Einsatzmöglichkeiten von Brennstoffzellen**

Aus dem Bereich der erneuerbaren Energiesysteme wird an dieser Stelle der Einsatz einer **200-kW-PAFC Brennstoffzelle** zur Substitution elektrischer Endenergie wird ebenfalls hinsichtlich einer Wirtschaftlichkeit überprüft. Diese Brennstoffzelle ist die z.Zt. einzige auf dem Markt serienmäßig verfügbare Brennstoffzelle und arbeitet bei noch relativ niedrigen Betriebstemperaturen von 160 - 210 °C. Bei Investitionskosten in Höhe von 4.500 DM/kW<sub>el</sub> [53] und einem angenommenen Dauerbetrieb der Brennstoffzellenanlage während der Betriebszeit und einem sonstigen „Hot-Hold-Zustand“ lassen sich mit angenommenen Wirkungsgraden von 40 % elektrisch und 44 % thermisch [53] insgesamt 759.000 kW<sub>el</sub> und 834.900 kW<sub>th</sub> in Form eines geführten Wärmestroms der Temperatur 80 °C bereitstellen, welcher zur Warmwasserbereitung im Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ genutzt werden kann.

Neben den Investitionskosten in Höhe von 900.000 DM sind für den Betrieb der Brennstoffzellenanlage zusätzliche Brennstoffkosten in Höhe von rund 32.800 DM/a für den Brennstoff Erdgas notwendig. Aufgrund der Substitution von Strom durch den Energieträger Erdgas und der unterschiedlichen spezifischen Kosten pro kWh amortisiert sich eine derartige Investition innerhalb von rund 4,2 Jahren bei Eigen- und rund 4,8 Jahren bei Fremdfinanzierung, da ca. 760.000 kWh elektrischer Energie zu spezifischen Preisen von z.Zt. rund 0,35 DM/kWh durch einen Mehreinsatz von rund 665.000 kWh thermischer Energie zum Preis von z.Zt. 0,05 DM/kWh substituiert wird.

Aufgrund der Substitution von Strom durch Erdgas reduzieren sich trotz nur einer geringen Einsparung an Endenergie in Höhe von rund 94.000 kWh/a die Schadstoffemissionen, welche durch den Betrieb einer Brennstoffzelle verursacht werden. Die resultierenden Schadstoffreduktionen belaufen sich auf rund 316 t/a CO<sub>2</sub>.

Eine Übersicht über die diskutierten Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Energietechniken durch den Einsatz von Wärmepumpenanlagen bzw. einer Brennstoffzelle zeigt abschließend Tabelle 3.14.

**Tabelle 3.14:** Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten innovativer Energietechniken

Maßnahme:	Elektrowärmepumpe		Absorptionswärmepumpe	Gasmotorwärmepumpe	
	Außenluft	Erdreich		Erdreich	Außenluft
Einsparungen:					
Brennstoff [Tsd. kWh/a]	-	-	-4,8	-3,2	-3,9
Strom [Tsd. kWh/a]	3,3	3,9	5,6	5,7	5,6
CO <sub>2</sub> [t/a]:	2,4	2,8	2,4	3,0	2,7
Kosten:					
Investitionen [Tsd. DM]:	12,2	17,4	10,1	15,8	11,6
Betrieb [Tsd. DM/a]:	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	-	-	0,2	0,2	0,2
Förderung:	720 DM				
Dynamische Amortisationszeit [a]:					
Eigenfinanzierung:	14,2	19,2	6,7	11,2	7,9
Fremdfinanzierung:	24,5	∞	8,0	15,9	9,8
Anmerkung: Bei den Wärmepumpenkonzepten wurden aufgrund der gemeinsamen Nutzung zur Raumwärmege- stehung anteilige Kosten, Förderungen und Einsparungen angenommen. Einsatz nur in Kombination zum Anwendungsbereich Raumwärme möglich.					

Maßnahme:	Elektrowärmepumpe - Außenluft	Elektrowärmepumpe - Erdreich	Absorptionswärmepumpe - Außenluft	Gaswärmepumpe - Außenluft	Gaswärmepumpe - Erdreich	200 kW-Brennstoffzelle	
Einsparungen:							
Brennstoff [Tsd. kWh/a]	223	223	97	122	139	-665	
Strom [Tsd. kWh/a]	-65	-50	-7	-7	-3	759	
CO <sub>2</sub> [t/a]:	30	41	28	37	46	316	
Kosten:							
Investitionen [Tsd. DM]:	110	243	55	92	202	900	
Betrieb [Tsd. DM/a]:	2,5	3,1	2,5	3,7	4,0	-	
Brennstoff [Tsd. DM/a]:	22,8	16,6	2,4	2,4	1,1	32,8	
Förderung:	17.280 DM						
Dynamische Amortisationszeit [a]:							
Eigenfinanzierung:						∞	4,2
Fremdfinanzierung:						∞	4,8
Anmerkung: Bei den Wärmepumpenkonzepten wurden aufgrund der gemeinsamen Nutzung zur Brauchwarmwassergestehung anteilige Investitionen, Förderungen und Einsparungen angenommen.							

## Einsatzmöglichkeiten der Solarthermie

Im folgenden wird die Beheizung eines zentralen 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 1.000 l Fassungsvermögen (doppelter angenommener Tagesverbrauch) und ein Flachkollektor mit einer Absorberfläche von 12 m<sup>2</sup> ausgewählt, um einen Deckungsgrad von 60 % zu gewährleisten [54]. Es ergeben sich Investitions- und Montagekosten in Höhe von rund 16.000 DM [51] bei geschätzten Betriebs- und Wartungskosten in Höhe von 100 DM/a [50]. Mit dieser Kollektoranlage lassen sich jährlich Solarenergieerträge in Höhe von rund 3.600 kWh erzielen, was unter Berücksichtigung des Strombedarfs der elektrisch betriebenen Pumpe zur Substitution von rund 2.200 kWh elektrischer Energie führen würde.

Trotz einer öffentlichen Förderung der Solarkollektoranlage mit insgesamt 4.200 DM durch das Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen [52] sind die Investitionskosten gegenüber der jährlichen Kostenersparnis so hoch, daß sich keine dynamische Amortisationszeit bestimmen läßt. Mit Hilfe der alternativen Brauchwarmwassererwärmung durch eine Solarkollektoranlage ließen sich jedoch durch die Substitution der zur Erwärmung des Brauchwarmwassers nötigen Endenergie jährliche Emissionsminderungen in Höhe von rund 1,5 t CO<sub>2</sub> erzielen.

### 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, 55]. Exemplarisch werden drei Anlagenkonzepte, ein 100 kW<sub>e|</sub>-, ein 550 kW<sub>e|</sub>-, und ein 800 kW<sub>e|</sub>-Konverter betrachtet, die für eine entsprechende Windgeschwindigkeit geeignet sind. Bei einer 100 kW<sub>e|</sub>-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<sub>e|</sub>-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<sub>e|</sub> 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<sub>e|</sub>-Anlage) und ca. 152.000 DM/a im Falle der 800 kW<sub>e|</sub>-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<sub>e|</sub> (100 kW<sub>e|</sub>) und etwa 1.500 - 3.000 DM/kW<sub>e|</sub> (800 kW<sub>e|</sub>) [1]. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird dabei mit mittleren Investitionskosten von 3.250 DM/kW<sub>e|</sub> für eine 100 kW<sub>e|</sub>-Anlage und jeweils etwa 2.000 DM/kW<sub>e|</sub> für einen 550 bzw. 800 kW<sub>e|</sub>-Konverter gerechnet, so daß sich die Gesamtinvestitionen zum Aufbau der Anlagen zwischen 325.000 DM für die 100 kW<sub>e|</sub>-Variante und 1,6 Mio. DM für die 800 kW<sub>e|</sub>-Variante errechnen. Die jährlichen Betriebskosten einer Windkraftanlage liegen zwischen 2 - 3 % der Investitions-

kosten, 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. Nach der dynamischen Amortisationsrechnung würde sich der Aufbau der Windkraftkonverter nicht amortisieren. 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 m<sup>2</sup> nach Süden ausgerichtete und um etwa 25 ° geneigte Dachflächen zur Verfügung stehen. Diese lassen einen hohen Globalstrahlungseintrag von etwa 1.060 kWh/a pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche erwarten. Der elektrische Systemwirkungsgrad einer dezentralen Kollektoranlage (polykristallines Material) beträgt dabei etwa 7,5 % (vgl. [55]), so daß die jährliche Stromproduktion von ca. 80 kWh<sub>el</sub> pro m<sup>2</sup> Kollektorfläche beträgt.

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage wird nachfolgend am Beispiel einer Anlage mit 100 m<sup>2</sup>-Kollektorfläche, d.h. etwa 10 kW<sub>el</sub>-Peakleistung, diskutiert. Die spezifischen Investitionen eines PV-Moduls variieren zwischen ca. 17.500 DM/kW<sub>p</sub> - 21.000 DM/kW<sub>p</sub> [1], wobei mit einem mittleren Preis von 19.600 DM/kW<sub>p</sub> gerechnet wird. Für die beispielhaft diskutierte Anlage mit einer Kollektorfläche von 100 m<sup>2</sup> errechnen sich somit Investitionskosten von etwa 196.000 DM. Ein Investitionskostenzuschuß bis zu 70.000 DM ist vom Bundesamt für Wirtschaft (BAW) zu erhalten (vgl. [52]), der in den Berechnungen berücksichtigt wird. Die jährlichen Betriebskosten der Anlage betragen ca. 0,5 % der Investitionskosten, 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 statische Kapitalrückflußdauer 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 3.15 faßt abschließend die diskutierten Ergebnisse zu den Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien zur Unterstützung der betrieblichen Energieversorgung im betrachteten Unternehmen zusammen.

**Tabelle 3.15:** Übersicht über die Möglichkeiten zum Einsatz erneuerbarer Energiesysteme

Maßnahme:	solarthermischer Kollektor	Windkraftkonverter			PV-Anlage
		100 kW <sub>el</sub>	550 kW <sub>el</sub>	800 kW <sub>el</sub>	1 kW <sub>p</sub>
Einsparungen:					
Strom [Tsd. kWh/a]	2,1	95	500	727	9
CO <sub>2</sub> [t/a]:	1,5	68	359	521	6,5
Kosten:					
Investitionen [Tsd. DM]:	16	325	1.100	1.600	196
Betrieb [Tsd. DM/a]:	0,1	8	28	40	1
anteilige Förderung:	4.200 DM	z.Zt. keine			70.000 DM
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. Dafür wird ein „Ranking“, d.h. eine Reihenfolge erarbeitet, welche die Priorität einer Maßnahme im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit wiedergibt. Als Gliederungskriterium dient dabei die dynamische Amortisationszeit als Maß für die Dauer der mit einer Maßnahme verbundenen Kapitalbindung unter der Annahme einer Fremdfinanzierung.

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. Anhand des Beispiels der kostenminimalen Kombination wird eine Möglichkeit vorgestellt, bei minimalen Amortisationszeiten der Einzelmaßnahmen eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 25 % zu erreichen (vgl. Selbstverpflichtung der Industrie). Als zweites Kriterium bei der Berücksichtigung der Einzelmaßnahmen für das Beispiel der kostenminimalen Kombination wird eine Obergrenze für die dynamische Amortisation bei einer Fremdfinanzierung von ca. zwei Jahren angesetzt, da die wirtschaftliche Situation des betrachteten Unternehmens eine längerfristige Kapitalbindung nicht zuläßt.

### 4.1 Ranking zur Durchführung von Einzelmaßnahmen

Werden die im Kapitel 3 dargestellten Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bei einer 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 Investitionshöhen, sondern auch die umweltrelevanten Größen der Endenergie- und Kohlendioxideinsparungen übersichtlich gegenübergestellt.

Grob einteilen lassen sich die verschiedenen Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs des betrachteten Unternehmens in drei Gruppen. 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, welche 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 <sub>2</sub> -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
1	Isolierung des NBS-Überlaufs	0,2	1,5	228	78	PW
2	Wärmetauscher an der NBS-Anlage	0,4	21,7	1.800	614	PW
3	Speicherkonzept mit bisherigem Wärmetauscher	0,5	10,1	733	246	PW
4	Wärmetauscher am Dämpfer des Mercerisierers	0,6	2,6	141	48	PW
5	Isolierung der Schlichteleitungen und -tanks	0,7	0,94	46,5	16	PW
6	Continue-Anlage: Wärmetauscher an WM III+IV	0,8	25,7	1.139	388	PW
7	Continue-Anlage: Wärmetauscher am Dämpfer II	0,8	11,7	494	169	PW
8	Wärmetauscher am Mäander: Warmwasseranschluß WM I	0,8	22,7	943	323	PW
9	Continue-Anlage: Wärmetauscher an WM I+II	0,8	25,2	1.028	351	PW
10	Speicherkonzept mit kleinem Wärmetauscher (Variante II)	1,2	50,5	1.483	502	PW
11	Motorersatz (gebraucht): 2,2 kW → 1,1 kW*	1,6	100	0,2	0,14	Kraft
12	Anbindung der Jigger an das Speicherkonzept	1,7	2,0	41,3	14	PW
13	Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher (Variante I)	1,9	84,6	1.702	577	PW
14	Gas-Otto-BHKW, Abhitze-kessel, Variante II	2,4	2.917	3.412	2.756	PW
15	Diesel-BHKW, Abhitze-kessel, Variante II	2,9	3.352	2.852	2.564	PW
16	Motorersatz (gebraucht): 15 kW → 7,5 kW*	2,4	550	0,73	0,52	Kraft
17	Motorersatz (neu): 2,2 kW → 1,1 kW*	3,2	190	0,22	0,14	Kraft
18	Gas-Otto-BHKW, Abhitze-kessel, Variante I	3,3	3.857	4.787	3.228	PW/RW
19	Gasturbine, Abhitze-kessel, Variante II	3,4	3.672	1.340	2.045	PW

**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 <sub>2</sub> -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
20	Motorersatz (neu): 15 kW → 7,5 kW*	3,4	750	0,73	0,52	Kraft
21	Diesel-BHKW, Abhitze- kessel, Variante 1	3,8	4.292	4.226	3.040	PW/RW
22	Motorersatz (gebraucht): 45 kW → 22 kW*	4,5	1.100	0,85	0,61	Kraft
23	EVG, LST (Produktionsbereich)	4,6	265	195	140	Bel.
24	Brennstoffzelle 200 kW	4,8	900	94	316	PW, RW, BW, Kraft
25	Gasturbine, Abhitze- kessel, Variante 1	5,7	5.272	2.714	2.517	PW/RW
26	EVG (Produktionsbereich)	7,2	135	65	47	Bel.
27	SRL, EVG, LST (Produktionsbereich)	7,3	442	228	163	Bel.
28	Absorptions-WP, Außenluft	8,0	10,1 <sup>4)</sup>	0,8	2,4	BW/RW
29	Gasmotor-WP, Außenluft	9,8	11,6 <sup>4)</sup>	1,7	2,7	BW/RW
30	Motorersatz (neu): 45 kW → 22 kW*	9,9	2.000	0,85	0,61	Kraft
31	SRL, EVG (Produktionsbereich)	11,3	348	130	93	Bel.
32	Anbindung der Schlichtekü- che an das Speicher-konzept	14,3	13,9	62,4	21	PW
33	Fensterverklebung <sup>1)</sup>	15,7	67,5	230	79	RW
34	Gasmotor-WP, Erdreich	15,9	15,8 <sup>4)</sup>	2,5	3,0	BW/RW
35	EVG (Nebengebäude)	20,9	25	6,4	4,6	Bel.
36	Elektro-WP, Außenluft	24,5	12,2 <sup>4)</sup>	3,3	2,4	BW/RW
37	SRL, KVG (Produktionsbereich)	25,9	250	65	47	Bel.
Weitere Maßnahmen, für die keine Amortisationszeiten berechnet werden können:						
	Abgaswärmetauscher an der Thermosolanlage		28,7	15,6	4,3	PW
	Abgaswärmetauscher an der Senge		37,6	21,9	5,9	PW
	Abgaswärmetauscher am Air-Spannrahmen		82,9	150	40	PW

**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 <sub>2</sub> -Einsparung [t/a]	Anwendungsbereich
	Abgaswärmetauscher am Montex-Spannrahmen		57,6	92,9	25	PW
	Wärmedämmung: 1) Außenwände - Ziegelstein		207	438	150	RW
	Wärmedämmung: 1) Dachfläche - Naturbims		660	1.297	445	RW
	Wärmedämmung: 1) Dachfläche - Blech, ged.		84	49	17	RW
	Wärmedämmung: 1) Fußboden		705	531	182	RW
	Fenster → Doppelglas <sup>1)</sup>		57	14	5	RW
	Fenster → WS-Doppelglas <sup>1)</sup>		532	264	91	RW
	Fenster → WS-Glas <sup>1)</sup>		658	429	147	RW
	Kesselinstallation zur Raumheizung		551	853	293	RW
	Elektro-WP, Außenluft		110 <sup>2)</sup>	158	30	RW/BW
	Elektro-WP, Erdreich		243 <sup>2)</sup>	173	41	RW/BW
	Absorptions-WP, Außenluft		55 <sup>2)</sup>	90	28	RW/BW
	Gaswärmepumpe, Außenluft		92 <sup>2)</sup>	115	37	RW/BW
	Gaswärmepumpe, Erdreich		202 <sup>2)</sup>	136	46	RW/BW
	Sonnenkollektor		16 <sup>3)</sup>	2,1	1,5	BW/RW
	Elektro-WP, Erdreich		17,4 <sup>4)</sup>	3,9	2,8	BW/RW
	Ersatz der Rechenanlage		125	11,4	8,2	Kom.
<b>Organisatorische Maßnahmen:</b>						
	Temperaturabsenkung			557	198	RW
<b>Anmerkungen:</b>			<b>Abkürzungen:</b>			
1):	Fördermittel: Darlehn 5,25 %		PW:	Prozeßwärme		
2):	inkl. 17.280 DM Förderbetrag		RW:	Raumwärme		
3):	inkl. 4.200 DM Förderbetrag		BW:	Brauchwasser		
4):	inkl. 720 DM Förderbetrag		EVG:	Elektronische Vorschaltgeräte		
			KVG:	Konventionelle Vorschaltgeräte		
			SRL:	Spiegelrasterleuchten		
			LST:	Lichtsteuerung		
			Bel.:	Beleuchtung		
			Kom.:	Kommunikation		
			WM:	Waschmaschine		
* Bei Ersatzmaßnahmen der Elektromotoren ist zunächst die Auslastung der einzelnen Motoren zu prüfen. Erst bei einer geringeren durchschnittlichen Auslastung als 30 % wird aufgrund des stark sinkenden Wirkungsgrades des Motors (vgl. Kapitel 3.4) 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 Einzelmaßnahmen vor allem aus dem Anwendungsbereich „Prozeßwärme“ stammen, also insbesondere Veränderungen in der Prozeßführung wirtschaftlich sind, d.h. zu dynamischen Amortisationszeiten im Bereich bis zu 4 Jahren führen. Hierbei ist zu beachten, daß aufgrund der aufgeheizten Abwasserströme im Bereich der Warenvorbereitung die Umsetzung aller in Tabelle 4.1 vorgestellten Wärmetauscherkonzepte aufgrund des hohen Prozeßdampfverbrauchs (vgl. 2.3.1), sowie aufgrund des hohen derzeitigen Strompreises der Einsatz jeder vorgestellten 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 wirtschaftlichste Investition vorzusehen ist, sofern geänderte Randbedingungen nicht zu einer Prioritätsverschiebung führen (vgl. Kapitel 4.2).

Aufgrund hoher Wärmeverluste und bisher nur unzureichend genutzter Abwärmepotentiale lassen sich für sämtliche in Tabelle 4.1 aufgeführten Maßnahmen zur Abwärmennutzung unter der Annahme einer Fremdfinanzierung dynamische Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren berechnen. Die wirtschaftlichste Einzelmaßnahme ist dabei die nachträgliche Wärmedämmung des NBS-Überlaufs. Durch die vergleichsweise geringe Investitionshöhe von 1.500 DM berechnet sich bei Endenergieeinsparungen von jährlich rund 228.000 kWh eine dynamische Amortisationszeit von rund 0,2 Jahren. Darüber hinaus ließen sich durch diese Maßnahme zur Senkung des Prozeßwärmebedarfs rund 78 t/a CO<sub>2</sub> einsparen. Mit einer Amortisationszeit von 0,4 Jahren ist an Priorität zwei der Einsatz eines ausreichend dimensionierten Wärmetauschers an der NBS-Anlage zu sehen. Hierdurch ließen sich bei Investitionen von 21.700 DM jährlich rund 1,8 Mio. kWh und 614 t CO<sub>2</sub> einsparen.

Die in Tabelle 4.1 nachfolgend aufgeführten Anwendungen aus dem Bereich „Prozeßwärme“ führen ebenfalls zu sehr geringen Amortisationszeiten und zu z.T. großen Einsparungen im Bereich des Energiebedarfs und der resultierenden Schadstoffemissionen. Zu nennen ist vor allem das Speicherkonzept mit dem bisherigen Wärmetauscher, welches bei Investitionen in Höhe von rund 10.000 DM zu Endenergieeinsparungen von ca. 730.000 kWh/a und im Bereich der Emissionen von rund 246 t/a CO<sub>2</sub> führen würde. Weiterhin würde der Einsatz weiterer Wärmetauscher am Dämpfer des Mercersierers (Einsparung: 140.000 kWh/a und 48 t/a CO<sub>2</sub>) und an der Waschmaschine III und IV der Continuanlage (Einsparung: 1,14 kWh/a und 388 t/a CO<sub>2</sub>) hinsichtlich eines wirtschaftlichen Einsatzes sinnvoll sein. Darüber hinaus würde die Isolierung der Schlichteleitungen und -tanks bei Investitionen von ca. 940 DM zu Energieeinsparungen in Höhe von 46.000 kWh und zu Emissionsreduktionen in Höhe von 16 t/a CO<sub>2</sub> führen.

Neben weiteren Energiesparkonzepten auf der Basis eines Einsatzes von Wärmetauschern ließen sich aufgrund des niedrigen Kesselnutzungsgrades von 0,68 und aufgrund des hohen Strompreises durch den Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit integriertem Abtzeckessel bei sehr wirtschaftlichen Amortisationszeiten Energie- und Schadstoffeinsparungen erreichen. Bei den einzeln bewerteten KWK-Anlagen,

welche sowohl den notwendigen Prozeßdampf als auch den benötigten elektrischen Strom erzeugen würden, werden einerseits Anlagen unterschieden, welche lediglich den nötigen Prozeßdampf und andererseits den Gesamtbedarf an Dampf, d.h. auch für die Raumwärmegestellung erzeugen können. Als wirtschaftlichste Anlage läßt sich ein Gas-Otto-Blockheizkraftwerk einordnen, welches mit einem Abhitzekeessel lediglich die Prozeßdampfgestellung substituieren könnte. Dieses würde sich bei Investitionen von rund 2,9 Mio. DM in rund 2,4 Jahren amortisieren und zu jährlichen Einsparungen von ca. 3,41 Mio. kWh und ca. 2.800 t CO<sub>2</sub> führen.

Auffällig beim Vergleich der Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit ist, daß sämtliche Maßnahmen aus den Anwendungsbereichen „Raumwärme“ und „Brauchwarmwasser“ bei einer angenommenen Amortisationsobergrenze von 4 Jahren nicht wirtschaftlich einsetzbar sind. Hier macht sich der niedrige Energiepreis bemerkbar, welcher bspw. teure Sanierungsarbeiten an der Gebäudehülle nicht wirtschaftlich erscheinen läßt.

Aufgrund der durchschnittlichen geringen Auslastung der Elektromotoren von 50 % (vgl. Kapitel 2.3.4) zeigt sich aus Tabelle 4.1, daß die hinsichtlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte an Priorität 11 einzuordnende Maßnahme der Austausch von zu 25 % ausgelasteten kleineren Elektromotoren (2,2 kW<sub>el</sub>) durch richtig ausgelegte 1,1 kW-Gebraucht-Motoren ist. Durch jeden Motorenaustausch lassen sich bei Amortisationszeiten von 1,6 Jahren und Investitionskosten von jeweils 100 DM rund 200 kWh/a und 140 kg/a CO<sub>2</sub> einsparen. Hierbei ist zu beachten, daß die Motoren nur dann ausgetauscht werden können, falls eine Einzelprüfung des Motors zeigt, daß dieser weniger als 30 % ausgelastet ist.

Da sich bei der Kombination verschiedener Einzelkonzepte einzelne Maßnahmen z.T. gegenseitig beeinflussen, ist zur Bestimmung der kostenminimalen Kombination einzelner Techniken zum einen darauf zu achten, daß der energetische „Ist-Zustand“ des Unternehmens durch den Einsatz einer gewählten Maßnahme (vgl. Tabelle 4.1) jeweils neu zu bestimmen ist, um in einem iterativen Prozeß die sinnvollste Kombination auswählen zu können. Zum anderen ist zu berücksichtigen, daß von mehreren alternativ einzusetzenden Konzepten die unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvollste Maßnahme zum Einsatz kommt.

#### **4.2 Kombination verschiedener Maßnahmen minimaler Amortisationszeiten**

Nachfolgend wird eine Kombination verschiedener Einzelmaßnahmen vorgestellt und diskutiert, die maßgeblich durch zwei Kriterien bestimmt wird. Die dynamische Amortisationszeit dient als Auswahlkriterium, wobei das Konzept mit der kürzesten Amortisationszeit ausgewählt wird. Aufgrund einer Vielzahl sehr wirtschaftlicher Optimierungsvorschläge und entsprechenden Anforderungen des Unternehmens an den Kapitalrückfluß wird eine dynamische Amortisationszeit von ca. zwei Jahren als Obergrenze definiert. Die so erstellte Maßnahmenkombination wird über die kumulierte CO<sub>2</sub>-Einsparung aufgetragen. Bei einer Auswahl der Einzelmaßnahmen aus Tabelle

4.1 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 CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung neu zu überprüfen ist. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß in Tabelle 4.1 alternativ einzusetzende Maßnahmen vorgestellt wurden, so daß bei der Kombination der Einzelmaßnahmen die sinnvollste Maßnahme auszuwählen ist.

Die erste zu realisierende Maßnahme ist eine Isolierung des NBS-Überlaufes. Die Investitionskosten in Höhe von rund 1.500 DM würden sich unter der Annahme einer Fremdfinanzierung in ca. 0,2 Jahren amortisieren, wobei jährlich Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen von rund 228.000 kWh bzw. 78 t zu erwarten sind. Daran anschließend ließen sich durch den Einsatz verschiedener Wärmetauscher, die Isolierung der Schlichteleitungen und -tanks sowie dem vorgeschlagenen Speicherkonzept unter Einsatz des bisherigen Wärmetauschers (vgl. 4.1) insgesamt weitere rund 6,3 Mio. kWh/a und ca. 2.000 t CO<sub>2</sub> einsparen (vgl. Prioritätenliste in Tabelle 4.1).

Ein mögliches Speicherkonzept zum Ausbau der Wärmerückgewinnung mit einem neudimensionierten Wärmetauscher (Variante II, vgl. hierzu Kapitel 3.1) besitzt hinsichtlich der errechneten Amortisationszeit die Priorität 10. Es stellt ferner eine Alternative zu dem schon betrachteten Speicherkonzept mit dem vorhandenen Wärmetauscher dar und ist mit einer dynamischen Amortisationszeit von rund 1,2 Jahren unwirtschaftlicher als das zuvor betrachtete Konzept. Allerdings sind größere absolute Energie- und Schadstoffeinsparungen zu realisieren, so daß das zuvor angenommene Speicherkonzept mit bisherigen Wärmetauschern aus dem Maßnahmenbündel herausgenommen und durch das angesprochene neue Speicherkonzept ersetzt wird. Eine dritte Möglichkeit besteht im Einsatz eines neudimensionierten größeren Wärmetauschers (Variante II), wobei dieses Konzept erneut eine höhere dynamische Amortisationszeit aufweist. Allerdings ist eine Endenergieeinsparung von ca. 1,7 Mio. kWh/a sowie eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um rund 580 t/a statt der zunächst angenommenen 733.000 kWh/a (246 t/a CO<sub>2</sub>) unter Verwendung des bisherigen Wärmetauschers möglich. Insgesamt stellt dabei das dritte Speicherkonzept mit einem größeren Wärmetauscher die interessanteste Alternative dar und wird daher in das Maßnahmenbündel integriert. Die detaillierten Daten- und Berechnungsunterlagen der drei ausgewählten Maßnahmen sind in Anhang C zusammengestellt.

Nachdem mit insgesamt zehn verschiedenen Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs bzw. zur Wärmerückgewinnung eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um ca. 26 % bei einer Endenergieeinsparung von etwa 7,6 Mio. kWh/a erreicht werden kann, bestehen durch den Einsatz einer - für die veränderten Einsatzbedingungen dimensionierte Kraft-Wärme-Kopplungsanlage weitere Reduktionspotentiale. Die wirtschaftlich interessanteste Möglichkeit hierzu besteht in dem Einsatz eines Gas-Otto-BHKW mit Abhitzeessel (Variante II). Durch den verringerten Prozeßwärmebedarf errechnet sich - bei gleicher Laufzeit des Moduls von 4.000 h/a eine geringere Feuerungswärmeleistung des BHKW. Damit verbunden reduzieren sich die Strom- und Wärmelieferung des Moduls. Der Strombedarf des Betriebes kann nur noch zu etwa 70 % durch das BHKW gedeckt werden, der Abhitzeessel trägt erheblich mehr zur

Wärmegestehung bei. Während sich das mögliche Endenergieeinsparpotential gegenüber der erstmaligen Auslegung des BHKW aufgrund der hohen Nutzungsgrade des Abhitzeessels nur geringfügig um etwa 100.000 kWh/a auf 3,3 Mio. kWh/a reduziert, nimmt das mögliche Einsparpotential im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionen - bedingt durch die geringere Stromlieferung des BHKW - deutlich ab und beträgt nunmehr ca. 2.000 t/a gegenüber 2.800 t/a bei der Erstauslegung. Durch den in Kombination mit der Variante II erforderlichen Kessel zur Raumwärmeversorgung, welcher sich nach Tabelle 4.1 unter der Annahme einer Fremdfinanzierung nicht amortisieren würde, erscheint das Gesamtkonzept unsinnig und wird somit verworfen.

Aus diesem Grund wird der Einsatz eines Gas-Otto-BHKW mit Abhitzeessels nach der Variante I, d.h. für eine kombinierte Raum- und Prozeßwärmegestehung (vgl. Kapitel 3.1) forciert. Durch den reduzierten Wärme- und Leistungsbedarf kann die Leistung des Abhitzeessels auf 4 MW<sub>th</sub> Feuerungswärmeleistung reduziert werden. Hierdurch verringern sich die Investitionskosten gegenüber der in Tabelle 4.1 dargestellten Variante auf ca. 1,8 Mio. DM.

Durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ließen sich neben elektrischer Energie nicht nur der notwendige Dampf für den Anwendungsbereich „Prozeßwärme“, sondern auch für den Anwendungsbereich „Raumwärme“ und „Brauchwasser“ bereitstellen, so daß auf die Installation eines speziellen Dampferzeugers für den Anwendungsbereich „Raumwärme“ verzichtet werden kann.

Tabelle 4.2 zeigt die Daten- und Berechnungsunterlagen für die beschriebene Maßnahmenkombination, bestehend aus den 10 Maßnahmen zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs bzw. zur Wärmerückgewinnung sowie den Gas-Otto-BHKW zur Prozeß- und Raumwärmeversorgung. Für die Kombination ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von ca. 1,6 Jahren bei Fremdfinanzierung (ca. 1,5 Jahre bei Eigenfinanzierung) bei Investitionen von ca. 2,4 Mio. DM.

In Tabelle 4.3 sind die Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmenkombination zusammengestellt. Emissionen beim Verbraucher entstehen durch das BHKW und den Erdgasverbrauch als Ersatz des Flüssiggases. In vorgelagerten Prozessen werden nur noch durch Erdgas Emissionen verursacht, die Emissionen der Strombereitstellung entfallen, da das BHKW den Strombedarf der Anlage deckt.

Eine Gegenüberstellung der Emissionen im Istzustand mit den Energieträgern Steinkohle, Heizöl S, Flüssiggas sowie Strom und nach Nachrüstung mit dem Energieträger Erdgas zeigt Tabelle 4.4.

Dabei wird deutlich, daß sowohl beim Verbraucher als auch bei den vorgelagerten Prozessen erhebliche Emissionsminderungen zu verzeichnen sind. Insbesondere hervorzuheben ist Schwefeldioxid als saure Komponente mit einer Reduzierung um 99 % sowie die klimawirksamen Verbindungen Methan, NMVOC und Kohlendioxid, die um 69 %, 71 % und 63 % reduziert werden (Tabelle 4.5; 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

- Isolierung des NBS-Überlaufs
- Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen
- Wärmetauscher an der NBS-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage
- Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage
- Wärmetauscher am Mercerisierer
- Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher
- Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I

Ist-Zustand		
Nutzenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	10.674.432
Endenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	15.744.000
Nutzenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	3.779.068
Endenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	5.573.847
Endenergiebedarf Wärme gesamt	kWh/a	21.317.847
Nutzenergiebedarf Strom	kWh/a	4.420.530
mittlerer Leistungsbedarf Dampf	kW	3.936
mittlere Laufzeit Kessel Prozeßwärme	h/a	4.000
mittlere Laufzeit Kessel Raumwärme	h/a	1.200
mittlerer Nutzungsgrad des Kessels	-	0,68
Feuerungswärmeleistung	kW	14.000
Minderung Prozeßwärme durch die Maßnahmen		
	kWh/a	7.563.146
Minderung Strom durch die Maßnahmen		
	kWh/a	-23.730
Bedarf neu		
Prozeßwärmebedarf neu	kWh/a	3.111.286
Strombedarf neu	kWh/a	4.264.260
Einsatz eines Gas-Otto-BHKW		
Feuerungswärmeleistung	kW	3.330
thermische Leistung	kW	1.931
elektrische Leistung	kW	1.066
thermischer Wirkungsgrad	-	0,58
elektrischer Wirkungsgrad	-	0,32
gesamter Wirkungsgrad	-	0,90
Stromkennzahl	-	0,55
Einsatz eines Abhitzeessels		
Feuerungswärmeleistung	kW	4.000
Wärmeleistung	kW	3.600
Wirkungsgrad	-	0,9

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

- Isolierung des NBS-Überlaufs
- Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen
- Wärmetauscher an der NBS-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage
- Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage
- Wärmetauscher am Mercersierer
- Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher
- Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzekeessel, Variante I

Energiebilanz		
Wärmelieferung BHKW	kWh/a	7.724.000
Stromlieferung BHKW	kWh/a	4.264.000
Brennstoffbedarf BHKW	kWh/a	13.320.000
Wärmelieferung AHK	kWh/a	0
Brennstoffbedarf AHK	kWh/a	0
Brennstoffbedarf gesamt	kWh/a	13.320.000
Eigenstromerzeugung	kWh/a	4.264.000
Kostenbetrachtungen		
spezifische Investitionen BHKW	DM/kWeI	1.200
spezifische Investitionen AHK	DM/kW	235
Betriebskosten BHKW	%/a	3,3
Betriebskosten AHK	%/a	5,0
spezifischer Strompreis	DM/kWh	0,3515
spezifischer Gaspreis	DM/kWh	0,0332
Investitionen BHKW	DM	1.279.200
Investitionen AHK	DM	940.000
Investitionen für die Maßnahmen	DM	198.653
Investitionen gesamt	DM	2.417.853
Betriebskosten BHKW	DM/a	42.214
Betriebskosten AHK	DM/a	47.000
Betriebskosten Ist-Zustand (geschätzt)	DM/a	200.000
Betriebskostensparnis	DM/a	110.786
Brennstoffkosten alt	DM/a	550.000
Brennstoffkosten neu	DM/a	442.224
Brennstoffkostensparnis	DM/a	107.776
Kosteneinsparung durch Eigenstromerzeugung	DM/a	1.498.796
jährliche Minderausgaben	DM/a	1.717.358

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

- Isolierung des NBS-Überlaufs
- Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen
- Wärmetauscher an der NBS-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage
- Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage
- Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage
- Wärmetauscher am Mercerisierer
- Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher
- Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept
- Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten 2.081.000	DM	2.417.853
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	1.606.572
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	110.786
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,71
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,48
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,71
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,55

**Tabelle 4.3: Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmenkombination**

Maßnahmenkombination mit Gas-Otto-BHKW							
(jährlicher Energiebedarf für Gas-Otto-BHKW [kWh/a]:						13.320.000)	
(jährlicher Energiebedarf Erdgas als Ersatz für Flüssiggas (LPG) [kWh/a]:						4.778.100)	
Schadstoff	Emissionen						
	beim Verbraucher				vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses
	LPG-Ersatz mg/kWh	kg/a	mg/kWh	BHKW kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	50	239	221	2.944	60	1.086	4.269
SO <sub>2</sub>	1,5	7	1,5	20	24,5	443	471
NO <sub>x</sub>	200	956	227	3.024	70	1.267	5.246
CH <sub>4</sub>	9	43	17	226	571	10.334	10.603
NMVOG	9	43	28	373	6	109	525
Staub	0,5	2	6	80	5,2	94	176
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	198,5	948	198,5	2.644	36,5	661	4.253

**Tabelle 4.4: Emissionsvergleich vor und nach Umsetzung der Maßnahmenkombination**

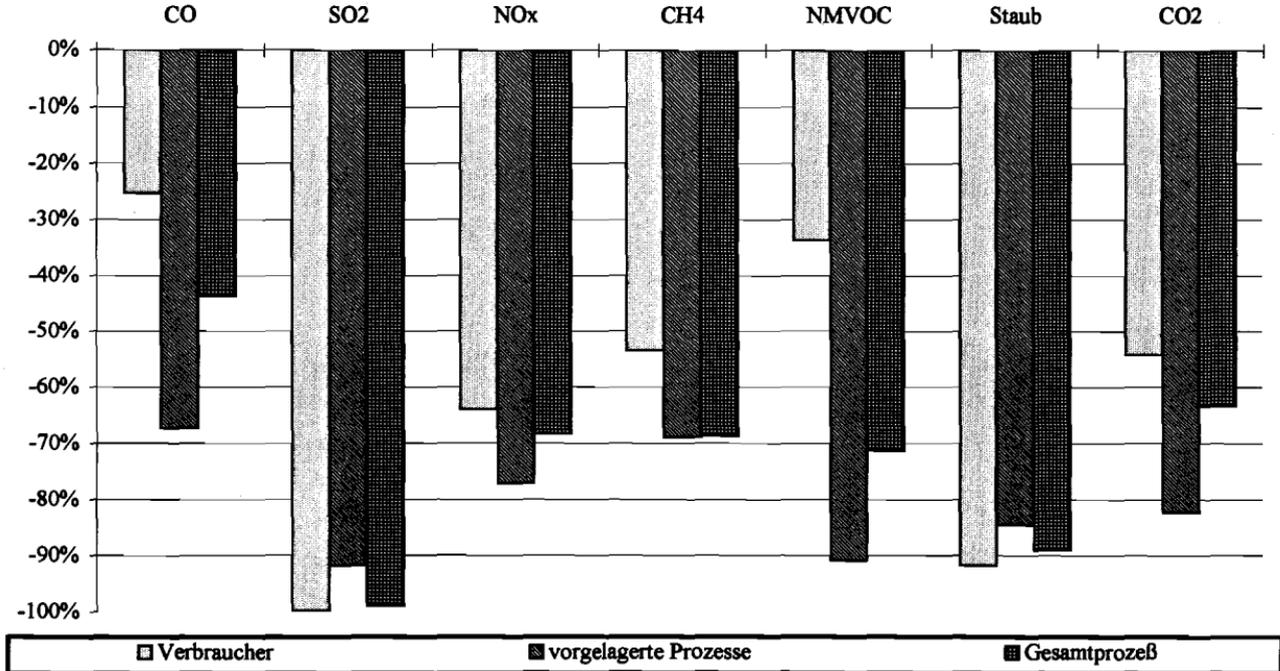
jährlicher Energiebedarf alt (Steinkohle/Heizöl S/Flüssiggas/Strom) [kWh/a]:						30.346.039	
jährlicher Energiebedarf neu (Erdgas) [kWh/a]:						18.108.100	
Schadstoff	Emissionen						
	beim Verbraucher (kg/a)		vorgelagerter Prozesse (kg/a)		des Gesamtprozesses (kg/a)		
	alt	neu	alt	neu	alt	neu	
CO	4.267	3.183	3.328	1.086	7.595	4.269	
SO <sub>2</sub>	43.674	27	5.464	443	49.139	471	
NO <sub>x</sub>	11.080	3.979	5.562	1.267	16.642	5.246	
CH <sub>4</sub>	580	269	33.398	10.334	33.978	10.603	
NMVOG	628	416	1.204	109	1.832	525	
Staub	1.015	82	614	94	1.629	176	
	t/a		t/a		t/a		
CO <sub>2</sub>	7.867	3.592	3.753	661	11.619	4.253	

**Tabelle 4.5:** Prozentuale Änderung der Emissionen durch die Maßnahmenkombination

Schadstoff	Prozentuale Änderung der Emissionen		
	beim Verbraucher	vorgelagerter Prozesse	des Gesamtprozesses
CO	- 25 %	- 67 %	- 44 %
SO <sub>2</sub>	- 100 %	- 92 %	- 99 %
NO <sub>x</sub>	- 64 %	- 77 %	- 68 %
CH <sub>4</sub>	- 54 %	- 69 %	- 69 %
NMVOG	- 34 %	- 91 %	- 71 %
Staub	- 92 %	- 85 %	- 89 %
CO <sub>2</sub>	- 54 %	- 82 %	- 63 %

Diagramm 4.1: Emissionsminderung durch Energiesparmaßnahmen

### 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 textilverarbeitenden 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. 60 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. Mehrverbräuche, 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. Temperaturen der Wärmeanwendungen etc.), wobei vor allem im Bereich der Prozeßwärmeanwendungen durch eine Reduktion der Wärmeverluste an einzelnen Maschinen beachtliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung festzustellen waren. So sind Einsparungen von fast 50 % des heutigen Endenergiebedarfs 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 Anwendungsbereich Beleuchtung einzusparen. Zur Verringerung des Heizenergiebedarfs werden eine Vielzahl von Wärmedämmmaßnahmen erläutert, eine Absenkung der Innenraumtemperaturen diskutiert und die Verringerung der Lüftungsverluste durch technische Systeme und organisatorische Maßnahmen erläutert.

Die größten Endenergieeinsparungen sind jedoch durch Verbesserungen im Bereich der Wärmerückgewinnung zu realisieren. Hierzu wurden auf der Basis einer Wärmeintegrationsanalyse zahlreiche Einzelmaßnahmen an verschiedenen Maschinen sowie ein detailliertes Speicherkonzept erarbeitet. Ferner sind verschiedene Konzeptionen der Kraft-Wärme-Kopplung, d.h. der Einsatz einer Gasturbine, eines Gas-Otto- bzw. Diesel-BHKW in Kombination mit einem zusatzgefeuerten Abhitzeessel diskutiert worden. 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 Endenergieeinsparungen von 15 - 20 % des heutigen Endenergiebedarfs zur Dampferzeugung möglich.

Insgesamt läßt sich in einem für das Unternehmen wirtschaftlich sinnvollen Rahmen, d.h. bei Amortisationszeiten von etwa 2 Jahren, etwa die Hälfte des heutigen Endenergiebedarfs und damit verbunden etwa 60 % der CO<sub>2</sub>-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] Bressler, G. und G. Immel: Ermittlung von Heizungs- und Wasserwasserbereitungssystemen inklusive deren Verteilungsverluste in Nichtwohngebäuden. Forschungsstelle Jülich GmbH, Jülich, 1994.
- [8] Floerke, H.: Leistungsbedarf elektrischer Anlagen. etz, Heft 12, Band 104 (1983), S. 586-589.
- [9] Just, W.: Maximallast-Ermittlung - Grundlage der Planung von elektrischen Anlagen im Betrieb. der elektromeister + deutsches Elektrohandwerk, Heft 22, 1983, S. 1513-1517.
- [10] Mehr Licht mit weniger Strom - Elektronik macht's möglich. Elektroniker, Aarau, Heft 6, Band 32 (1993), S. 8-9.

- [11] Fritsche, U. et al.:  
Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1, erweiterter Endbericht. Öko-Institut Freiburg, Institut für angewandte Ökologie, Freiburg, 1994.
- [12] 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.
- [13] Schiffer, H.-W.:  
Deutscher Energiemarkt '95. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg., Nr. 3, 1996.
- [14] Kröplin et al.:  
Rationelle Wärmenutzung in kleinen und mittleren Betrieben. Forschungsstelle für Energiewirtschaft München, München, 1991.
- [15] Kuhn, S., H. Kuhn, W. Röhr, U. Leis und T. Münzer:  
Wärmetauscher zur Abwärmenutzung, IKARUS-Bericht Nr. 8 - 13 zum Teilprojekt 8 „Querschnittstechnologien“. Forschungszentrum Jülich GmbH, Zentralbibliothek, Jülich, 1995.
- [16] Schmitz, K.W. und G. Koch:  
Kraft-Wärme-Kopplung, Anlagenauswahl, Dimensionierung, Wirtschaftlichkeit, Emissionsbilanz. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1995.
- [17] Suttor, K.-H. und W. Suttor:  
Handbuch Kraft-Wärme-Kopplung. C. F. Müller Verlag, Karlsruhe, 1991.
- [18] Information der Firma M.A.N. KWK-Systeme. M.A.N. Dezentrale Energiesysteme GmbH, Köln 1996.
- [19] Babcock-Omnical-Industriekessel GmbH. Arbeitsbroschüre Kesselsysteme. Babcock-Omnical-Industriekessel GmbH, Dietzholztal, 1996.
- [20] Pischinger, F.:  
Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotorenanlagen Teil II: BHKW-Technik, VDI-GET-Informationsschrift. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- [21] Linnhoff, B., H. Dunford und R. Smith:  
Heat Integration of Distillation Columns into Overall Process. Chemical Engineering Science, Nr. 8, Vol. 38 (1983), S. 1175-1188.

- [22] Linnhoff, B. und W. Lenz:  
Wärmeintegration und Prozeßoptimierung. Chemie-Ingenieur-Technik, Nr. 11,  
Bd. 59 (1987), S. 851-857.
- [23] Kaibel, G.:  
Energieintegration in der thermischen Verfahrenstechnik. Chemie-Ingenieur-  
Technik, Nr. 2, Band 62 (1990), S. 99-106.
- [24] Straeter, K.:  
Rationelle Energienutzung, Erfahrungen mit Wärmeintegrationsanalysen in der  
Industrie. Chemie Technik, 24. Jahrgang (1995) Nr. 1, 1995.
- [25] Brenner, K., G. Conrads, J. Dorn, G. Fritz, Dr. Z. Guo, N. Jähnke, W. Tinz und  
E. Weiß:  
Plattenwärmeübertrager. Verlag Moderne Industrie AG, Landsberg/Lech, 1995.
- [26] Wagner, W.:  
Wärmetauscher. Vogel Buchverlag, Würzburg 1993.
- [27] Taborek, J., G. Hewit und N. Afgan:  
Heat Exchangers, Theory and Practice. Hemisphere Publishing Corporation,  
Washington, USA, 1983.
- [28] VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung.  
VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungs-  
anlagen: Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. VDI-Verlag,  
Düsseldorf, 1983.
- [29] RWE-Energie AG. Bau-Handbuch. Energie-Verlag GmbH, Heidelberg, 1994.
- [30] Begemann, J., M. Dedekind, A. Harmsen und M. Rößiger:  
Rationelle Energieverwendung in Unternehmen. Zentrum für Energie-, Wasser-  
und Umwelttechnik (ZEWU), Stuttgart, 1993.
- [31] Schneider, K.-J.:  
Bautabellen. Werner-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [32] Rathert, P.:  
Wärmeschutzverordnung, Heizungsanlagenverordnung.  
Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Köln, 1994.
- [33] Grassnick, A.:  
Der schadensfreie Hochbau. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln,  
1987.

- [34] Deutscher Wetterdienst. Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 1989.
- [35] Recknagel, H., E. Sprenger und W. Hönnmann:  
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1989.
- [36] Loos International. Lieferprogramm Kesselsysteme. Eisenwerk Th. Loos GmbH, Gunzenhausen, 1996.
- [37] Schäfer, W.:  
Heizung mit Hellstrahler. Technik am Bau, Jg. 23, S. 933-938, Gütersloh, 1992.
- [38] Nipkow, J.:  
Elektrische Antriebe: Gewichtige Stromverbraucher mit großen Sparpotentialen. Elektrotechnik, Nr. 6, 1933, S. 59-63.
- [39] Schaefer, H.:  
Rationelle Elektrizitätsanwendung in der Industrie. Dokumentation zum Fachkongress „RAVEL NRW 96“ am 04.06.1996 in Wuppertal, Juni 1996, S. 80-101.
- [40] Preisliste Drehstrom-Niederspannungsmotoren - Käfigläufermotoren. Fa. Siemens AG, 1996.
- [41] Elektro-Maschinen-Katalog. Fa. EMZ GmbH, Recklinghausen, 1996.
- [42] Katalog M11: Drehstrom-Niederspannungsmotoren - Käfigläufermotoren. Fa. Siemens AG, 1994/95.
- [43] Zieseniß, C.-H.:  
Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1996.
- [44] Katalog Technische Innenleuchten. Fa. Siemens AG, 1996.
- [45] So verraucht der Zorn über hohe Energiekosten. Lichtfocus, Nr. 7, April 1996, S. 14 - 16.
- [46] Leuchten-Preisliste. Fa. Siemens AG, 1996.
- [47] Bildpreisliste 1995 - Innenraumleuchten. Fa. Trilux GmbH, 1995.
- [48] Lichtprogramm 96/97 - Unverbindliche Preisempfehlungen. Fa. Osram, 1996.
- [49] Grote, A.:  
Blaues Wunder mit Green-PCs. PC Professionell, Heft 6, 1995, S. 28.

- [50] 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 wissenbasierten Systems zur Erstellung rationell und regenerativ orientierter Umstrukturierungsmaßnahmen für die kommunale Energieversorgung“. Lehrstuhl für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES), Ruhr-Universität Bochum, 1996.
- [51] SOLVIS. Thermische Solarsysteme. SOLVIS - Energiesysteme GmbH, Braunschweig, 1993.
- [52] Bürger-Information Neue Energietechniken - BINE. Förderfibel Energie. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 1995.
- [53] Wendt, H.:  
 Brennstoffzellen, Stand der Technik - Entwicklungslinien - Marktchancen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1990.
- [54] Leuchtner, J. und O. Reitebuch et al.:  
 Thermische Solaranlagen - Marktübersicht 1992. Ökoinstitut e.V., 1992.
- [55] 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.

## **Anhang A**

### **Endenergieverbräuche des Ist-Zustandes**

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

<b>Energieträger</b>	<b>Energiebedarf [kWh/a]</b>
Steinkohle	13.820.061
Heizöl S	7.497.324
Summe Dampf	21.317.385
Flüssiggas	4.788.124
Strom	4.240.530
<b>Summe:</b>	<b>30.346.039</b>
<b>Energieanwendung</b>	<b>Energiebedarf [kWh/a]</b>
Raumwärme Kohle/Öl	5.573.847
Raumwärme elektrisch	18.000
<b>Raumwärme gesamt:</b>	<b>5.591.847</b>
Brauchwarmwasser	6.947
Beleuchtung	373.161
Kommunikation	56.942
<b>Kraft (Produktion)</b>	<b>3.785.480</b>
Energieversorgung	303.719
Ver- und Entsorgung	144.088
Garnfärberei	99.895
Vorwerk	209.611
Weberei	1.327.051
Warenvorbehandlung	435.278
Warenveredelung	1.265.837
<b>Prozeßwärme (ohne WRG):</b>	<b>22.295.554</b>
<b>Prozeßwärme</b>	<b>20.531.662</b>
<b>Dampfverbrauch</b>	<b>15.743.538</b>
Flüssiggas	4.788.124
<b>Energie WRG:</b>	<b>1.763.892</b>
Energieversorgung	0
Ver- und Entsorgung	0
Garnfärberei	3.184.004
Vorwerk	1.138.461
Weberei	0
Warenvorbehandlung	13.645.905
Warenveredelung	4.327.184
<b>Summe:</b>	<b>30.346.039</b>

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

Name der Anlage:	Einheiten:	Anzahl [-]	jährliche Laufzeit [h/a]	Leistung [kW]	Energiebedarf [kWh/a]
	<b>Energieeinsparung durch WRG:</b>				1.763.892
	<b>Gesamtverbrauch (mit WRG):</b>				20.531.662
	<b>Gesamtverbrauch (ohne WRG):</b>				22.295.554
	<b>Gesamtverbrauch - Gas:</b>				4.788.124
	<b>Gesamtverbrauch - Dampf (mit WRG):</b>				15.743.538
	<b>Gesamtverbrauch - Dampf (ohne WRG):</b>				17.507.430
Garnfärberei	<b>Gesamtverbrauch:</b>				3.184.004
	<b>Gesamt - Gas:</b>				0
	<b>Gesamt - Dampf:</b>				3.184.004
	Baumfärbung	1	704	1.390	1.443.856
	Kreuzspulfärbung	1	716	1.390	1.469.502
Vorwerk	Garnrocknung	1	853	215	270.646
	<b>Gesamtverbrauch:</b>				1.138.461
	<b>Gesamt - Gas:</b>				0
	<b>Gesamt - Dampf:</b>				1.138.461
	Schlichterei Gesamt				1.138.461
	Schlichtküche	1	602	150	133.330
	Maschinen Typ A	1	1.746	144	371.106
Maschinen Typ B	1	2.983	144	634.025	
Warenvorbehandlung	<b>Gesamtverbrauch:</b>				13.645.905
	<b>Gesamt - Gas:</b>				675.346
	<b>Gesamt - Dampf:</b>				12.970.559
	Senge	1	1.701	226	384.313
	KKV-Anlage	1	820	0	0
	Thermosol-Anlage	1	1.797	162	291.033
	NBS-Anlage: Bleichen	1	1.862	1.742	4.786.322
	NBS-Anlage: Waschen	1	600	1.073	949.767
	Continue: Waschen	1	937	1.457	2.014.531
	Continue: Färben	1	759	1.203	1.347.715
	Mercerisiermaschine	1	2.609	280	1.078.258
	Mänder-Waschanlage	1	997	697	1.025.696
	Jigger-Stückfärbearanlage	2	513	28	41.640
	Laugenrückgewinnung (Körting)	1	1.406	832	1.726.630
Warenveredelung	<b>Gesamtverbrauch:</b>				4.327.184
	<b>Gesamt - Gas:</b>				4.112.778
	<b>Gesamt - Dampf:</b>				214.406
	Spannrahmen Gesamt				4.112.778
	Air-Spannrahmen	1	4.513	541	2.441.306
	Montex-Spannrahmen	1	4.749	352	1.671.472
	Sanforanlage	1	153	127	28.680
	Kalendersystem Gesamt	1			185.725
	Kalendersystem Typ A	1	3.813	33	185.725

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

	Beheizungsart	Lufttemperatur	Anzahl	jährliche Laufzeit geschätzt	Maximale thermische Leistung	elektrische Leistung	Energiebedarf	Energiebedarf
Einheiten		[° C]	[-]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> ]	[kWh <sub>el</sub> ]	[kWh <sub>th</sub> /a]	[kWh <sub>el</sub> /a]
(Versand)	<b>Heizleistung Gesamt</b>	<b>21,6</b>					<b>240.000</b>	<b>3.000</b>
	Lüfter Typ A		2	1.000	120		240.000	0
	Elektrische Heizung		1	1.000		3,0	0	3.000
(Lager)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>21,6</b>					<b>74.988</b>	
	Lüfter Typ I		3	1.000	25		74.988	
(Konfektion)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>23,8</b>					<b>508.928</b>	
	Lüfter Typ A		1	1.000	120		120.000	
	Lüfter Typ B		2	1.000	154		308.000	
	Lüfter Typ C		5	1.000	16		80.928	
(Zettlerei)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>28,4</b>					<b>154.000</b>	
	Lüfter Typ B		1	1.000	154		154.000	
(Zettlerei)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>27</b>					<b>154.000</b>	
	Lüfter Typ B		1	1.000	154		154.000	
(Spulerei)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>28,4</b>					<b>410.809</b>	
	Lüfter Typ G		1	1.000	103		102.809	
	Lüfter Typ B		2	1.000	154		308.000	
(Verpackung)	Gastherme	22	1	1.000	230		230.000	
(Weberei)	Elektrische Heizung	21,6	1	1.000		10,5		10.500
(Thermosol)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>						<b>154.000</b>	
	Lüfter Typ B		1	1.000	154		154.000	
(Conti)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>27,5</b>					<b>917.792</b>	
	Lüfter Typ H		1	800	69		55.392	
	Lüfter Typ B		7	800	154		862.400	
(Senge)	<b>Lüfterleistung Gesamt</b>	<b>26,7</b>					<b>189.802</b>	
	Lüfter Typ C		2	800	15		24.602	
	Lüfter Typ D		2	800	103		165.200	

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

	Beheizungsart	Lufttemperatur	Anzahl	jährliche Laufzeit geschätzt	Maximale thermische Leistung	elektrische Leistung	Energiebedarf	Energiebedarf
Einheiten		[° C]	[-]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> ]	[kWh <sub>el</sub> ]	[kWh <sub>th</sub> /a]	[kWh <sub>el</sub> /a]
(Büro)	Wärmetauscher Typ A	22	1	1.000	100		100.000	
	Elektrische Heizung		2	1.000		0,8		1.500
(Büro)	Lüfterleistung Gesamt						45.000	
	Lüfter Typ F		3	1.000	15		45.000	
	Elektrische Heizung		2	1.000	0	1,5	0	3.000
(Flur)	Lüfterleistung Gesamt						49.992	
	Lüfter Typ I		2	1.000	25		49.992	
(Labor)	Lüfter Typ I		1	200	25		4.999	
(Labor)	Lüfter Typ I		1	100	25		2.500	
(Aufenthaltsraum)	Wärmetauscher Typ C	22	1	1.000	40		40.000	
(Wasserturm)	Lüfter Typ A		2	1.000	120		240.000	
(Designerraum)	Wärmetauscher Typ B	22	1	1.000	40		40.000	
(Abluftreinigung)	Lüfterleistung Gesamt	26					35.793	
	Lüfter Typ E		1	1.000	36		35.793	
	Lüfterleistung Gesamt						154.000	
	Lüfter Typ B		1	1.000	154		154.000	
	Lüfterleistung Gesamt						139.849	
	Lüfter Typ D		1	1.000	103		103.389	
	Lüfter Typ E		1	1.000	36		36.460	
	Summe Raumwärme						3886.454	18.000

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

Lüfertyp	Nennleistung (p = 6 bar)
Einheiten:	[kW]
A: Babcock KTH 8112 (6 bar)	120
B: Babcock KTH 8122 (6 bar)	154
C: Benno Schilde Maschinenbau	16
D: Benno Schilde TH 7242	103
E: Benno Schilde KTH 18	36
F: Gea-Happel	15
G: Typ unbekannt	103
H: Benno Schilde TH 5012	69
I: Typ unbekannt	25

Bedarf aus installierter Leistung	Nutzenergie	Endenergie (Gas)	Endenergie
Einheiten	[kWh <sub>th</sub> /a]	[kWh <sub>th</sub> /a]	[kWh <sub>el</sub> /a]
installiert	3.886.454		
bei 1.000 Vollaststunden Nennleistung		errechneter Wert:	
gerechnet	3.776.281	5.573.847	18.000

Kesselnutzungsgrad	0,68
--------------------	------

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

	Beheizungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung	Energiebedarf
Einheiten		[-]	[h/a]	[kW]	[kWh <sub>el</sub> /a]
(Büro)	<b>Gesamtleistung</b>				<b>2.400</b>
	Warmwasserspeicher Typ A	1	240	4	960
	Warmwasserspeicher Typ B	2	240	2	960
	Geschirrspülmaschine	1	240	2	480
(Aufenthaltsraum)	<b>Gesamtleistung</b>				<b>2.400</b>
	Warmwasserspeicher Typ C	1	240	4	960
	Warmwasserspeicher Typ D	3	240	2	1.440
(Designerraum)	<b>Gesamtleistung</b>				<b>480</b>
	Warmwasserspeicher Typ D	1	240	2	480
(Labor)	<b>Gesamtleistung</b>				<b>480</b>
	Warmwasserspeicher Typ D	1	240	2	480

Anzunehmender Bedarf	Warmwasserbedarf	Nutzenergie	Endenergie
Einheiten	[l/d]	[kWh <sub>th</sub> /a]	[kWh <sub>el</sub> /a]
180 Personen	500	6.947	6.974

Anzahl der Arbeitstage:	240
elektrischer Heizwirkungsgrad:	1

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

Name de Anlage		Anzahl	Bedarfsfaktor <sup>1)</sup>	Wirksamkeitsgrad	jährliche Laufzeit	Installierte Leistung	Leistungsaufnahme <sup>2)</sup>	Energiebedarf
	Einheiten	[-]	[-]	[-]	[h/a]	[kW]	[kW]	[kWh/a]
Energieversorgung	<b>Gesamt:</b>					<b>349</b>	<b>141</b>	<b>303.719</b>
	Kesselhaus	1	0,40	0,80	2.700	170	85	229.500
	Druckluftversorgung							
	Kolbenverdichter 1	1	0,25	0,80	1.000	54	17	16.875
	Kolbenverdichter 2	1	0,25	0,80	1.000	60	19	18.750
	Schraubenverdichter	1	0,25	0,80	1.900	65	20	38.594
Ver- und Entsorgung	<b>Gesamt:</b>					<b>199</b>	<b>62</b>	<b>144.088</b>
	Wasserversorgung	1	0,25	0,80	2.000	180	56	112.500
Laugenrückgewinnung	Laugenrückgewinnung	1	0,25	0,80	1.406	19	6	8.128
	Lüfter	54	0,50	0,80	1.000	1	0	23.460
Garnfärberei	<b>Gesamt:</b>					<b>274</b>	<b>137</b>	<b>99.895</b>
	Baumfärbung	1	0,40	0,80	704	12	6	4.224
	Kreuzspulfärbung	1	0,40	0,80	716	12	6	4.296
	Garnrocknung	1	0,40	0,80	731	250	125	91.375
Vorwerk	<b>Gesamt:</b>					<b>205</b>	<b>103</b>	<b>209.611</b>
	Spulerei							
	Spulmaschine 1	1	0,40	0,80	750	17	9	6.375
	Spulmaschine 2	1	0,40	0,80	750	17	9	6.375
	Spulmaschine 3	1	0,40	0,80	750	8	4	3.000
	Spulmaschine 4	1	0,40	0,80	750	8	4	3.000
	Zettlerei							
	Zettelmaschine 1	1	0,40	0,80	2.933	22	11	32.263
	Zettelmaschine 2	1	0,40	0,80	671	13	7	4.358
	Schlichterei							
	Schlichtmaschine 1	1	0,40	0,80	1.746	40	20	34.920
Schlichtmaschine 2	1	0,40	0,80	2.983	80	40	119.320	
Weberei	<b>Gesamt:</b>					<b>530</b>	<b>374</b>	<b>1.327.051</b>
	Klimaanlage	1	0,80	0,80	3.550	115	115	408.250
	Webmaschinen							
	Webmaschinen Dornier	36	0,50	0,80	3.542	5	3	398.453
Webmaschinen Sulzer	47	0,50	0,80	3.543	5	3	520.349	

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

Name der Anlage		Anzahl	Bedarfsfaktor <sup>1)</sup>	Wirkungsgrad	jährliche Laufzeit	Installierte Leistung	Leistungsaufnahme <sup>2)</sup>	Energiebedarf
	Einheiten	[-]	[-]	[-]	[h/a]	[kW]	[kW]	[kWh/a]
Warenvorbehandlung	<b>Gesamt:</b>					<b>677</b>	<b>338</b>	<b>435.278</b>
	Schermaschine	1	0,40	0,80	1.820	10	5	9.100
	Senge	1	0,40	0,80	1.701	48	24	40.855
	KKV-Anlage	1	0,40	0,80	820	32	16	13.112
	Thermosol-Anlage	1	0,40	0,80	1.797	38	19	34.044
	NBS-Anlage							
	NBS-waschen	1	0,40	0,80	600	128	64	38.278
	NBS-bleichen	1	0,40	0,80	1.862	128	64	118.857
	Conti-Anlage							
	Conti-waschen	1	0,40	0,80	937	105	52	49.086
	Conti-färben	1	0,40	0,80	759	91	46	34.535
	Mercerisiermaschine	1	0,40	0,80	2.609	64	32	83.022
	Mäander-Waschanlage	1	0,40	0,80	997	24	12	11.826
	Jigger-Stückfärbeanlage	2	0,40	0,80	513	5	3	2.565
Warenveredelung	<b>Gesamt:</b>					<b>576</b>	<b>338</b>	<b>1.265.837</b>
	Spannrahmen							
	Air-Spannrahmen	1	0,50	0,80	4.513	149	93	420.234
	Montex-Spannrahmen	1	0,50	0,80	4.749	254	159	752.934
	Sanforanlage	1	0,40	0,80	153	57	28	4.308
	Kalendersystem							
	Kalender 1	1	0,40	0,80	3.050	49	24	74.344
	Kalender 2	1	0,40	0,80	763	15	7	5.608
	Cordschneideanlage	1	0,40	0,80	147	7	3	485
	Cordbürsteanlage	1	0,40	0,80	75	17	8	619
	Polrotor	1	0,40	0,80	37	6	3	102
	Rauhanlage	1	0,40	0,80	118	6	3	323
	Schaumaschinen Gesamt	7	0,40	0,80	759	2	1	3.982
	Rollmaschinen Gesamt	3	0,40	0,80	577	2	1	1.730
	Doublieranlagen Gesamt	2	0,40	0,80	779	2	1	1.169
<b>Gesamtbetrieb</b>						<b>2.809</b>	<b>1.494</b>	<b>3.785.480</b>

1) Bedarfsfaktor = Verhältnis von mittlerer benötigter Leistung zur Nennleistung  
2) Leistungsaufnahme = Bedarfsfaktor/(Wirkungsgrad • installierte Leistung)

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

Raum-Nr.:	Beleuchtungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung Lampen	Leistung Vorschaltgeräte <sup>1)</sup>	Energiebedarf
Einheiten			[h/a]	[W]	[W]	[kWh/a]
1a	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.044</b>	<b>234</b>	<b>2.556</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	18	2.000	1.044	234	2.556
1b (Keller)	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.824</b>	<b>521</b>	<b>938</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	6	400	348	90	175
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	41	400	1.476	431	763
2	<b>Gesamtleistung</b>			<b>4.964</b>	<b>1.339</b>	<b>12.606</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	62	2.000	3.596	930	9.052
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	18	2.000	648	189	1.674
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 18 W	40	2.000	720	220	1.880
3	<b>Gesamtleistung</b>			<b>6.824</b>	<b>1.791</b>	<b>17.230</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	104	2.000	6.032	1.560	15.184
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	22	2.000	792	231	2.046
4	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.160</b>	<b>300</b>	<b>2.920</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	20	2.000	1.160	300	2.920
5 bis 8	<b>Gesamtleistung</b>			<b>4.234</b>	<b>1.095</b>	<b>10.658</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	73	2.000	4.234	1.095	10.658
9	<b>Gesamtleistung</b>			<b>3.132</b>	<b>810</b>	<b>7.884</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	54	2.000	3.132	810	7.884
10	<b>Gesamtleistung</b>			<b>2.792</b>	<b>753</b>	<b>7.090</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	32	2.000	1.856	480	4.672
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	26	2.000	936	273	2.418
11	<b>Gesamtleistung</b>			<b>5.220</b>	<b>1.350</b>	<b>13.140</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	90	2.000	5.220	1.350	13.140
12	<b>Gesamtleistung</b>			<b>348</b>	<b>90</b>	<b>876</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	6	2.000	348	90	876
13	<b>Gesamtleistung</b>			<b>25.230</b>	<b>6.525</b>	<b>127.020</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	435	4.000	25.230	6.525	127.020
14	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.102</b>	<b>285</b>	<b>5.548</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	19	4.000	1.102	285	5.548
15	<b>Gesamtleistung</b>			<b>3.068</b>	<b>717</b>	<b>7.570</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	46	2.000	2.668	690	6.716
	HQL-Lampen 400 W	1	2.000	400	27	854
16	<b>Gesamtleistung</b>			<b>3.248</b>	<b>840</b>	<b>12.264</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	56	3.000	3.248	840	12.264
17	<b>Gesamtleistung</b>			<b>12.586</b>	<b>3.255</b>	<b>71.285</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	217	4.500	12.586	3.255	71.285
18	<b>Gesamtleistung</b>			<b>986</b>	<b>255</b>	<b>2.482</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	17	2.000	986	255	2.482

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

Raum-Nr.:	Beleuchtungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung Lampen	Leistung Vorschaltgeräte <sup>1)</sup>	Energiebedarf
Einheiten			[h/a]	[W]	[W]	[kWh/a]
19	<b>Gesamtleistung</b>			<b>3.204</b>	<b>642</b>	<b>7.692</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	38	2.000	2.204	570	5.548
	HQL-Lampen 250 W	4	2.000	1.000	72	2.144
20	<b>Gesamtleistung</b>			<b>464</b>	<b>120</b>	<b>1.168</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	8	2.000	464	120	1.168
21	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.128</b>	<b>306</b>	<b>2.868</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	12	2.000	696	180	1.752
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	12	2.000	432	126	1.116
22	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.392</b>	<b>360</b>	<b>438</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	24	250	1.392	360	438
23	<b>Gesamtleistung</b>			<b>2.158</b>	<b>570</b>	<b>10.912</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	31	4.000	1.798	465	9.052
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	10	4.000	360	105	1.860
24	<b>Gesamtleistung</b>			<b>464</b>	<b>120</b>	<b>146</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	8	250	464	120	146
25	<b>Gesamtleistung</b>			<b>15.618</b>	<b>3.168</b>	<b>14.090</b>
	Leuchtstoffröhre 18 W	576	750	10.368	31.68	10.152
	Halogenleuchten 50 W	105	750	5.250		3.938
26	<b>Gesamtleistung</b>			<b>900</b>	<b>263</b>	<b>116</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	25	100	900	263	116
100 bis	<b>Gesamtleistung</b>			<b>920</b>	<b>242</b>	<b>581</b>
103	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	14	500	812	210	511
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	3	500	108	32	70
200 bis	<b>Gesamtleistung</b>			<b>918</b>	<b>271</b>	<b>2.377</b>
204	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	20	2.000	720	210	1.860
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	11	2.000	198	61	517
205 bis	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.160</b>	<b>300</b>	<b>2.920</b>
207	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	20	2.000	1.160	300	2.920
208 bis	<b>Gesamtleistung</b>			<b>2.030</b>	<b>525</b>	<b>5.110</b>
210	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	35	2.000	2.030	525	5.110
211	<b>Gesamtleistung</b>			<b>464</b>	<b>120</b>	<b>2.336</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	8	4.000	464	120	2.336
212	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.566</b>	<b>405</b>	<b>1.478</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	27	750	1.566	405	1.478
213	<b>Gesamtleistung</b>			<b>1.740</b>	<b>450</b>	<b>4.380</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	30	2.000	1.740	450	4.380
300	<b>Gesamtleistung</b>			<b>2.204</b>	<b>570</b>	<b>5.548</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	38	2.000	2.204	570	5.548

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

Raum-Nr.:	Beleuchtungsart	Anzahl	jährliche Laufzeit	Leistung Lampen	Leistung Vorschaltgeräte <sup>1)</sup>	Energiebedarf
Einheiten			[h/a]	[W]	[W]	[kWh/a]
301 bis 305	<b>Gesamtleistung</b>			<b>3.664</b>	<b>953</b>	<b>6.925</b>
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 58 W	61	1.500	3.538	915	6.680
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 36 W	2	1.500	72	21	140
	freistrahlende Leuchtstoffröhre 18 W	3	1.500	54	17	106
Außenbereich	<b>Gesamtleistung</b>			<b>5.000</b>	<b>400</b>	<b>2.010</b>
	HQL-Lampen 250 W	15	500	3.750	270	2.010
	HQL-Lampen 125 W	10	500	1.250	130	690
	<b>Gesamtbetrieb</b>			<b>120.932</b>	<b>29.422</b>	<b>373.161</b>

Gesamtleistungsbedarf [kW]	150.35
Gesamtenergiebedarf [kWh/a]	373.160.80

1) Leistungsaufnahme der Vorschaltgeräte:  
 58 W-Leuchtstoffröhre: 13 W  
 36 W-Leuchtstoffröhre: 10,5 W  
 18 W-Leuchtstoffröhre: 5,5 W  
 (konventionelle Drosselvorschaltgeräte)

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

Name der Anlage:		Anzahl	tägliche Laufzeit	jährliche Laufzeit	Standby-Leistung	maximale Leistung	Energiebedarf <sup>1)</sup>
	Einheiten:	[-]	[h]	[h/a]	[W]	[W]	[kWh/a]
Computer:	<b>Gesamt:</b>				<b>1.260</b>	<b>1.260</b>	<b>7.022</b>
	IBM AS 400	1	24	6.960	700	700	4.872
	IBM-kompatible PC	7	16	3.840	80	80	2.150
Monitore:	<b>Gesamt:</b>				<b>8.500</b>	<b>8.500</b>	<b>23.040</b>
	IBM AS 400	34	8	1.920	250	250	16.320
	PC-Monitore	7	16	3.840	250	250	6.720
Drucker:	<b>Gesamt:</b>				<b>10.500</b>	<b>10.500</b>	<b>26.880</b>
	AS 400-Drucker	10	8	1.920	700	700	13.440
	PC-Drucker	7	16	3.840	500	500	13.440
<b>Gesamt-betrieb:</b>					<b>20.260</b>	<b>20.260</b>	<b>56.942</b>
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 Erdgaslieferungen siehe Abschnitt 2.4.

**Tabelle B.1: Gesamtemissionen**

Energieträger Heizöl S (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 7.497.324)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	155	1.162	35	262	190	1.424
SO <sub>2</sub>	1.770	13.270	190	1.424	1.960	14.695
NO <sub>x</sub>	410	3.074	110	825	520	3.899
CH <sub>4</sub>	11	82	74	555	85	637
NMVOC	11	82	67	502	78	585
Staub	41	307	14	105	55	412
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	283,6	2.126	36,4	273	320	2.399

Energieträger Steinkohle (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 13.820.061)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	190	2.626	30	415	220	3.040
SO <sub>2</sub>	2.200	30.404	70	967	2.270	31.372
NO <sub>x</sub>	510	7.048	50	691	560	7.739
CH <sub>4</sub>	36	498	1.804	24.931	1.840	25.429
NMVOC	36	498	3	41	39	539
Staub	51	705	7	97	58	802
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	336	4.644	19	263	355	4.906

Energieträger Flüssiggas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 4.788.124)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	100	479	40	192	140	670
SO <sub>2</sub>	0	0	190	910	190	910
NO <sub>x</sub>	200	958	110	527	310	1.484
CH <sub>4</sub>	0	0	76	364	76	364
NMVOG	10	48	68	326	78	373
Staub	0,5	2	13,5	65	14	67
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	229,1	1.097	36,9	177	266	1.274

Energieträger Erdgas statt Heizöl S und Flüssiggas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 12.285.448)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	614	60	737	110	1.351
SO <sub>2</sub>	1,5	18	24,5	301	26	319
NO <sub>x</sub>	200	2.457	70	860	270	3.317
CH <sub>4</sub>	9	111	571	7.015	580	7.126
NMVOG	9	111	6	74	15	184
Staub	0,5	6	5,2	64	5,7	70
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	198,5	2.439	36,5	448	235	2.887

Energieträger Strom (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 4.240.530)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	2.460	580	2.460
SO <sub>2</sub>	0	0	510	2.163	510	2.163
NO <sub>x</sub>	0	0	830	3.520	830	3.520
CH <sub>4</sub>	0	0	1.780	7.548	1.780	7.548
NMVOC	0	0	79	335	79	335
Staub	0	0	82	348	82	348
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	0	0	717	3.040	717	3.040

Gesamtemissionen mit Heizöl S und Flüssiggas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 30.346.039)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		4.267		3.328		7.595
SO <sub>2</sub>		43.674		5.464		49.139
NO <sub>x</sub>		11.080		5.562		16.642
CH <sub>4</sub>		580		33.398		33.978
NMVOC		628		1.204		1.832
Staub		1.015		614		1.629
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		7.867		3.753		11.619

Gesamtemissionen mit Erdgas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 30.346.039)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		3.240		3.611		6.851
SO <sub>2</sub>		30.423		3.431		33.854
NO <sub>x</sub>		9.505		5.071		14.576
CH <sub>4</sub>		608		39.495		40.103
NM VOC		608		450		1.058
Staub		711		508		1.219
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		7.082		3.751		10.834

Tabelle B.2: Prozeßwärme

Energieanwendung Prozeßwärme (Steinkohle) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 10.206.126)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	190	1.939	30	306	220	2.245
SO <sub>2</sub>	2.200	22.453	70	714	2.270	23.168
NO <sub>x</sub>	510	5.205	50	510	560	5.715
CH <sub>4</sub>	36	367	1.804	18.412	1.840	18.779
NM VOC	36	367	3	31	39	398
Staub	51	521	7	71	58	592
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	336	3.429	19	194	355	3.623

Energieanwendung Prozesswärme (Heizöl S) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 5.537.412)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	155	858	35	194	190	1.052
SO <sub>2</sub>	1.770	9.801	190	1.052	1.960	10.853
NO <sub>x</sub>	410	2.270	110	609	520	2.879
CH <sub>4</sub>	11	61	74	410	85	471
NMVOC	11	61	67	371	78	432
Staub	41	227	14	78	55	305
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	283,6	1.570	36,4	202	320	1.772

Energieanwendung Prozesswärme (Flüssiggas) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 4.788.124)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	100	479	40	192	140	670
SO <sub>2</sub>	0	0	190	910	190	910
NO <sub>x</sub>	200	958	110	527	310	1.484
CH <sub>4</sub>	0	0	76	364	76	364
NMVOC	10	48	68	326	78	373
Staub	0,5	2	13,5	65	14	67
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	229,1	1.097	36,9	177	266	1.274

**Energieanwendung Prozeßwärme (Erdgas statt Heizöl S und Flüssiggas)  
(jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 10.325.536)**

Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	516	60	620	110	1.136
SO <sub>2</sub>	1,5	15	24,5	253	26	268
NO <sub>x</sub>	200	2.065	70	723	270	2.788
CH <sub>4</sub>	9	93	571	5.896	580	5.989
NMVOG	9	93	6	62	15	155
Staub	0,5	5	5,2	54	5,7	59
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	198,5	2.050	36,5	377	235	2.427

**Gesamtemissionen Prozeßwärme mit Heizöl S und Flüssiggas  
(jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 20.531.662)**

Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		3.276		692		3.968
SO <sub>2</sub>		32.255		2.676		34.931
NO <sub>x</sub>		8.433		1.646		10.079
CH <sub>4</sub>		428		19.186		19.614
NMVOG		476		727		1.203
Staub		750		214		964
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		6.097		572		6.669

Gesamtemissionen Prozesswärme mit Erdgas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 20.531.662)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		2.455		926		3.381
SO <sub>2</sub>		22.469		967		23.436
NO <sub>x</sub>		7.270		1.233		8.503
CH <sub>4</sub>		460		24.308		24.768
NMVOC		460		93		553
Staub		526		125		651
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		5.479		571		6.050

**Tabelle B.3: Kraft**

Energieanwendung Kraft (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 3.785.480)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	2.196	580	2.196
SO <sub>2</sub>	0	0	510	1.931	510	1.931
NO <sub>x</sub>	0	0	830	3.142	830	3.142
CH <sub>4</sub>	0	0	1.780	6.738	1.780	6.738
NMVOC	0	0	79	299	79	299
Staub	0	0	82	310	82	310
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	0	0	717	2.714	717	717

**Tabelle B.4: Beleuchtung**

Energieanwendung Beleuchtung (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 373.161)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	216	580	216
SO <sub>2</sub>	0	0	510	190	510	190
NO <sub>x</sub>	0	0	830	310	830	310
CH <sub>4</sub>	0	0	1.780	664	1.780	664
NMVOC	0	0	79	29	79	29
Staub	0	0	82	31	82	31
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	0	0	717	268	717	268

**Tabelle B.5: Kommunikation**

Energieanwendung Kommunikation (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 56.942)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	33	580	33
SO <sub>2</sub>	0	0	510	29	510	29
NO <sub>x</sub>	0	0	830	47	830	47
CH <sub>4</sub>	0	0	1.780	101	1.780	101
NMVOC	0	0	79	4	79	4
Staub	0	0	82	5	82	5
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	0	0	717	41	717	41

**Tabelle B.6: Brauchwarmwasser**

Energieanwendung Brauchwarmwasser (Strom) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 6.947)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	0	0	580	4	580	4
SO <sub>2</sub>	0	0	510	4	510	4
NO <sub>x</sub>	0	0	830	6	830	6
CH <sub>4</sub>	0	0	1.780	12	1.780	12
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 <sub>2</sub>	0	0	717	5	717	5

**Tabelle B.7: Raumwärme**

Energieanwendung Raumwärme (Steinkohle - Ko-HW-REA ohne Entschwefelung) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 3.613.380)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	190	687	30	108	220	795
SO <sub>2</sub>	2.200	7.949	70	253	2.270	8.202
NO <sub>x</sub>	510	1.843	50	181	560	2.023
CH <sub>4</sub>	36	130	1.804	6.519	1.840	6.649
NMVOC	36	130	3	11	39	141
Staub	51	184	7	25	58	210
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	336	1.214	19	69	355	1.283

Energieanwendung Raumwärme (Heizöl S) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 1.960.467)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	155	304	35	69	190	372
SO <sub>2</sub>	1.770	3.470	190	372	1.960	3.843
NO <sub>x</sub>	410	804	110	216	520	1.019
CH <sub>4</sub>	11	22	74	145	85	167
NMVOC	11	22	67	131	78	153
Staub	41	80	14	27	55	108
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	283,6	556	36,4	71	320	627

Energieanwendung Raumwärme (Erdgas statt Heizöl S) (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 1.960.467)						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	50	98	60	118	110	216
SO <sub>2</sub>	1,5	3	24,5	48	26	51
NO <sub>x</sub>	200	392	70	137	270	529
CH <sub>4</sub>	9	18	571	1.119	580	1.137
NMVOC	9	18	6	12	15	29
Staub	0,5	1	5,2	10	5,7	11
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	198,5	389	36,5	72	235	461

<b>Gesamtemissionen Raumwärme mit Heizöl S (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 5.573.847)</b>						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		990		177		1.167
SO <sub>2</sub>		11.419		625		12.045
NO <sub>x</sub>		2.647		396		3.043
CH <sub>4</sub>		152		6.664		6.815
NMVOC		152		142		294
Staub		265		53		317
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		1.770		140		1.910

<b>Gesamtemissionen Raumwärme mit Erdgas (jährlicher Energiebedarf [kWh/a]: 5.573.847)</b>						
Schadstoff	Emissionen					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO		785		226		1.011
SO <sub>2</sub>		7.952		301		8.253
NO <sub>x</sub>		2.235		318		2.553
CH <sub>4</sub>		148		7.638		7.786
NMVOC		148		23		170
Staub		185		35		221
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>		1.603		140		1.743

## **Anhang C**

### **Daten- und Berechnungsblätter vorgeschlagener Maßnahmen**

**Tabelle C.1: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Isolierung des NBS-Überlaufs“**

Ökonomische und technische Daten der Isolierung		
Der Überlauf zwischen der dritten und vierten Stufe der NBS-Anlage wird gekapselt und gedämmt. Die Wärmeverluste durch Abkühlen des Waschwassers im Überlauf werden deutlich reduziert, wodurch mindestens 50 % der bisherigen Wärmeverluste vermieden werden.		
Investitionskosten (Wärmedämmung, Gehäuse etc.)	DM	1.507
Betriebskosten (ca. 5 % der Investitionskosten pro Jahr)	DM/a	75
Endenergieeinsparungen (min. 50 % des ursprünglichen Endenergiebedarfs)	kWh/a	227.849
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	227.849
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	1.507
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	7.565
Zusätzliche Einsparungen	DM/a	0
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur, etc.)	DM/a	-75
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,20
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,21
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,20
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,21

Maßnahme „Isolierung des NBS-Überlaufs“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 227.849)						
Schadstoff	Emissionsminderung					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	178	41	31	7	209	48
SO <sub>2</sub>	2.049	467	112	26	2.161	492
NO <sub>x</sub>	475	108	71	16	546	124
CH <sub>4</sub>	27	6	1.196	273	1.223	279
NM VOC	27	6	26	6	53	12
Staub	47	11	10	2	57	13
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	318	72	25	6	343	78

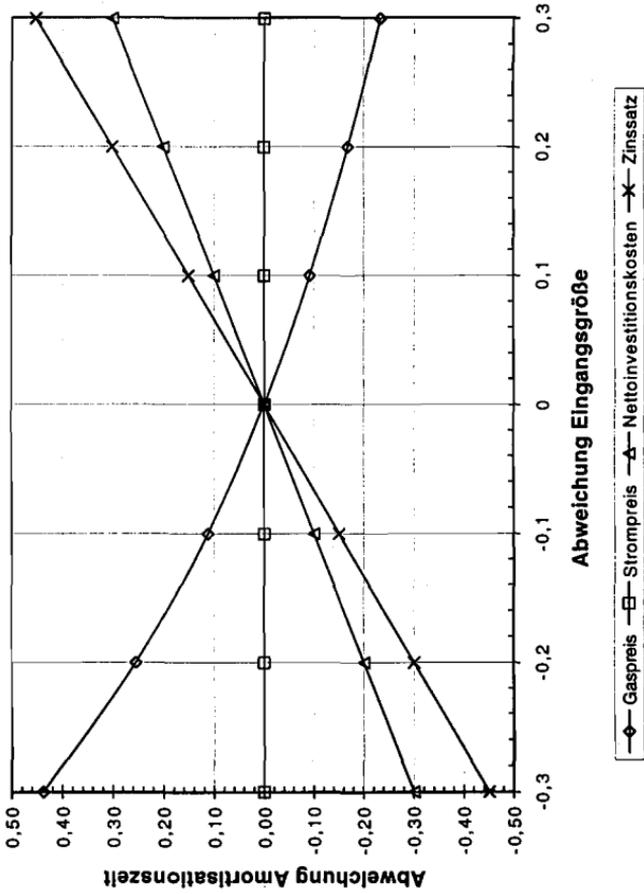


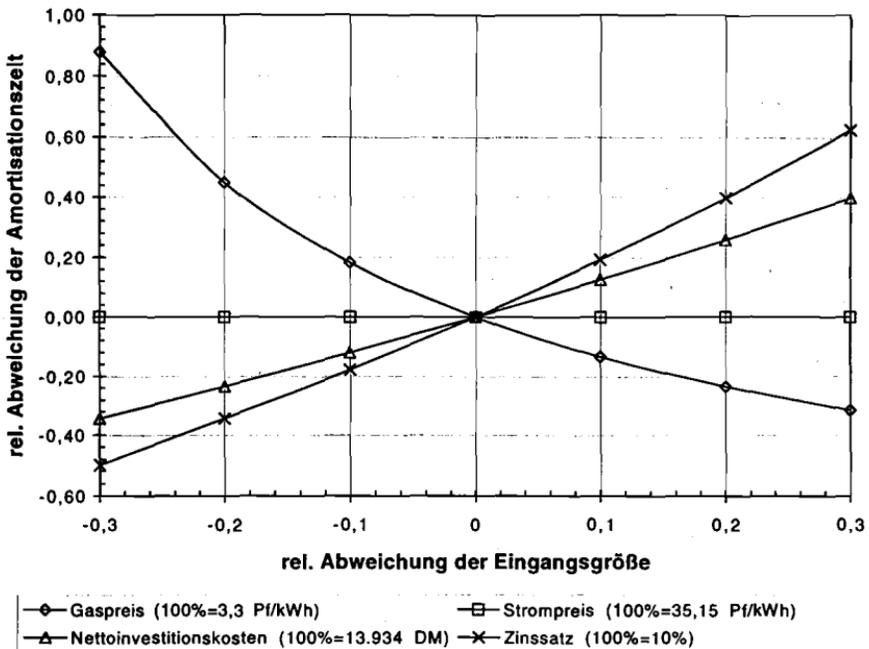
Abbildung C.1: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Isolierung des NBS-Überlaufs“ (100 % = 0,2 a)

**Tabelle C.2:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Isolierung der Schlichttanks und -leitungen“

Technische Daten (Dämmung der Rohrleitungen und der acht Schlichtetanks)		
<b>Rohrleitungen</b>		
Rohrlänge	m	56
Nennweite	mm	100
<b>Schlichtetanks</b>		
Behältervolumen	m <sup>3</sup>	0,5
Innendurchmesser	m	0,8
Wanddicke der Tanks	mm	10
Dicke der Isolierung	mm	100
Fläche Zylindermantel und Oberseite	m <sup>2</sup>	4
<b>Endenergieeinsparungen</b>		
min. 50 % der derzeitigen Verbrauchs von 93.000 kWh/a in den Schlichtmaschinen zur Schlichtbeheizung	kWh/a	46.500
Ökonomische Daten		
<b>Rohrleitungen</b>		
spezifische Kosten der Dämmung	DM/m	10,35
Kosten für 56 m Rohrdämmung	DM	580
Betriebskosten: 3 % der Investitionen	DM/a	17
<b>Schlichtetanks</b>		
spezifische Kosten der Dämmung	DM/m <sup>2</sup>	11,24
Kosten für 32 m <sup>2</sup> Dämmung	DM	361
Betriebskosten: 3 % der Investitionen	DM/a	11
<b>Gesamtkosten</b>		
Investitionskosten	DM	941
Betriebskosten	DM/a	28
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	46.500
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	941
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	1.544
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur, etc.)	DM/a	-28
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,64
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,64
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,64
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,66

**Fortsetzung Tabelle C.2: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme  
„Isolierung der Schlichtetanks und -leitungen“**

Maßnahme „Isolierung Schlichteleitungen und -tanks“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 46.512)						
Schadstoff	Emissionsminderung					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	178	8	31	1	209	10
SO <sub>2</sub>	2.049	95	112	5	2.161	101
NO <sub>x</sub>	475	22	71	3	546	25
CH <sub>4</sub>	27	1	1.196	56	1.223	57
NMVOC	27	1	26	1	53	2
Staub	47	2	10	0	57	3
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	318	15	25	1	343	16



**Abbildung C.2:** Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Isolierung der Schlichteranks und -leitungen“ (100 % = 0,7 a)

**Tabelle C.3:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I“

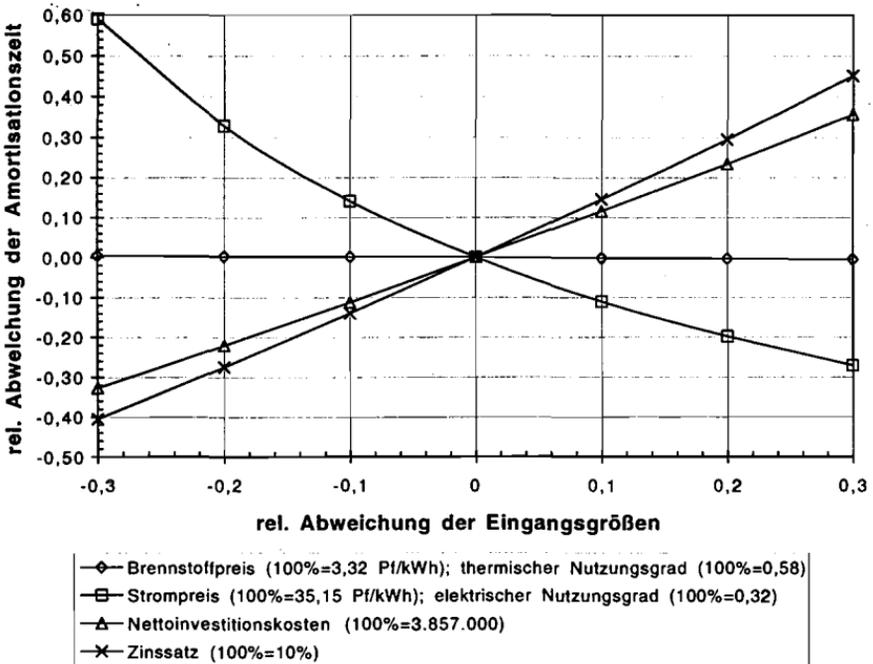
Ist-Zustand		
Nutzenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	10.674.432
Endenergiebedarf Prozeßwärme	kWh/a	15.774.000
Nutzenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	3.779.068
Endenergiebedarf Raumwärme	kWh/a	5.573.847
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	0
Endenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	0
Endenergiebedarf Wärme gesamt	kWh/a	21.347.847
Nutzenergiebedarf Strom	kWh/a	4.240.000
mittlerer Leistungsbedarf Dampf	kW	3.936
mittlere Laufzeit Kessel Prozeßwärme	h/a	4.000
mittlere Laufzeit Kessel Raumwärme	h/a	1.200
mittlerer Nutzungsgrad des Kessels	-	0,68
Feuerungswärmeleistung	kW	14.000
Einsatz eines Gas-Otto-BHKW		
Feuerungswärmeleistung	kW	3.313
thermische Leistung	kW	1.921
elektrische Leistung	kW	1.060
thermischer Wirkungsgrad	-	0,58
elektrischer Wirkungsgrad	-	0,32
gesamter Wirkungsgrad	-	0,90
Stromkennzahl	-	0,55
Einsatz eines Abhitzeessels		
Feuerungswärmeleistung	kW	11.000
Wärmeleistung	kW	9.900
Wirkungsgrad	-	0,9
Energiebilanz		
Wärmelieferung BHKW	kWh/a	7.684.000
Stromlieferung BHKW	kWh/a	4.240.000
Brennstoffbedarf BHKW	kWh/a	13.252.000
Wärmelieferung AHK	kWh/a	6.769.500
Nutzenergiebedarf Brauchwarmwasser	kWh/a	0
Brennstoffbedarf AHK	kWh/a	7.521.667
Brennstoffbedarf gesamt	kWh/a	20.773.667
Eigenstromerzeugung	kWh/a	4.240.000
Endenergieeinsparung	kWh/a	4.814.180

**Fortsetzung Tabelle C.3: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I“**

Kostenbetrachtungen		
spezifische Investitionen BHKW	DM/kWel	1.200
spezifische Investitionen AHK	DM/kW	235
Betriebskosten BHKW	%/a	3,3
Betriebskosten AHK	%/a	5,0
spezifischer Strompreis	DM/kWh	0,3515
spezifischer Gaspreis	DM/kWh	0,0332
Investitionen BHKW	DM	1.272.000
Investitionen AHK	DM	2.585.000
Investitionen gesamt	DM	3.857.000
Betriebskosten BHKW	DM/a	41.976
Betriebskosten AHK	DM/a	129.250
Betriebskosten Ist-Zustand (geschätzt)	DM/a	200.000
Betriebskostensparnis	DM/a	28.774
Brennstoffkosten alt	DM/a	550.000
Brennstoffkosten neu	DM/a	689.686
Brennstoffkostensparnis	DM/a	-139.686
Kosteneinsparung durch Eigenstromerzeugung	DM/a	1.490.360
jährliche Minderausgaben	DM/a	1.379.448
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Investitionskosten	DM	3.857.000
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	1.350.674
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	28.774
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	3,70
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	3,02
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	3,70
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	3,28

**Fortsetzung Tabelle C.3: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Gas-Otto-BHKW, Abhitzeessel, Variante I“**

Maßnahme „Gas-Otto-BHKW/Abhitzeessel/Variante I“ alt		neu						
jährlicher Energiebezug [kWh/a]:		Erdgas: 21.347.847	20.773.667					
		Strom: 4.240.000	0					
Schadstoff	Emissionen							
	beim Verbraucher				vorgelagerter Prozesse (Brennstoff)			
	mg/kWh (alt)	kg/a	mg/kWh	kg/a (neu)	mg/kWh (alt)	kg/a (alt)	mg/kWh	kg/a (neu)
CO	178	3.800	221	4.591	31	662	60	644
SO <sub>2</sub>	2.049	43.742	1,5	31	112	2.391	24,5	2.327
NO <sub>x</sub>	475	10.140	227	4.716	71	1.516	70	1.475
CH <sub>4</sub>	27	576	17	353	1.196	25.532	571	24.845
NMVOG	27	576	28	582	26	555	6	540
Staub	47	1.003	6	125	10	213	5,2	208
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	318	6.789	198,5	4.124	25	534	36,5	519
Schadstoff	Emissionen			Emissionsminderung des Gesamtprozesses				
	vorgelagerter Prozesse (Strom)							
	mg/kWh	kg/a (alt)	kg/a (neu)	kg/a				
CO	580	2.459	0	1.686				
SO <sub>2</sub>	510	2.162	0	45.937				
NO <sub>x</sub>	830	3.519	0	8.985				
CH <sub>4</sub>	1.780	7.547	0	8.457				
NMVOG	79	335	0	345				
Staub	82	348	0	1.232				
	g/kWh	t/a	t/a	t/a				
CO <sub>2</sub>	717	3.040	0	5.719				



**Abbildung C.3:** Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieinsparmaßnahme: „KWK-Anlage, Gas-Otto-BHKW, Abhitzekeessel, Variante I“ (100 % = 3,30 a)

**Tabelle C.4:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	5.400
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	5.400
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	6.270
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	4
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	95
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	91
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	16
Wärmedurchgangszahl	W/m²K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	495
Austauschfläche	m²	31
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m²	451
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	15.711
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	21.681
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	786
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	1.447
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	4.116
Endenergieeinsparungen	kWh/a	1.800.000
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	1.800.000
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	21.681
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	58.313
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-786
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,38
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,39
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,38
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,40

**Fortsetzung Tabelle C.4: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“**

Maßnahme „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 1.800.000) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -4.116)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamt- prozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	320	31	56	580	-2	374
SO <sub>2</sub>	2.049	3.688	112	202	510	-2	3.888
NO <sub>x</sub>	475	855	71	128	830	-3	979
CH <sub>4</sub>	27	49	1.196	2.153	1.780	-7	2.194
NM VOC	27	49	26	47	79	0	95
Staub	47	85	10	18	82	0	102
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	572	25	45	717	-3	614

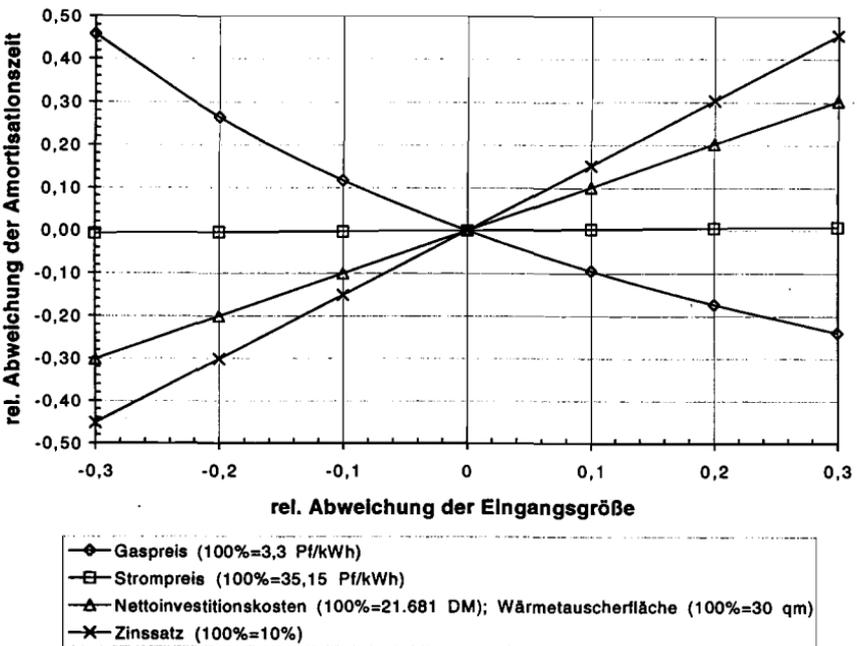


Abbildung C.4: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an der NBS-Anlage“ (100 % = 0,40 a)

**Tabelle C.5:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage“

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	10.000
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	10.000
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	11.611
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	4
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	80
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	76
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	16
Wärmedurchgangszahl	W/m <sup>2</sup> K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	743
Austauschfläche	m <sup>2</sup>	46
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m <sup>2</sup>	350
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	18.279
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	25.225
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	914
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	826
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	2.350
Endenergieeinsparungen	kWh/a	1.027.742
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	1.027.742
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	25.225
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	33.295
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-914
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,81
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,81
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,81
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,83

**Fortsetzung Tabelle C.5: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage“**

Maßnahme „Wärmetauscher Waschstufen I, II der Continue-Anlage“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 1.027.742) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -2.350)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamtprozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	183	31	32	580	-1	213
SO <sub>2</sub>	2.049	2.106	112	115	510	-1	2.220
NO <sub>x</sub>	475	488	71	73	830	-2	559
CH <sub>4</sub>	27	28	1.196	1.229	1.780	-4	1.253
NMVOG	27	28	26	27	79	0	54
Staub	47	48	10	10	82	0	58
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	327	25	26	717	-2	351

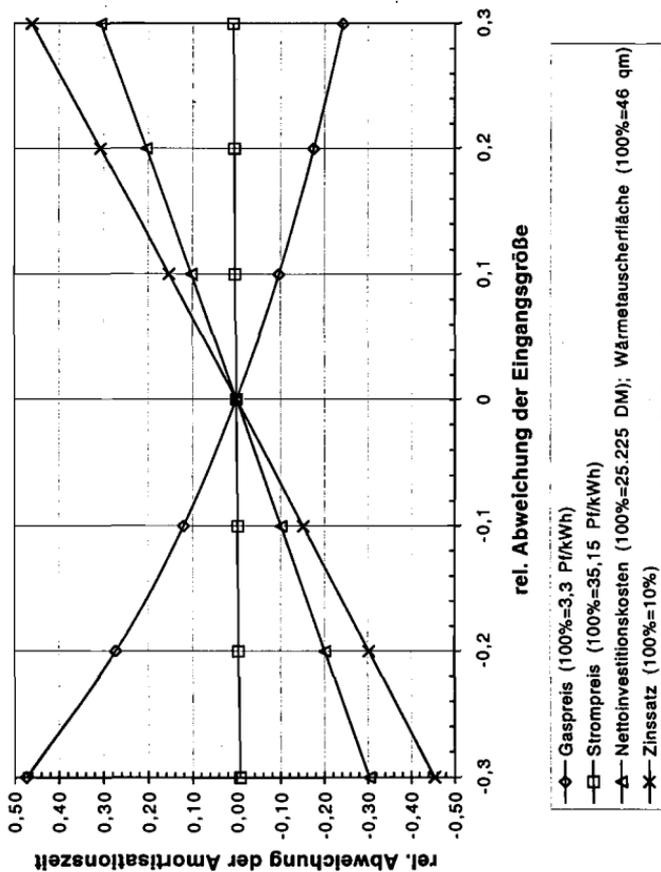


Abbildung C.5: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen I, II der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)

**Tabelle C.6:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	8.000
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	8.000
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	9.289
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	3
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	80
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	77
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	17
Wärmedurchgangszahl	W/m²K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	604
Austauschfläche	m²	50
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m²	330
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	18.656
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	25.745
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	933
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	1.620
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	4.608
Endenergieeinsparungen alter WT	kWh/a	-372.049
Endenergieeinsparungen neuer WT	kWh/a	1.511.450
Endenergieeinsparungen gesamt	kWh/a	1.139.401
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	1.039.401
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	25.745
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	36.208
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-933
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,75
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,75
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,75
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,78

**Fortsetzung Tabelle C.6: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“**

Maßnahme „Wärmetauscher Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 1.139.401) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -4.608)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamtprozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	203	31	35	580	-3	235
SO <sub>2</sub>	2.049	2.335	112	128	510	-2	2.460
NO <sub>x</sub>	475	541	71	81	830	-4	618
CH <sub>4</sub>	27	31	1.196	1.363	1.780	-8	1.385
NM VOC	27	31	26	30	79	0	60
Staub	47	54	10	11	82	0	65
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	362	25	28	717	-3	388

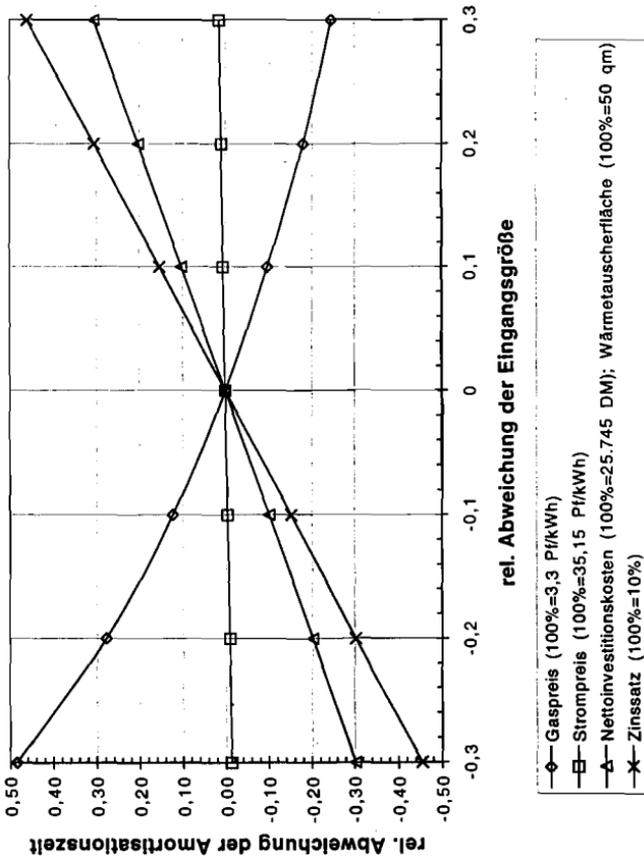


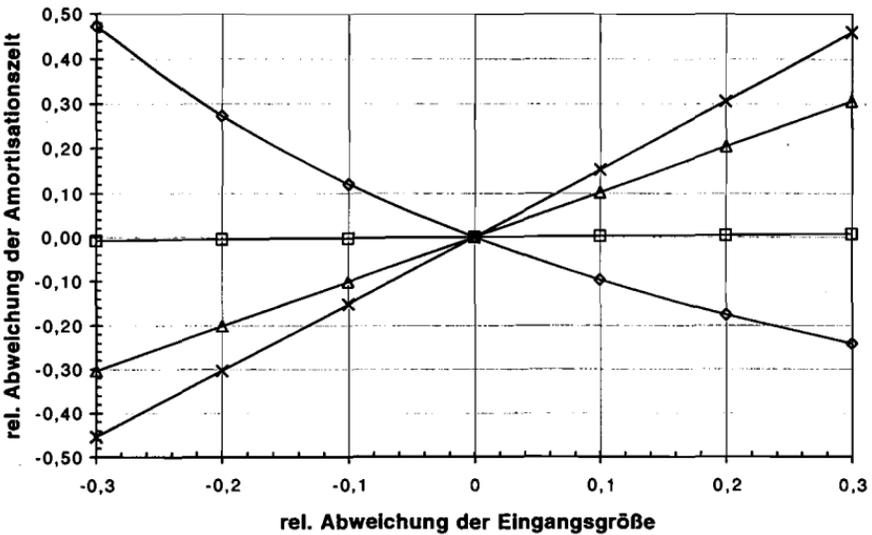
Abbildung C.6: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an den Waschstufen III, IV der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)

**Tabelle C.7: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage“**

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	5.000
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	5.000
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	5.806
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	4
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	50
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	46
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	16
Wärmedurchgangszahl	W/m²K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	197
Austauschfläche	m²	12
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m²	612
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	8.499
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	11.729
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	425
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	397
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	1.130
Endenergieeinsparungen	kWh/a	494.128
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	494.128
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	11.729
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	16.008
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-425
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,78
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,81

Fortsetzung Tabelle C.7: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher am Dämpfer II der Continue-Anlage“

Maßnahme „Wärmetauscher Dämpfer II der Continue-Anlage“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 494.128) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -1.130)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamtprozesses
	mg/kWh	kg/a	Brennstoff		Strom		
			mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	88	31	15	580	-1	103
SO <sub>2</sub>	2.049	1.012	112	55	510	-1	1.067
NO <sub>x</sub>	475	235	71	35	830	-1	269
CH <sub>4</sub>	27	13	1.196	591	1.780	-2	602
NM VOC	27	13	26	13	79	0	26
Staub	47	23	10	5	82	0	28
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	157	25	12	717	-1	169



- ◆ Gaspreis (100%=3,3 Pf/kWh)
- Strompreis (100%=35,15 Pf/kWh)
- ▲ Nettoinvestitionskosten (100%=11.729 DM); Wärmetauscherfläche (100%=12 qm)
- × Zinssatz (100%=10%)

Abbildung C.7: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energiesparmaßnahme: „Wärmetauscher am Dampfer II der Continue-Anlage“ (100 % = 0,8 a)

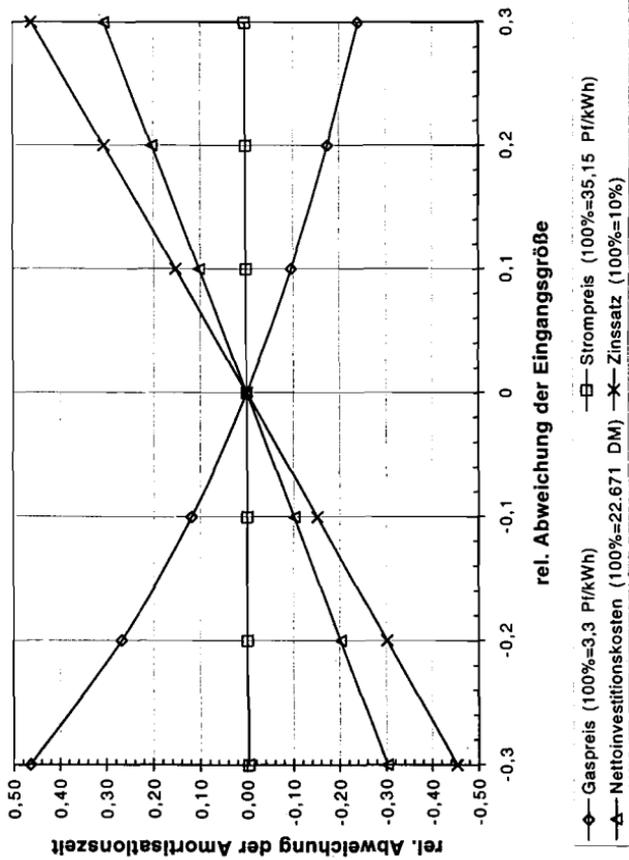
**Tabelle C.8:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage“

Technische Daten			
		WM I	WM II
Volumenstrom des Abwassers	l/h	4.000	4.000
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	4.000	4.000
Wärmekapazität	J/kgK	4.180	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	4.644	4.644
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	5	7
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	40	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	76	98
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	71	91
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	45	19
Wärmedurchgangszahl	W/m²K	4.000	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	144	367
Austauschfläche	m²	7	13
Ökonomische Daten			
		WM I	WM II
spezifische Investitionskosten	DM/m²	666	605
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	5.396	8.915
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	7.447	12.302
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	270	446
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	136	248
spez. Rohrleitungskosten DN 100/Edelstahl	DM/m	56	
Kosten Dämmung	DM/m	10,35	
Investitionskosten Rohrleitung/Dämmung	DM	2.922	
Betriebskosten: 3 % der Investitionen	DM/a	88	
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	388	705
Endenergieeinsparung Warmwasser	kWh/a	191.371	
Endenergieeinsparung Wärmetauscher	kWh/a	211.876	539.942
Endenergieeinsparungen gesamt	kWh/a	943.189	

**Fortsetzung Tabelle C.8:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage“

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	943.189
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	22.671
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	30.930
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-804
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,78
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,78
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,81

Maßnahme „Wärmetauscher Mäander-Waschanlage“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 943.189) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -1.093)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamtprozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	168	31	29	580	-1	196
SO <sub>2</sub>	2.049	1.933	112	106	510	-1	2.038
NO <sub>x</sub>	475	448	71	67	830	-1	514
CH <sub>4</sub>	27	25	1.196	1.128	1.780	-2	1.152
NMVOG	27	25	26	25	79	0	50
Staub	47	44	10	9	82	0	54
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	300	25	24	717	-1	323



**Abbildung C.8:** Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher an der Mäander-Waschanlage“ (100 % = 0,81 a)

**Tabelle C.9:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Wärmetauscher am Mercerisierer“

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	700
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	700
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
Wärmekapazitätsstrom	W/K	813
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	4
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	39
Eingangstemperatur Abwasser	° C	88
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	84
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	43
Wärmedurchgangszahl	W/m²K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	37
Austauschfläche	m²	2
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m²	722
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	1.857
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	2.563
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	93
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	113
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	332
Endenergieeinsparungen	kWh/a	140.847
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	140.847
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	2.563
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	4.563
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-93
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,59
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,59
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	0,59
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	0,61

**Fortsetzung Tabelle C.9: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme  
„Wärmetauscher am Mercerisierer“**

Maßnahme „Wärmetauscher Mercerisierer“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 140.847) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -322)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamt- prozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	25	31	4	580	0	29
SO <sub>2</sub>	2.049	289	112	16	510	0	304
NO <sub>x</sub>	475	67	71	10	830	0	77
CH <sub>4</sub>	27	4	1.196	168	1.780	-1	172
NMVOC	27	4	26	4	79	0	7
Staub	47	7	10	1	82	0	8
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	45	25	4	717	0	48

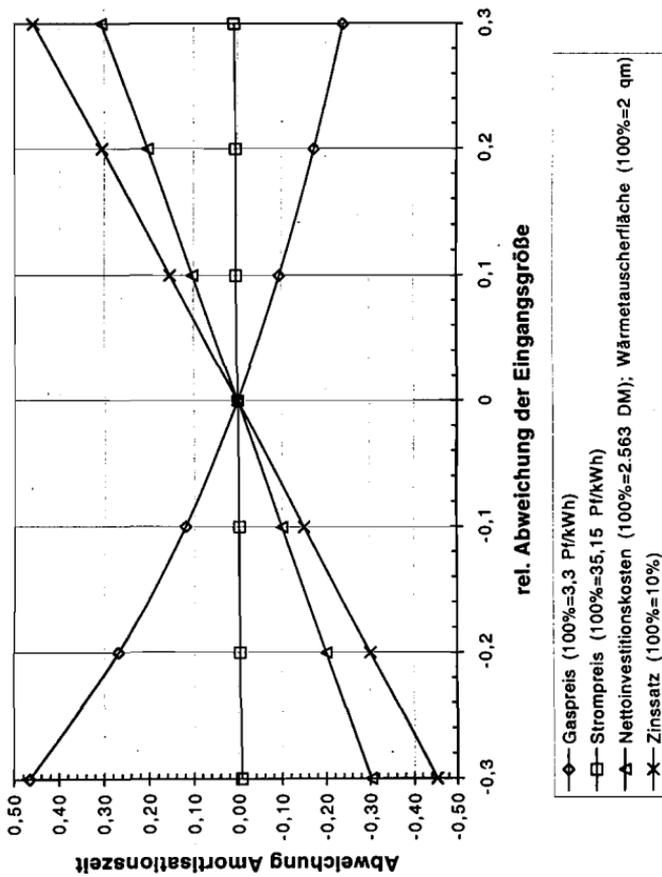


Abbildung C.9: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Wärmetauscher am Mercersiererer“ (100 % = 0,61 a)

**Tabelle C.10:** Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher“

Technische Daten		
Volumenstrom des Abwassers	l/h	100.000
Volumenstrom des Frischwassers	l/h	100.000
Wärmekapazität	J/kgK	4.180
kostenoptimale minimale Temperaturdifferenz	K	9
Eingangstemperatur Frischwasser	° C	12
Eingangstemperatur Abwasser	° C	80
Temperatur nach Wärmetauscher Frischwasser	° C	71
Temperatur nach Wärmetauscher Abwasser	° C	21
Wärmedurchgangszahl	W/m <sup>2</sup> K	4.000
Wärmeübertragungsleistung	kW	6.851
Austauschfläche	m <sup>2</sup>	190
Auslastung	h/a	182
Energieaufwand für Druckverluste	kWh/a	1.874
Energieeinsparungen		
Mercerisierer	kWh/a	907.684
Garnfärberei	kWh/a	2.573.386
Wärmeverluste	kWh/a	15.077
bisherige Wärmerückgewinnung	kWh/a	1.763.892
Endenergieeinsparung gesamt	kWh/a	1.702.101
Strombedarf Pumpen	kWh/a	10.111
Ökonomische Daten		
spezifische Investitionskosten	DM/m <sup>2</sup>	252
Investitionskosten incl. 12,5 % für Nebenaggregate	DM	54.016
Investitionskosten incl. 20 % Montage und 15 % MWST	DM	74.541
Betriebskosten: 5 % der Investitionskosten	DM/a	2.701
Betriebskosten: Energiekosten für Pumpenbetrieb	DM/a	659
Rohrleitungen		
spezifische Kosten Rohrleitung	DM/m	56
spezifische Kosten Dämmung	DM/m	10,35
Investitionskosten	DM	6.059
Betriebskosten: 3 % der Investitionen	DM/a	182
Pumpe		
Investitionskosten	DM	4.000
Betriebskosten: 2 % der Investitionen	DM/a	80
Kosten für Pumpenstrom	DM/a	2.895
Gesamtkosten		
Investitionen	DM	84.600
Wartungskosten	DM/a	2.963
Energiekosten	DM/a	3.554

**Fortsetzung Tabelle C.10: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher“**

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	1.702.101
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	84.600
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	52.956
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-2.963
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,83
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,79
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,83
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,89

Maßnahme „Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 1.702.101) (jährlicher Energieminderverbrauch (Strom) [kWh/a]: -10.111)							
Schadstoff	Emissionsminderung						
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse				des Gesamtprozesses
			Brennstoff		Strom		
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	kg/a
CO	178	303	31	53	580	-6	350
SO <sub>2</sub>	2.049	3.488	112	191	510	-5	3.673
NO <sub>x</sub>	475	808	71	121	830	-8	921
CH <sub>4</sub>	27	46	1.196	2.036	1.780	-18	2.064
NM VOC	27	46	26	44	79	-1	89
Staub	47	80	10	17	82	-1	96
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	t/a
CO <sub>2</sub>	318	541	25	43	717	-7	577

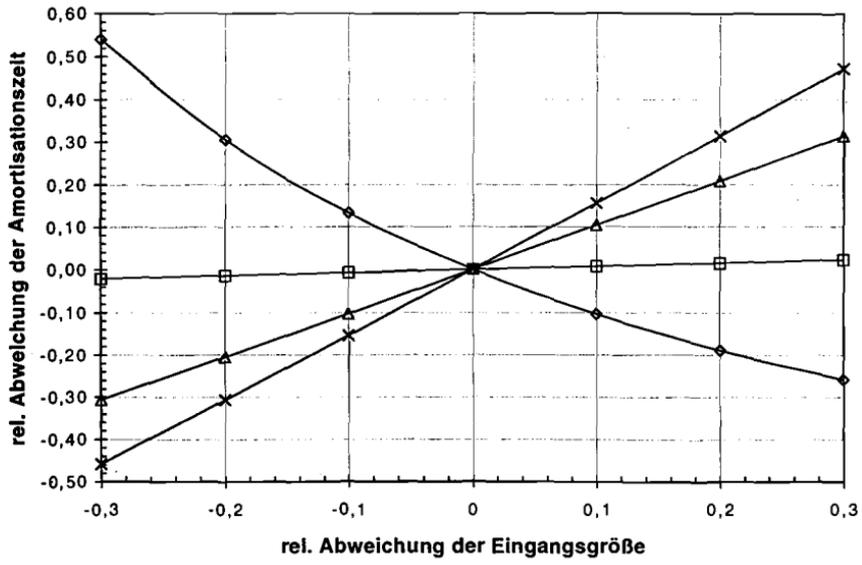


Abbildung C.10: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieersparnismaßnahme: „Speicherkonzept mit großem Wärmetauscher“ (100 % = 1,90 a)

**Tabelle C.11: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“**

Rohrleitungen		
spezifische Kosten der Rohrleitungen	DM/m	56
spezifische Kosten der Dämmung	DM/m	10,35
Investitionskosten für 30 m gedämmte Rohrleitung	DM	1.991
Betriebskosten: 3 % der Investitionskosten	DM/a	60
Energieeinsparungen		
Deckung des Warmwasserbedarfs der Jigger	kWh/a	41.646
Wärmeverluste	kWh/a	273
Gesamt	kWh/a	41.373
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		
Endenergieeinsparung	kWh/a	41.373
Endenergiepreis	Pf/kWh	3,32
Investitionskosten	DM	1.991
Förderanteile Bund/Land/Kommune	DM	0
Kosteneinsparung durch Minderenergieverbrauch	DM/a	1.374
zusätzliche Einsparungen	DM/a	0
Betriebskostensparnis (Wartung, Reparatur etc.)	DM/a	-60
Eigenfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	3,92
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,64
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,59
Fremdfinanzierung		
Zinssatz bereinigt nach Glg. 3.3	%	7,84
Amortisationszeit statisch nach Glg. 3.1	a	1,64
Amortisationszeit dynamisch nach Glg. 3.2	a	1,68

**Fortsetzung Tabelle C.11: Daten- und Berechnungsunterlagen zur Maßnahme „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“**  
 „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“

Maßnahme „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“ (jährlicher Energieminderverbrauch (Kohle + Heizöl S) [kWh/a]: 41.373)						
Schadstoff	Emissionsminderung					
	beim Verbraucher		vorgelagerter Prozesse		des Gesamtprozesses	
	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a	mg/kWh	kg/a
CO	178	7	31	1	209	9
SO <sub>2</sub>	2.049	85	112	5	2.161	89
NO <sub>x</sub>	475	20	71	3	546	23
CH <sub>4</sub>	27	1	1.196	49	1.223	51
NMVOG	27	1	26	1	53	2
Staub	47	2	10	0	57	2
	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a	g/kWh	t/a
CO <sub>2</sub>	318	13	25	1	343	14

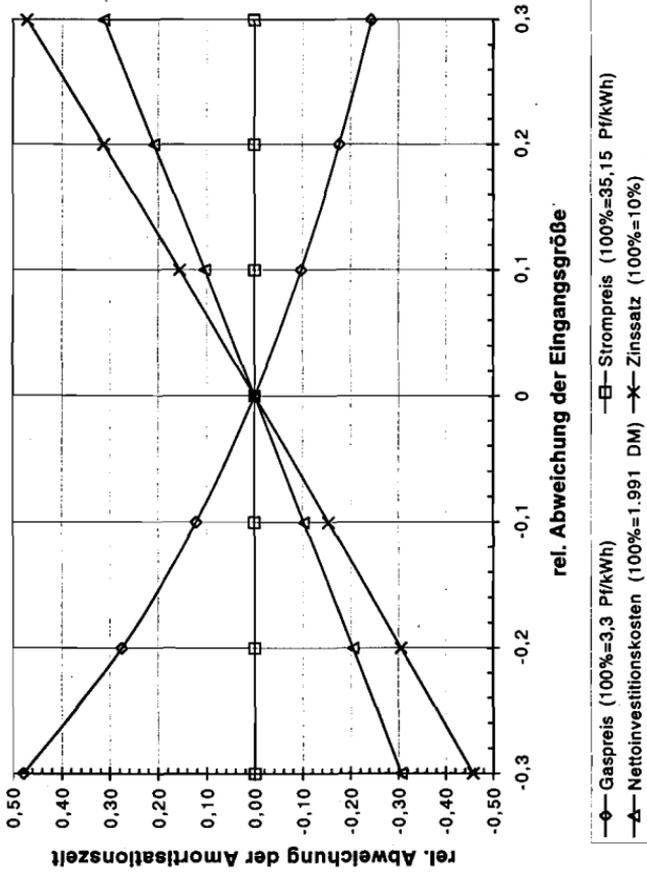


Abbildung C.11: Sensitivitätsanalyse zur Abweichung der errechneten Amortisationszeit bei der Energieeinsparmaßnahme: „Einbindung der Jigger in das Speicherkonzept“ (100 % = 1,68 a)

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

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

---

**Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen**

---

- 17 Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbtechnischen Versuchskläranlage  
– 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<br>Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für<br>die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S.              | 28,00 DM |
| 32 | Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz<br>Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von<br>Herrn Abteilungsleiter Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S.             | 20,00 DM |
| 33 | Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/<br>Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr –<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S.   | 30,00 DM |
| 34 | Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten<br>Entwicklungen und Erkenntnisse<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S.   | 18,00 DM |
| 35 | Physikalisch-chemische und biologische Auswirkungen bei der Verwendung<br>von Waschbergen in Schifffahrtskanälen<br>Untersuchungsbericht des Arbeitskreises „Waschberge im Wasserbau“<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 154 S.                   | 25,00 DM |
| 36 | Anforderungen an sachverständige Stellen für die Bekanntgabe und die<br>Zulassung im Bereich des Immissionsschutzes<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 132 S.   | 25,00 DM |
| 37 | Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für<br>ausgewählte Abfallarten<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 275 S.   | 30,00 DM |
| 38 | Zivile Anschlußnutzung von Militärstandorten<br>– Risikofaktor Altlasten/Bodenbelastung – Tagungsband<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 168 S.   | 25,00 DM |
| 39 | Flächenhafter Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser<br>– Abschlußbericht, Dezember 1994<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 217 S.  | 30,00 DM |
| 40 | Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen<br>Teil I: Oberirdische Gewässer<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 40 S.  | 15,00 DM |
| 41 | Brand- und Zersetzungsprodukte<br>Abschlußbericht des Projekts „Integration von Daten zu Brand- und<br>Zersetzungsprodukten in das Informationssystem für gefährliche/<br>umweltrelevante Stoffe (IGS)“<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 134 S. | 25,00 DM |
| 42 | Kreislaufwirtschaft und Abfallverwertung in thermischen Prozessen<br>9. Aachener Kolloquium am 5. Dezember 1996 – Tagungsband –<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1997, 156 S.   | 25,00 DM |
| 43 | Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans<br>in Europe (The European Dioxin Inventory) – Final Report –<br>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
51	Konzept zur Optimierung der Energieversorgung bei einem Unternehmen der Textilverarbeitung Abschlußbericht des Forschungsvorhabens des Lehrstuhls für Nukleare und Neue Energiesysteme (NES) der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag des Landesumweltamtes Essen: Landesumweltamt NRW 1998, 182 S.	30,00 DM

---

**Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen**

---