



**Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung  
- Großbäckerei -**



November 2000

**Auftraggeber:** Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg

**Auftragnehmer:** ZREU  
Zentrum für rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH  
Wieshuberstraße 3  
93059 Regensburg

in Zusammenarbeit mit  
Technische Universität München  
Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der Lebensmittel-  
industrie  
Weihenstephaner Steig 22  
85350 Freising

**Kooperation mit:** MÜLLER-BROT Neufahrn GmbH & Co. KG  
Ludwig-Erhard-Str. 2-6  
85375 Neufahrn

**Bearbeitungszeitraum:** Dezember 1999 bis November 2000

© Deckblattfoto: MÜLLER-BROT Neufahrn GmbH & Co. KG

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
86177 Augsburg

Das Amt gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für  
Landesentwicklung und Umweltfragen

## Vorwort

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Rahmen der internationalen Klimaschutzbemühungen verpflichtet, die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der Basis von 1990 um 25 % bis zum Jahr 2005 zu senken. Die deutsche Industrie hat sich mit ihrer aktualisierten und erweiterten Selbstverpflichtungserklärung im November 2000 bereit erklärt, die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. den spezifischen Energieverbrauch bis 2005 auf der Basis von 1990 um 28 % und für alle im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, HFKW, FKW) auf der Basis von 1990 bis 2012 um 35 % zu senken.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hat zur Unterstützung der Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Industrie ein Projekt zur „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ initiiert, das aus Mitteln des Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziert wird. Ziel des Projektes ist die mit dem rationellen Energieeinsatz verbundene Senkung der Treibhausgasemissionen, insbesondere des Kohlendioxidaustrittes (CO<sub>2</sub>). Gerade im Hinblick auf die Ökosteuer und die in letzter Zeit deutlich gestiegenen Energiekosten für Öl und Gas hat die Industrie derzeit ein gesteigertes Interesse an Energieeinsparpotenzialen und damit an Energiekostensenkungspotenzialen.

Mit Ausnahme einzelner Betriebe aus dem Ernährungsgewerbe, die bereits ein Öko-Audit durchgeführt bzw. ein Umweltmanagementsystem nach DIN ISO 14001 eingeführt haben, sind die möglichen Energieeinsparpotentiale noch nicht ausgeschöpft. Die Gründe hierfür liegen häufig am Informationsdefizit bezüglich rationellem Energieeinsatz bei der Produktion und im Unternehmen und den damit verbunden Kostensenkungspotenzialen.

In der vorliegenden Studie werden am Beispiel einer Großbäckerei Energieeinsparpotenziale aufgezeigt und branchenspezifische Energiekennzahlen angegeben, mit denen die gesamte Branche ihren spezifischen Energieeinsatz für die Produktion bewerten kann. Auf der Basis einer detaillierten Energieanalyse wurden bei dem Kooperationspartner Energieeinsparpotenziale abgeschätzt, Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes erarbeitet und deren gesamtwirtschaftliche Auswirkungen anhand einer ausführlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beurteilt.

Der große Energieverbrauch bei der Produktion von Backwaren und Tiefkühlbackwaren in Großbäckereien ist aus verfahrenstechnischen Gründen v.a. auf den großen Kühl- bzw. Wärmebedarf bei den einzelnen Produktionsschritten zurückzuführen. Die vorliegende Arbeit vermittelt insbesondere im Bereich Wärmerückgewinnung aus einzelnen Produktionsanlagen Erkenntnisse, die sich auf Betriebe der gesamten Branche übertragen lassen.

Wenn es gelingt, mit Hilfe dieser Arbeit Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in Großbäckereien zu ermitteln und andere Betriebe zur Umsetzung zu motivieren, kann dies als Beispiel dafür gelten, dass Ökologie und Ökonomie sich keinesfalls widersprechen müssen, sondern oftmals gleichzeitig verwirklichen lassen.

Augsburg, im November 2000

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1	AUSGANGSLAGE.....	1
1.2	AUFGABENSTELLUNG.....	1
1.3	VORGEHENSWEISE.....	2
<b>2</b>	<b>BESCHREIBUNG DES MUSTERBETRIEBS</b> .....	<b>4</b>
2.1	PRODUKTIONSVERFAHREN UND PRODUKTE.....	4
2.1.1	<i>Rohstoffanlieferung und –aufbereitung</i> .....	5
2.1.2	<i>Teigbereitung</i> .....	5
2.1.3	<i>Teigverarbeitung</i> .....	7
2.1.4	<i>Verpackung und Versand</i> .....	8
2.2	ROHSTOFFEINSATZ UND PRODUKTIONSMENGEN.....	8
<b>3</b>	<b>BESTANDSAUFNAHME UND ANALYSEN</b> .....	<b>9</b>
3.1	ENERGIETRÄGER ZUR ENERGIEVERSORGUNG DES BETRIEBES.....	9
3.1.1	<i>Fernwärme</i> .....	10
3.1.2	<i>Erdgas</i> .....	11
3.1.3	<i>Strom</i> .....	13
3.1.4	<i>Flüssigstickstoff</i> .....	14
3.2	ENERGIEERZEUGUNG UND -VERTEILUNG.....	15
3.2.1	<i>Wärme</i> .....	15
3.2.2	<i>Druckluft</i> .....	18
3.2.3	<i>Kälte</i> .....	18
3.2.4	<i>Energiebilanz des Gesamtbetriebes</i> .....	19
3.3	ENERGIEEINSATZ IN DER PRODUKTION.....	22
3.3.1	<i>Rohstoffaufbereitung</i> .....	22
3.3.2	<i>Produktionslinien</i> .....	22
3.3.3	<i>Produktspezifische Energieverbrauchsdaten – Zusammenfassung</i> .....	42
3.4	CO <sub>2</sub> -BILANZ.....	45
<b>4</b>	<b>STAND DER TECHNIK – ENERGIEVERBRAUCH UND ENERGIESPARMAßNAHMEN IN BÄCKEREIEN</b> .....	<b>46</b>
4.1	ROHSTOFFAUFBEREITUNG.....	46
4.2	GARE .....	46
4.3	BACKEN.....	46
4.4	KÜHLEN UND TIEFKÜHLEN.....	47
4.5	BIOGAS- UND STROMERZEUGUNG.....	48
<b>5</b>	<b>MAßNAHMEN ZUR ENERGIEEINSPARUNG</b> .....	<b>49</b>
5.1	BAULICHE MAßNAHMEN.....	49
5.2	ANLAGENTECHNISCHE MAßNAHMEN .....	50
5.2.1	<i>Installation von Verbrauchszählern</i> .....	50
5.2.2	<i>Anlagentechnische Optimierung der Energiezentrale</i> .....	50
5.2.3	<i>Optimierung der Kälteanlagen</i> .....	50
5.2.4	<i>Wärmerückgewinnung</i> .....	51
5.2.5	<i>Nutzung der Restkälte aus Stickstoffabluft (Froster)</i> .....	55
5.2.6	<i>Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft</i> .....	55
5.2.7	<i>Einsatz eines Blockheizkraftwerkes</i> .....	55
5.3	ORGANISATORISCHE MAßNAHMEN.....	55
5.3.1	<i>Optimale Einstellung der Ofenbrenner</i> .....	55
5.3.2	<i>Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen</i> .....	56
5.3.3	<i>Optimierung der Kältenutzung</i> .....	56
5.3.4	<i>Wartung des Druckluft- und Dampfnetzes</i> .....	56

<b>6</b>	<b>BEWERTUNG DER MAßNAHMEN.....</b>	<b>57</b>
6.1	TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG.....	57
6.1.1	Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen .....	58
6.1.2	Installation von Verbrauchszählern.....	58
6.1.3	Anlagentechnische Optimierung der Energiezentrale.....	59
6.1.4	Optimierung der Kälteanlagen.....	60
6.1.5	Wärmerückgewinnung.....	60
6.1.6	Nutzung der Restkälte aus Stickstoffabluft (Froster).....	61
6.1.7	Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft.....	62
6.1.8	Einsatz eines Blockheizkraftwerkes.....	62
6.2	ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG.....	65
6.3	MAßNAHMENKATALOG.....	66
<b>7</b>	<b>KENNZIFFERN .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>UMWELTMANAGEMENT – EIN VORSORGEORIENTIERTES UMWELTINSTRUMENT.....</b>	<b>70</b>
8.1	EINFÜHRUNG EINES UMWELTMANAGEMENTSYSTEMS NACH DER EU-ÖKO-AUDIT-VERORDNUNG (EMAS).....	71
8.1.1	Umweltpolitik.....	71
8.1.2	Umweltprüfung .....	72
8.1.3	Umweltprogramm.....	72
8.1.4	Aufbau des Umweltmanagementsystems .....	72
8.1.5	Umweltbetriebsprüfung (Internes Audit).....	76
8.1.6	Umwelterklärung.....	76
8.1.7	Validierung.....	76
8.2	REVISION DER EU-ÖKO-AUDIT-VERORDNUNG (EMAS II).....	77
8.3	ABSCHÄTZUNG DER UNTERNEHMENSPEZIFISCHEN VORTEILE EINES UMWELTMANAGEMENTSYSTEMS.....	78
<b>9</b>	<b>EINFÜHRUNG EINES ENERGIEMANAGEMENTS ALS BAUSTEIN DES UMWELTMANAGEMENTS .....</b>	<b>81</b>
9.1	ENERGIEMANAGEMENTSYSTEME.....	82
9.2	ENERGIEDATENERFASSUNG .....	84
9.3	AUFZEICHNUNG DER ENERGIEVERBRAUCHSDATEN.....	85
9.4	ENERGIEDATENAUSWERTUNG, ÜBERWACHUNG, REGELUNG UND STEUERUNG - SOFTWARE.....	85
9.5	EMPFEHLUNG.....	86
<b>10</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>87</b>
<b>11</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>92</b>

# 1 Aufgabenstellung

## 1.1 Ausgangslage

Der rationelle Energieeinsatz, die Ermittlung von Energieeinsparpotentialen und damit die Möglichkeit zur Minderung klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen gewinnen insbesondere vor dem Hintergrund Klimaschutzpolitischer Zielsetzungen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zunehmend an Bedeutung. Angesichts des wachsenden Umweltbewußtseins in der Bevölkerung verschafft sich ein umweltbewußt und energiesparend geführter Betrieb neben möglichen Kosteneinsparungen auch ein gutes Image und damit einen Wettbewerbsvorteil [1]. Oftmals sind bereits durch geringe investive und organisatorische Maßnahmen Energieeinsparungen zu erzielen.

Um den rationellen Energieeinsatz in der Industrie zu unterstützen, führt das Landesamt für Umweltschutz (LfU) ein Projekt zur „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ in verschiedenen Branchen durch. Ein Schwerpunkt des Vorhabens liegt in der Lebensmittelindustrie.

Die Energiekosten in Bäckereien betragen laut Angaben des statistischen Bundesamtes (1994) durchschnittlich etwa 2,9 % der Produktionskosten [2]. Dabei entfallen 60 – 65 % des Energiebedarfs auf den Betrieb der Backöfen. Die zunehmende Automatisierung in Bäckereien und neue Vermarktungskonzepte mit einem steigenden Anteil an Tiefkühlwaren haben einen Anstieg des Strombedarfes zur Folge. Der Stromverbrauch in der Backwarenindustrie betrug im Jahr 1999 insgesamt 1,4 Mio. MWh, das sind rund 11 % des Stromverbrauchs des Ernährungsgewerbes.

## 1.2 Aufgabenstellung

Ziel der Studie ist es, dem untersuchten Betrieb Potentiale für den rationellen Energieeinsatz und damit CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale aufzuzeigen und darauf aufbauend branchenspezifische Umwelt- und Energiekennzahlen abzuleiten, die auf die gesamte Branche übertragbar sind, bzw. bei Querschnittstechnologien auch branchenübergreifend eingesetzt werden können.

Die Ergebnisse der Untersuchung sollen eine Übersicht über den spezifischen Energieverbrauch des Betriebes und zur Herstellung ausgewählter Produkte liefern, Lösungsansätze zur Energieeinsparung aufzeigen und die Durchführung von Energiesparmaßnahmen unterstützen.

Gleichzeitig sollen die ermittelten Kennzahlen der Bäckereibranche insgesamt eine Einordnung einzelner Betriebe hinsichtlich des Energieverbrauchs auf Basis von Kennwerten ermöglichen und eine Übersicht über mögliche anlagen- und branchenspezifische CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale geben

### 1.3 Vorgehensweise

Die Arbeitsschritte der Untersuchung sind in Abbildung 1 dargestellt.

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurde eine Energie- und Emissionsbilanz des Ist-Zustands erstellt. Sie umfaßt die Energieträgerstruktur für die Erzeugung von Dampf, Wärme und Kälte, die Ermittlung von Wirkungsgraden sowie die Bilanzierung ausgewählter Prozessketten. Dazu wurden:

- Begehungen vor Ort durchgeführt
- vorhandene Daten des Betriebes zum Energieverbrauch ausgewertet
- ergänzende Messungen an Produktionslinien und Hauptverbrauchern durchgeführt.

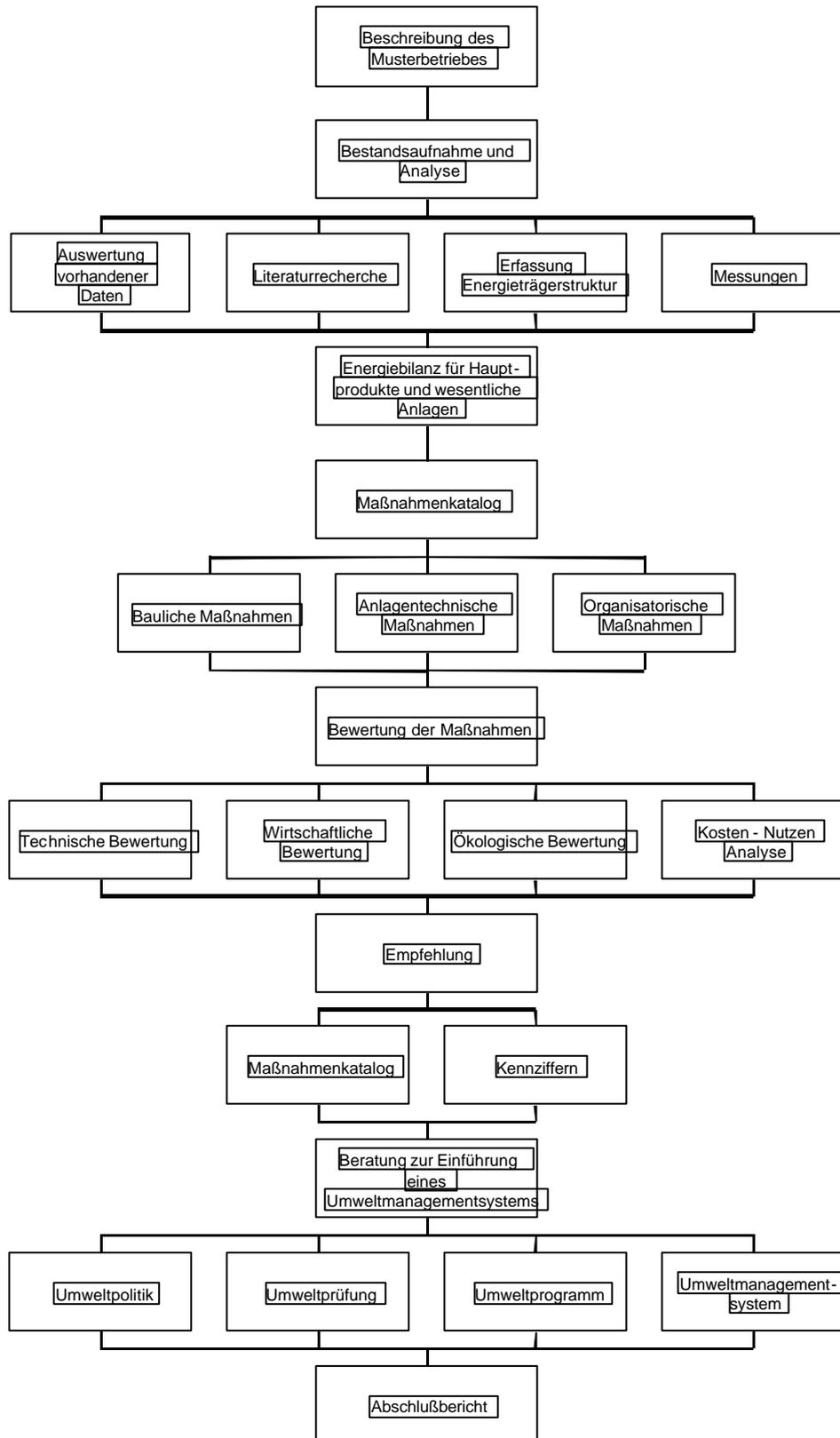
Die Messungen wurden von der Technischen Universität München-Weihenstephan, Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie, durchgeführt. Die einzelnen Messungen an den Produktionsanlagen wurden als Momentaufnahme der jeweiligen Maschinenzustände in Form eines Abnahmeversuches im laufenden Betrieb durchgeführt. Die Meßwerte wurden über einen Zeitraum von mindestens zwei Stunden im normalen Produktionsablauf erfaßt und gemittelt. Mit den erhaltenen Daten wurden die Energieverbräuche für die einzelnen Anlagen errechnet. Die energietechnische Untersuchungen wurden beispielhaft für die Herstellung von Mischbrot, Brötchen, Toastbrot, Fettbackenem und Feingebäck durchgeführt.

In der zweiten Projektphase wurden basierend auf der Bestandsaufnahme mögliche Maßnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz und zur Reduzierung der relevanten Emissionen erarbeitet. Die Auswirkungen der Maßnahmen auf den zu erwartenden Energieverbrauch und die zu erwartenden Emissionen wurden rechnerisch ermittelt und dargestellt.

Darauf aufbauend wurden die identifizierten Maßnahmen technisch, wirtschaftlich und ökologisch bewertet und eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellt. Die Ergebnisse gingen in einen Maßnahmenkatalog ein, der die aus wirtschaftlicher, technischer und ökologischer Sicht empfehlenswerte Maßnahmen beinhaltet. Zur Bewertung des Energieeinsatzes in der Produktion wurden produktbezogene Kennziffern gebildet, die eine Abschätzung von Energieeinsparpotentialen branchenbezogen bzw. bei Querschnittstechnologien branchenübergreifend ermöglichen.

Die Energieanalyse und die Erarbeitung von Einspar- und Verbesserungspotentialen sind wichtige Bausteine bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems. Aufbauend auf den Projektergebnissen wurde die Bäckerei abschließend über die Einführung eines Umweltmanagementsystems nach der EU-Öko-Audit-Verordnung beraten.

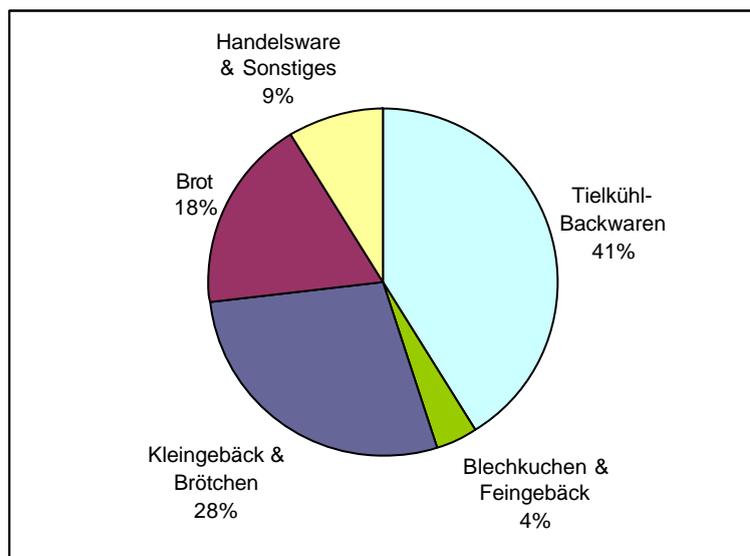
Abbildung 1: Arbeitsablaufdiagramm



## 2 Beschreibung des Musterbetriebs

Die Großbäckerei beschäftigt insgesamt rund 2.800 Mitarbeiter. Die Produktpalette beinhaltet ca. 400 verschiedene Artikel. Neben den eigenen Filialen werden außerdem rund 5.500 Wiederverkaufskunden mit Backwaren beliefert. Abbildung 2 zeigt den Anteil der einzelnen Produktgruppen an der insgesamt umgesetzten Stückmenge.

Abbildung 2: Anteil der einzelnen Produktgruppen an der umgesetzten Stückmenge



Der Anteil der Tiefkühl-Backwaren (TK-Backwaren) an der umgesetzten Stückmenge des Betriebs hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen.

### 2.1 Produktionsverfahren und Produkte

Die Produktionslinien sind in zwei Gebäudeebenen untergebracht. Im Erdgeschoß sind die Produktionslinien für die Feinbäckerei und der Versand während im ersten Obergeschoß Brot, Brötchen und Brezen hergestellt werden. Gebacken wird in drei Schichten.

Die Produktpalette beinhaltet diverse Misch- und Vollkornbrote, Toastbrot, Brötchen, Brezen sowie Konditoreiware und Blechkuchen. Es werden sowohl Frisch- als auch Tiefkühlprodukte (TK-Produkte) hergestellt. Den Arbeitsablauf in der Bäckerei zeigt Abbildung 4.

## 2.1.1 Rohstoffanlieferung und –aufbereitung

Die Mehlanlieferung erfolgt ein- bis zweimal täglich. Die Bäckerei verarbeitet acht verschiedene Mehlsorten. Das Mehl wird in Lagersilos mit einem Fassungsvermögen von 50 t gelagert. Eine Zwischenlagerung der gesiebten Mehle vor der Verarbeitung erfolgt in Silos mit einer Kapazität von 5 – 10 t Mehl. Die Mehlmischungen werden in einem pneumatischen Mischer vorbereitet.

Die Hefe wird als Sackware in Form von Preßhefe angeliefert. Die Hefe wird im Betrieb konditioniert, d.h. mit Wasser angerührt, und in flüssiger Form je nach Rezeptur beigemischt. Salz wird ebenfalls mit Wasser angerührt und als Salzwasser den Teigen zudosiert.

Zucker wird ebenfalls lose angeliefert und in einem Silo gelagert. Die Zuckerdosierung in der Feinbäckerei erfolgt über ein automatisches Dosiersystem. Weitere Gewürze und Zutaten werden manuell abgewogen und zudosiert.

## 2.1.2 Teigbereitung

Die Teigbereitung erfolgt in mobilen Teigkesseln (Knetmaschinen oder Rührkessel) mit einem Fassungsvermögen von 80 kg, 150 kg bzw. 250 kg Mehl. In einigen Produktionsanlagen ist die Knetmaschine in die Anlage integriert. Abbildung 3 stellt die Rohstoffzuführung zu den Teigkesseln schematisch dar.

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Rohstoffzuführung

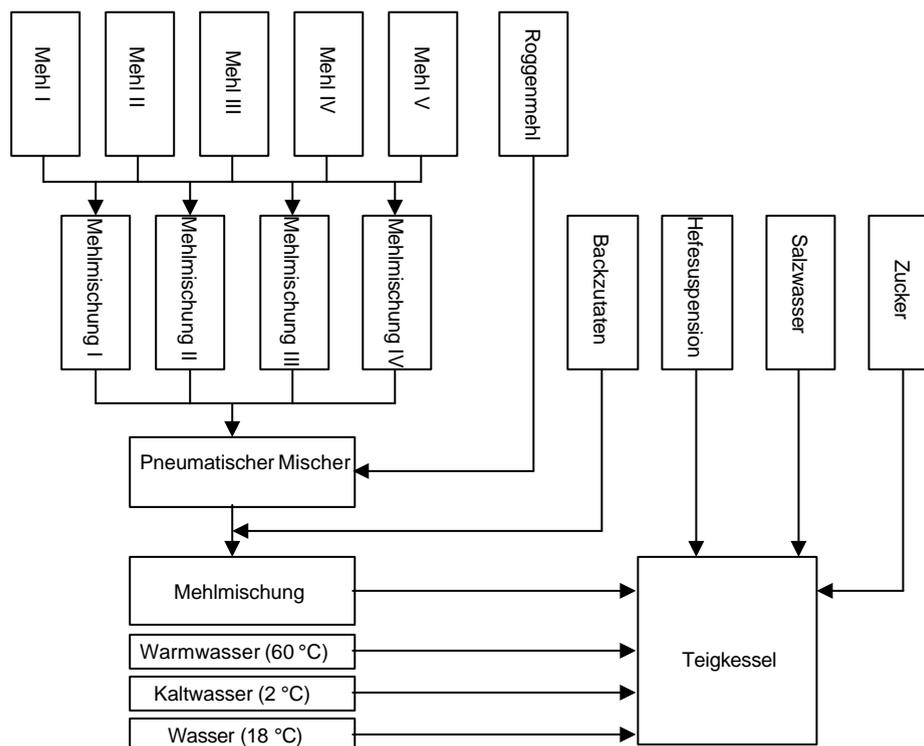
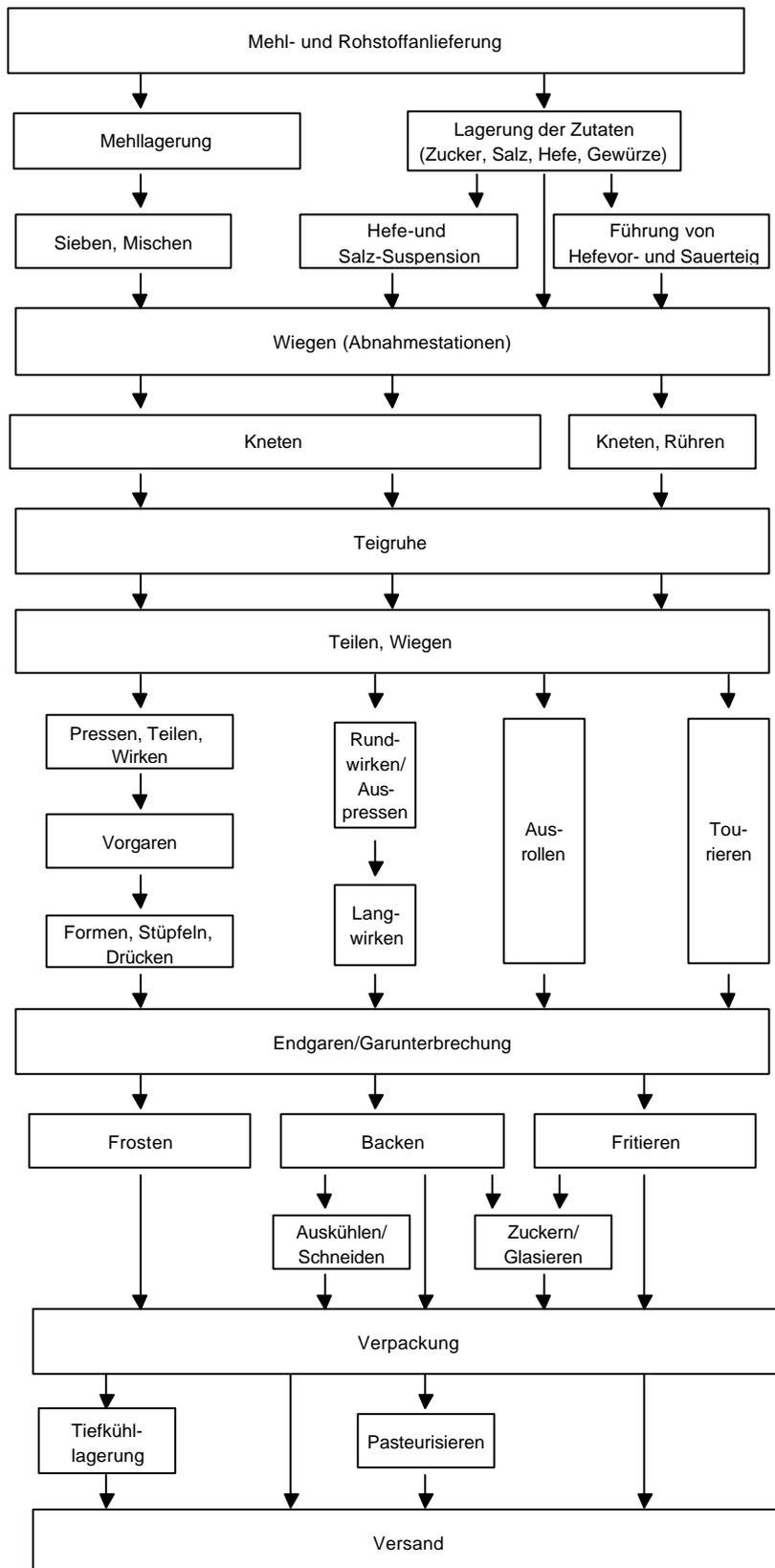


Abbildung 4: Arbeitsablauf in der Bäckerei



### 2.1.3 Teigverarbeitung

Die Verarbeitung des Teiges erfolgt in 16 Produktionslinien. Die Teige werden zunächst portioniert und geformt. Teiglinge, die eine Gare benötigen, durchlaufen je nach Produktionslinie einen Garschrank oder werden in einen Garraum geschoben. Es werden sowohl Garräume als auch Gärunterbrecher eingesetzt.

Die weitere Verarbeitung der Teiglinge erfolgt je nach Produkt in Öfen, im Froster oder einer Backpfanne (Friteuse).

Zum Backen werden Netzbandöfen bzw. Stikkenbacköfen (Backschränke) eingesetzt. Die Bäckerei besitzt 10 Ofenlinien und 28 Stikkenöfen. Die Backfläche beträgt insgesamt rund 1.400 m<sup>2</sup> (Tabelle 1).

Das aus den Öfen auslaufende gebackene Brot wird über eine Förderbandstrecke oder auf Hordenwagen abgekühlt.

Tiefkühlprodukte werden überwiegend mit flüssigem Stickstoff bei Temperaturen um -85 °C schockgefrostet. Einige Produkte werden in Tiefkühlräumen gefroren.

Tabelle 1: Produktionslinien und Leistungen

Produktionslinie	Produkt	Backfläche in [m <sup>2</sup> ]
1	Brot	134,25
2	Brot	137,25
3	Brot	124,20
4	Toast	86,25
5	Brot	65,00
6	Brot	98,13
7	Brot	103,50
8	Brezen	81,75
9	Brötchen	Stikkenöfen
10	Brötchen	Stikkenöfen
11	Brötchen	Stikkenöfen
12	Brötchen	Stikkenöfen
13	Brötchen	Stikkenöfen
14	Brötchen	267,00
15	Feingebäck	60,00
16	Brezen	-

## 2.1.4 Verpackung und Versand

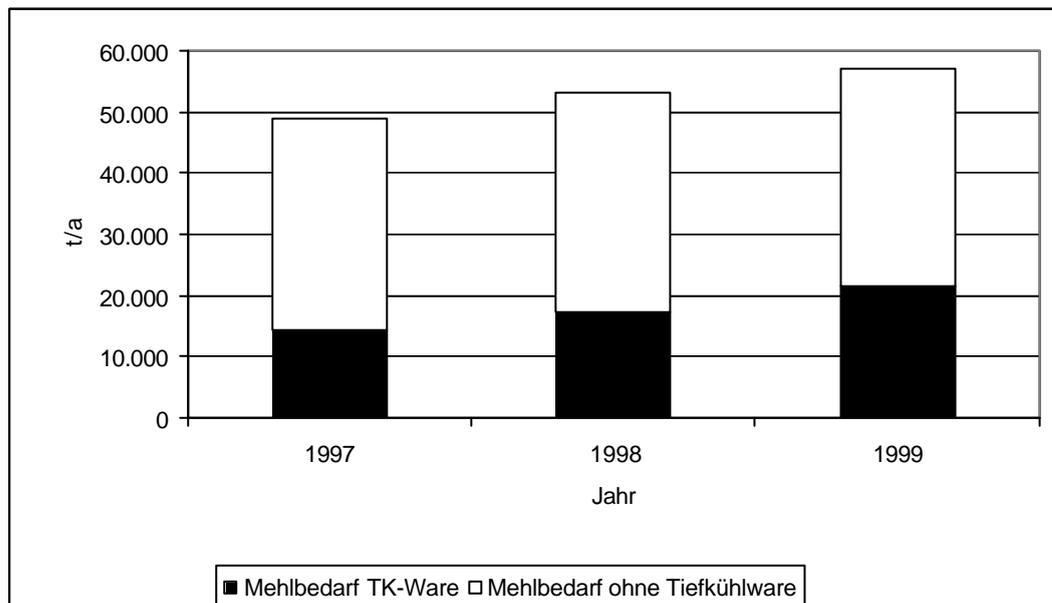
Brote werden zum Teil in Kunststoffkisten (Karees) ausgeliefert und zum Teil verpackt. Geschnittene Brote werden verpackt und anschließend je nach Produkt pasteurisiert. Brötchen werden ebenfalls vor dem Versand verpackt.

Die im Stickstofffroster schockgefrostete Tiefkühlware wird verpackt, in einem Lagerfroster auf  $-18\text{ °C}$  nachgekühlt und im Tiefkühlager bis zum Versand gelagert.

## 2.2 Rohstoffeinsatz und Produktionsmengen

Der durchschnittliche Mehlerverbrauch pro Tag beträgt rund 200 t. 1999 betrug der Mehlerverbrauch insgesamt 56.900 t. 38 % des Mehles werden für die Produktion von Tiefkühlware eingesetzt.

Abbildung 5: Mehlerverbrauch



Der Backwarenausstoß der Bäckerei beträgt durchschnittlich 370 t/d.

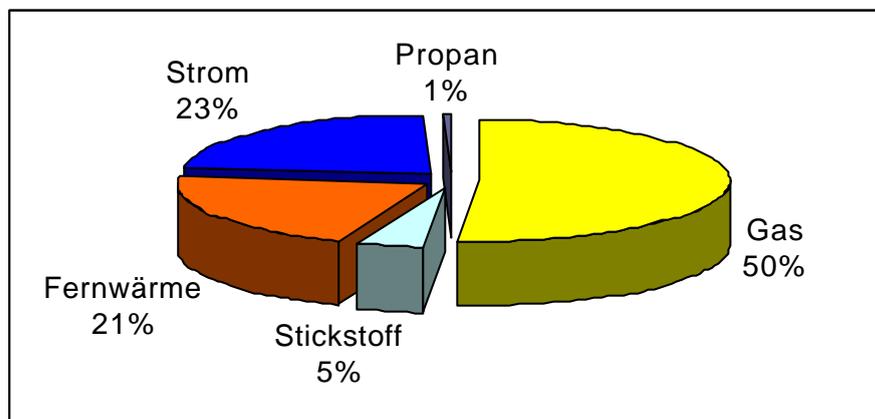
### 3 Bestandsaufnahme und Analysen

#### 3.1 Energieträger zur Energieversorgung des Betriebes

Die untersuchte Bäckerei bezieht Strom, Erdgas und Fernwärme als Energieträger für die Produktion. Die Gabelstapler zum Transport der Backwaren werden mit Propan betrieben. Zum Frostern von Gebäck wird Flüssigstickstoff verwendet.

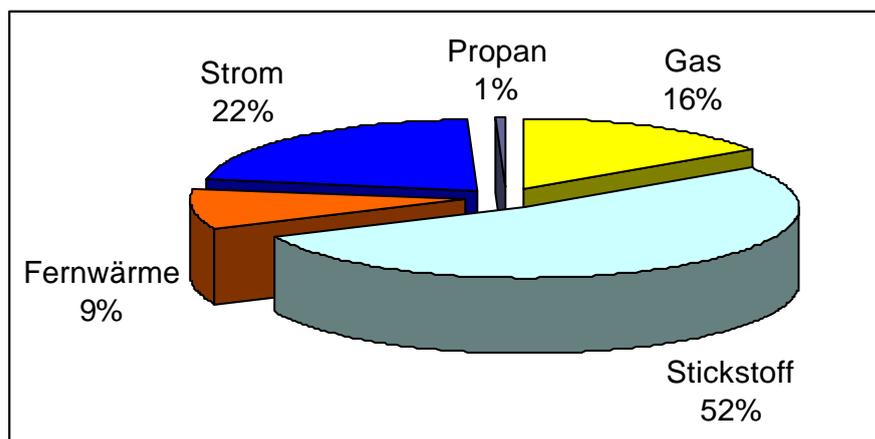
Der spezifische Energieverbrauch beträgt rund 1,1 MWh/t Mehl. Der Energieverbrauch wird zu 51,3 % von Gas gedeckt, 22,5 % entfallen auf Strom, 21,1 % auf Fernwärme und 4,6 % auf Flüssigstickstoff. Propan trägt mit 0,5 % zur Deckung des Energieverbrauches bei.

Abbildung 6: Anteil der Energieträger am Energieverbrauch



Der Anteil der Energiebezugskosten an den variablen Herstellkosten beträgt 4-8 %. Die Verteilung auf die einzelnen Energieträger ist in Abbildung 7 dargestellt. 52,6 % der Energiekosten entfallen auf den Bezug von Flüssigstickstoff zur Herstellung der Tiefkühlware und 21,9 % auf den Strom. Der Anteil der Kosten für den Bezug von Gas liegt bei 15,6 % und für Fernwärme bei 9,3 %.

Abbildung 7: Anteil der Energieträger an den Energiebezugskosten



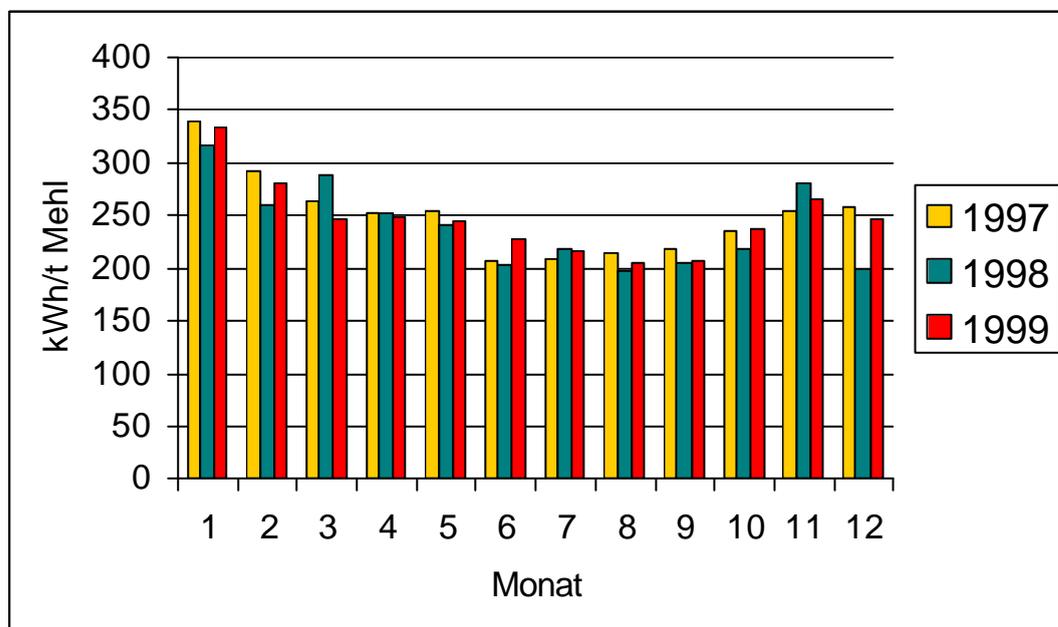
### 3.1.1 Fernwärme

Die Fernwärme wird in Form von Dampf mit einem Druck von ca. 8 bar geliefert. Das rückgeführte Kondensat hat eine Temperatur von durchschnittlich 60 °C. Die Fernwärme wird zur Erzeugung von Niederdruckdampf (1,4 bar) verwendet und über eine zentrale Dampfschiene zur Beheizung der Versandhalle und in der Kistenwaschanlage eingesetzt. Der erzeugte Niederdruckdampf wird für Heizzwecke (Heizung, Lüftung), zur Warmwasserbereitung sowie in der Produktion insbesondere zur Luftkonditionierung für die Gare und zur Beschwädung der Öfen eingesetzt (Abbildung 15).

Der spezifische Fernwärmeverbrauch beträgt im Jahresdurchschnitt rund 250 kWh/t Mehl. Der Verbrauch steigt durch den Einsatz für Heizungszwecke im Winter bis auf über 300 kWh/t Mehl. In den Sommermonaten beträgt er rund 200 kWh/t Mehl (Abbildung 7).

Die benötigte Fernwärmeleistung liegt in der Regel zwischen 1,5 MW und 3 MW. Von Samstagabend bis Sonntagmittag sinkt sie auf eine Grundleistung von rund 1 MW ab.

Abbildung 8: Monatlicher spezifischer Fernwärmeverbrauch



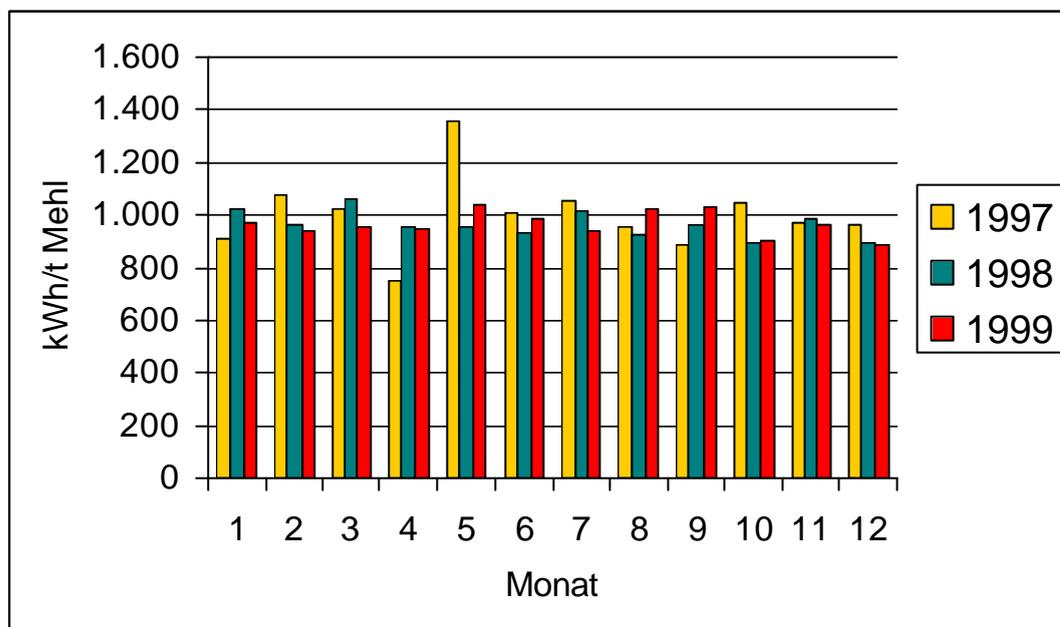
### 3.1.2 Erdgas

Erdgas wird überwiegend zur Beheizung der Backöfen in der Produktion sowie zur Erhitzung des Thermoöls für den Pasteur eingesetzt. Zum Teil wird in der Konditorei Gas in Gaskochern zur Erwärmung von Glasuren etc. verwendet.

Der spezifische Erdgasverbrauch ( $H_u$ ) der Bäckerei im Jahresdurchschnitt von 1997 auf 1998 von 992 kWh/t Mehl auf 962 kWh/t Mehl Jahren gesunken (3 %). Das kann auf eine bessere Auslastung zurückgeführt werden, da der Mehlverbrauch (ohne TK-Ware) im selben Zeitraum um rund 4 Prozentpunkte anstieg.

1999 blieben gegenüber dem Vorjahr sowohl der spezifische Erdgasverbrauch als auch der Mehlverbrauch (ohne TK-Ware) konstant. Die Entwicklung des monatlichen spezifischen Erdgasverbrauches von 1997-1999 ist in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Monatlicher spezifischer Erdgasverbrauch



Der Erdgasverbrauch ist unabhängig von der Jahreszeit. Die maximale Stundenleistung lag 1999 bei 8,7 MW. Den Verlauf der täglich abgenommenen Gasmenge für das Jahr 1999 stellt Abbildung 10 dar.

Der Gasverbrauch sinkt mit der Beendigung der Produktion am Samstag und steigt ab Produktionsbeginn wieder an. Der tägliche Gasverbrauch ( $H_o$ ) von Sonntag bis Freitag liegt in der Regel zwischen 110.000 und 130.000 kWh/d.

Abbildung 11 zeigt den täglichen Gasverbrauch für vier ausgewählte Wochen (Winter, Frühjahr, Sommer, Herbst) im Jahr 1999. Im August ist der tägliche Gasverbrauch produktionsbedingt niedriger als im Februar, April bzw. Oktober. Der wöchentliche Verlauf ist jedoch, wie auch aus Abbildung 10 hervorgeht, jede Woche ähnlich mit zwei Bedarfsspitzen am Montag und Donnerstag.

Abbildung 10: Erdgasverbrauch pro Tag (H<sub>0</sub>)

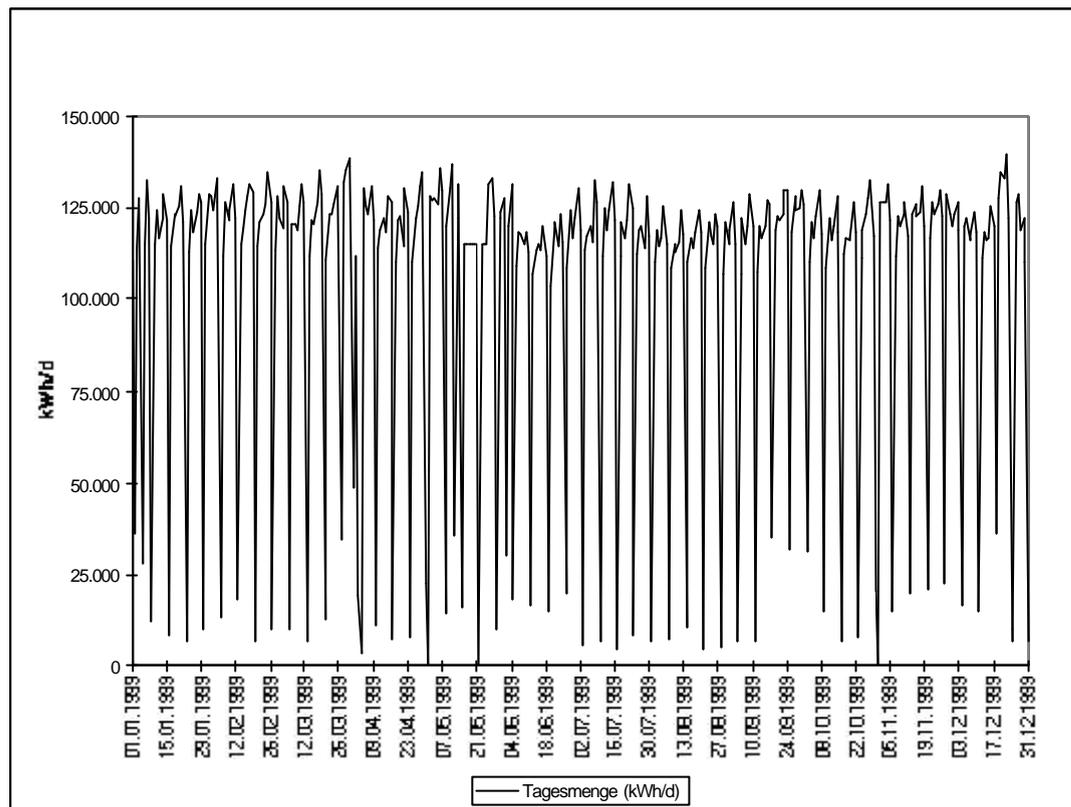
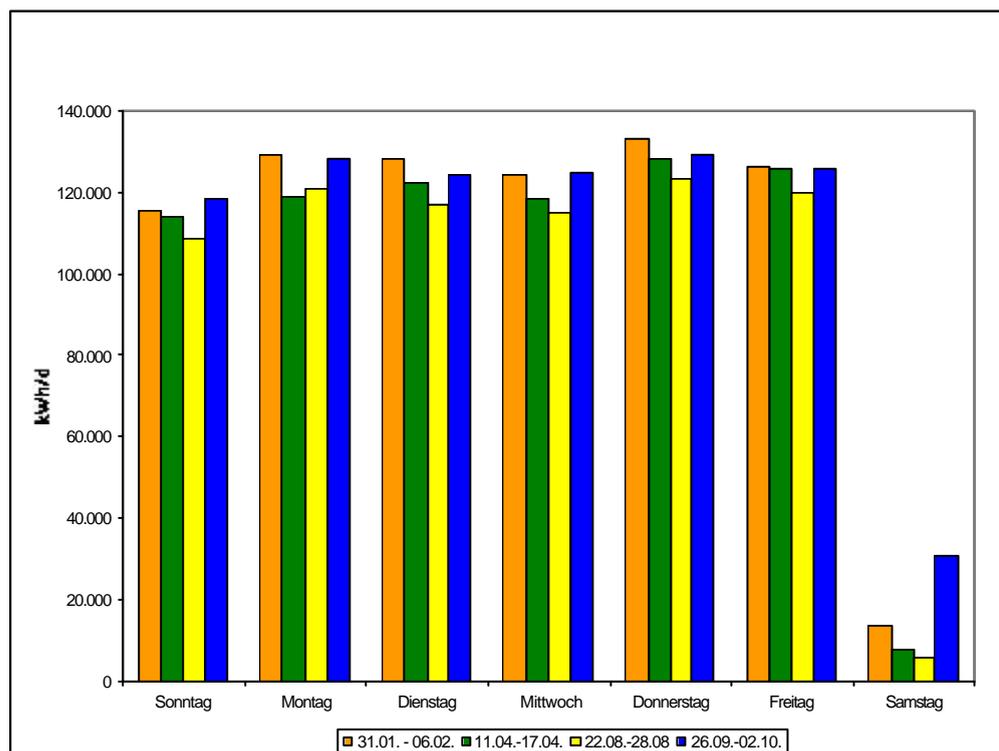


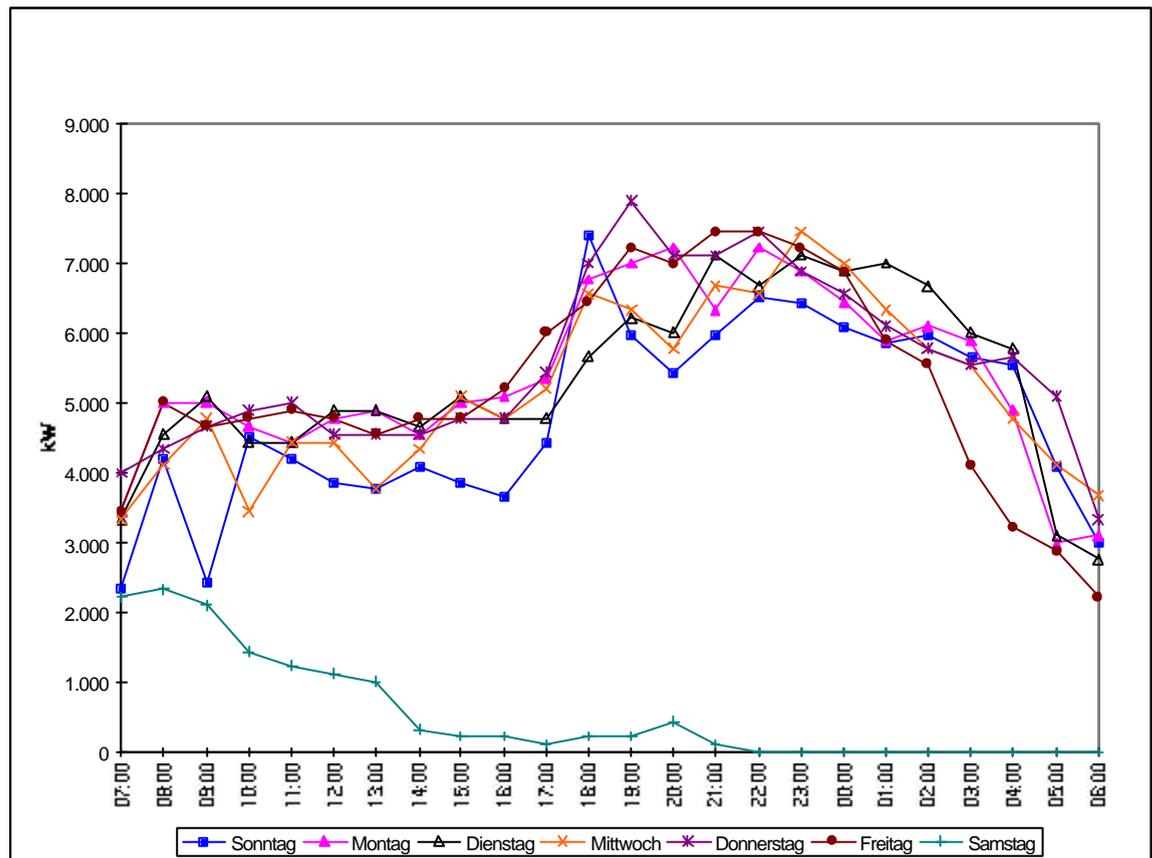
Abbildung 11: Täglicher Gasverbrauch der Bäckerei für vier ausgewählte Wochen im Jahr 1999



Der Verlauf der maximalen Stundenleistung pro Tag ist für eine durchschnittliche Woche in Abbildung 12 dargestellt.

Sonntag bis Freitag von jeweils 17.00 Uhr bis 3.00 Uhr ist die benötigte Gasleistung am höchsten. In dieser Zeit sind neben den Netzbandöfen auch die Stikkenöfen in Betrieb.

Abbildung 12: Maximale Gas-Stundenleistungen für eine durchschnittliche Woche



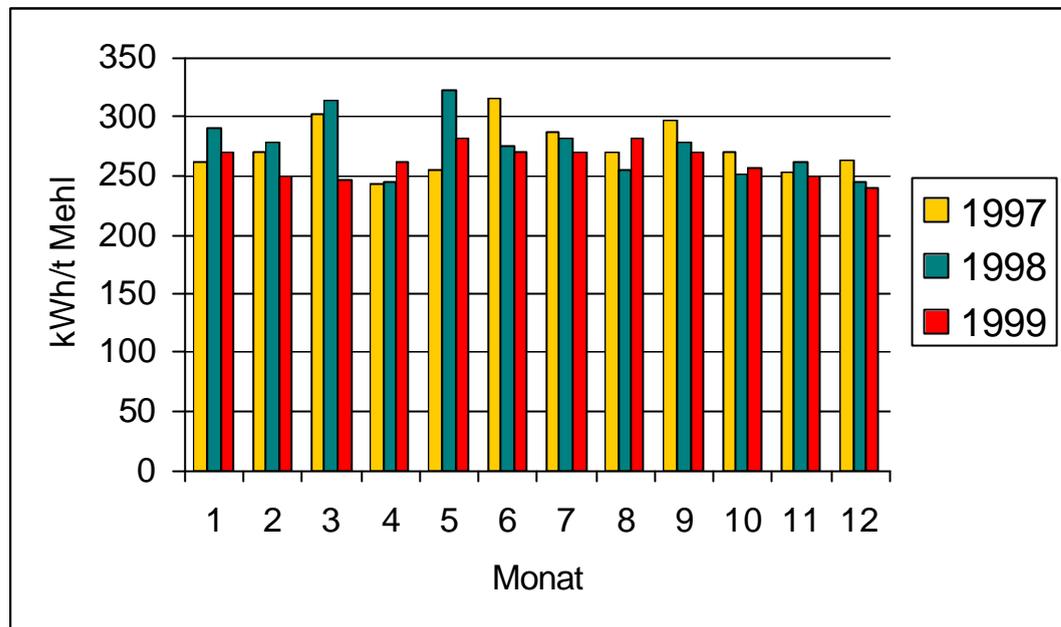
### 3.1.3 Strom

Der spezifische Stromverbrauch der Bäckerei betrug 1999 im Jahresdurchschnitt 262 kWh<sub>e</sub>/t Mehl. Während der spezifische Stromverbrauch im Jahresdurchschnitt 1998 trotz höheren Mehlverbrauchs im Vergleich zu 1997 konstant blieb, sank er 1999 bei weiter gestiegenem Mehlverbrauch um rund 4 %.

Zu den Hauptstromverbrauchern zählen die Produktionsanlagen, Verpackungsanlagen, die Kälteanlagen, Druckluftherzeuger sowie die Mehlförderungsgebläse. Weitere Stromverbraucher sind die Beleuchtung und die Verwaltung im Produktionsgebäude. Die Entwicklung des monatlichen spezifischen Stromverbrauchs von

1997 bis 1999 ist in Abbildung 13 dargestellt. Der spezifische Stromverbrauch ist unabhängig von der Jahreszeit.

Abbildung 13: Monatlicher spezifischer Stromverbrauch



Der Strom wird in etwa zu gleichen Teilen in der Niedertarif- und Hochtarifzeit (49 % zu 51 %) benötigt.

Die Leistungsmaxima liegen zwischen 2,2 und 2,5 MW<sub>el</sub>. Die Grundlast von Montag bis Freitag beträgt 1,6 MW<sub>el</sub> und am Wochenende 0,6 MW<sub>el</sub>.

### 3.1.4 Flüssigstickstoff

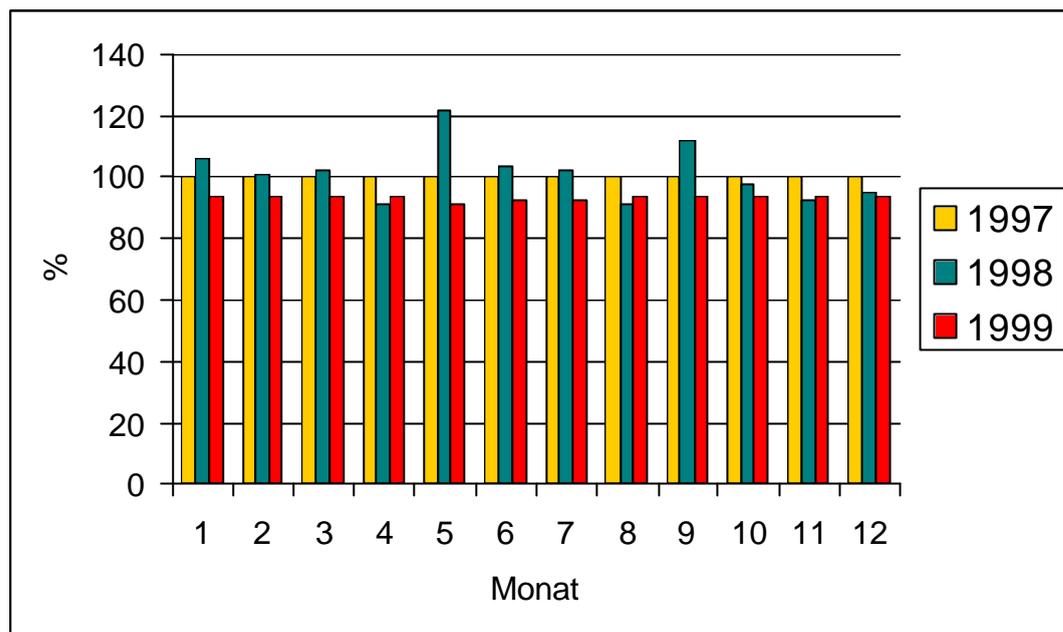
Der Flüssigstickstoff wird in den Frosteranlagen zum Gefrieren der Tiefkühl-Waren benötigt.

Die Tiefkühlprodukte werden bei einer Arbeitstemperatur von ca. -85 °C in 5 – 11 Minuten schockgefrostet. Die Abluft wird am Frostereingang gemeinsam mit Frischluft abgezogen (Mischtemperatur ca. 0 °C) und über Abluftkanäle abgeblasen.

Die produzierte Menge an Tiefkühlware ist von 1997 bis 1998 um 20 % und von 1998 auf 1999 um 24 % gestiegen.

In Abbildung 14 ist die Entwicklung des monatlichen spezifischen Stickstoffverbrauchs von 1997 bis 1999 dargestellt. Der Stickstoffverbrauch ist jahreszeitlich unabhängig.

Abbildung 14: Monatlicher spezifischer Stickstoffverbrauch



## 3.2 Energieerzeugung und -verteilung

### 3.2.1 Wärme

Die in der Produktion benötigte Wärme wird wie folgt bereitgestellt:

- Gas zur Beheizung der Öfen
- Fernwärmedampf zur Beheizung der Versandhalle und Kistenwaschanlage
- Niederdruckdampf zur Luftkonditionierung der Garräume und -anlagen sowie zur Beschwädung der Backöfen
- Niederdruckdampf für Heizung und Lüftung
- Warmwasser zur Teigbereitung und für Reinigungsprozesse.

In der Bäckerei wird ein Teil der gelieferten Fernwärme für die zentrale Erzeugung des Niederdruckdampfes sowie Warmwasser genutzt und ein Teil zur Beheizung der Versandhalle und Kistenwaschanlage. Abbildung 15 stellt die Energieumwandlung und -verteilung in der Energiezentrale der Bäckerei schematisch dar. Die Messungen in der Energiezentrale wurden an mehreren Tagen (am 06.04, 10.04 und 11.04, 11.00 - 18.00 Uhr) durchgeführt. Die Messung der Volumenströme erfolgte mit Ultraschallmeßgeräten; die Temperaturen wurden mit einem Oberflächenthermometer erfaßt.

Der Fernwärmedampf wird im Betrieb zunächst auf 7 bar gedrosselt. Ein Teilstrom wird auf 4 bar gedrosselt und wird über ein Dampfnetz zur Beheizung der Versand-

halle und Kistenwaschanlage eingesetzt. Während der Messungen wurde die Versandhalle nicht beheizt. Für die Beheizung der Kistenwaschanlage wurde durchschnittlich eine Leistung von 143 kW bereitgestellt. Die Laufzeit der Anlage beträgt ca. 120 h pro Woche. Der jährliche Wärmeverbrauch der Kistenwaschanlage beträgt damit ca. 895 MWh.

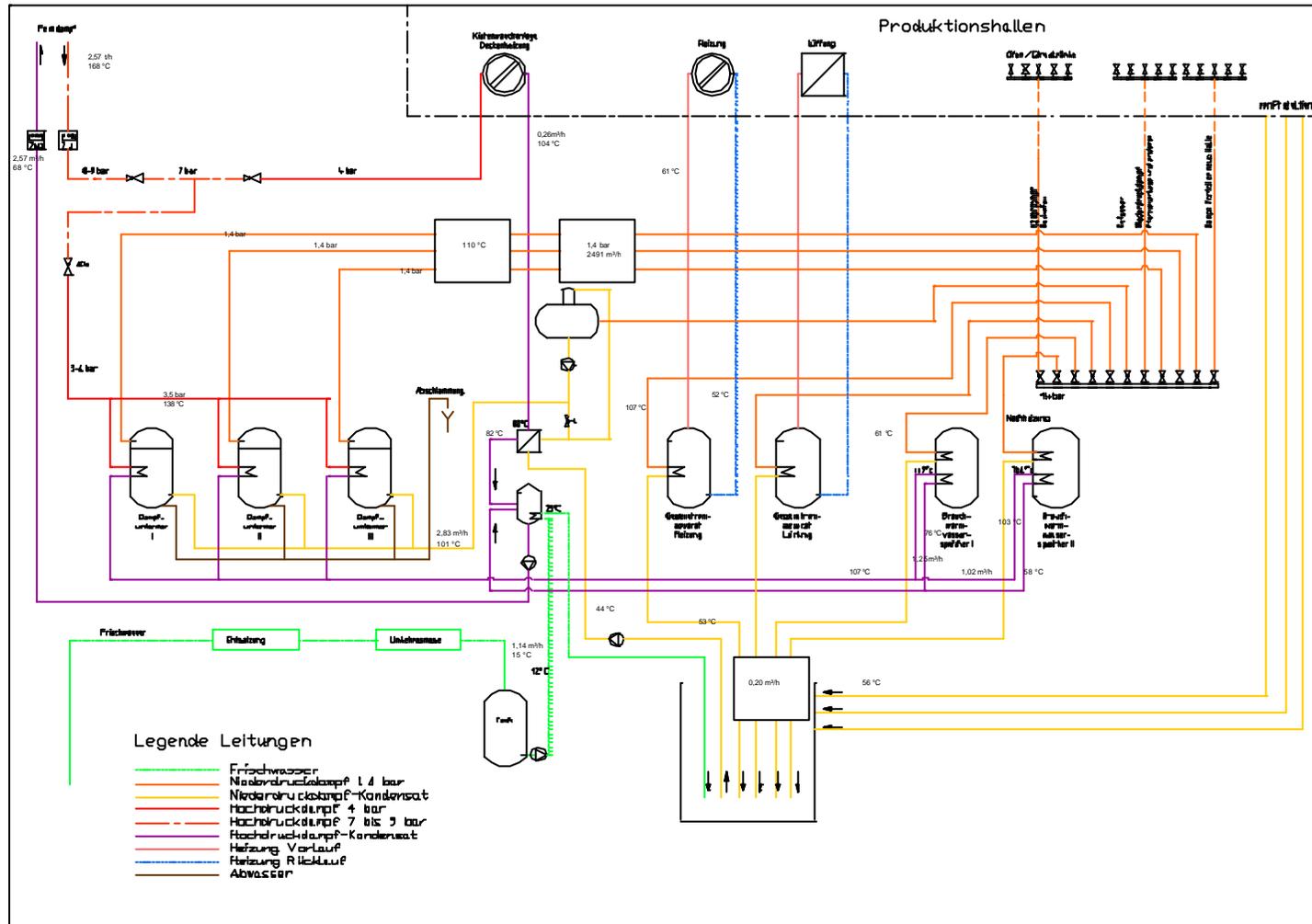
Ein weiterer Teilstrom des Fernwärmedampfes wird nach einer Drosselung auf 3,5 bar in drei Dampfumformern für die Erzeugung von Niederdruckdampf mit einem Druck von 1,4 bar genutzt. In der Regel ist nur ein Dampfumformer in Betrieb. Der Niederdruckdampf wird über ein zentrales Dampfnetz in der Produktion genutzt und für Heizzwecke (Heizung und Lüftung) eingesetzt. Die Erwärmung des Heizwassers erfolgt in zwei Gegenstromwärmeaustauschern. Während der Messungen wurde durchschnittlich eine Wärmeleistung von 1.490 kW durch die Dampfumformer bereitgestellt. Diese teilt sich wie folgt auf:

- 57 % für die Bereitstellung des Schwadendampfes für die Backöfen und die Luftfeuchteconditionierung der Gäräume (inkl. sonstiger Dampfverluste des Netzes) (Unter der Annahme, daß diese Schwadendampfmenge an sechs Tagen in der Woche für 24 Stunden bereitgestellt wird, beträgt der jährliche Verbrauch 6.378 MWh/a.)
- 33 % für die Bereitstellung von Heizdampf für die Gärschränke und Kuchenblechwaschanlage
- 10 % für Heizzwecke.

Unter der Annahme, daß diese Fernwärmedampfmenge an sechs Tagen in der Woche für 24 Stunden bereitgestellt wird, beträgt der jährliche Verbrauch für die Bereitstellung des Schwadendampfes rund 6.380 MWh/a und für die Beheizung der Verbraucher in der Produktion 3.710 MWh/a.

Das Warmwasser wird durch zwei Wärmeübertrager (Brauchwarmwasserspeicher) erzeugt, überwiegend wird dazu die Abwärme des Kondensats aus der Niederdruckdampferzeugung verwendet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit mit Niederdruckdampf nachzuheizen. Während der Messungen wurde durch die Kondensatabkühlung durchschnittlich eine Leistung von 93 kW zur Brauchwarmwasserbereitung bereitgestellt.

Abbildung 15: Fernwärmenutzung



### 3.2.2 Druckluft

Bei der Druckluftherzeugung und -nutzung bleiben von der dem Kompressor zugeführten Strommenge nur etwa 7 % an mechanischer Arbeit bei der Nutzung der Druckluft übrig [13]. Eine regelmäßige Überwachung und Wartung ist daher notwendig.

Die Druckluftanlage der Bäckerei arbeitet bei einem Druck von 10 bar. Die Druckluft wird in vier Schraubenkompressoren erzeugt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kenndaten der Druckluftkompressoren

Nr.	Typ	Leistung [m <sup>3</sup> /min]	Leistungsaufnahme [kW <sub>el</sub> ]
1	Kaeser CS 76	6,3	44,9
2	Kaeser CS 91	7,8	46,3
3	Kaeser CS 76	6,3	44,7
4	Kaeser CS 91	7,8	45,2
Summe		28,2	181,1

Um evtl. auftretende Spitzen abzudecken und als Ersatz für Reparaturarbeiten stehen zwei weitere Schraubenkompressoren zur Verfügung (mit einer Nennleistung von jeweils 5 m<sup>3</sup>/min). Die Kompressoren arbeiten entweder auf Vollast oder im Leerlauf. Der Energieverbrauch im Leerlauf beträgt ca. 30 % des Energieverbrauchs im Lastzustand. Nach drei Minuten im Leerlauf schalten sich die Kompressoren ab.

Der Druckluftverbrauch lag 1998 von Mo-Fr 6.00 - 22.00 Uhr bei 25 - 28 m<sup>3</sup>/min. Der Verbrauch lag auch in der produktionsfreien Zeit bei rund 7 m<sup>3</sup>/min.

Basierend auf den Meßergebnissen von 1998 beträgt der jährliche Druckluftverbrauch ca. 10.797.000 m<sup>3</sup>/a. Der Stromverbrauch zur Bereitstellung der Druckluft beträgt ca. 1.300 MWh/a. Der Leistungsbedarf zur Deckung der Grundlast (überwiegend Netzverluste) beträgt rund 80 kW.

### 3.2.3 Kälte

In der Produktion werden insgesamt 34 Kälteanlagen (Nennleistung insgesamt rund 1,2 MW) betrieben. 23 Kälteanlagen (Nennleistung insgesamt 1.158 kW) dienen

zur Kälteversorgung bei der Teigbereitung und Gärunterbrechung sowie zur Kälteversorgung der Tiefkühl- und Kühlräume.

Den größten Bedarf an elektrischer Energie haben die Eiswasseranlage sowie die Tiefkühl- und Kühlräume. Die Kälteanlagen arbeiten mit R22 als Kältemittel. Es werden Hubkolbenkompressoren eingesetzt. Der Leistungsbedarf dieser Verbraucher wurde in Einzelmessungen erfaßt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Mit einer durchschnittlichen Laufzeit von 16 h/d beträgt der jährliche Energiebedarf der Kälteanlagen 2.000 MWh/a. Rund 80 % davon werden für die Kältebereitstellung in den Tiefkühlräumen sowie zur Eiswasserbereitung benötigt. 20 % entfallen auf die Kältebereitstellung für die Kühlräume der Bäckerei und Feinbäckerei.

### **3.2.4 Energiebilanz des Gesamtbetriebes**

In Abbildung 16 ist die Gesamtenergiebilanz des Betriebes dargestellt.

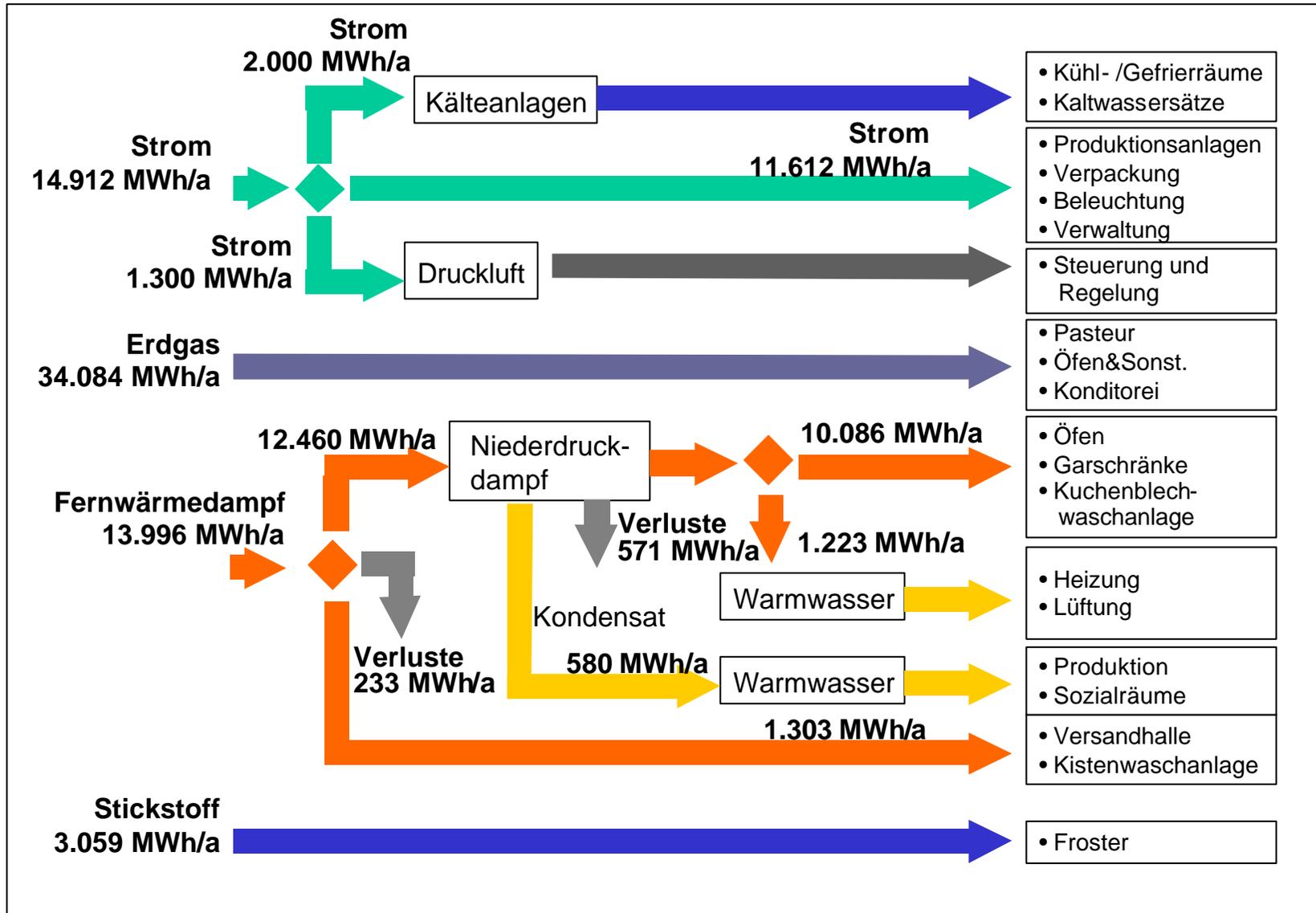
Die Berechnungen basieren auf

- dem Jahresenergiebedarf 1999
- den energietechnischen Untersuchungen an den Kälteanlagen unter der Annahme einer mittleren Laufzeit der Verdichter von 16 h/d (Kapitel 3.2.3)
- den energietechnischen Untersuchungen des Druckluftverbrauches von 1998, hochgerechnet auf den Mehlverbrauch im Jahr 1999 (Kapitel 3.2.2)
- den energietechnischen Untersuchungen in der Energiezentrale und dem monatlichen Fernwärmeverbrauch sowie der Annahme, daß 80 % des Heizungsbedarfes für Heizungs- und Lüftungszwecke und 20 % des Heizungsbedarfes für die Beheizung der Versandhalle benötigt werden (Kapitel 3.2.1).

Tabelle 3: Leistungsbedarf der Kälteanlagen – Hauptverbraucher

Bezeichnung	Raumtemperatur [°C]	Kompressor	Anschlußleistung [kW]	Leistungsverbrauch [kW]
Tiefkühlräume				
Tiefkühlhaus 1	-20			26,1
- 1.1			16	
- 1.2			16	
Tiefkühlhaus 2	-30			
- 2.1		Schorch Verdichter Typ KN 7280S- BBO14-152	110	-
- 2.2			110	73,9
- 2.3			110	65,2
- Lagerfroster			50	21,0
Tiefkühlhaus 3	-10			9,9
- 3.1			5,1	
- 3.2			5,1	
Tiefkühlhaus 4+5	-20			51,0
- 4.1		Bitzer GmbH, Sindelfingen	15	
- 4.2			15	
- 5.1			15	
- 5.2			15	
Kühlräume Bäckerei				
Kühlraum 1	+4		12	10,9
Vorraum Hefekühlung Raum 2	-		(7)	7,2
Raum 3 (Gärunterbrechung)	+5		7	3,5
Kühlräume Feinbäckerei				
Gefrierraum 7+ Schleuse 5+ TK-Lager 6	-5		(60)	15,4
Verbund Kühl-Auftauraum 1 + 2	0		(50)	3,3
Kühlraum	0		17	8,1
Gefrierraum	-3		25	9,4
Eiswasseranlage	-		45	39,4

Abbildung 16: Energiebilanz Gesamtbetrieb



### 3.3 Energieeinsatz in der Produktion

#### 3.3.1 Rohstoffaufbereitung

Zur pneumatischen Mehlaufbereitung sind insgesamt 35 Gebläse im Einsatz (Tabelle 4). Die Summe der Anschlußleistungen beträgt 722 kW.

Tabelle 4: Gebläse zur pneumatischen Mehlaufbereitung

Gebläse	Anzahl	Anschlußleistung [kW]
Fördergebläse	4	11
	3	15
	4	22
	9	30
	2	45
	2	55
Summe	24	647
Auflockerungsgebläse	5	4
	5	11
Summe	10	75
Summe insgesamt	34	722

#### 3.3.2 Produktionslinien

Die Verarbeitung der Teige erfolgt in 16 Produktionslinien. Energietechnische Untersuchungen wurden beispielhaft für die Herstellung von Mischbrot, Brötchen, Toastbrot, Feingebäck und Fettgebackenem durchgeführt.

In den einzelnen Linien werden täglich (0 - 24 h) bis zu 16 unterschiedliche Produkte einer Produktgruppe hergestellt. Die Messungen an den Produktionsanlagen wurden als Momentaufnahme der jeweiligen Maschinenzustände in Form eines Abnahmeversuches im laufenden Betrieb durchgeführt (KW 12 – 16). Die Meßwerte wurden über einen Zeitraum von mindestens zwei Stunden im normalen Produk-

tionsablauf erfaßt und gemittelt. Mit den erhaltenen Daten wurden die Energieverbräuche für die einzelnen Maschinen errechnet.

Während der Messungen wurden folgende Daten aufgezeichnet:

- Gasverbrauch
- Abgastemperatur im Schornstein
- CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schornstein
- Abgastemperatur am Austritt aus dem Schornstein auf dem Dach der Produktionshalle
- Geschwindigkeit der Abgase am Austritt aus dem Schornstein auf dem Dach der Produktionshalle
- Elektrischer Verbrauch der einzelnen Maschinen der Produktionslinie.

Der Niederdruckdampfverbrauch in der Produktion wurde für den Gesamtbetrieb bestimmt (siehe Kapitel 3.2.1).

Die Energiebilanz der Prozessketten für die untersuchten Produktionslinien wurde basierend auf den Meßergebnissen und auf Literaturwerten nach Seibel und Spicher /20/ zum Feuchtegehalt der Schwadenabluft unter folgenden Annahmen berechnet:

- der Niederdruckdampfbedarf der Ofenlinien ist linear abhängig von der Produktionsleistung
- 20 % des Schwadendampfverbrauches werden für die Luftfeuchtekkonditionierung der Gäräume eingesetzt, 80 % als Schwadendampf im Ofen
- die Leistungsziffer der Kälteanlagen beträgt 2
- die durchschnittlichen Temperaturen der Außenverkleidung der Öfen betragen 43 °C (Ergebnisse der Messungen an Ofenlinie 1 und 4)

### 3.3.2.1 Mischbrot

Die Mischbrotherstellung ist schematisch in Abbildung 17 dargestellt.

Die einzelnen Zutaten werden in einer Teigschale auf einer Waage dosiert. In einem Knetter werden die Bestandteile dann mit Wasser vermischt und geknetet. Anschließend wird der Teig dem Teigteiler zugeführt. Dort wird der Teig portioniert und geformt. Im weiteren Verlauf werden die Teiglinge über die Einlegevorrichtung in den Garschrank eingebracht. Nach der Gare werden die Teiglinge in den Ofen eingebracht. In Abbildung 18 ist der Ofen der Mischbrotlinie mit seinen Temperaturzonen dargestellt.

Der Ofen der Mischbrotlinie ist als Durchlaufofen mit vorgeschaltetem Vorbackofen ausgeführt. Drei Gasbrenner werden eingesetzt. Die Brennerabgase durchströ-

men im Kreislauf ein Luftkanalsystem und erwärmen so die Backkanalwandungen. Die Heizgaskanäle sind oberhalb und unterhalb des Backkanals angeordnet und können mit einem Schiebersystem so gesteuert werden, daß mehr Ober- oder Unterhitze anliegt. In den Vorbackofen wird Schwadendampf eingeleitet. Die gesamte Backzeit beträgt rund 45 min. Wenn die Brote aus dem Ofen austreten, werden sie über Transportbänder (Auskühlung) ein Stockwerk tiefer zur Verpackungsabteilung geführt.

Die Messungen der Mischbrotlinie wurde bei der Produktion der 1 kg Mischbrote durchgeführt. Im betrachteten Meßzeitraum wurden insgesamt 8.175 Brote produziert.

Der Gasverbrauch der Ofenlinie Mischbrot ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Gasverbrauch Ofenlinie Mischbrot

Verbrauchte Gasmenge Brenner 1	147,63 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Gasmenge Brenner 2	90,70 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Gasmenge Brenner 3	97,80 m <sup>3</sup>
Summe Gasverbrauch	336,13 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Energie:	12.100.680 kJ
Gebackene Brote	8.175 Stück
Verbrauchte Menge Mehl	5.245 kg Mehl

Der spezifische Wärmeverbrauch (Erdgas) zum Backen des Mischbrottes beträgt 1480 kJ/Brot bzw. 641 kWh/t Mehl.

Die Abgaskamine der Brenner 2 und 3 sind mit Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung ausgestattet. Durch die Wärmerückgewinnung wird insgesamt eine Wärmeleistung von 56 kW bereitgestellt.

Die Brennerabgase weisen niedrige CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 1,4 – 2,8 % auf. Dies kann zum einen auf hohe Luftüberschüsse zurückzuführen sein. Die abfallenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei verschmutzten Brennern können aber auch auf ein zu fettes Gemisch zurückzuführen sein, wobei durch einen möglichen Falschlufteintrag eine weitere Verdünnung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes auftritt.

Abbildung 17: Prozesskette Mischbrot

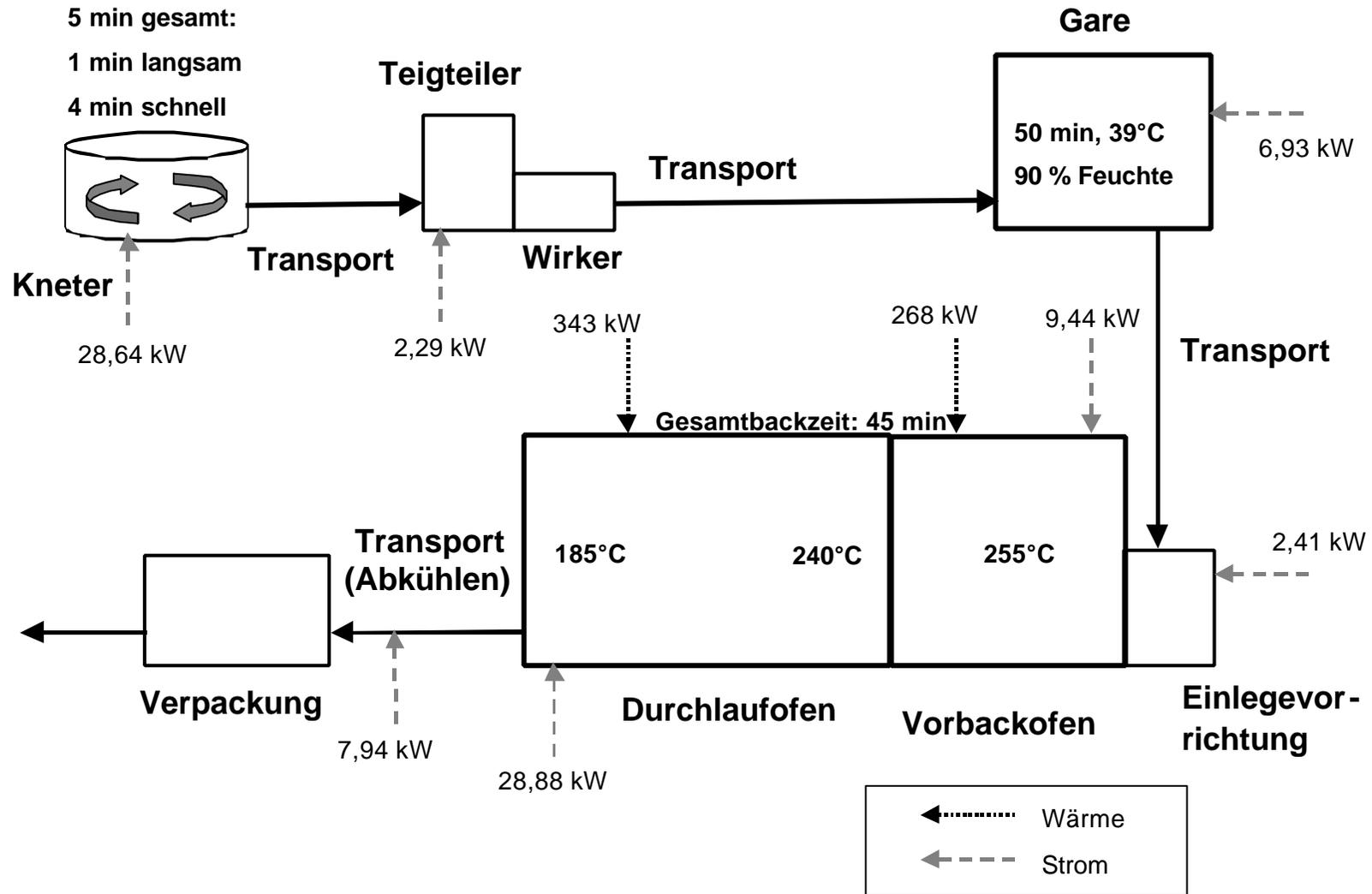
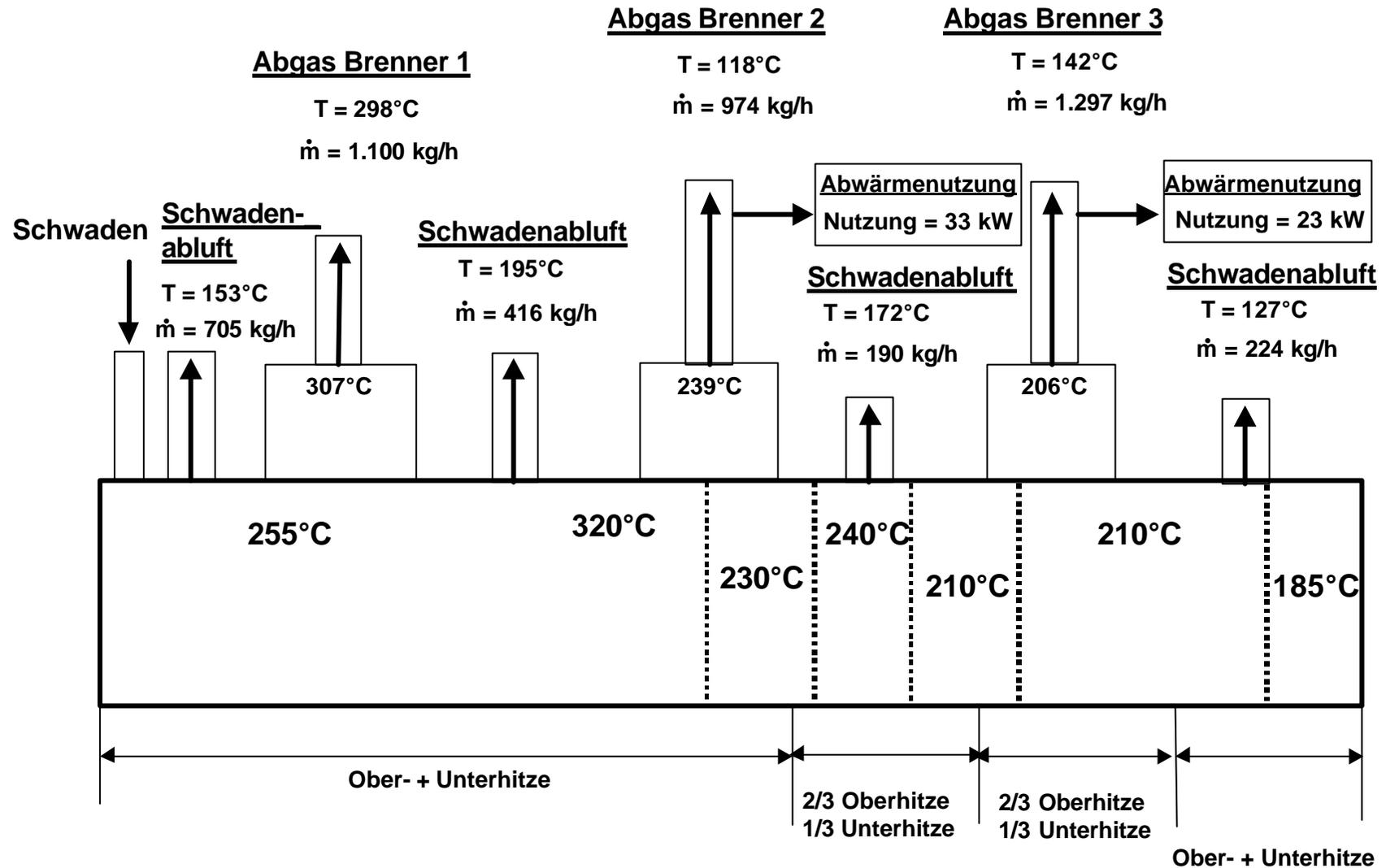


Abbildung 18: Schematische Darstellung des Ofens der Mischbrotlinie



**Stromverbrauch:**

Der durchschnittliche Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Mischbrotlinie ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Mischbrotlinie

Anlagen	Mischbrot	Leistung
Knetter	11,78	kW *
Hubvorrichtung	0,29	kW
Teigteiler	0,92	kW
Wirker	0,72	kW
Förderer/Entspannungsband	0,36	kW
Garschrank mit Einleger	6,93	kW
Wendesohlen + Ofenbelader	2,41	kW
Brennersteuerung 1	9,44	kW
Brennersteuerung 2	12,01	kW
Brennersteuerung 3	16,87	kW
Verpackung	7,94	kW
Summe	69,67	kW

\*Der Knetter läuft chargenweise, deshalb wurde die Leistung auf eine Stunde bezogen

Der Stromverbrauch zur Herstellung des Mischbrottes beträgt pro Stunde 250.812 kJ. Basierend auf einer durchschnittlichen Menge von 1.486 Broten/h beträgt der spezifische Stromverbrauch 169 kJ/Brot bzw. 73 kWh/t Mehl.

Die Energiebilanz der Prozesskette Mischbrot ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Energiebilanz der Prozesskette Mischbrot

Input		Output	
Erdgas	73 %	Abgasverluste	28 %
Niederdruckdampf	19 %	Schwadenverluste	25 %
Strom	8 %	Wärmerückgewinnung	7 %
		Wärmeabfuhr mit Brot	20 %
		Wärmeverlust Ofen	5 %
		Mechanische Verluste/Reibungswärme	7 %
		Bilanzrest	8 %

### 3.3.2.2 Brötchenlinie

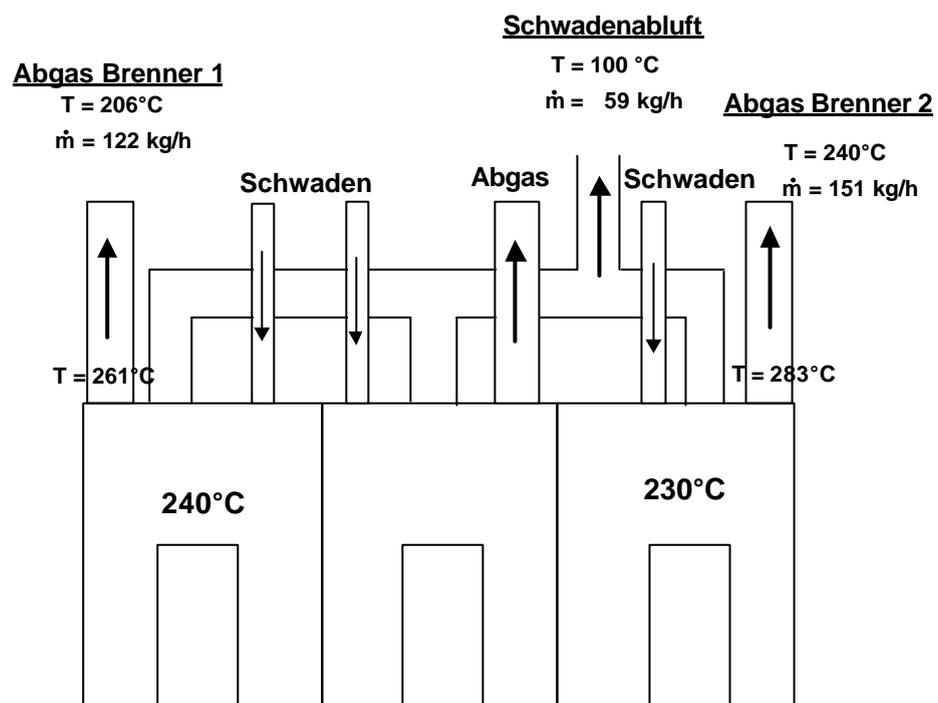
Für die Messungen zum Energieverbrauch der Brötchenproduktion wurde eine Produktionslinie ausgewählt, in der die Brötchen in Stikkenöfen gebacken werden.

Die Brötchenherstellung ist schematisch in Abbildung 20 dargestellt.

Die Rohstoffe werden nach Rezeptur auf einer Waage dosiert und in den Teigschalen in den Kneter geschoben. Nach der Teigbereitung wird die Teigwanne dem Portionierer oder Teigteiler zugeführt. Die Teiglinge werden portioniert und nach dem Rundwirken in die Zuführung des Vorgarschranks abgelegt. Nach der Gare werden die Teiglinge auf Backbleche gesetzt. Die beladenen Bleche werden in die Stikkenwagen geladen (800 Brötchen pro Stikken) und im Kühlraum bei ca. 0°C für mindestens 4 h gelagert (Gärverzögerung).

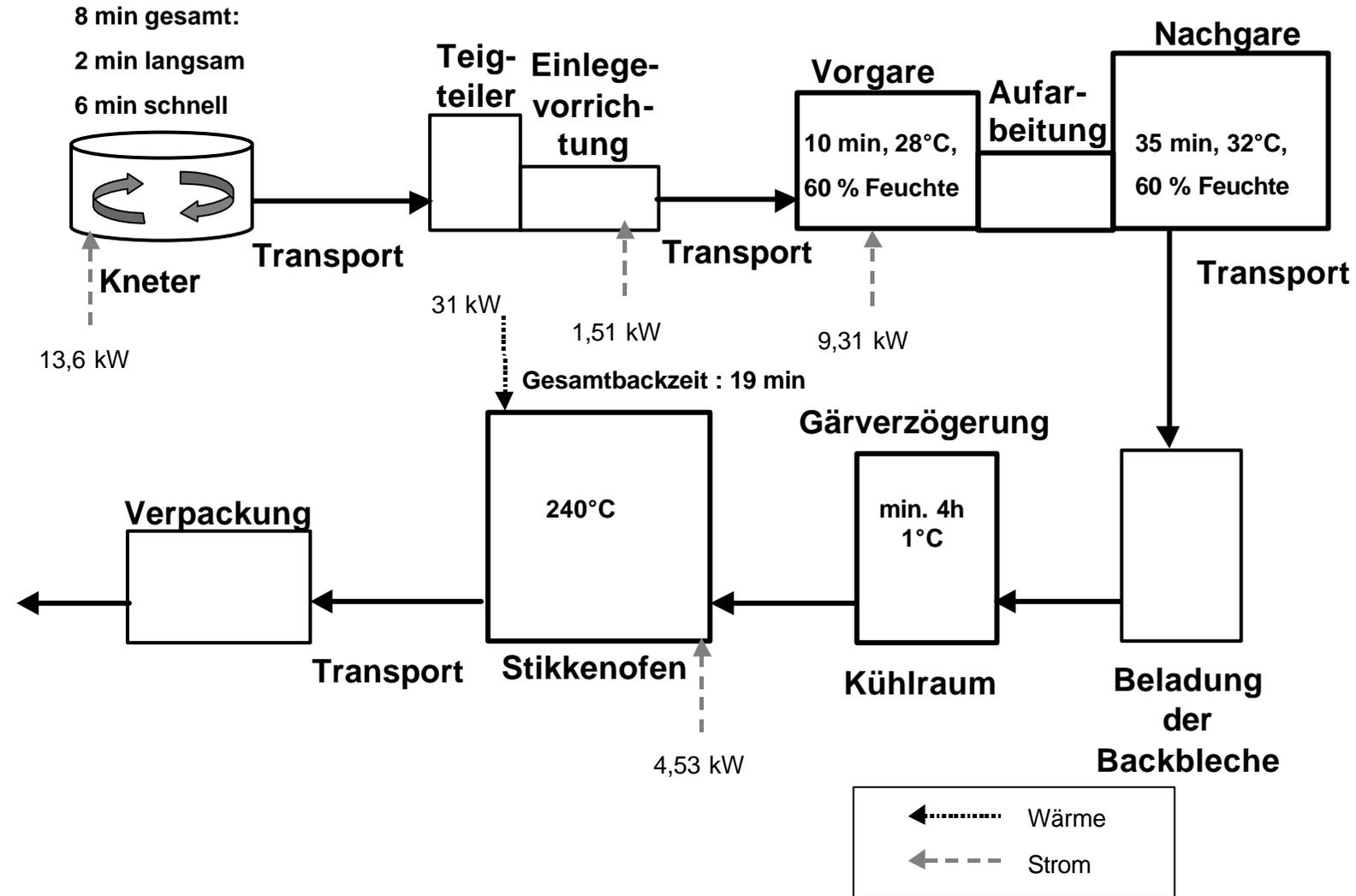
Die Dreh-Stikkenöfen sind schematisch in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Schematische Darstellung der Öfen der Brötchenlinie



Nach dem Backen werden die Stikkenwagen in den Produktionshallen zum Auskühlen abgestellt und später die Bleche manuell entladen.

Abbildung 20: Prozesskette Brötchen



Für die Energieanalyse wurden Messungen an zwei Öfen durchgeführt. Die Öfen sind mit jeweils einem Brenner ausgestattet.

Es wurden durchschnittlich 2.300 Brötchen pro Stunde in jedem Ofen produziert. Der Gasverbrauch der Stikkenöfen zur Brötchenherstellung ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Gasverbrauch Stikkenöfen Brötchen

Verbrauchte Gasmenge Brenner Ofen 1	8,62 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Gasmenge Brenner Ofen 2	6,95 m <sup>3</sup>
Summe Gasverbrauch	15,57 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Energie:	560.520 kJ
Gebackene Brötchen	11.500 Stück
Verbrauchte Menge Mehl	442 kg Mehl

Der spezifische Wärmeverbrauch (Erdgas) zum Backen der Brötchen beträgt 49 kJ/Brötchen bzw. 350 kWh/t Mehl.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Brennerabgase liegen zwischen 4,4 – 4,9 %.

### **Stromverbrauch:**

Der durchschnittliche Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Brötchenlinie ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Brötchenlinie

Anlagen	Brötchen	Leistung*
Kneter	1,90	kW
Hubvorrichtung	0,10	kW
Garschrank mit Einleger	3,10	kW
Brennersteuerung	4,53	kW
Summe	9,63	kW

\*bezogen auf eine Stundenleistung von 2.300 Brötchen

Der Stromverbrauch zur Herstellung der Brötchen beträgt pro Stunde 34.668 kJ.

Mit einer durchschnittlichen Menge von 2.300 Brötchen/h beträgt der spezifische Stromverbrauch 15 kJ/ Brötchen bzw. 104 kWh/t Mehl.

Die Energiebilanz der Prozesskette Brötchen ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Energiebilanz der Prozesskette Brötchen

Input		Output	
Erdgas	57 %	Abgasverluste Ofen	20 %
Niederdruckdampf	23 %	Schwadenverluste	13 %
Strom	20 %	Wärmeabfuhr mit Gebäck	33 %
		Wärmeverlust Ofen	5 %
		Kondensationswärme	5 %
		Mechanische Verluste/Reibungswärme	15 %
		Bilanzrest	9 %

### 3.3.2.3 Toastbrot

Die Toastbrotherstellung ist schematisch in Abbildung 21 dargestellt.

Die Rohstoffe werden zunächst in einem Schnellknetter mit Wasser gemischt und geknetet. Nach der Teigbereitung wird der Teig über eine Hubvorrichtung in den Teigteiler gefördert. Dort werden die Teiglinge portioniert. Bevor die Teiglinge in den Vorgarschrank der Anlage eingebracht werden, werden sie in einem Rundwirker geformt. Nach der Vorgare werden die Teiglinge erneut über Rolleinrichtungen geformt und anschließend jeweils vier Teiglinge in eine Backform eingebracht. Die Formen werden in den Hauptgarschrank transportiert. Nachdem die Gare abgeschlossen ist, werden die Formen mit einem Deckel verschlossen und in einen Netzbandofen eingeschoben. Der Ofen ist als Durchlaufofen mit insgesamt zwei Brennern ausgeführt (Abbildung 22).

Nach Abschluß des Backens werden die Formen aus dem Ofen ausgeschoben, die Brote aus den Formen entnommen und der Verpackungsanlage zugeführt. Dort werden die Brote geschnitten, portioniert und in Folien verpackt. Die abgepackten Brote werden in Kunststoffkisten verpackt und anschließend dem Pasteur zugeführt.

Die Messungen zur Ermittlung des Energieverbrauches der Toastbrotlinie wurden bei der Produktion von Butterstoast (500 g) durchgeführt. Im betrachteten Zeitraum wurden insgesamt 31.700 Toastbrote produziert.

Der Gasverbrauch der Ofenlinie zur Toastbrotherstellung ist in Tabelle 11 dargestellt.

Abbildung 21: Prozesskette Toastbrot

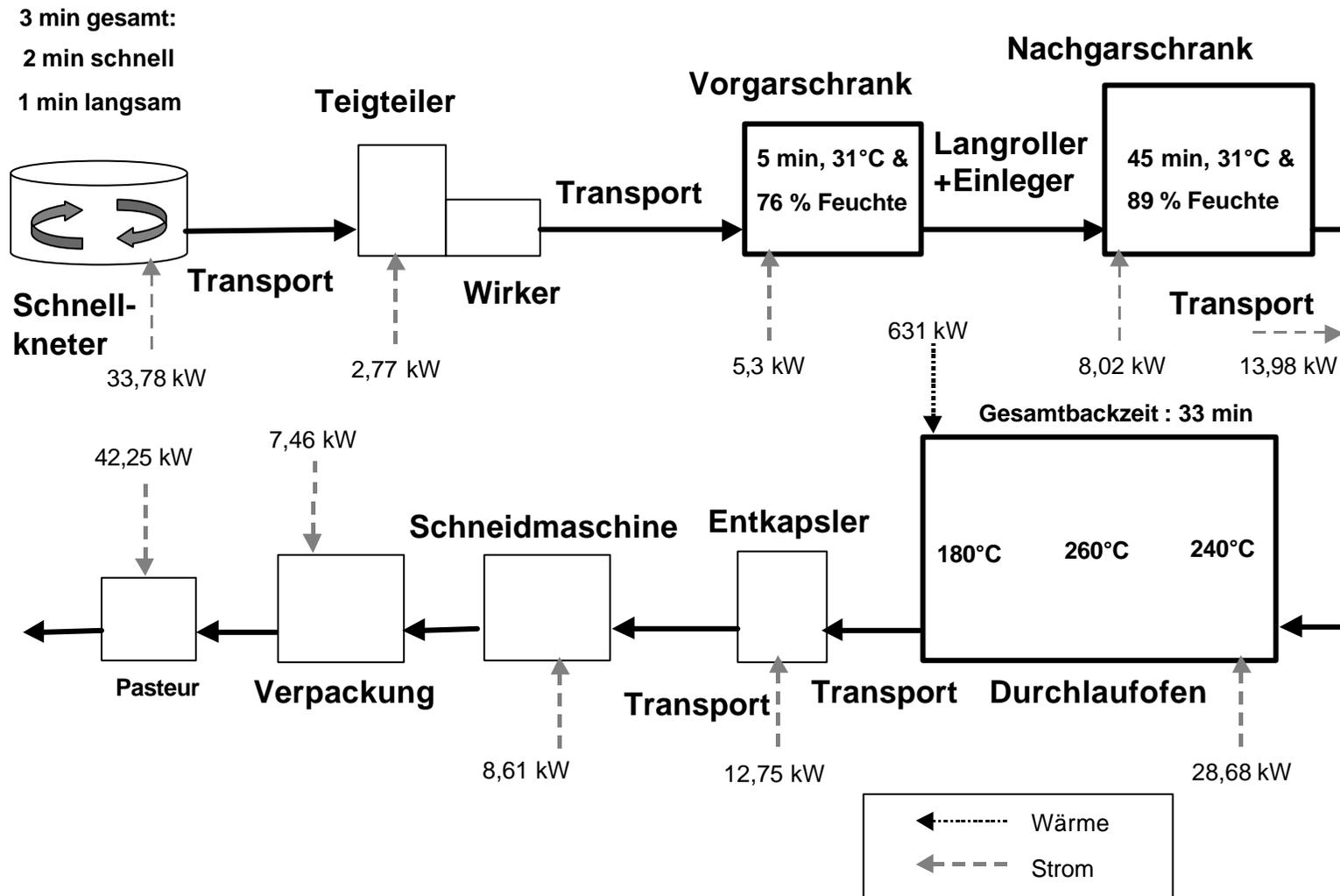


Abbildung 22: Schematische Darstellung des Ofens der Toastbrotlinie

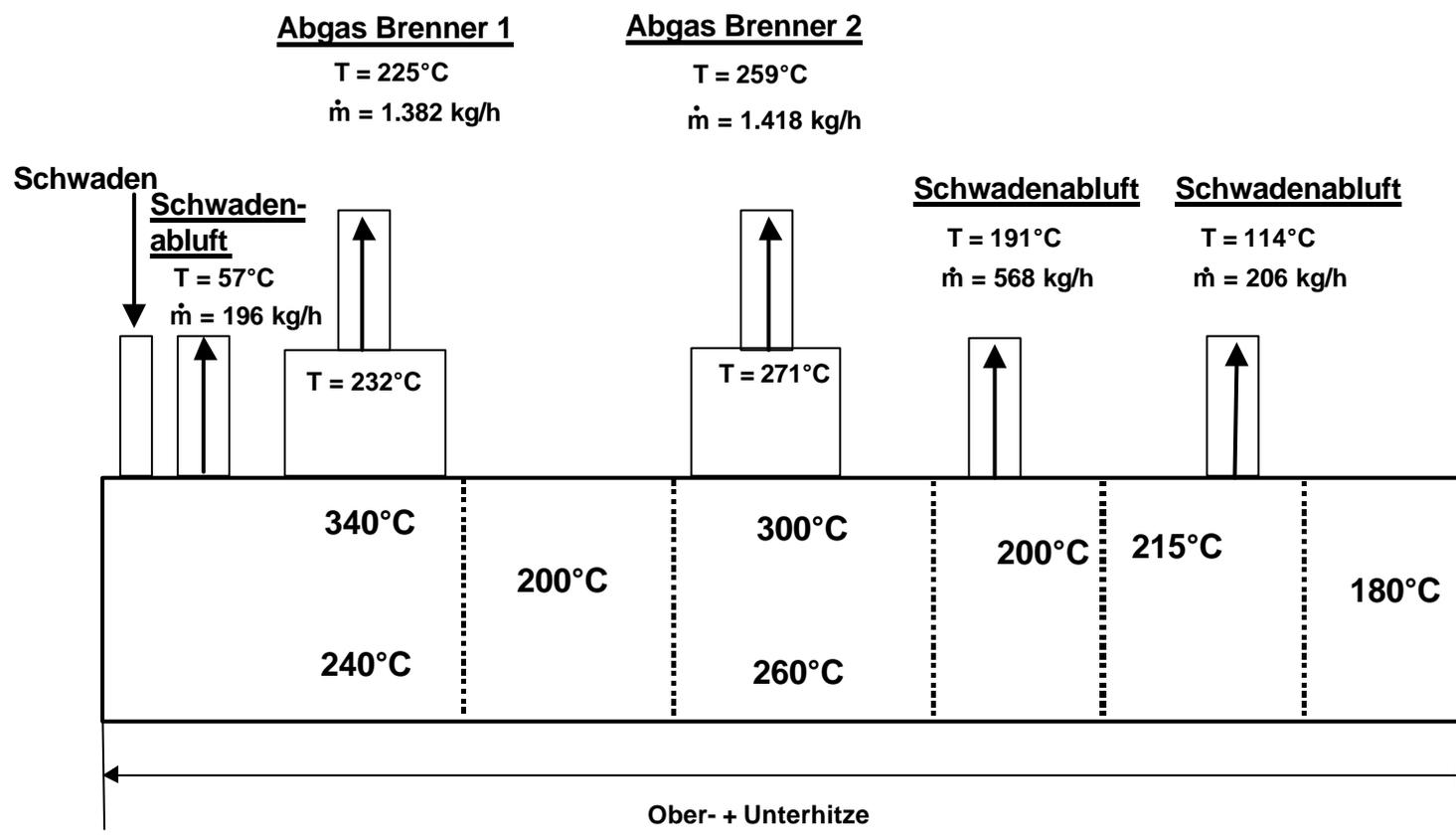


Tabelle 11: Gasverbrauch Ofenlinie Toastbrot

Verbrauchte Gasmenge Brenner 1	300,55 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Gasmenge Brenner 2	349,9 m <sup>3</sup>
Summe Gasverbrauch	650,45 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Energie:	23.416.200 kJ
Gebackenes Toastbrot	31.700 Stück
Verbrauchte Menge Mehl	11.428 kg Mehl

Der spezifische Wärmeverbrauch (Erdgas) zum Backen des Toastbrottes beträgt 739 kJ/Toastbrot bzw. 569 kWh/t Mehl.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Brennerabgase sind mit 3,4 – 3,8 % niedrig. Dies kann auf hohe Luftüberschüsse zurückzuführen sein. Die abfallenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei verschmutzten Brennern können auch auf ein zu fettes Gemisch zurückzuführen sein, wobei durch einen möglichen Falschlufteintrag eine weitere Verdünnung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes auftritt.

#### **Stromverbrauch:**

Der durchschnittliche Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Toastbrotlinie ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Toastbrotlinie

Anlagen	Toastbrot	Leistung
Knetter	16,90	kW*
Hubvorrichtung	0,87	kW
Teigteiler	1,90	kW
Rundwirker/Vorgarschrank	5,27	kW
Hauptgarschrank/Hauptantrieb	8,02	kW
Formenmaschinen	11,57	kW
Wendesohlen + Ofenbelader	2,41	kW
Brennersteuerung 1+ Transport 1	10,51	kW
Brennersteuerung 2+ Transport 2	16,30	kW
Antrieb Ofenteil	1,87	kW
Transport Verpackung	12,75	kW
Verpackung 500g	4,25	kW
Schneidemaschine 500g	3,82	kW
Verpackung 250g	3,21	kW
Schneidemaschine 250g	4,79	kW
Summe	104,44	kW

\*Der Knetter läuft chargenweise, deshalb wurde die Leistung auf eine Stunde bezogen

Der Stromverbrauch zur Herstellung von Toastbrot (ohne Pasteur) beträgt pro Stunde 375.984 kJ. Bei einer durchschnittlichen Menge von 3068 Toastbroten pro Stunde errechnet sich ein spezifischer Stromverbrauch von 123 kJ/Toastbrot bzw. 95 kWh/t Mehl.

### Pasteur

Die geschnittenen Brote werden zur Haltbarmachung durch einen dreistöckigen Pasteur gefahren. Die beiden oberen Etagen werden mit Toastbrot beschickt, die untere Etage mit anderen Schnittbrotarten. Es sind bei einer Pasteurisationszeit von 65 min Temperaturen von 127 °C erforderlich. Die Wärmezufuhr erfolgt über einen separaten Gasbrenner der Thermoöl erhitzt. Das Thermoöl verläßt den Brenner mit einer Temperatur von 202°C und kommt aus dem Pasteur mit 192 °C zurück.

Im Untersuchungszeitraum wurden 29.180 Brote durch den Pasteur gefördert. Der Erdgasverbrauch und der Stromverbrauch des Pasteurs sind in Tabelle 13 und Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 13: Gasverbrauch Pasteur

Verbrauchte Gasmenge Brenner	122,6 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Energie:	4.413.600 kJ
Pasteurisierte Brote	29.180 Stück

Der spezifische Wärmeverbrauch (Erdgas) zum Pasteurisieren von Toastbrot beträgt 151 kJ/Brot bzw. 117 kWh/t Mehl

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Brennerabgase beträgt 8,3 %. Die Abgasverluste betragen damit 10,2 %. Die Brennereinstellung ist korrekt.

Tabelle 14: Stromverbrauch Pasteur

Anlagen	Toastbrot	Leistung
Brenner von Pasteur	13,15	kW
Förderbänder Pasteur	29,10	kW

Der Stromverbrauch für die Pasteurisierung beträgt pro Stunde 152.100 kJ. Bei einer durchschnittlichen Menge von 6.484 Toastbroten pro Stunde beträgt damit der spezifische Stromverbrauch 23,4 kJ/Toastbrot bzw. 18 kWh/t Mehl.

Die Energiebilanz der Prozesskette Toastbrot ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Energiebilanz der Prozesskette Toastbrot

Input		Output	
Erdgas	75 %	Abgasverluste Ofen	17 %
Niederdruckdampf	13 %	Schwadenverluste	10 %
Strom	12 %	Wärmeabfuhr mit Brot/Formen	15 %
		Wärmeverlust Ofen	3 %
		Abgasverlust Pasteur	6 %
		Wärmeabfuhr mit Brot/Kisten	18 %
		Mechanische Verluste/Reibungswärme	11 %
		Bilanzrest	20 %

### 3.3.2.4 Feingebäck

In der Feinbäckerei werden die verschiedenen Feingebäcke nach der Teigbereitung bevorratet und bei Bedarf in einem Durchlaufofen gebacken. Die Feingebäckherstellung ist schematisch in Abbildung 23 dargestellt. Die Rohstoffe werden je nach Rezept produktspezifisch zusammengestellt, mit Wasser gemischt und geknetet. Nach der eigentlichen Teigbereitung im Knetter werden die Stücke mit einer Hubvorrichtung der Teigportionierung zugeführt. Die portionierten Teiglinge werden in einer Durchlaufanlage produktspezifisch geschnitten, gerollt und mit der Füllung versehen. Die Teigverarbeitung wird zum Teil auch manuell ausgeführt. Die Beladung der einzelnen Backbleche erfolgt ebenfalls manuell. Die Bleche werden in Rollwagen für einige Stunden in Kühlräumen gelagert. Danach werden sie (abhängig von der Gebäckart) in einen Garschrank gebracht. Im Anschluß an die Gare werden die Gebäckstücke gebacken.

Der Durchlaufofen ist in Abbildung 24 schematisch dargestellt. Die Bleche werden manuell in drei Reihen in den Ofen eingelegt. Der Ofen besitzt nur eine Brennerzone. Die fertigen Gebäckstücke werden nach dem Ausschub glasiert und manuell in Kunststoffkisten verpackt.

Im betrachteten Meßzeitraum wurden durchschnittlich 5.400 Gebäckstücke pro Stunde produziert.

Der Gasverbrauch der Ofenlinie zur Feingebäckherstellung ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Gasverbrauch Ofenlinie Feingebäck

Verbrauchte Gasmenge Brenner	24,7 m <sup>3</sup>
Verbrauchte Energie:	889.200 kJ
Gebackenes Feingebäck	5.400 Stück
Verbrauchte Menge Mehl	281 kg

Der spezifische Wärmeverbrauch (Erdgas) zum Backen des Feingebäcks beträgt 165 kJ/Gebäckstück bzw. 880 kWh/t Mehl.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Brennerabgase liegen zwischen 3,3 - 3,6 %. Dies kann auf hohe Luftüberschüsse zurückzuführen sein. Die abfallenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei verschmutzten Brennern können auch auf ein zu fettes Gemisch zurückzuführen sein, wobei durch einen möglichen Falschlufteintrag eine weitere Verdünnung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes auftritt.

### Stromverbrauch:

Der Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Feingebäcklinie ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Feingebäcklinie

Anlagen	Feingebäck	Leistung
Knetter	6,66	kW*
Teigteiler	16,63	kW
Ofen	14,28	kW
Summe	37,57	kW

\*Der Knetter läuft chargenweise, deshalb wurde die Leistung auf eine Stunde bezogen

Der Stromverbrauch zur Herstellung des Feingebäcks beträgt pro Stunde 135.252 kJ. Bei einer durchschnittlichen Menge von 5.400 Gebäckstücken/h errechnet sich ein spezifischer Stromverbrauch von 25 kJ/ Gebäckstück bzw. 134 kWh/t Mehl.

Die Energiebilanz der Prozesskette Feingebäck ist in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18: Energiebilanz der Prozesskette Feingebäck

Input		Output	
Erdgas	72 %	Abgasverluste Ofen	20 %
Niederdruckdampf	15 %	Schwadenverluste	16 %
Strom	13 %	Wärmeabfuhr mit Gebäck	16 %
		Wärmeverlust Ofen	10 %
		Kondensationswärme	6 %
		Mechanische Verluste/Reibungswärme	9 %
		Bilanzrest	23 %

### 3.3.2.5 Fettgebackenes

Die Herstellung des frittierten Gebäcks ist schematisch in Abbildung 25 dargestellt.

Der Krapfenteig wird nach der Teigbereitung für 15 min einer Teigruhe unterzogen. Anschließend wird der Teig über die Hubvorrichtung in einen Teigteiler eingebracht, der den Krapfenteig portioniert. Die Krapfenteiglinge werden in den Garschrank gefördert. Nach der Gare werden die Krapfenteiglinge der Friteuse über ein Transportband zugeführt. In der Friteuse wird das Öl mit drei elektrischen Heizungen auf einer Temperatur  $T_{\text{Friteuse}}=170 - 180^{\circ}\text{C}$  gehalten. Nach dem Fritieren werden die Krapfen über eine automatische Dosierung mit Marmelade gefüllt und im Anschluß manuell in Kunststoffkisten verpackt. Der durchschnittliche Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Krapfenlinie ist in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten der Krapfenlinie

Anlagen	Krapfen	Leistung
Kneter	3,39	kW*
Hubvorrichtung	0,51	kW
Garschrank mit Einleger	8,92	kW
Friteuse	59,47	kW
Summe	72,29	kW

\*Der Kneter läuft chargenweise, deshalb wurde die Leistung auf eine Stunde bezogen

Der Stromverbrauch zur Herstellung von Krapfen beträgt pro Stunde 260.244 kJ.

Bei einem Durchsatz von 5.496 Krapfen/h beträgt damit der spezifische Stromverbrauch 47 kJ/Krapfen bzw. 435 kWh/t Mehl.

Die Enbergiebilanz der Prozesskette zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Energiebilanz der Prozesskette Krapfen

Input		Output	
Niederdruckdampf	9 %	Wärmeabfuhr mit Gebäck	60 %
Strom	91 %	Wärmeverlust Friteuse	10 %
		Mechanische Verluste/Reibungswärme	14 %
		Bilanzrest	16 %

Abbildung 23: Prozesskette Feingebäck

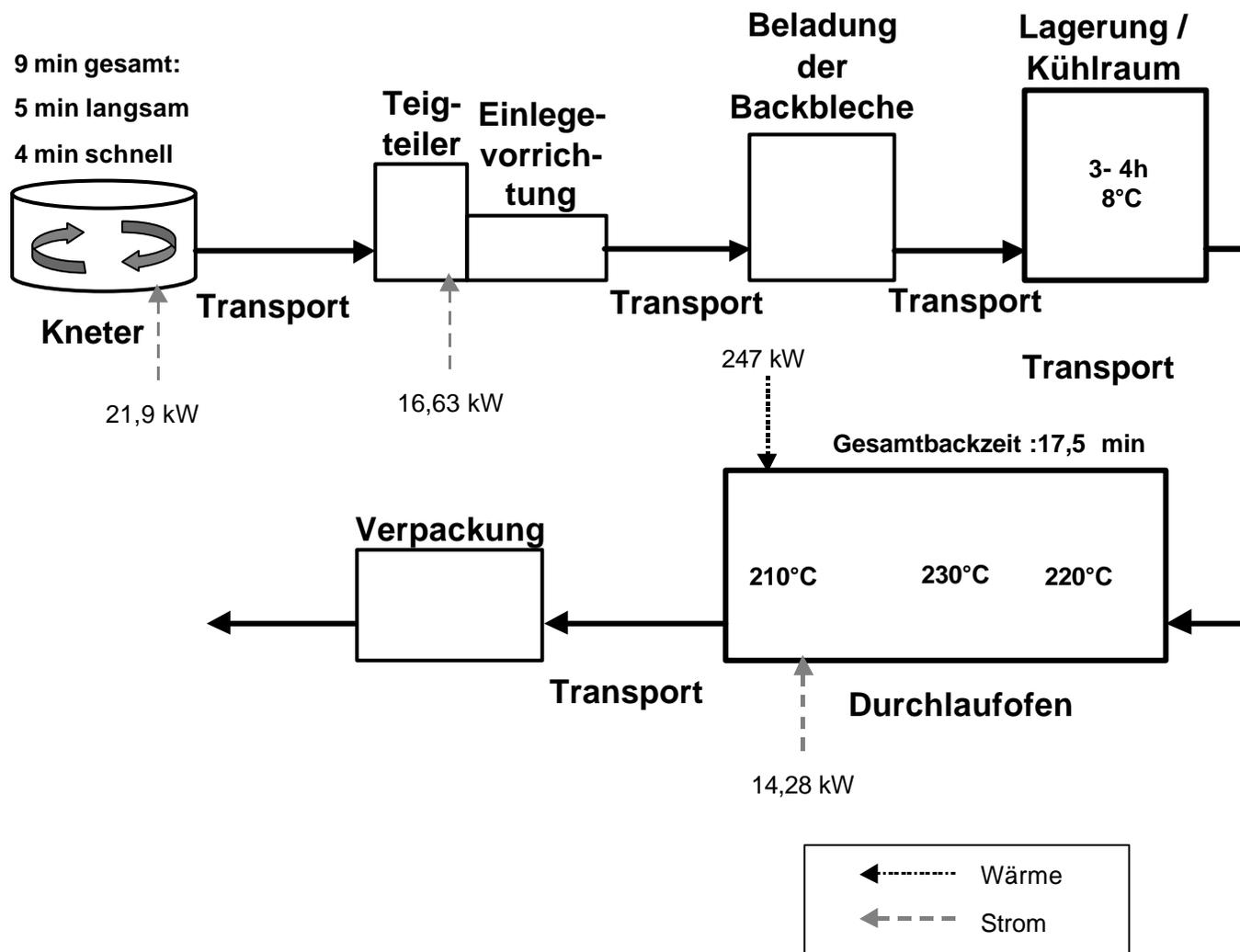


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Ofens der Feinbäckerei

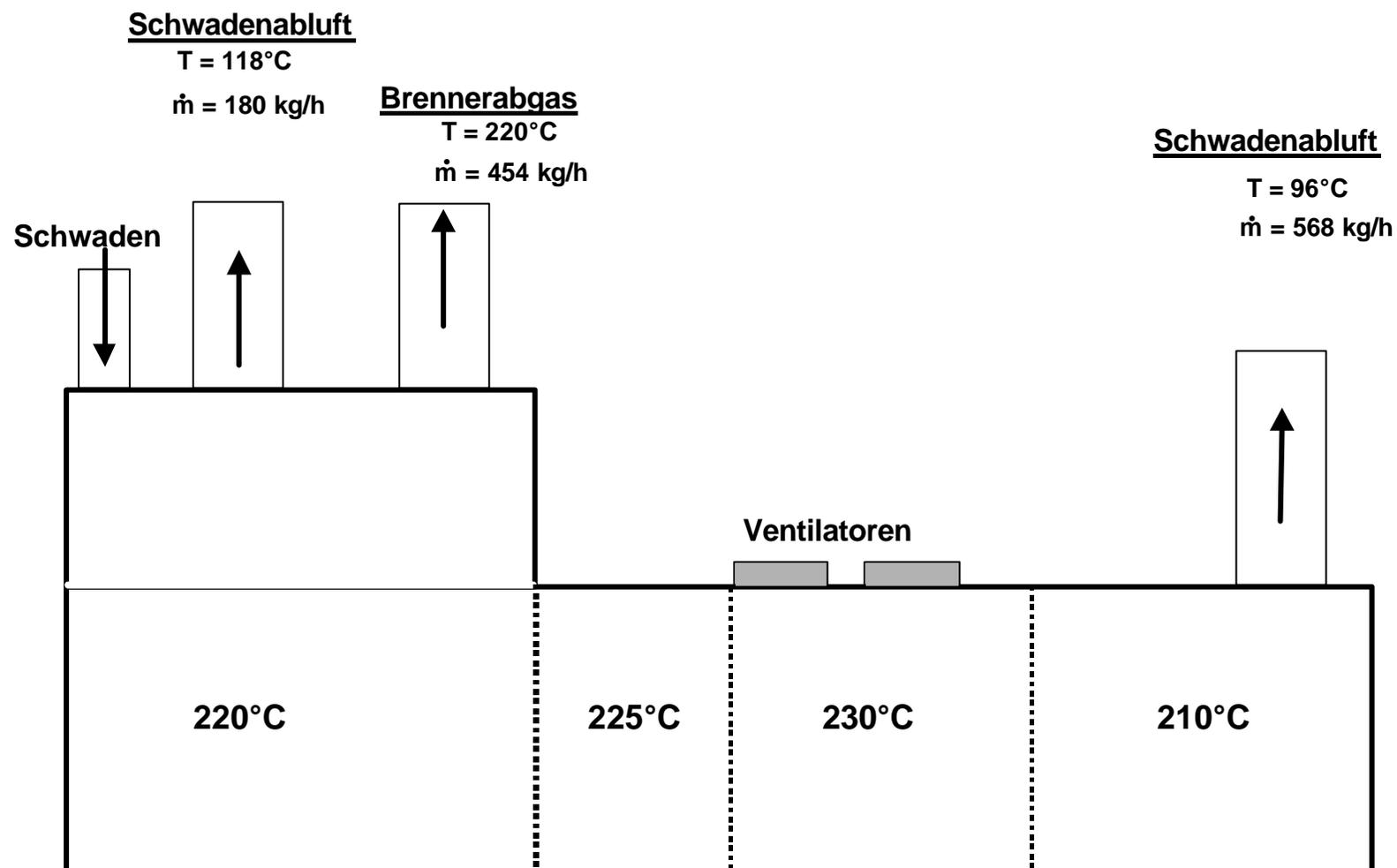
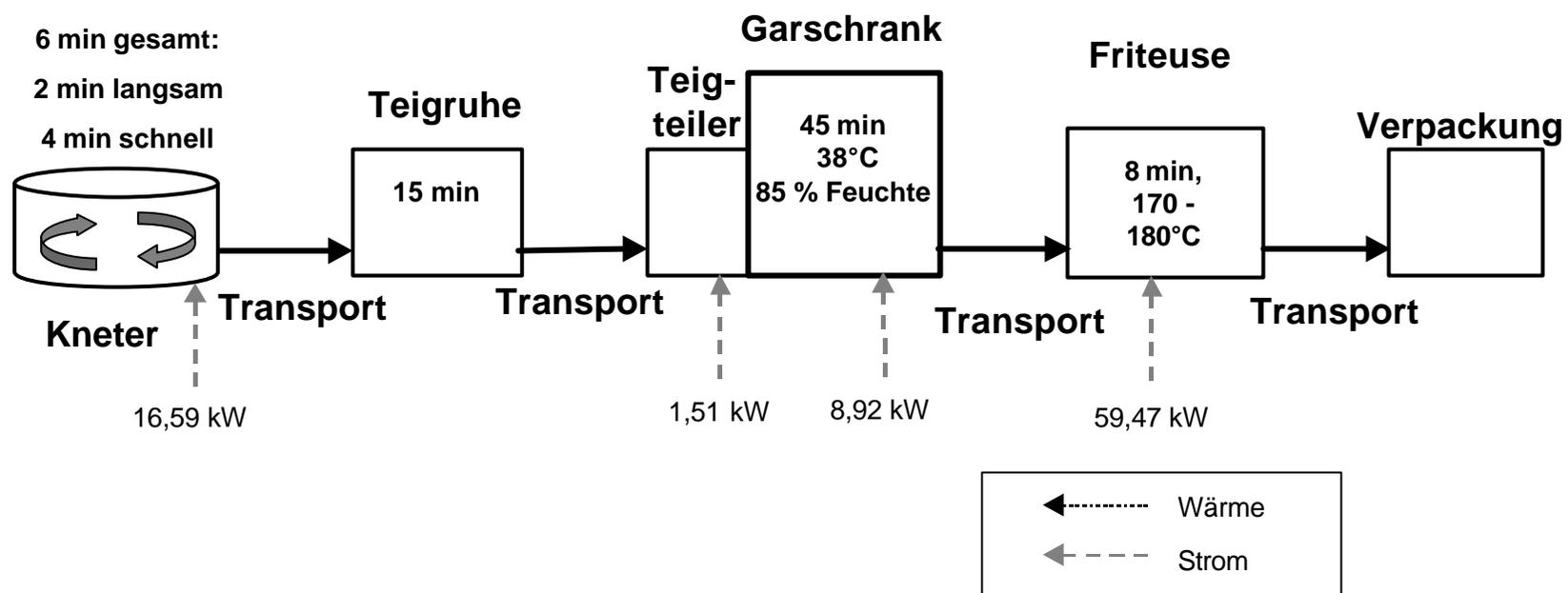


Abbildung 25: Prozesskette Fettbackenes



### 3.3.3 Produktspezifische Energieverbrauchsdaten – Zusammenfassung

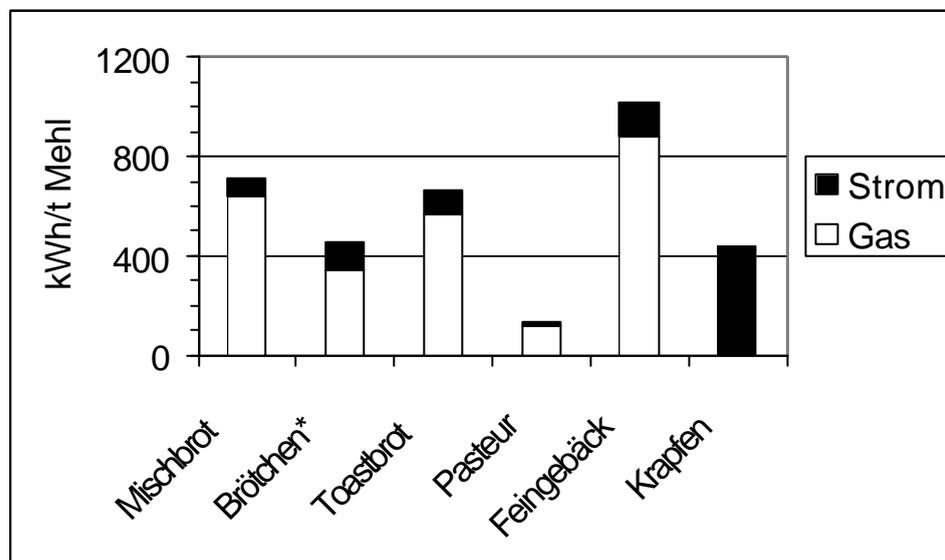
In Abbildung 26 sind die gemessenen spezifischen Energieverbrauchswerte (ohne Schwaden und Kälte) für die einzelnen Produktgruppen gegenübergestellt.

Der spezifische Energieverbrauch ist produktabhängig und wird unter anderem von folgenden Parametern beeinflusst:

- Teigzusammensetzung (und Füllungen)
- Ofentemperaturen
- Abgasverluste

60 – 80 % entfallen auf die Wärmebereitstellung während des Backprozesses. Daher sollte insbesondere der Energieverbrauch der Öfen regelmäßig erfasst und kontrolliert und Maßnahmen zur Energieeinsparung durchgeführt werden. Der spezifische Schwadenverbrauch beträgt 39 - 123 kWh/t Mehl (Messungen an der Toastbrotlinie Firma GLT 1997).

Abbildung 26: Spezifischer Energieverbrauch von Bäckereiprodukten (gemessene Werte ohne Schwaden und Kälte)



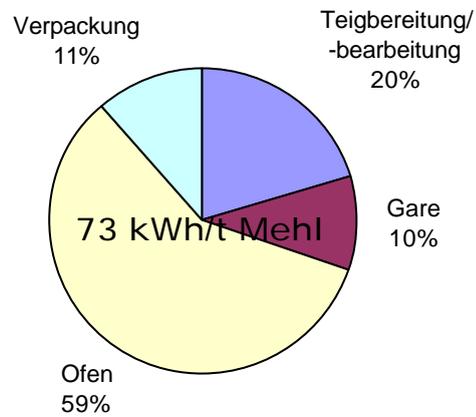
\*Stikken

Die folgenden Abbildungen zeigen die Aufteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Prozessschritte der Produktherstellung. Auch der Stromverbrauch kann zum größten Teil dem Backprozess (Ofen bzw. Ofenbeladung) zugeordnet werden.

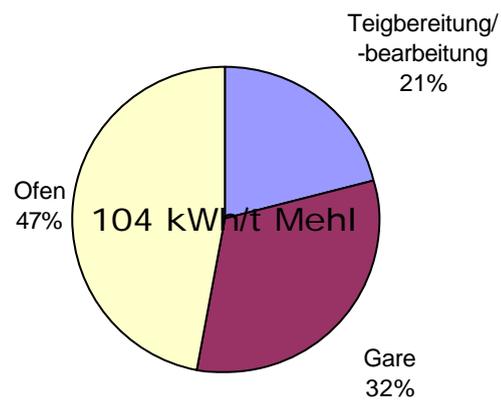
Bei der Krapfenherstellung hat die Friteuse einen Anteil von 83 % am Stromverbrauch.

Abbildung 27: Verteilung des Stromverbrauchs verschiedener Bäckereiprodukte

### Mischbrot



### Brötchen



### Toastbrot

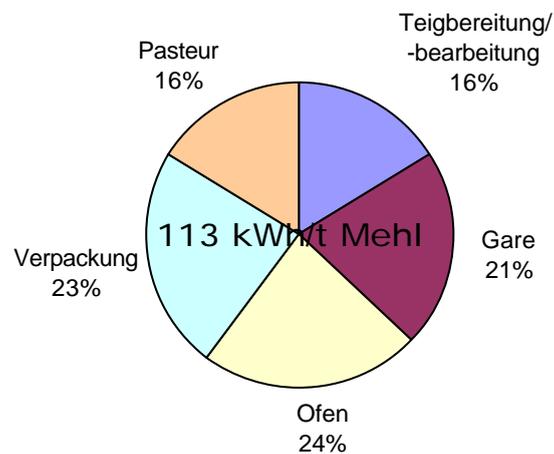
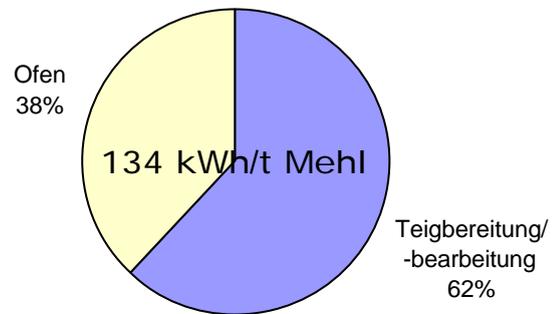
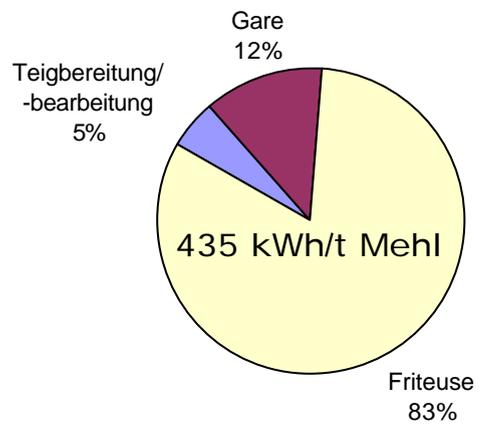


Abbildung 28: Verteilung des Stromverbrauchs verschiedener Bäckereiprodukte

### Feingebäck



### Krapfen

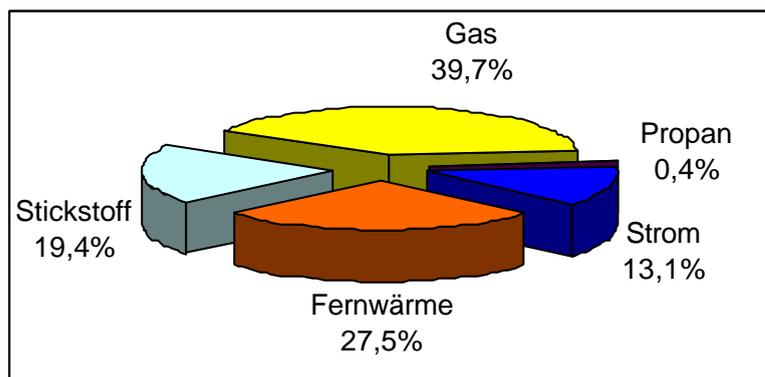


### 3.4 CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die prozentuale Anteile der einzelnen Energieträger an den direkten und indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen am Standort im Jahr 1999. Den Ergebnissen aus Abbildung 29 liegt der Bayerische Strommix zugrunde, während in Abbildung 30 die CO<sub>2</sub>-Emissionen des bundesdeutschen Strommixes für die Berechnung verwendet wurden /14, 22/. Der Stromerzeugung werden in Bayern aufgrund des höheren Anteils an Kernenergie geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeordnet (167 kg/MWh) als im bundesdeutschen Durchschnitt (648 kg/MWh).

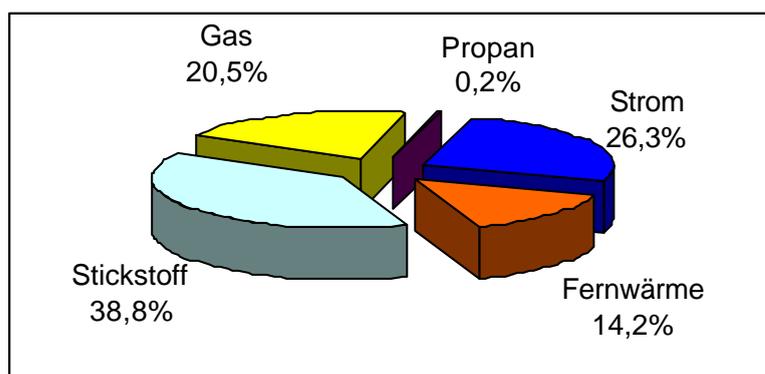
Von den insgesamt rund 19.000 t CO<sub>2</sub>, die 1999 bedingt durch den Verbrauch an Strom (Erzeugung in Bayern), Gas, Fernwärme und Stickstoff emittiert wurden, entfallen 39,7 % auf den Verbrauch von Erdgas, Stickstoff und 27,5 % auf die Nutzung der Fernwärme. Dem Verbrauch an Stickstoff können 19,4 % und dem Stromverbrauch 13,1 % der Gesamtemissionen zugeordnet werden. Ein geringer Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 0,4 % wird durch den Einsatz von Propan zum werksinternen Betrieb der Gabelstapler verursacht.

Abbildung 29: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen 1999 (Bayerischer Strommix)



Basierend auf den spezifischen Emissionen der Stromerzeugung für den Strommix der Bundesrepublik Deutschland betragen die energiebedingte Emissionen 36.768 t CO<sub>2</sub>. Dabei können rund 40 % dem Verbrauch von Stickstoff und rund 26 % dem Verbrauch an elektrischer Energie zugeordnet werden.

Abbildung 30: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen 1999 (Strommix BRD nach /22/)



## **4 Stand der Technik – Energieverbrauch und Energiesparmaßnahmen in Bäckereien**

Die Energiekosten in Bäckereien betragen laut Angaben des statistischen Bundesamtes (1994) durchschnittlich etwa 2,9 % der Produktionskosten /2/. Der Gesamtenergieverbrauch der gewerblichen Bäckereien in Deutschland beträgt ca. 5 Millionen MWh. Die Hälfte entfällt auf den Energieträger Erdgas. Der Stromanteil liegt bei 29 % /16/.

Die zunehmende Automatisierung in Bäckereien und neue Vermarktungskonzepte mit einem steigenden Anteil an Tiefkühlwaren haben einen Anstieg des Stromverbrauches zur Folge. Während der Anteil des Stroms am gesamten Energieeinsatz meist unter 30 % liegt, können die Energiekosten vor allem in kleinen Bäckereien oft zu über 50 % dem Strombezug zugeordnet werden /2/.

### **4.1 Rohstoffaufbereitung**

Bei der Rohstoffaufbereitung wird ausschließlich elektrische Energie verbraucht. Die in den Siloanlagen gelagerten Rohstoffe werden im allgemeinen durch pneumatische Förderung transportiert. In den Förderleitungen sind oft Siebmaschinen integriert, die sowohl zur Abtrennung von Verunreinigungen als auch zur Auflockerung des Mehles dienen.

Das Energiesparpotential bei der Rohstoffaufbereitung ist sehr klein. Ein Leerlaufbetrieb der Förderleitung ist nicht möglich. Der Bedarf an elektrischer Energie in diesem Verfahrensschritt beträgt in den meisten Bäckereien weniger als 0,05 % des Gesamtbedarfes an elektrischer Energie /17/.

### **4.2 Gare**

Zur Gare wird sowohl Wärme- als auch elektrische Energie benötigt. Die Gare erfolgt je nach Produkt und Größe des Betriebes in Garschränken, Garräumen oder kontinuierlich in Gartunneln. Je nach Produkt werden die Teiglinge 30 - 90 Minuten bei einer Luftfeuchte von 60 – 90 % und Temperaturen von 30 – 40°C gehalten. Eine Garunterbrechung/Garverzögerung ermöglicht es, den Gärprozeß durch eine Temperatursenkung zu unterbrechen bzw. verzögern, so daß eine Vorproduktion möglich wird. Die Teiglinge werden anschließend langsam aufgetaut und auf Gärtemperatur gebracht.

Bei der Gare sollte auf eine möglichst hohe Auslastung und geringe Leerlaufzeiten der Anlagen geachtet werden.

### **4.3 Backen**

Der größte Energieverbraucher bei der Backwarenherstellung sind die Backöfen. Im allgemeinen werden bei Produktionskapazitäten von 4 - 5 t Brot pro Tag diskontinuierliche Verfahren, z.B. Etagenbacköfen oder Backschränke, eingesetzt. Bei höhe-

ren Produktionskapazitäten werden kontinuierlich beschickte Durchlauföfen (Tunnelöfen) bevorzugt. Die Beheizung der Öfen erfolgt elektrisch, oder mit Gas bzw. Öl. Es werden je nach Produkt und Backphasen Ofentemperaturen von 200 – 300 °C benötigt.

Weniger als 5 % der in den Backprozeß eingebrachten Wärme wird zur Stoffumwandlung benötigt. Der Rest dient zur Schaffung der thermischen Reaktionsbedingungen und fällt während bzw. nach dem Backvorgang an als

- Verlustwärme durch Abstrahlung des Ofens
- Abwärme des Gebäcks
- Verlustwärme des umlaufenden Bandes
- Restwärme der Abgase aus der Verbrennung
- latente, fühlbare Wärme des Schwadens.

Um eine bestimmte Luftfeuchte im Backraum zu erzielen, wird in der Regel in der ersten Backphase Niederdruckdampf (Schwaden) in den Backraum eingeleitet. Das sich an die erste Phase hohen Luftfeuchteniveaus anschließende niedrigere Luftfeuchteniveau wird durch Abziehen feuchter Luft aus dem Backraum eingestellt. Die Regelung der Luftfeuchte im Backofen erfolgt im allgemeinen manuell durch Schiebereinstellungen nach Erfahrungswerten.

Backöfen werden oft mit zu hohen Temperaturen oder zu großen Beschwadungsmengen betrieben, da dies über einen relativ weiten Bereich keine negativen, allerdings auch keine positiven Auswirkungen auf das Produkt hat. Der Dampfverbrauch in Netzbandbacköfen beträgt nach Kriems /11/ 400 - 1.200 m<sup>3</sup>/h. Durch den Einsatz von Mess- und Regeleinrichtungen, wie Dampfblenden und Dampfregelventile, kann der minimale Dampfbedarf für das jeweilige Produkt ermittelt und während des Backvorganges eingestellt werden /2/.

Immer häufiger werden vor allem in größeren Backbetrieben auch Backraum-Klimasteuerungen eingesetzt. Über Messungen der Backraum Luftfeuchte, den Schwaden-Kaminzug, Dampfverbrauch und mit Hilfe computergesteuerter Stellorgane zur Regelung des Durchflusses wird das Backraumklima optimiert. Durch den Einsatz solcher Steuerungen können zwischen 8 und 25 % des Energieverbrauchs der Backöfen eingespart werden /15/.

#### 4.4 Kühlen und Tiefkühlen

Das Kühlen dient zur Erhöhung der Haltbarkeit und vermindert das „Altbackenwerden“ (Retrogradation der Stärke). Man unterscheidet Kühllagerung bei Temperaturen von 0 bis +4 °C und Tiefkühlen bis –30 °C. Beim Tiefkühlen sollen im Inneren der Backware mindestens –18 °C erreicht werden /17/.

Die Herstellung von vorgegarten oder halbgebackenen Tiefkühlteiglingen und das anschließende Backen im Verkaufsladen nehmen einen immer wichtigeren Stellen-

wert ein. Neben konventionellen Kälteanlagen wird zum Frosten der Produkte Stickstoff in flüssiger Form eingesetzt, der direkt auf das Produkt aufgesprüht wird.

Beim Kühlen und Tiefkühlen ist eine möglichst hohe Auslastung anzustreben /17/.

## 4.5 Biogas- und Stromerzeugung

Das betriebliche Abwasser aus Bäckereien kann, evtl. zusammen mit dem anfallenden Altbrot, in einer Biogasanlage zur Erzeugung von Strom verwertet werden. Das Abwasser wird genutzt, um das zerkleinerte Altbrot anzumaischen. In einer Hydrolyse wird das ungelöste organische Material, wie Proteine, Kohlenhydrate und Lipide durch extrazelluläre Enzyme (Hydrolasen) in überwiegend wasserlösliche Stoffe zerlegt. Die gelösten organischen Verbindungen, welche aus Aminosäuren, Glycerin, organischen Säuren u.a. bestehen, werden von acidogenen Bakterien zu kurzkettigen Fettsäuren,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , Aldehyden und Alkoholen umgesetzt. Aufgrund der kontinuierlichen Verfahrensweise wird hinter dieser Hydrolyse eine Fest-Flüssig-Trennung durchgeführt und das ungelöste Material in die Hydrolyse zurückgeführt. Die Flüssigphase kommt in einen Hochleistungs-Methanreaktor, in welchem die organischen Bestandteile zu Biogas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) abgebaut werden. Neben dem entstehenden Biogas, welches energetisch (Kessel, BHKW) genutzt werden kann, entsteht zu einem relativ kleinen Teil Überschussschlamm, welcher entsorgt werden muß. Bei Abwasser der Lebensmittelindustrie kann anaerob ein CSB-Abbaugrad von 90 % erreicht werden /18/.

## 5 Maßnahmen zur Energieeinsparung

Zur Ermittlung der baulichen Maßnahmen wurde im Rahmen einer Ortsbegehung eine technische und bauliche Bestandsaufnahme durchgeführt. Der Zustand der Einzelbauteile, soweit für die energetische Beurteilung erforderlich, wurde ermittelt. Die Datenaufnahme erfolgte nach Augenschein, eine zerstörende Materialprüfung wurde nicht vorgenommen.

Plandaten stehen nicht mehr zur Verfügung. Der Wandaufbau ist auch dem technischen Personal nicht bekannt. Die Bauteilaufbauten wurden daher entsprechend dem Baualter der Gebäude und der üblichen Bauart geschätzt.

Die ermittelten anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen basieren auf der Auswertung der Daten und Informationen zu den Produktions- und Energieversorgungsanlagen sowie auf den Ergebnissen der durchgeführten Messungen.

### 5.1 Bauliche Maßnahmen

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehüllflächen fallen im Bereich der Produktion gegenüber der Prozeßwärme wenig ins Gewicht, zumal die Heizung zum überwiegenden Teil durch die Abwärme der Ofenlinien erfolgt. Eine aktive Kühlung der Produktionsstätten wird nicht durchgeführt.

Das an die Fertigung angrenzende Bürogebäude stammt aus den 60iger Jahren mit der damals üblichen Bauweise. Die Fenster bestehen aus Isolierverglasung in thermisch nicht entkoppelten Aluminiumrahmen. Die einfachen Lippendichtungen sind großenteils versprödet. Die Beschläge der Fenster sind vielfach ausgeschlagen, so daß das Öffnen und Schließen erschwert ist.

Die raumhohen Verglasungen im Treppenhaus bestehen aus mehreren alugerahmten Scheiben, die einzeln geöffnet werden können. Das Treppenhaus wird durch Heizkörper beheizt.

#### Verbesserungsvorschläge

- Ersatz der Fenster durch moderne Fenster mit Wärmeschutzverglasung
- Einsatz moderner Rasterleuchten mit EVG und ggf. Lichtsteuerung
- Bewegungsmelder in den Werkstätten und anderen Räumen, die nur sporadisch benutzt werden, zur automatischen Lichtabschaltung.

## **5.2 Anlagentechnische Maßnahmen**

### **5.2.1 Installation von Verbrauchszählern**

Im Betrieb sind derzeit für Einzelanlagen keine Verbrauchszähler für elektrische Energie und nur vereinzelt Gasmengenzähler vorhanden. Für die Hauptverbraucher sollten Verbrauchsmessgeräte installiert werden.

Der Strom und Gasverbrauch sollte in regelmäßigen Abständen registriert und ausgewertet werden. Aus den Ergebnissen können dann leichter Maßnahmen zur Energieeinsparung abgeleitet werden.

Durch die Installation einer Dampfmengenmessung und Anzeige der zugeführten Dampfmenge an den Öfen kann der zugeführte Beschwadungsdampf auf ein Minimum reduziert werden. Erfahrungen einer anderen Bäckerei zeigen, daß Einsparungen bis zu 50 % erzielt werden können /2/.

### **5.2.2 Anlagentechnische Optimierung der Energiezentrale**

In der Energiezentrale erfolgt die Verteilung und Umwandlung des Fernwärmedampfes. Die Grundlast beträgt, auch wenn keine Wärme in der Produktion und für Heizzwecke benötigt wird, 0,6 MW. Hier werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Ersatz des Allo-Dampfdruckminderers (Baujahr 1973) und Verkürzung der Fernwärmedampfleitung zur Verringerung der Verluste
- Regelmäßige Überprüfung von Ventilen und Kondensatableitern zur Verringerung von Dampfverlusten
- Installation von Rückschlagklappen bzw. automatischen Ventilen in den Dampfleitungen der Niederdruckdampferzeuger (Zufluß zentrale Dampf-schiene), um ein Rückströmen von Dampf zu den abgeschalteten Dampf-formern zu verhindern.
- Isolierung der Ventile und Rohrleitungen der Dampfzuführung und Fern-dampfkondensatleitungen zur Warmwasserbereitung um die Wärmeverluste zu verringern
- Installation einer Temperaturregelung Entgaser auf 103 °C um Wärmeverluste durch das Entweichen von Dampf zu verringern.

### **5.2.3 Optimierung der Kälteanlagen**

Potentiale zur Energieeinsparung sind insbesondere bei der Kälteerzeugung für die Kühlräume vorhanden. Die Einzelanlagen sollten durch eine moderne zentrale Kälteanlage ersetzt werden. Dazu sollte zunächst der Kälteverbrauch für die Kühlräume aufgezeichnet und analysiert werden.

Die Kühlräume sind zum Teil nicht ausgelastet. Eine räumliche Abtrennung nicht benötigter Kühlflächen würde eine höhere Auslastung der zu kühlenden Räumlichkeiten ermöglichen.

## 5.2.4 Wärmerückgewinnung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Abwärmequellen und nutzbaren Abwärmeströme aus den Ofenlinien zusammengestellt. Die Berechnungen basieren auf

- unseren energietechnischen Untersuchungen der Volumenströme und Temperaturen von Abgas- und Schwadenabluft
- Literaturwerten nach Seibel und Spicher /20/ zum Feuchtegehalt der Schwadenabluft

Für die Berechnungen zur Wärmerückgewinnung aus den Brennerabgasen wurde eine Abkühlung der Rauchgase im Wärmeübertrager auf 110 °C zugrunde gelegt. Bei der Berechnung der nutzbaren Wärmeströme der Schwadenabluft, wird eine Abkühlung der Schwadenabluft auf 60 °C vorausgesetzt.

Unter der Annahme, daß zwischen Backfläche und Energiebedarf bzw. Abgaswärmestrom ein linearer Zusammenhang besteht und unter Berücksichtigung der Backzeiten der einzelnen Ofenlinien (Tabelle 21) wurden die Abwärmeströme für die Ofenlinien 2, 3, 5-8 und 15 berechnet.

Tabelle 21: Backzeiten der Ofenlinien

Ofenlinie	Backzeit in [h/a]
1 - 4	6 240
5	4 680
6-7	3 744
8	6 240
15	3 120
Stikkenöfen	4 056

Die Abwärmenutzung aus den Öfen liefert Wärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Mit der Abwärme aus den Schwaden kann z.B. Warmwasser mit einer Vorlauftemperatur von 50 - 60 °C gewonnen werden. Die Abwärmenutzung der Rauchgase ermöglicht die Wärmenutzung mit Temperaturen über 100 °C (Tabelle 22). Insgesamt steht eine Wärmemenge von rund 9.861 MWh pro Jahr zur Verfügung.

Über eine Wärmerückgewinnung der Öfen kann der Wärmeverbrauch sowohl für die Heizung und Lüftung als auch für die Waschanlagen und den Pasteur gedeckt werden (Tabelle 23). Der Wärmeverbrauch beträgt 4.149 MWh pro Jahr (zzgl. Backblechwaschanlage).

Eine Abwärmenutzung erfolgt bereits an Linie 1 (Brenner 2 und 3), Linie 2 und Linie 3. In den Wärmetauschern wird Warmwasser erzeugt, das zur Beheizung der Beladungshalle durch Heizregister verwendet wird. Im Sommer wird (aus technischen Gründen) hierüber ebenfalls die Wärme abgeführt.

Mit den Wärmeübertragern aus Ofen 1 wird bei laufendem Betrieb des Ofens ein Wärmestrom von insgesamt 56 kW zur Warmwasserbereitung genutzt.

Unter der Annahme, daß an den betriebenen Wärmeübertragern der Linie 2 und 3 vergleichbare Bedingungen vorliegen, steht derzeit insgesamt durch die Wärmerückgewinnung eine Wärmeleistung von 140 kW zur Verfügung. Mit einer Laufzeit der Öfen von 6.240 h pro Jahr beträgt die jährlich bereitgestellte Wärmemenge 874 MWh/a.

Zusätzlich zu der Wärmerückgewinnung aus den Brennerabgasen und der Schwadenabluft stehen Abwärmequellen an der Druckluftanlage und der Kälteanlage der Tiefkühlräume für eine Wärmerückgewinnung zur Verfügung.

Theoretisch sind mehr als 90 % der elektrischen Leistungsaufnahme eines Druckluftherzeugers wärmetechnisch nutzbar [21]. Mit wassergekühlten Anlagen kann bei einer Nutzung der Abwärme über Ölkühler (ca. 70 % der elektrischen Leistungsaufnahme) jährlich eine Wärmemenge von ca. 900 MWh/a auf einem Temperaturniveau von 70 - 75 °C gewonnen werden. Derzeit werden die Druckluftherzeuger luftgekühlt. Im Winter wird die erwärmte Luft für Heizzwecke genutzt.

Als weitere Abwärmequelle steht die Überhitzungswärme des Kältemittels (ca. 6 % der Kondensatorleistung) aus der Kälteanlage der Tiefkühlräume zur Verfügung. Unter der Voraussetzung, daß der elektrische Energiebedarf der Kälteanlagen zur Kälteversorgung 1.450 MWh pro Jahr beträgt und mit einer effektiven Leistungszahl der Kälteanlagen von 1,6 kann damit jährlich eine Wärmemenge von 210 MWh gewonnen werden.

Ein Einsatz von Wasserkühlern an der Druckluftherzeugungsanlage oder eine Wärmerückgewinnung aus den Kälteanlagen wird im vorliegenden Fall nicht empfohlen, da durch eine Wärmerückgewinnung an den Öfen wesentlich höhere Abwärmemengen zur Verfügung stehen. Die Netzbandöfen der Brotproduktion sind zudem an Produktionstagen 24 h pro Tag in Betrieb, so daß die Abwärmeströme kontinuierlich zur Verfügung stehen.

Tabelle 22: Abwärmeströme aus Rauchgas und Schwadenabluft

Ofenlinie	Bereich	T [°C]	Massenstrom [kg/h]	Nutzbarer Abwärmestrom [kW]	Energieinhalte der nutzbaren Abwärmeströme [kWh/a]
Ofenlinie 1	Brenner 1	307	1.110	62,5	389.928
	Brenner 2	239	974	35,7	222.525
	Brenner 3	206	1.297	35,3	220.093
	Schwaden 1	153	705 (inkl. 6 % rel. Feuchte)	64,4	403.086
	Schwaden 2	195	416 (inkl. 1 % rel. Feuchte)	15,1	93.918
	Schwaden 3	172	190 (inkl. 2 % rel. Feuchte)	7,2	44.875
	Schwaden 4	127	224 (inkl. 7 % rel. Feuchte)	5,3	33.326
Ofenlinie 2	3 Brenner				832.546*
	3 Schwaden				541.879*
Ofenlinie 3	3 Brenner				770.221*
	4 Schwaden				532.145*
Ofenlinie 4	Brenner 1	232	1.382	47,8	298.495
	Brenner 2	271	1.418	65,0	405.603
	Schwaden 1	57	196 (inkl. 95 % rel. Feuchte)	-	-
	Schwaden 2	191	568 (inkl. 1 % rel. Feuchte)	22,8	141.968
	Schwaden 3	115	206 (inkl. 12 % rel. Feuchte)	3,3	20.633
Ofenlinie 5	2 Brenner				527.904*
	1 Schwaden				145.925*
Ofenlinie 6	3 Brenner				365.328*
	4 Schwaden				251.761*
Ofenlinie 7	3 Brenner				365.328*
	3 Schwaden				250.254*
Ofenlinie 8	2 Brenner				373.138*
	2 Schwaden				302.082*
Ofenlinie 15	4 Brenner				612.768*
	4 Schwaden				326.274*
Stikkenofen 1		261	122	5,2	21.269
Stikkenofen 2		283	151	7,5	30.275
	Schwaden (von 3 Öfen)	100	58,9 (inkl. 43 % rel. Feuchte)	13,3	53.803

\* Hochrechnung

Tabelle 22: Abwärmeströme aus Rauchgas und Schwadenabluft (Fortsetzung)

Ofenlinie	Bereich	T [°C]	Massenstrom [kg/h]	Nutzbarer Abwärmestrom [kW]	Energieinhalte der nutzbaren Abwärmeströme [kWh/a]
Stikkenöfen 3-18					412.352*
	Schwaden (von 6, 5 und 4 Öfen)				286.949*
Stikkenöfen 19-28					257.720*
	Schwaden				179.343*
Ofenlinie 23		220	454	14,1	55.184
	Schwaden 1	118	180 (inkl. 16 % rel. Feuchte)	14,4	56.271
	Schwaden 2	96	568 (inkl. 35 % rel. Feuchte)	9,1	35.415
<b>Summe</b>	<b>Brenner</b>				<b>6.160.677</b>
<b>Summe</b>	<b>Schwaden</b>				<b>3.699.909</b>
<b>Gesamtsumme</b>					<b>9.860.586</b>

\* Hochrechnung

Tabelle 23: Wärmeverbraucher zur Abwärmenutzung

Wärmeverbraucher	Notwendige Temperatur [°C]	Wärmeleistung [kW]	Wärmeverbrauch [kWh/a]	Derzeitige Energieträger
Versandhalle (Heizung) Heizung und Lüftung	50-60		1.631.231	Fernwärmedampf 4 bar ND-Dampf 1,4 bar
LKW-Waschanlage	40		209.260	Heizöl
Kistenwaschanlage	>100	140	894.566	Fernwärmedampf 4 bar
Backblechwaschanlage	>100			ND-Dampf 1,4 bar
Pasteur	>100	272	1.414.400	Erdgas
<b>Summe I</b>	<b>&gt;100</b>		<b>2.308.966</b>	
<b>Summe II</b>	<b>50-60</b>		<b>1.840.491</b>	
<b>Gesamtsumme</b>			<b>4.149.457</b>	

### **5.2.5 Nutzung der Restkälte aus Stickstoffabluft (Froster)**

Aus den Stickstoffrostern zur Schockfrostung der Teiglinge wird der erwärmte Stickstoff am Frostereingang gemeinsam mit Frischluft abgezogen (Mischtemperatur ca. 0 °C ) und über Abluftkanäle abgeblasen. Der Stickstoff hat in der Regel eine Temperatur von –10 °C bevor er mit Luft vermischt wird. Dieser Stickstoffabluftstrom kann über eine isolierte Leitung einem indirekten Verdampfer zugeführt und damit zur Klimatisierung genutzt werden.

### **5.2.6 Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft**

Der Gesamtdruckverlust des Druckluftsystems ist mit 3 bar sehr hoch. Dies ist insbesondere auf zu geringe Leitungsquerschnitte durch das ständig erweiterte Leitungsnetz zurückzuführen. Durch eine Verringerung der Druckverluste wäre eine Absenkung des Netzdruckes von 10 auf 8 bar möglich.

### **5.2.7 Einsatz eines Blockheizkraftwerkes**

Zur Eigenerzeugung von Strom und Wärme kann ein mit einem Gasmotor betriebenes Blockheizkraftwerk eingesetzt werden. Ein BHKW besteht aus einer Motor-Generator-Einheit mit zugehörigen Wärmetauschern für die Nutzung der Kühlwasser- und Abgaswärme. Damit werden durch das BHKW zeitgleich Wärme und Strom bereitgestellt. Ein BHKW kann unter geeigneten Rahmenbedingungen zur Senkung der Energiekosten beitragen. Der hohe Wirkungsgrad der Energieumwandlung durch die Nutzung der Abwärme verringert die spezifischen klimarelevanten Emissionen.

## **5.3 Organisatorische Maßnahmen**

### **5.3.1 Optimale Einstellung der Ofenbrenner**

Bei jeder Verbrennung treten Wärmeverluste auf. Der größte Verlust ist der Abgas- bzw. Schornsteinverlust, der infolge der Temperaturdifferenz zwischen dem Brennstoff-Luftgemisch und den austretenden Rauchgasen entsteht. Je größer der Luftüberschuß und dadurch der Rauchgasmassenstrom ist (und damit je kleiner der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Rauchgase ist) und je höher die Abgastemperatur ist, um so höher ist der Abgasverlust. Das Luftverhältnis bei der Verbrennung sollte möglichst nahe an 1 und die Abgasverluste der Brenner demnach bei 10 % - 12 % liegen.

Hohe Luftüberschüsse im Rauchgas lassen sich ebenfalls auf Undichtigkeiten der Backöfen zurückführen. Diese Undichtigkeiten zwischen Rauchgaszügen und Ofenraum nehmen mit dem Alter der Öfen zu.

Eine optimale Brennereinstellung setzt eine regelmäßige Reinigung und Wartung der Brenner voraus. Gerade in Bäckereien ist die Zuluft der Brenner teilweise stark

mit Mehlstaub belastet. Verunreinigte Brenner und Wärmeübertragerflächen führen zu einem verminderten Feuerungswirkungsgrad. Um Staubverunreinigungen der Ansaugluft zu vermeiden, besteht prinzipiell die Möglichkeit, die Verbrennungsluft von außen anzusaugen und ggf. durch die Abwärme der Rauchgase vorzuwärmen. Aufgrund der langen Leitungswege und des zusätzlichen Energiebedarfes für den Lufttransport wird eine Frischluftansaugung im vorliegenden Fall nicht empfohlen. Anlagen zur Verbrennungsluftvorwärmung sind in der Regel erst für Feuerungsleistungen über 1 MW wirtschaftlich. Die derzeit eingesetzten Brenner sind zudem laut Herstellerangaben nur für Lufttemperaturen unter 60 °C geeignet und müßten daher für den Einsatz einer Verbrennungsluftvorwärmung ausgetauscht werden.

### **5.3.2 Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen**

Um unnötige Leerlaufzeiten zu vermeiden, sollten die technisch notwendigen Aufheizzeiten ermittelt werden. Bei längeren Produktionspausen sollte eine mögliche Abschaltung in Betracht gezogen werden.

Während der Messungen wurde festgestellt, daß eine Ofenlinie z.B. bereits um 13.00 Uhr in Betrieb genommen wird, obwohl der Backprozeß erst gegen 17.30 Uhr beginnt. Eine Auswertung der Produktionspläne zeigt, daß bei mehreren Öfen, insbesondere Ofenlinien 5 bis 7 Leerlaufzeiten von mehr als 4 Stunden auftreten.

### **5.3.3 Optimierung der Kältenutzung**

Sowohl bei den Tiefkühlräumen als auch bei den Kühlräumen sollte überprüft werden, ob unter Berücksichtigung technologischer Gesichtspunkte eine Anhebung der Kühltemperaturen möglich ist. Je niedriger die Verdampfungstemperatur ist, desto höher ist der Energiebedarf der Kälteanlage. Jedes Grad das niedriger ist, als notwendig, hat einen Energiemehrbedarf von 3 % an dem Motor der Kälteanlagen zur Folge.

Nicht oder nur sehr selten benötigte Kühlräume sollten abgeschaltet werden.

Die Verdampfer der Kühlräume sollten regelmäßig enteist werden. Vereiste Verdampfer verschlechtern den Wirkungsgrad der Wärmeübertragung.

Des weiteren sollte darauf geachtet werden, daß die Türen zu den Kühlräumen nicht länger als notwendig geöffnet sind. Neben der Erwärmung der Kühlräume erhöht sich auch die Luftfeuchte. Dies beschleunigt das Vereisen der Verdampfer.

### **5.3.4 Wartung des Druckluft- und Dampfnetzes**

Die Leckageverluste der Anlage sind hoch. Auch am Wochenende, wenn keine Produktion stattfindet wird für die Druckluftbereitstellung eine Leistung von 80 kW benötigt. Das Druckluftnetz sollte regelmäßig hinsichtlich Leckagen überprüft werden.

Das Dampfnetz sollte ebenfalls regelmäßig hinsichtlich undichter Flansche, Ventile und Kondensatableiter überprüft werden.

## 6 Bewertung der Maßnahmen

Bei der nachfolgenden Bewertung der Maßnahmen liegt der Schwerpunkt auf den anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen, da hier die größten Einsparpotentiale zu erwarten sind. Die baulichen Maßnahmen sollten im Rahmen der baulichen Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

### 6.1 Technische und wirtschaftliche Bewertung

Die im folgenden angegebenen Energie-Einsparpotentiale für die Einzelmaßnahmen beziehen sich auf die spezifischen Verbrauchswerte der betrachteten Anlagen. Die Einsparpotentiale sind Orientierungswerte, die durch Berechnungen oder Abschätzungen ermittelt wurden. Einzelne Maßnahmen können sich gegenseitig beeinflussen, so daß bei Realisierung mehrerer Maßnahmen eine geringere prozentuale Einsparung erreicht wird als bei isolierter Betrachtung der Summe der Maßnahmen.

Die Maßnahmen wurden auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht. Für bauunterhaltende Maßnahmen wurde keine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt, da sie zum Erhalt der Bausubstanz beitragen. Alle Kostenangaben verstehen sich ohne Mehrwertsteuer.

Die Investitionen wurden aufgrund von Herstellerangaben sowie eigenen Erfahrungswerten ermittelt. In den Einzelpositionen sind die Montagekosten enthalten. Durch Eigenleistungen des Betriebes können dementsprechend Kostenreduzierungen erreicht werden.

Eine detaillierte Kostenschätzung ist nur durch eine ausführliche Projektierung unter Berücksichtigung der geltenden Normen und Bestimmungen möglich.

Die dynamische Amortisationszeit  $a$  wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\lg(e/(e - I \cdot P))$$

$$a = \frac{\lg(e/(e - I \cdot P))}{\lg(1 + P)}$$

$$\lg(1 + P)$$

mit

$e$	=	jährliche Kosteneinsparung
$I$	=	Investitionen
$P$	=	Kalkulationszinssatz 6 %

Die den Wirtschaftlichkeitsberechnungen zugrundeliegenden Energiepreise sind in Tabelle 24 dargestellt. Die Energiepreise waren in den letzten Jahren starken Schwankungen unterworfen. Es hat sich gezeigt, daß sich Veränderungen auf dem Primärenergiemarkt äußerst kurzfristig ereignen können und oft mit einem starken Preisverfall bzw. -anstieg verbunden sind.

Langfristig gesehen ist aufgrund der Ressourcenverknappung mit einem Anstieg der Primärenergiepreise zu rechnen.

Tabelle 24: Angenommene Energiepreise

Energieträger	Energiepreis	
	Fernwärmedampf	48 DM/MWh
Strom	8 Pf/kWh	80 DM/MWh
Erdgas	30 DM/MWh (H <sub>o</sub> )	30 DM/MWh (H <sub>o</sub> )
Heizöl	62 Pf/l	62 DM/MWh

### 6.1.1 Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen

Die technisch notwendigen Aufheizzeiten sollten überprüft und in Arbeitsanweisungen festgehalten werden. In längeren Produktionspausen sollten die Öfen abgeschaltet werden.

Unter Berücksichtigung, daß

- die Ofenlinien derzeit mit Schichtbeginn eingeschaltet werden
- die benötigten Aufheizzeiten nicht genau bekannt und die Einschaltzeitpunkte in Arbeitsanweisungen festgehalten sind
- die Öfen auch bei längeren Produktionspausen durchlaufen

ist davon auszugehen, daß mit dieser Maßnahme durchschnittlich jede Ofenlinie zwei Stunden weniger betrieben werden kann. Bei einer durchschnittlichen Gesamtfeuerungsleistung von rund 6 MW betragen die Einsparungen rund 630 MWh/a.

### 6.1.2 Installation von Verbrauchszählern

Die Installation von Verbrauchszählern insbesondere an den Hauptverbrauchern ist für eine energiewirtschaftliche Optimierung des Betriebes sinnvoll. Neue Anlagen sollten zukünftig mit Meßwerterfassungssystemen oder zumindest Zählern zur Erfassung des Energieverbrauchs ausgerüstet werden. Eine regelmäßige Überprüfung läßt Abweichungen frühzeitig erkennen und gegensteuern.

Für Gasuhren sind an den Öfen Paßstücke vorhanden. Installationen zur Dampf-mengenmessung sind ebenfalls Stand der Technik. Für den Einbau müssen geeignete Messstellen ermittelt werden.

Die Regelung der Schwadenzufuhr erfolgt derzeit manuell durch Schiebereinstellungen nach Erfahrungswerten. Die zugeführte Dampfmenge ist unbekannt. Aus der Literatur ist bekannt, daß durch die Installation einer Dampf-mengenmessung und -anzeige die zugeführte Schwadendampfmenge minimiert und Einsparungen bis zu 50 % erzielt werden können /2/.

Unter der Voraussetzung, daß bei der Installation einer Dampf-mengenmessung und -regelung die technologisch notwendigen Schwadendampfmengen für jedes

Produkt definiert und eingestellt werden, werden die erreichbaren Einsparungen im untersuchten Betrieb auf 20 % der bereitgestellten Schwadendampfmenge geschätzt. Das Einsparpotential ist bei den Netzbandöfen aufgrund der höheren Leistung und der längeren Laufzeiten deutlich größer als bei den Stikkenöfen.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist zudem stark vom Nutzerverhalten abhängig. Daher wird empfohlen, die Maßnahme zunächst an einer Ofenlinie durchzuführen. Mit der Annahme eines durchschnittlichen Schwadendampfverbrauches von 130 kg/h an der Ofenlinie 1 und einer Laufzeit von 6.240 h/a können jährliche Einsparungen von rund 6.600 DM erzielt werden. Die Investitionen inkl. Montage und Inbetriebnahme betragen nach Herstellerangaben ca. 12.000 DM/Ofen. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten werden mit 250 DM/a angenommen. Die dynamische Amortisationszeit wird damit in 2,1 Jahren erreicht.

Insgesamt werden für die Ofenlinien 1 - 7 Einsparungen von 710 MWh/a bzw. 34.000 DM erwartet. Die Investitionen betragen 84.000 DM. Unter Berücksichtigung der Wartungs- und Instandhaltungskosten von rund 1.700 DM/a beträgt die dynamische Amortisationszeit 2,9 Jahre.

### 6.1.3 Anlagentechnische Optimierung der Energiezentrale

Bei ruhender Produktion wird im Sommer eine Fernwärmeleistung von 0,6 MW benötigt. Damit errechnen sich Netzverluste von rund 37 %, die sowohl durch die Verluste in der Energiezentrale als auch durch die Verluste im Leitungsnetz verursacht werden. Eine anlagentechnische Optimierung der Energiezentrale ist im Hinblick auf die Betriebssicherheit zu empfehlen. Die Verluste im Leitungsnetz lassen sich durch organisatorische Maßnahmen, wie z.B. die regelmäßige Kontrolle auf Leckagen, vermindern. Außerdem sollten Dampfleitungen, die nicht für eine Raumbeheizung im Winter benötigt werden, isoliert werden. Mit der Isolierung eines Meters Dampfleitung im Rohrdurchmesser DN 50 wird bei einer Betriebszeit von 20 h/d eine Einsparung von 2,7 MWh/a erzielt.

Unter Berücksichtigung, daß

- während der Untersuchungen Leckagen festgestellt wurden
- z.T. Dampfleitungen z.B. zur Energieversorgung der Kistenwaschanlage nicht isoliert sind

kann eine Reduzierung der Netzverluste um 7 Prozentpunkte erreicht werden.

Durch den Ersatz des „Allo“-Druckminderers und eine gleichzeitige Verkürzung der Fernwärmedampfleitung wird eine Energieeinsparung von 64.210 kWh/a erzielt. Bei einem Fernwärmepreis von 48 DM/MWh sind Einsparungen von rund 3.100 DM/a möglich. Die Investitionen für den Einsatz eines neuen Druckminderers betragen ca. 10.000 DM /25/. Die dynamische Amortisationszeit beträgt 3,7 Jahre.

Die Energieeinsparungen, die durch die Temperaturregelung des Entgasers auf 103 °C erzielt werden können, betragen ca. 51.000 kWh/a. Die Einsparungen betragen 2.400 DM/a. Die Investitionen für den Einbau einer Temperaturregelung betragen ca. 3000 DM /25/. Die dyn. Amortisationszeit wird in 1,3 Jahren erreicht.

Die Installation von Rückschlagklappen, bzw. automatischen Ventilen bei unzureichenden Druckdifferenzen, verhindert das Rückströmen von Dampf zu den abgeschalteten Dampfumformern. Das Energiesparpotential beträgt ca. 43.000 kWh/a bzw. ca. 2.100 DM/a.

Demgegenüber stehen Investitionen von rund 5.000 DM /25/. Die dyn. Amortisationszeit beträgt 2,7 Jahre.

#### **6.1.4 Optimierung der Kälteanlagen**

Die einzelnen Kälteanlagen der Kühlräume der Bäckerei und Feinbäckerei sind alt und Ersatzinvestitionen aus Betriebssicherheitsgründen zu erwarten. Daher sollte von Beginn der Ersatzmaßnahmen an eine moderne, zentrale, erweiterungsfähige Kälteanlage in Betracht gezogen werden.

Unter Berücksichtigung folgender Annahmen:

- Kühlräume zum Teil nicht ausgelastet
- Einsatz von älteren Kompressoren mit verringerten Wirkungsgraden
- Verdampfer z.T. vereist (z.B. im Frosterraum der Konditorei bei Begehung)

können durch eine anlagentechnische Optimierung der Kälteanlagen und der Kühlräume sowie organisatorische Maßnahmen in diesem Bereich Energieeinsparungen von 15 % erzielt werden.

#### **6.1.5 Wärmerückgewinnung**

Die aus der Wärmerückgewinnung der Öfen anfallenden Abwärmemengen können den Wärmebedarf für die Heizung und Lüftung, Waschanlagen, die Brauchwarmwassererwärmung und auch den Pasteur decken.

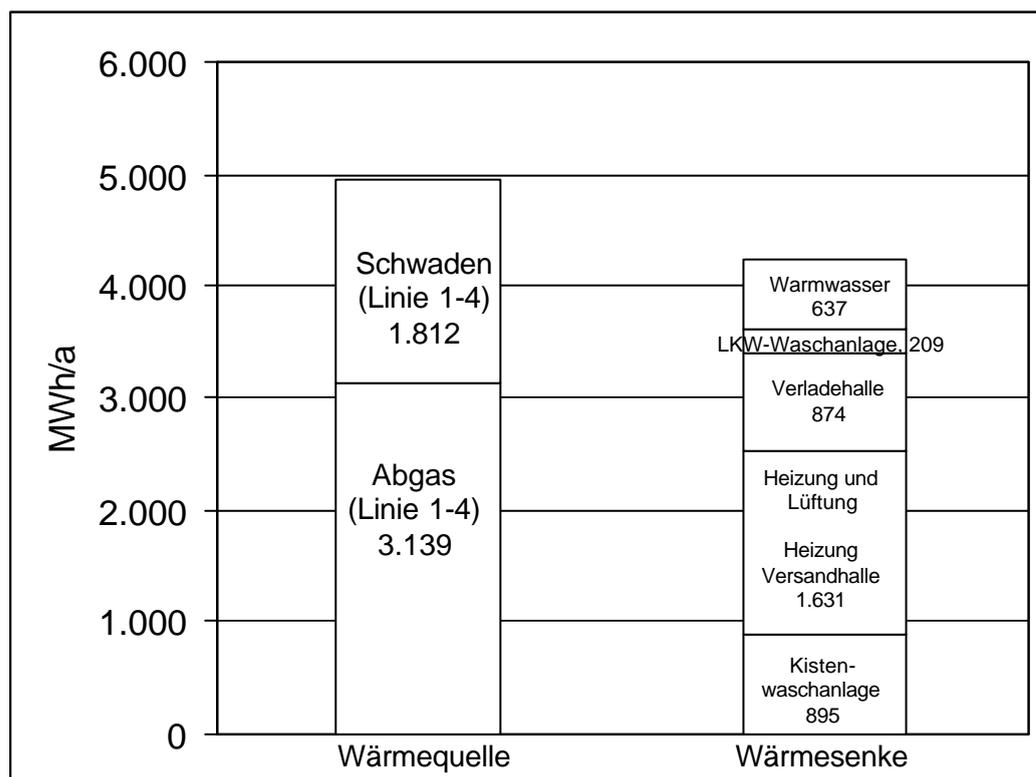
Es sollte ein zentrales und erweiterbares Wärmerückgewinnungssystem aufgebaut werden. Aufgrund der Lage und der Größe der Öfen sollten zunächst die Ofenlinien 1 - 4 eingebunden werden. Abbildung 31 stellt die Abwärmequellen und Wärmesenken gegenüber. Mit der Schwaden- und Abgaswärme aus den Ofenlinien 1 - 4 kann der Bedarf für die Beheizung der Verlade- und Versandhalle, für Heizung und Lüftung, für die LKW-Waschanlage, für die Warmwasserbereitung sowie für die Kistenwaschanlage gedeckt werden.

Die Warmwasserbereitung erfolgt derzeit bereits durch die Abwärmenutzung des Fernwärmedampfkondensats. Die Waschanlage und der Pasteur werden voraussichtlich innerhalb der nächsten drei Jahre außer Betrieb genommen. Für die Wärmeversorgung neuer Anlagen sollte die Abwärmenutzung aus den Rauchgasen und der Schwadenabluft in Betracht gezogen werden.

Ein Wärmerückgewinnungssystem sollte daher in einer ersten Ausbaustufe auf die Wärmeversorgung der Verlade- und Versandhalle, der LKW-Waschanlage sowie auf die Wärmebereitstellung für Heizung und Lüftung ausgelegt werden. Die Linien 1 - 4 werden an Produktionstagen an 24 h/d betrieben. Die Abwärme der Ofenlinien steht damit kontinuierlich zur Verfügung. Um eine Mindestwärmeversorgung bei Bedarf auch am Wochenende sicherzustellen, sollte eine zusätzliche Beheizung der Pufferspeicher durch Fernwärme vorgesehen werden.

Für die wirtschaftliche Bewertung werden basierend auf Herstellerangaben Investitionen von durchschnittlich 200 DM/kW angenommen. Mit einer Wärmeleistung von rund 600 kW (Linie 1 - 4) betragen die Investitionen für die Wärmetauscher rund 120.000 DM. Die Investitionen für das gesamte Wärmerückgewinnungssystem (inkl. Pufferspeicher) werden mit 250.000 DM angenommen. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung betragen 5 % der Investitionen (pro Jahr). Demgegenüber stehen Einsparungen von 91.270 DM/a für die Wärmeversorgung der Versandhalle, der LKW-Waschanlage und der Heizung und Lüftung. Die dynamische Amortisationszeit beträgt 3,6 Jahre.

Abbildung 31: Abwärmequellen und Wärmesenken



### 6.1.6 Nutzung der Restkälte aus Stickstoffabluft (Froster)

Die Nutzung der Restkälte aus Stickstoffroster wird bisher beim Schockfrosten nicht angewandt. Prinzipiell ist die Größe der Anlage der Bäckerei geeignet eine solche Pilotanlage zu installieren. Die Kälte kann insbesondere in den Sommermo-

naten zur Klimatisierung der Backstube eingesetzt werden. Durch geringere Raumtemperaturen kann somit auch Kälte bei der Kaltwasserbereitstellung und Teigkühlung eingespart werden.

Bei einer Erwärmung des Stickstoffes von  $-10\text{ °C}$  auf  $+15\text{ °C}$  kann pro  $\text{m}^3$  Stickstoff eine spezifische Wärmemenge von  $20\text{ kJ/m}^3$  aufgenommen werden. Damit steht pro Mio.  $\text{m}^3$  Stickstoff eine Kälteleistung von  $5,5\text{ MWh/a}$  zur Verfügung.

### 6.1.7 Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft

Die Kapazität der Druckluftkompressoren ist mittlerweile ausgeschöpft. Durch eine Absenkung des Netzdruckes in Folge einer Erneuerung des Leitungsnetzes (Verringerung des Gesamtdruckverlustes) kann der Druckluftbedarf auch weiterhin mit den bestehenden Anlagen bereitgestellt werden. Im Zuge der Erneuerung des Leitungsnetzes sollten gleichzeitig Leckagen ermittelt werden. Leerlaufverluste an den Maschinen können durch den Einbau von Maschinenschutzventilen vermieden werden.

Eine Absenkung der Grundlast um  $25\text{ kW}$  durch Verminderung der Leckagen und Leerlaufverluste sowie die Absenkung des Netzdruckes ermöglichen Energieeinsparungen von rund  $347.000\text{ kWh/a}$ .

Für die Erneuerung des Druckluftnetzes sind Investitionen von ca.  $120.000\text{ DM}$  erforderlich /26/. Die Einsparungen betragen rund  $28.000\text{ DM/a}$ . Die dyn. Amortisationszeit beträgt  $5,1$  Jahre.

### 6.1.8 Einsatz eines Blockheizkraftwerkes

Eine wesentliche Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW), sind Verbrauchsstrukturen, die einen zeitgleichen Bedarf an thermischer und elektrischer Energie sowie eine hohe Jahresnutzungsdauer aufweisen. Diese Voraussetzungen sind in der Bäckerei durch den 3-Schicht Betrieb erfüllt. Mit heißgekühlten BHKW ist die Bereitstellung der Wärme in Form von Dampf möglich. Das Blockheizkraftwerk soll die Grundlast der Bäckerei abdecken, um möglichst lange Laufzeiten zu erreichen.

Es könnten daher zwei BHKW-Module mit einer elektrischen Leistung von je  $763\text{ kW}$  eingesetzt werden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Kenndaten des BHKW

Elektrische Leistung	2 x 763 kW (-20 kW Eigenbedarf)
Dampfleistung	2 x 0,75 t/h
zusätzl. Wärmeleistung	2 x 250 kW (70 °C/90 °C)
Brennstoffleistung	2 x 1.914 kW

Für die wirtschaftliche Bewertung werden basierend auf Herstellerangaben Investitionen von 1.400 DM/kW<sub>el</sub> und Wartungskosten von 1,6 Pf/kWh<sub>el</sub> angenommen. Die Laufzeiten der beiden BHKW-Module betragen durchschnittlich 7.500 h/a. Es wird ein Kalkulationszinssatz von 6 % und einer Laufzeit der Anlage von 10 Jahren angenommen. Die Kosten und Einsparungen durch den Einsatz des BHKW sind in Tabelle 26 dargestellt. Die derzeitigen Energiepreise für Fernwärme und Strom sind gering. Beim Einsatz eines BHKW sind höhere Kosten von rund 34.000 DM/a zu erwarten. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird daher der Einsatz eines BHKW derzeit nicht empfohlen. Bei einem Anstieg der Strompreise sollte die Wirtschaftlichkeit erneut überprüft werden.

Tabelle 26: Kosten und Einsparungen beim Einsatz eines BHKW

<b>Kosten:</b>	
Investitionen (ohne Bau)	2.100.000 DM
Annuität (6 %, Laufzeit 10 Jahre)	285.300 DM/a
Wartungskosten	177.600 DM/a
Brennstoffkosten	940.500 DM/a
<b>Summe Kosten</b>	<b>1.403.400 DM/a</b>
<b>Einsparungen:</b>	
Strom	888.000 DM/a
Fernwärmedampf zur Niederdruckdampferzeugung	405.000 DM/a
Fernwärmedampf für Heizung und Lüftung	76.800 DM/a
<b>Summe Einsparungen</b>	<b>1.369.800 DM/a</b>

Abbildung 32 zeigt die Entwicklung der dynamischen Amortisationszeit in Abhängigkeit von den Energiepreisen.

Die Amortisationszeiten werden erheblich vom Strompreis beeinflusst:

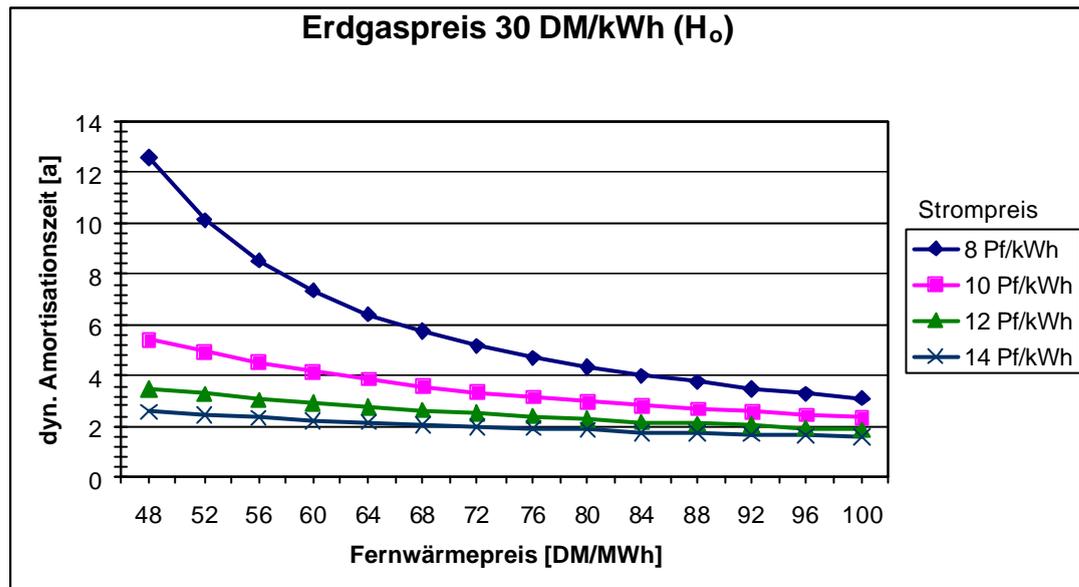
- je niedriger der Strompreis und je niedriger der Fernwärmepreis, um so länger ist die Amortisationszeit
- bei höheren Strompreisen hat der Fernwärmepreis nur einen geringen Einfluß auf die Amortisationszeiten
- je höher der Gaspreis, um so länger ist die Amortisationszeit.

Bei einem Gaspreis von 30 DM/MWh (H<sub>o</sub>) werden unter den gegebenen Rahmenbedingungen Amortisationszeiten unter 3,5 Jahren ab einem Strompreis von 12 Pf/kWh erreicht.

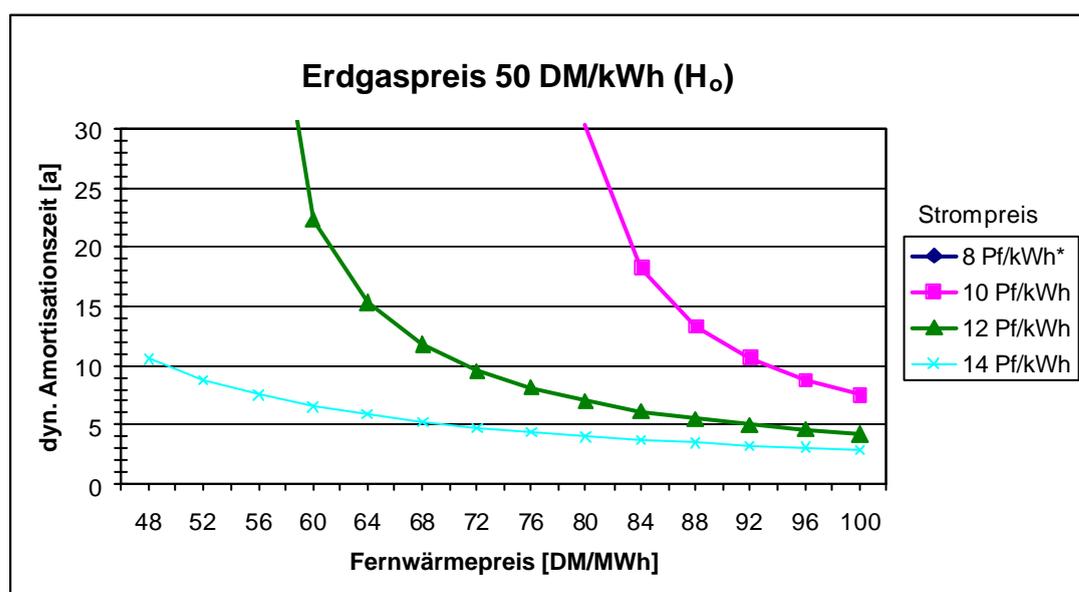
Bei einem Gaspreis von 50 DM/MWh ( $H_0$ ) und einem Strompreis von 8 Pf/kWh sind die Aufwendungen für ein BHKW höher als die Erlöse. Amortisationszeiten unter 4 Jahren werden in Abhängigkeit vom Fernwärmepreis bei Strompreisen von 14 Pf/kWh erreicht.

Abbildung 32: Entwicklung der Amortisationszeit in Abhängigkeit der Energiepreise

Variante I: Erdgaspreis 30 DM/MWh ( $H_0$ )



Variante II: Erdgaspreis 50 DM/MWh ( $H_0$ )



\* keine Amortisation

## 6.2 Ökologische Bewertung

Jede Energieeinsparung führt zu CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Diese wurden über spezifische Emissionsfaktoren nach /14/ errechnet und setzen sich sowohl aus den indirekten als auch den direkten Emissionen am Standort zusammen. Die Potentiale sind in Tabelle 27 dargestellt. Auch hier ist zu berücksichtigen, daß sich einzelne Maßnahmen gegenseitig beeinflussen können und damit bei Realisierung mehrerer Maßnahmen eine geringere Einsparung erreicht wird als bei isolierter Betrachtung der Summe der Maßnahmen.

Durch eine Wärmerückgewinnung aus den Rauchgasen und der Schwadenabluft können 682 t CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden. Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotential durch eine optimierte Schwadenzufuhr der größten Ofenlinien beträgt 264 t/a. Die regelmäßige Wartung des Dampfnetzes und eine verbesserte Isolierung sowie die Erneuerung des Druckluftnetzes können zu CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 328 bzw. 225 t/a beitragen. Die weiteren vorgeschlagenen Maßnahmen in der Energiezentrale führen zu CO<sub>2</sub>-Einsparungen von insgesamt rund 100 t/a. Durch eine Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen können 126 t CO<sub>2</sub> im Jahr eingespart werden.

Das theoretische Einsparpotential aus der Realisierung eines BHKW ist durch die gekoppelte Bereitstellung von Strom und Wärme sehr hoch. Ein Einsatz wird aus wirtschaftlichen Gründen jedoch derzeit nicht empfohlen.

Tabelle 27: CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale

Maßnahme	CO <sub>2</sub> -Einsparpotential [t/a]
Dampfmengenmessung und -regelung	264
Ersatz des Allo-Dampfdruckminderers und Verkürzung der Fernwärmedampfleitung	24
Temperaturregelung Entgaser auf 103 °C	19
Installation von Rückschlagklappen bzw. Ventilen	16
Wartung Dampfnetz und Verbesserung der Isolation	328
Optimierung der Kälteanlagen und der Kältenutzung	39
Wärmerückgewinnung	682
Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft	225
Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen	126
Einsatz eines Blockheizkraftwerkes	5.265

### 6.3 Maßnahmenkatalog

Die erarbeiteten CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt. Aus den Ergebnissen der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung wurden Prioritäten (A - C) für eine Umsetzung der Maßnahmen abgeleitet.

Maßnahmen der Priorität A sind Maßnahmen, die so bald wie möglich durchgeführt werden sollten. Darunter fallen zum einen organisatorische, d.h. gering investive Maßnahmen und zum anderen anlagentechnische Maßnahmen, die sowohl Energieeinsparungen ermöglichen, als auch zur Sicherung der Energiebereitstellung notwendig sind.

Maßnahmen der Kategorie B sollten mittelfristig durchgeführt werden. Auch hier sind zum Teil hohe Einsparpotentiale vorhanden. Die nachträgliche Isolation einzelner ungedämmter Dampfleitungsabschnitte sollte im Zusammenhang mit weiteren Baumaßnahmen z.B. bei Umbauarbeiten der Energiezentrale (Ersatz des Allo Druckminderers) durchgeführt werden. Die Einführung eines Wärmerückgewinnungssystems zur Nutzung der Rauchgas- und Abluftwärme wird empfohlen. Für die Wärmeversorgung neuer Anlagen sollte die Abwärmenutzung aus den Rauchgasen und der Schwadenabluft schon bei der Planung in Betracht gezogen werden.

Die Dampfmengenerfassung und -regelung und damit die genaue Einstellung der benötigten Schwadendampfmenge sollte zunächst an den größten Ofenlinien durchgeführt werden. Die Nachrüstung weiterer Ofenlinien kann dann schrittweise erfolgen. Der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes wird unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht empfohlen.

Tabelle 28: Maßnahmenkatalog

Maßnahme	Einsparungen kWh/a	Investitionen [DM]	Amortisationszeit [a]		CO <sub>2</sub> -Einsparpotential [t/a]	Priorität
			Stat.	Dyn.		
Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen	633.000	*	-	-	126	A
Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft und regelmäßige Wartung	347.420	120.000	4,3	5,1	225	A
Ersatz des Allo-Dampfdruckminderers und Verkürzung der Fernwärmedampfleitung	64.210	10.000	3,2	3,7	24	A
Temperaturregelung Entgaser auf 103 °C	50.940	3.000	1,2	1,3	19	A
Regelmäßige Wartung Dampfnetz Verbesserung der Isolation	880.000	*	-	-	328	A B
Dampfmengenmessung und –regelung	710.000	84.000	2,4	2,9	143	B
Installation von Rückschlagklappen bzw. Ventilen an zentraler Dampfschiene	42.920	5.000	2,4	2,7	16	B
Wärmerückgewinnung aus Schwadenabluft und Rauchgase der Backöfen	1.840.490	250.000	3,1	3,6	682	B
Optimierung der Kälteanlagen und der Kältenutzung -optimierte Auslastung der Kühlräume - Überprüfung der Kühlraumtemperatur - Regelmäßiges Enteisen der Verdampfer	60.000	*	-	-	39	B
Einsatz eines heißgekühlten Blockheiz- kraftwerkes	-	2.100.000	-	-	5.265	C**

\* organisatorische Maßnahmen, gering investive Maßnahmen und Maßnahmen im Rahmen von Ersatzinvestitionen

\*\* nur wirtschaftlich bei steigenden Strom- und Wärmebezugspreisen

## 7 Kennziffern

Die Ermittlung und regelmäßige Überprüfung von Kennziffern ermöglichen den einzelnen Betrieben eine Selbstkontrolle und bieten zudem die Möglichkeit, verschiedene Betriebe zu vergleichen und hinsichtlich des Energieverbrauches einzuordnen (Benchmarking). Dies kann sowohl branchenintern als auch insbesondere für Querschnittstechnologien branchenübergreifend erfolgen. Aufgrund der unterschiedlichen Betriebsgrößen und Produktsortimenten ist jedoch auch innerhalb einer Branche eine große Schwankungsbreite gegeben. Die Kennziffern sind daher als Orientierungswerte zu verstehen.

Zur Ermittlung von Kennziffern werden die Energieverbrauchsdaten auf unterschiedliche Bezugsgrößen bezogen. In der Bäckerei wird der Energieverbrauch im allgemeinen auf den Mehleinsatz (1 t oder 100 kg) bezogen.

Zur betriebsinternen Bewertung einzelner Produktionsbereiche ist ein auf die Produktion bezogenes Kennzahlensystem sinnvoll. Der interne Vergleich einzelner Produktionsbereiche/Produktionslinien vereinfacht es, Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen zu finden. In Tabelle 29 und Tabelle 30 sind die im Rahmen der Untersuchung erfaßten Kennziffern und Literaturwerte zusammengestellt.

Tabelle 31 enthält weitere Kennziffern, die im Rahmen eines Energie-Monitorings erfaßt werden sollten.

Tabelle 29: Kennziffern zum Energieverbrauch in Bäckereien

Bezeichnung	Kennziffer		Quelle
	Musterbetrieb	Literaturwerte	
Anteil der Energiekosten am Umsatz	3 - 6 %	2,0 – 4,6 %	/12/
Gesamtenergieverbrauch	1.082 kWh/t Mehl	800 - 2.500 kWh/t Mehl	/3/
Gesamtstromverbrauch	262 kWh <sub>el</sub> /t Mehl	200 kWh <sub>el</sub> /t Mehl	/12/
Gesamtwärmeverbrauch	820 kWh <sub>th</sub> /t Mehl	1.500 kWh <sub>th</sub> /t Mehl	/12/
Druckluftverbrauch	190 m <sup>3</sup> /t Mehl	•	
Stromverbrauch für Druckluftherzeugung	0,12 kWh/m <sup>3</sup>	•	

Tabelle 30: Produktspezifische Kennziffern zum Energieverbrauch in Bäckereien

Bezeichnung	Kennziffer	Einheit
Gesamtenergieverbrauch Mischbrot*	73	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
	641	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Gesamtenergieverbrauch Brötchen*	104	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
	350	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Gesamtenergieverbrauch Toastbrot**	95	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
	569	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Gesamtenergieverbrauch Feingebäck*	134	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
	881	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Gesamtenergieverbrauch Krapfen*	435	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
Gesamtenergieverbrauch Pasteur	18	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
	117	kWh <sub>th</sub> /t Mehl

\* ohne Mehlförderung, Schwaden und Kälte

\*\* ohne Mehlförderung, Schwaden, Kälte und Pasteur

Tabelle 31: Kennziffern zum Energiemonitoring in Bäckereien

Bezeichnung	Bereich	Einheit
Stromverbrauch zur Kältebereitstellung	Gesamtproduktion bzw. bei Tiefkühlagerung eigene Kennzahl für Tiefkühlräume	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
Stickstoffverbrauch zum Frosten von Tiefkühl- produkten	Froster	m <sup>3</sup> /t Teig bzw. m <sup>3</sup> /t Mehl
Wärmeverbrauch für Heizung/Lüftung	Gesamtproduktion	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Wärmeverbrauch für Warmwasser	Gesamtproduktion	kWh <sub>th</sub> /t Mehl
Warmwasserverbrauch	Gesamtproduktion	m <sup>3</sup> /t Mehl
Wasserverbrauch Waschanlagen	Gesamtproduktion	m <sup>3</sup> /Stück bzw. m <sup>3</sup> /Zeiteinheit
Wärmeverbrauch Waschanlagen	Gesamtproduktion	kWh <sub>th</sub> /Stück bzw. kWh <sub>th</sub> /Zeiteinheit
Stromverbrauch zur Mehlförderung	Mehlaufbereitung- und - förderung	kWh <sub>el</sub> /t Mehl
Schwadenbedarf	Für Gesamtproduktion bzw. einzelne Hauptverbraucher	kWh <sub>th</sub> /t Mehl

## 8 Umweltmanagement – ein vorsorgeorientiertes Umweltinstrument

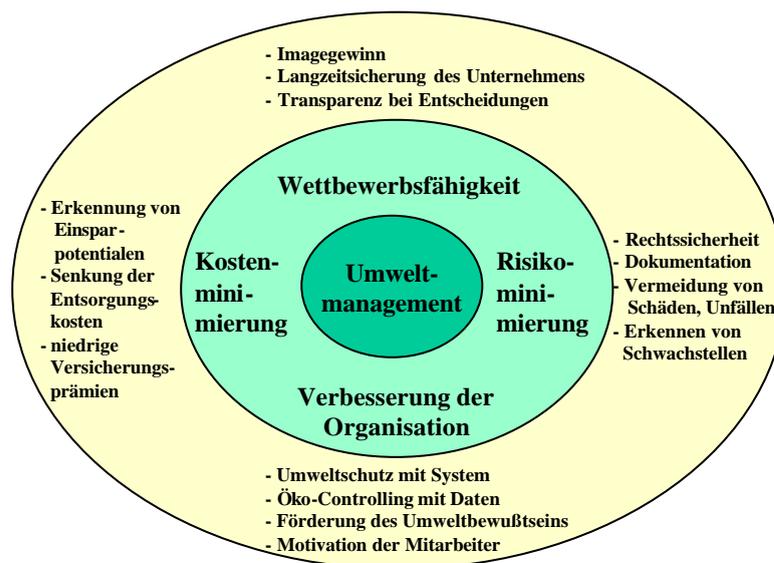
Den gestiegenen Umweltaforderungen und –haftungsrisiken kann ein Unternehmen nur mit einem ganzheitlichen, d.h. einem integrierten Umweltschutzkonzept begegnen. Unternehmen, deren Produkte einen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Nutzen erbringen, sind zukünftig mit einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil ausgestattet.

Anforderungen an den betrieblichen Umweltschutz kommen praktisch aus allen Teilen der Gesellschaft. Die wichtigsten sind:

- andere Unternehmen (Kunden, Auftraggeber, Lieferanten)
- Gesetzgeber
- Öffentlichkeit
- Standortgemeinden
- Eigene Mitarbeiter
- Banken und Versicherungen.

Ein Weg, diesen beträchtlichen Anforderungen gerecht zu werden, der über ein passives Verhalten hinausgeht, ist die Umsetzung eines Umweltmanagementsystems. Die Verbesserung der Situation des Unternehmens (Wettbewerbsfähigkeit, Risikominimierung, Verbesserung der Organisation, Kostenminimierung) muß dabei das Ziel und die Meßlatte sein und nicht die Validierung bzw. Zertifizierung (Abbildung 33).

Abbildung 33: Nutzen von Umweltmanagementsystemen

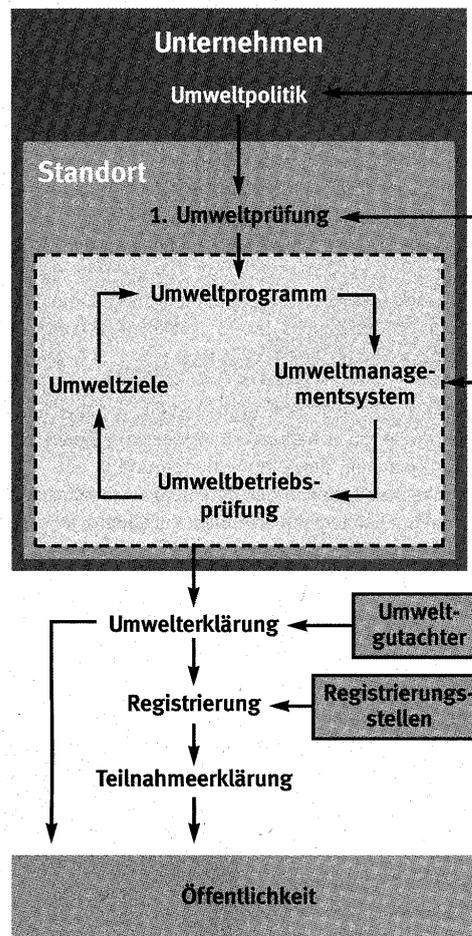


Quelle: Bode 1995

## 8.1 Einführung eines Umweltmanagementsystems nach der EU-Öko-Audit-Verordnung (EMAS)

Die Einführung eines EU-Öko-Audit Systems (EMAS) erfordert die Durchführung verschiedener Teilschritte (Abbildung 34).

Abbildung 34: Umweltmanagement nach dem EU-Öko-Audit System



Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2000

### 8.1.1 Umweltpolitik

Der erste Schritt ist die Festlegung einer unternehmens- bzw. standortspezifischen Umweltpolitik in Form einer Selbstverpflichtung. Auf höchster Managementebene werden die umweltbezogenen Gesamtziele und Handlungsgrundsätze des Unternehmens festgeschrieben. Die EG-Öko-Audit-Verordnung gibt hierfür in ihrem Anhang „Gute Managementpraktiken“ eine Reihe von Grundsätzen vor, die im Rahmen der Umweltpolitik zu berücksichtigen sind. Die inhaltliche Ausgestaltung der Umweltpolitik im einzelnen ist dagegen dem Unternehmen überlassen. Basis muß jedoch immer die Ausrichtung auf eine kontinuierliche Verbesserung des Umweltschutzes bei gleichzeitiger Einhaltung der einschlägigen Umweltvorschriften sein.

### 8.1.2 Umweltprüfung

Gleichzeitig mit der Festlegung der Umweltpolitik wird eine erste Bestandsaufnahme der umweltrelevanten Situation des Betriebes, die Umweltprüfung, durchgeführt. Um einen Überblick über das Spektrum betrieblicher Auswirkungen auf die Umwelt zu erhalten, werden alle umweltrelevanten Tätigkeiten am Standort systematisch registriert und mit den gesetzlichen Vorgaben sowie der eigenen Umweltpolitik verglichen.

Die Umweltprüfung umfaßt die:

- Prüfung der Umweltbelastungen
- Prüfung der Umweltbezogenen Managementstrukturen sowie
- Prüfung der Umweltrechtskonformität.

Mit Hilfe der Umweltprüfung können Verbesserungspotentiale ermittelt und der Handlungsbedarf im Vergleich zu den Soll-Vorgaben aus der Umweltpolitik aufgezeigt werden.

### 8.1.3 Umweltprogramm

Basierend auf den Ergebnissen der Umweltprüfung werden die Ziele sowie Schwerpunktbereiche und Prioritäten für das Umweltprogramm abgeleitet und mit dessen Umsetzung begonnen. Das Umweltprogramm beschreibt die quantitativ bestimmten und mit Zeitvorgaben versehenen Umweltziele, z.B. die Einsparung von Energie um 10 % in den nächsten drei Jahren, und die zur Erreichung dieser Ziele erforderlichen Maßnahmen. Im Umweltprogramm werden außerdem die für die Umsetzung der Maßnahmen Verantwortlichen sowie zur Verfügung stehenden Mittel festgelegt. Parallel zur Umsetzung des Umweltprogramms wird ein Umweltmanagementsystem aufgebaut. Der Aufbau des Umweltmanagementsystems kann ebenfalls Teil des Umweltprogramms sein.

### 8.1.4 Aufbau des Umweltmanagementsystems

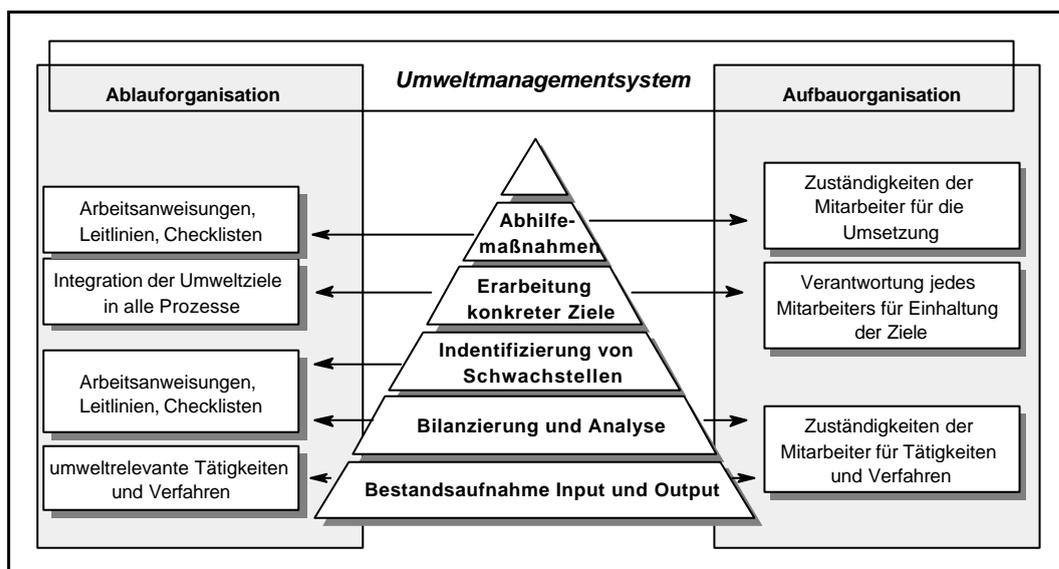
Das Umweltmanagementsystem ist ein Teil des gesamten übergreifenden Managementsystems des Unternehmens. Seine Elemente sind die innerbetriebliche Organisation des Umweltschutzes, das operative und strategische Umwelt-Controlling sowie die umweltorientierte Personalpolitik.

Das Umweltmanagementsystem schafft die Strukturen, damit Umweltschutz berücksichtigt wird. Es gliedert sich in Aufbau- und Ablauforganisation (Abbildung 35). Die Aufbauorganisation regelt die Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten und Pflichten aller Mitarbeiter hinsichtlich der Umweltauswirkungen

ihres Handelns. Die Ablauforganisation legt alle umweltrelevanten Funktionen, Tätigkeiten und Verfahren sowie die Vorgehensweise bei der Umsetzung der Umweltschutzmaßnahmen fest. Mittel hierzu sind z. B. laufende Schulungsmaßnahmen, Organisationspläne, Stellenbeschreibungen, Arbeitsanweisungen etc.

Dadurch wird der Umweltschutz in die Abläufe und Prozesse des Unternehmens integriert. Durch das Umweltmanagementsystem wird der Schwerpunkt des Umweltschutzes vom rein technischen in den organisatorischen Bereich verlagert. Eine erfolgreiche Umsetzung stützt sich auf die laufende Information der Mitarbeiter und die Kommunikation nach außen, z. B. durch die Umwelterklärung. Ein im Vorfeld durchgeführtes Schulungsprogramm, in dem die Mitarbeiter mit den Zielen der Einführung eines Umweltmanagementsystems sowie den zugehörigen Arbeitstechniken vertraut gemacht werden, erhöht die Akzeptanz und damit den Erfolg der Maßnahme.

Abbildung 35: Ablauf- und Aufbauorganisation im Rahmen des Umweltmanagements



Mit dem Aufbau des Umweltmanagementsystems müssen die in Tabelle 32 dargestellten Anforderungen gewährleistet werden.

Tabelle 32: Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem

Umweltpolitik, -ziele, -programm	Festlegung, Überprüfung, Anpassung
Organisation und Personal	Festlegung der Verantwortung, Befugnisse, Vertreter; Mitarbeiter über Umweltmanagement sowie ihre Rolle und Verantwortung informieren; Folgen von Abweichungen von festgelegten Arbeitsabläufen definieren; Ermittlung von Ausbildungsbedarf, Schulung und Motivation der Mitarbeiter, Kommunikation (Festlegung von Meldewegen, Entwicklung einer Dokumentation für Meldungen und Mitteilungen)
Auswirkungen auf die Umwelt	Bewertung, Registrierung, Verzeichnis der Rechtsvorschriften
Aufbau- und Ablaufkontrolle	Festlegung von Maßnahmen und Abläufen, die auf die Prüfung der Funktionsfähigkeit des Umweltmanagementsystems und die Einhaltung der Umweltleitlinien abzielen: Aufbau der betrieblichen Organisationsstrukturen, Festlegung der Ablaufverfahren, Kontrolle der Regelungen und Korrektur bei Nichteinhaltung
Umweltmanagement-Dokumentation	Erstellung der Dokumentation z.B. in Form eines Handbuchs
Umweltbetriebsprüfung	Angaben zu Programm, Zuständigkeiten, Durchführung, und Häufigkeit der periodischen Prüfungen

Quelle: Verordnung Nr. 1836/93 EWG (Anhang 1B), Bode 1995

In Tabelle 33 sind die im Rahmen des Umweltmanagementsystems zu behandelnden Themenbereiche zusammengefaßt. Diese Punkte sind durch die Umweltpolitik zu berücksichtigen, durch Ziele zu konkretisieren und in ein Umweltprogramm einzubinden.

Abgeleitet aus Tabelle 32 und Tabelle 33 ist in Tabelle 34 eine Planungsmatrix für ein Umweltmanagementsystem dargestellt. Mit Hilfe der Matrix können prinzipiell alle Schritte des Umweltmanagements, von der Formulierung der Umweltpolitik bis hin zur Planung von Umweltbetriebsprüfungen, unterstützt und die erforderlichen Maßnahmen systematisch festgelegt werden.

Tabelle 33: Themenbereiche des Umweltmanagementsystems

Nr.	Themenbereich
1	Umweltauswirkungen
2	Energiemanagement
3	Rohstoff-/Wasserwirtschaft
4	Abfallwirtschaft
5	Lärmschutz
6	Verfahrensentwicklung
7	Produktentwicklung
8	Kontrolle von Vertragspartnern
9	Sicherheitsmanagement
10	Schadensbegrenzung
11	Interne Information/Qualifikation
12	Externe Information

Quelle: Verordnung Nr. 1836/93 EWG (Anhang I C), Bode 1995

Tabelle 34: Planungsmatrix für ein Umweltmanagementsystem

	Umweltpolitik, -ziele, -programm	Organisation und Personal	Auswirkungen auf die Umwelt	Aufbau- und Ablaufkontrolle	Umweltmanagement-Dokumentation	Umweltbetriebsprüfung
Umweltauswirkungen						
Energiemanagement						
Rohstoff-/Wasserwirtschaft						
Abfallwirtschaft						
Lärmschutz						
Verfahrensentwicklung						
Produktentwicklung						
Kontrolle von Vertragspartnern						
Sicherheitsmanagement						
Schadensbegrenzung						
Interne Information/Qualifikation						
Externe Information						

Quelle: Bode 1995

Die Praxiserprobung des entwickelten Umweltmanagementsystems wird in der Regel über mindestens drei Monate angesetzt. Dabei werden, soweit notwendig oder sinnvoll, Modifizierungen am System vorgenommen.

### **8.1.5 Umweltbetriebsprüfung (Internes Audit)**

Die Umsetzung des Umweltprogramms und die Wirksamkeit des Umweltmanagements für die Umsetzung der betrieblichen Umweltpolitik werden durch regelmäßige Umweltbetriebsprüfungen analysiert und beurteilt. Die Prüfung erfolgt durch unabhängige Betriebsprüfer (Auditoren), die sowohl unternehmensfremd als auch betriebszugehörig sein können. Die Prüfung wird zum ersten Mal durchgeführt, wenn ein Umweltmanagementsystem aufgebaut ist und Erfahrungen aus der Umsetzung des Umweltprogramms vorliegen und muß dann mindestens alle drei Jahre wiederholt werden.

### **8.1.6 Umwelterklärung**

Nach der Umweltprüfung und der Umweltbetriebsprüfung erstellt das Unternehmen eine Umwelterklärung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit. Die Umwelterklärung kann in etwa mit einem ökologischen Geschäftsbericht verglichen werden. Sie soll in allgemeinverständlicher Form alle Interessierten über die wesentlichen Punkte der Umweltpolitik, der Umweltprüfung, des Umweltprogrammes und des Umweltmanagementsystems informieren.

Die Umwelterklärung umfasst im einzelnen folgende Punkte:

- Beschreibung der Organisation und der umweltrelevanten Tätigkeit des Unternehmens
- Darstellung der Umweltpolitik, des Umweltprogramms und des Umweltmanagementsystems
- Zusammenfassung der Schadstoffemissionen, des Abfallaufkommens, des Rohstoff-, Energie- und Wasserverbrauchs und anderer bedeutender umweltrelevanter Aspekte
- Termin der nächsten Umwelterklärung
- Name des zugelassenen Umweltgutachters.

### **8.1.7 Validierung**

Die Validierung umfaßt die Prüfung und Gültigkeitserklärung der Umwelterklärung durch externe Umweltgutachter sowie die Registrierung des Standortes. Die Umwelterklärung wird von einem zugelassenen Umweltgutachter zusammen mit der

Umweltpolitik, dem Umweltprogramm, dem Umweltmanagementsystem, der Umweltprüfung oder dem Umweltbetriebsprüfungsverfahren auf Übereinstimmung mit der EU-Verordnung geprüft. Schließt er seine Prüfung mit einem positiven Ergebnis ab, erklärt er die Umwelterklärung für gültig.

Mit dieser für gültig erklärten Umwelterklärung kann das Unternehmen die Registrierung beantragen. Die Eintragung in das Register der umweltgeprüften Standorte erfolgt durch die Industrie- und Handelskammern sowie die Handwerkskammern.

## 8.2 Revision der EU-Öko-Audit-Verordnung (EMAS II)

Derzeit wird die EU-Öko-Audit-Verordnung nach Auswertung der in den letzten fünf Jahren gewonnenen Erfahrungen vom europäischen Verordnungsgeber überarbeitet. Ein Inkrafttreten wird gegen Ende des Jahres 2000 erwartet. Der Entwurf der Kommission sieht hierzu u.a. vor, daß zukünftig mehrere Standorte eines Unternehmens als Gesamtorganisation in einem Verfahren validiert werden können.

Die internationale Umweltmanagementnorm ISO 14001, soll ebenfalls Bestandteil der neuen Verordnung werden, so daß Unternehmen, die bereits ein ISO-14001-Zertifikat besitzen, dieses als Grundlage für eine Öko-Audit-Teilnahme verwenden können.

Nach dem derzeitigen Revisionsentwurf ist die Umwelterklärung als ein Zusammenstellen von umweltrelevanten Informationen zu verstehen, die nicht mehr in gedruckter Fassung vorliegen muß, sondern auch über andere Medien, wie z.B. das Internet veröffentlicht werden kann. Bezüglich der Inhalte der Umwelterklärung sind folgende Änderungen geplant: Nachdem bislang eine Beurteilung der Umweltauswirkungen verlangt war und die darzustellenden Parameter detailliert beschrieben waren, sieht EMAS II nur die Beschreibung der wesentlichen Umweltaspekte vor. Weiterhin ist nach EMAS II die Darstellung der Umweltziele vorgesehen und nicht wie bisher, die Darstellung des gesamten Umweltprogrammes.

Durch die Einführung eines werbewirksamen Logos (siehe Abbildung 36) soll EMAS der breiten Öffentlichkeit besser bekannt gemacht werden. Zugleich sollen den nach EMAS registrierten Unternehmen mehr Werbemöglichkeiten eröffnet und damit der Wettbewerbsvorteil gestärkt werden.

Mit dem Inkrafttreten der EMAS II soll eine weitaus deutlichere Privilegierung der teilnehmenden Organisationen durch Fördermittel und gesetzliche Maßnahmen einhergehen. Um für die teilnehmenden Firmen endlich spürbare Fortschritte bei der Deregulierung und Substitution zu erreichen, sollen die Mitgliedsstaaten die Aufforderung erhalten, die Berücksichtigung der EMAS-Registrierung bei der Anwendung und Kontrolle der Umweltgesetze zu prüfen.

Abbildung 36: Umweltmanagement nach dem EU-Öko-Audit Systems



Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2000

Die überarbeitete Verordnung wird die Integration des Umweltmanagements in bestehende Managementsysteme erleichtern. In einem integrierten Managementsystem werden alle systematischen Anforderungen an die einzelnen Bereiche des Unternehmens (z.B. Qualität, Umwelt und Arbeitssicherheit) koordiniert und in einer gemeinsamen Systematik erfaßt. Es wird ein Managementbeauftragter benannt und nur ein Handbuch erstellt. Das integrierte Managementsystem ist ein offenes System, das für die Zukunft die Möglichkeit bietet auch neue Themen problemlos zu integrieren

### **8.3 Abschätzung der unternehmensspezifischen Vorteile eines Umweltmanagementsystems**

Der Zeitaufwand und die Kosten zur Einführung eines Umweltmanagementsystems müssen einer ökonomischen Bewertung genügen. Die Checkliste in Tabelle 35 ermöglicht eine erste Abschätzung, ob ein Umweltmanagement derzeit für das Unternehmen sinnvoll ist.

Wenn bei einer sorgfältigen Beantwortung der elf Fragen eine Summe von sechs Punkten oder mehr erreicht werden, wird unabhängig von der Teilnahme an der Öko-Audit-Verordnung die Einführung eines Umweltmanagements empfohlen.

Tabelle 35: Checkliste zur Bewertung der unternehmensspezifischen Vorteile eines Umweltmanagementsystems

Nr.	Frage	Punkte (falls zutreffend)
1	Betreiben Sie Anlagen, die nach Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftig sind?	• •
2	Betreiben Sie sonstige Anlagen, mit deren Betrieb behördliche Auflagen verbunden sind (z.B. „Störfall-Anlage“, Abwasserbehandlungsanlage)?	• •
3	Haben Sie in den vergangenen drei Jahren behördliche Auflagen infolge von Versäumnissen erhalten?	•
4	Werden in Ihrem Unternehmen umweltgefährdende Stoffe verwendet (Gefahrstoffe)?	• •
5	Haben Ihre Kunden bereits nach Aktivitäten im Umweltmanagement gefragt?	• •
6	Erwarten Sie zukünftige Forderungen durch Kunden hinsichtlich einer Standortregistrierung?	• • •
7	Erwarten Sie durch eine Standortregistrierung ein positives Image in der Öffentlichkeit?	•
8	Ist durch den Nachweis eines Umweltmanagementsystems bei Ihrem Versicherer eine Prämienenkung – anlagen- oder personenbezogen – zu erwarten (evtl. erfragen bzw. verhandeln)?	•
9	Sehen Sie durch eine Standortregistrierung zusätzliche Marketing-Chancen?	• •
10	Erwarten Sie durch Aktivitäten im Bereich Umweltmanagement eine zusätzliche Motivation Ihrer Mitarbeiter?	•
11	Sind durch eine ganzheitliche Organisation des Umweltschutzes in Ihrem Unternehmen Kostensenkungen möglich (z.B. Energie-, Abfall-, Abwasserbereich)?	• •

Quelle: nach Bode 1995

Der Zeitaufwand für die Einführung eines Umweltmanagementsystems variiert je nach Größe und Intensität der Bearbeitung zwischen 12 bis 24 Monaten. Es sind sowohl die Kosten für die interne Umsetzung als auch die externen Kosten für die Beratung und Validierung zu berücksichtigen. Der Aufwand ist beispielhaft in Tabelle 36 dargestellt:

Tabelle 36: Beispielhafter Projektaufwand für die Einführung eines Umweltmanagementsystems

Projektschritt	Unternehmen Manntage	Berater Manntage
Durchsicht von Genehmigungsunterlagen und sonstigen Informationen	3	3
Durchführung der Umweltprüfung	15	15
Erstellung eines Maßnahmenkatalogs	2	10
Entwicklung eines Projektplanes zur Umsetzung der Maßnahmen (Festlegung von Terminen, Verantwortlichkeiten und Mittel)	8	5
Durchführung von Schulungen (Motivation der Mitarbeiter)	je nach Anzahl	8
Durchführung eines Workshops zur Festlegung der Umweltschutzaufgaben	10	8
Festlegung von Aufbau und Gliederung des UM-Handbuchs	6	8
Erstellung der Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Ablaufdiagramme und sonstige Dokumente	ca. 90	20
Entwickeln einer Checkliste für die Durchführung interner Audits, Auswahl und Schulung der internen Auditoren	10	8
Erarbeitung und Festlegung eines Umweltbetriebsprüfungsverfahrens	8	8
Festlegung von Inhalt und Form der Umwelterklärung	3	3
Sammeln und Auswerten der Daten für die Umwelterklärung	25	4
Erstellung der Umwelterklärung	10	2

Unter der Annahme der Kosten pro Manntag von:

- 800 DM pro Manntag für interne Mitarbeiter
- 1.000 DM pro Manntag für externe Berater

betragen die Kosten für die Einführung eines Umweltmanagementsystems ca. 250.000 DM.

Hinzu kommen die internen Personalkosten für die Schulungen zur Einbindung und Motivation der Mitarbeiter sowie die Kosten für die wiederkehrenden Prüfungen.

## 9 Einführung eines Energiemanagements als Baustein des Umweltmanagements

Die Gesamtenergieverbräuche und –kosten für Fernwärme, Gas und Strom werden in der Bäckerei monatlich erfaßt und bewertet. Eine kontinuierliche Messung und Auswertung des Energieeinsatzes für einzelne Produktionsbereiche und –linien wird nicht durchgeführt.

Eine Minimierung des Energieverbrauchs setzt die Kenntnis der Bedarfsstruktur, der tatsächlichen Verbrauchsmengen und der Lastgänge voraus. Um diese Informationen zu erhalten, ist eine detaillierte Erfassung der einzelnen Verbraucher im Rahmen eines Energiemanagements notwendig. Energiemanagement ist zum einen ein methodischer Ansatz und zum anderen ein Produkt aus Hardware- und Software (Energiemanagementsystem).

Bei der Einführung eines Energiemanagements sind neben den organisatorischen Maßnahmen zunächst die technischen Voraussetzungen für eine Erfassung aller relevanten Energieverbräuche und Stoffströme zu schaffen.

Ziel ist es, die tatsächliche Struktur der Energieverteilung zu erfassen. Der Verbrauch von nicht erfaßten Meßstellen kann durch Differenzbildung (virtuelle Meßstellen) errechnet werden. Tabelle 37 enthält die zur Erfassung des Energieverbrauchs der Bäckerei wichtigen Meßstellen.

In einem weiteren Schritt ist zu prüfen, wie häufig die Meßwerte aufgenommen werden sollen. Eine manuelle Erfassung von Meßwerten entspricht nicht mehr dem Stand der Technik, führt zu einer deutlich eingeschränkten Datenerfassung und ermöglicht keinen sofortigen Eingriff bei Störungen.

Eine automatische Erfassung der Meßstellen ermöglicht eine kontinuierliche Meßdatenaufnahme. Das erleichtert die Schwachstellenanalyse und Optimierung der Hauptverbraucher.

Den Energieverbrauchswerten sind jeweils die relevanten Produktdurchsätze, z.B. in Tonnen Mehl, zuzuordnen. Zusätzlich zu den produktionsinternen Meßwerten sollte der Außenluftzustand regelmäßig festgehalten werden.

Tabelle 37: Meßwerterfassung für ein Energiemanagementsystem

<b>Stromverbrauch:</b>	
Gesamtbetrieb	Gesamtproduktion (Übernahme der Leistungs- und Zeitimpulse des EVU)
Verwaltung	
<b>Anlagen zur Energieerzeugung und Medienversorgung</b>	
Druckluft	Separate Erfassung der Stromverbräuche der einzelnen Kompressoren
Druckluft	Erfassung der Vollast- und Teillastbetriebsstunden
Kälteanlagen	Separate Erfassung der Stromverbräuche der größeren Kompressoren Erfassung der Betriebsstunden
<b>Produktionsanlagen</b>	
Mehlannahme und -aufbereitung	
Produktionslinien	
Pasteur	
Verwaltung	
<b>Wärmeverbrauch:</b>	
Fernwärmebedarf	Gesamtproduktion
Niederdruckdampf	Gesamtproduktion
Kistenwaschanlage	Dampfdruck; Temperatur und Durchfluß Kondensat
Kuchenblechwaschanlage	Dampfdruck; Temperatur und Durchfluß Kondensat
Öfen (Schwaden)	
Heizung und Lüftung	
Gasverbrauch Öfen	
Gasverbrauch Pasteur	
Warmwasserverbrauch	

## 9.1 Energiemanagementsysteme

Energiemanagementsysteme sollen unter bestehenden Randbedingungen und Nutzungsbedingungen die vorgegebenen Anforderungen der Nutzer mit dem geringstmöglichen Energieeinsatz erfüllen. Ein EMS ist ein elektronisches Regelungs- und Überwachungssystem, das Daten zwischen Regelungseinheiten und einem Bedienterminal austauscht. Das System kann Anwendungen in allen Berei-

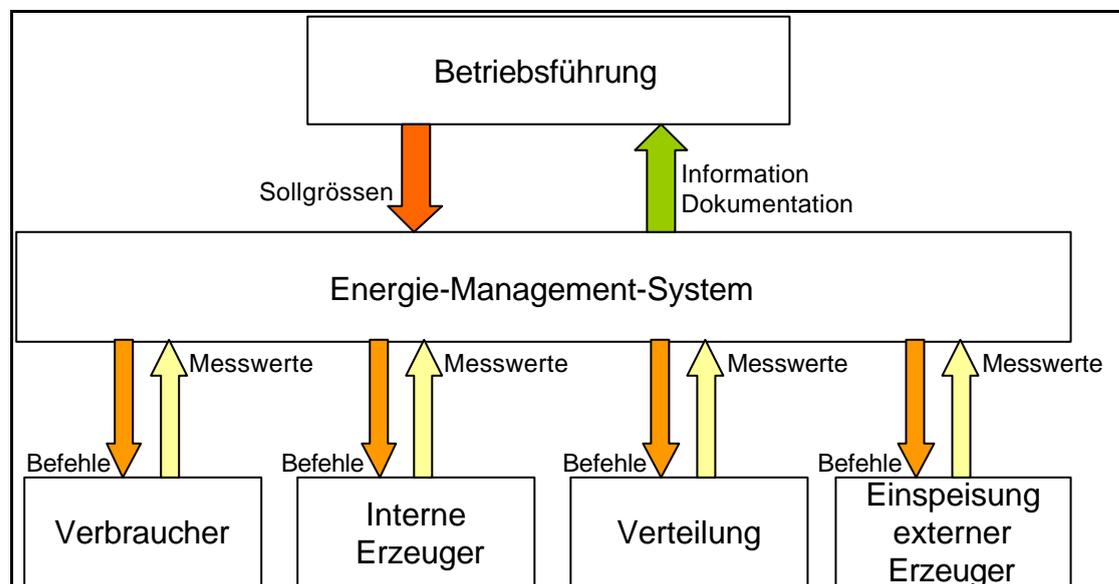
chen der Gebäude- und Prozeßautomation bzw. der Management-Funktionen beinhalten.

Es besteht aus einer übergeordneten Zentraleinheit mit Peripheriegeräten und aus kommunikationsfähigen DDC-Unterstationen (Direct Digital Control). Alle dezentralen DDC Unterstationen können autark die Anlagen überwachen, regeln, steuern und auch teilweise optimieren. Die Zentrale übernimmt übergeordnete Funktionen wie Protokollieren, Auswerten und Verarbeiten und ermöglicht damit die Realisierung von Management-Aufgaben wie z.B.

- Ausgabe von Anweisungen zur Störungsbeseitigung und zur Instandhaltung bzw. Wartung
- Erstellen von Statistiken und Bilanzen
- Auswerten und Archivieren von Daten.

Das Einsparpotential durch Energiemanagementsysteme liegt in der Regel zwischen 5 - 15 % des Jahresenergieverbrauches /27/. Abbildung 37 zeigt die prinzipielle Funktionsweise eines EMS.

Abbildung 37: Aufbau eines Energiemanagementsystems



Folgende Funktionen können durch Energiemanagementsysteme realisiert werden:

- Zentrale Betriebsübersicht
- Langzeitregistrierung von Meß-, Stell-, Zähl-, Betriebsstunden- und Digitalwerten in einem System mit nicht ständig geschalteten Verbindungen
- Überwachung der Energieverbräuche und Aufdeckung von Schwachstellen
- Bildung von Kennzahlen für Statistik und Benchmarking
- Ermittlung von Leckagen
- Aufdeckung von freien Kapazitäten
- Überwachung und Optimierung von Leistungsspitzen
- Erfassung und Nachverfolgung von Energiekosten.
- Regelung und Steuerung der Energiezufuhr der Anlagen
  - Anlagen-Fernbedienung
  - Zeitschaltprogramme
  - Regelung in Abhängigkeit von der Außentemperatur
  - Möglichkeit der Totalausschaltung (z.B. während Produktionspausen)
  - Restwärmeoptimierung mit gleitenden Ein- und Ausschaltzeitpunkten entsprechend eines Produktionsplanes
- Regelung und Optimierung z.B. der Wärmeerzeugung
  - Regelung der Wärmeabnahme mit Begrenzung der Rücklaufemperatur
  - Wirkungsgradoptimierung durch lastabhängige Sequenzschaltung mehrerer Wärmeerzeuger
- Wartungs- und Instandhaltungsmanagement
  - Betriebsstundenerfassung von Wärmeerzeugern, Kompressoren, Antriebe
  - Wartungsintervalle und -vorschriften für betriebstechnische Anlagen

## 9.2 Energiedatenerfassung

Eine automatische Energiedatenerfassung kann an den einzelnen Meßstellen durch Zählvorrichtungen erfolgen. Der einfachste Fall zur Integration eines Energiemanagementsystems liegt vor, wenn bereits Zähler mit einem Impulsausgang existieren. Wo dies nicht der Fall ist, müssen geeignete Meßwertaufnehmer neu installiert bzw. nachgerüstet werden. Hierfür gibt es verschiedene Varianten:

- Erfassung von Zählerscheibenumdrehungen mit opto-elektronischen Meßwertaufnehmern
- Neuinstallation elektronischer Zähler mit Impulsausgang
- Datenübernahme von vorhandenen Meßumformern
- Erfassung von analogen Meßgrößenaufnehmern.

### 9.3 **Aufzeichnung der Energieverbrauchsdaten**

Die Meßdaten werden in dezentralen Datenerfassungsgeräten elektronisch aufgezeichnet. Die Datenerfassungssysteme sind in der Regel modular aufgebaut und damit sowohl lokal als auch dezentral erweiterungsfähig.

Für die Auswahl einer Datenerfassungs-Hardware sind folgende Kriterien von Bedeutung:

- maximal realisierbare Anzahl von erfaßbaren Meßstellen und Datenpunkten
- Verteilungsgrad der Meßstellen über das Betriebsgelände
- Passive Energiedatenerfassung oder aktive Regelung (Optimierung)

Neben fest installierten Datenerfassungsgeräten werden auch mobile Geräte angeboten. Diese Geräte eignen sich für Referenzmessungen an unterschiedlichen Zählern zur punktuellen Überprüfung des Energieverbrauchs bzw. der Lastgänge.

### 9.4 **Energiedatenauswertung, Überwachung, Regelung und Steuerung - Software**

Die Softwarepakete basieren in der Regel auf einer relationalen Datenbank, die die Daten sämtlicher Energie- und Stoffströme (Strom, Wasser, Gas, Druckluft) oder auch Kosteninformationen enthält. Sie sind modular aufgebaut und beinhalten mehrere Bausteine von der einfachen Erfassung und Auswertung manuell eingegebener Daten bis hin zu einer Online Visualisierung des Energieflusses, der Verwaltung und Analyse von Energietarifen, der permanenten Lastüberwachung und Trendvisualisierung oder der Meldung von Alarmen, Wartungsanforderungen etc. Energiemanagementsysteme mit Regelungs- und Steuerungsfunktionen ermöglichen das Schalten und Stellen von Informationspunkten.

Die Arbeit eines Benutzers, insbesondere die Analyse und Diagnose der Wechselwirkungen in den betriebstechnischen Anlagen sowie Reaktionen auf außergewöhnliche Betriebsbedingungen können durch eine grafische Aufbereitung der aktuellen System- und Anlagenzustände erheblich verbessert werden. Ein interaktives Grafiksystem bietet sowohl die farbige, vollgrafische und aktuelle Darstellung der Zustände und Vorgänge in den betriebstechnischen Anlagen als auch eine grafische Benutzeroberfläche für Benutzereingriffe. Meßwerte bzw. Zustände von Informationspunkten können auf verschiedene Arten dargestellt werden:

- mit zustandsabhängiger Farbgebung als numerischer Wert
- als Symbolbild
- in Form eines Balkendiagramms oder als Trenddiagramm.

## 9.5 Empfehlung

Die Kosten für die Einführung eines Energiemanagementsystems mit automatischer Datenerfassung betragen je nach Ausstattung ca. 500.000 DM. Die Einführung wird daher aus wirtschaftlichen Gründen für den jetzigen Betrieb nicht empfohlen.

Bei künftigen Änderungen in der Energieversorgungsstruktur oder bei der Integration neuer Anlagen sollten die notwendigen Meßstellen und –instrumente für eine automatische Erfassung der Energieströme vorgesehen werden, um schrittweise ein Energiemanagementsystem aufzubauen.

Die Installation eines Energiemanagementsystems sollte jedoch auch dann geprüft werden, wenn ein Prozeßleitsystem im Betrieb eingeführt wird. Neben der Prozessdatenerfassung sollten dann gleichzeitig die Daten zum Energieverbrauch und zur Energiebereitstellung mit erfaßt werden.

## 10 Zusammenfassung

Das Landesamt für Umweltschutz (LfU) führt ein Projekt zur „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ in verschiedenen Branchen durch. Ziel der Studie ist es, am Beispiel der untersuchten Bäckerei Potentiale für den rationellen Energieeinsatz in Bäckereien aufzuzeigen und darauf aufbauend branchenspezifische Umwelt- und Energiekennzahlen abzuleiten, die auf die gesamte Branche übertragbar sind, bzw. bei Querschnittstechnologien auch branchenübergreifend eingesetzt werden können.

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wurde zunächst eine Energie- und Emissionsbilanz des Ist-Zustands erstellt. Darauf aufbauend wurden für die Bäckerei Maßnahmen der Optimierung der Energieeffizienz zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erarbeitet und unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten bewertet. Die Ergebnisse gingen in einen Maßnahmenkatalog ein. Parallel dazu wurden spezifische Kennziffern entwickelt, die einen internen und externen Vergleich der spezifischen Energieverbräuche ermöglichen. Die Energieanalyse und die Erarbeitung von Einspar- und Verbesserungspotentialen bilden die Basis für die Einführung eines Umweltmanagementsystems.

Die Produktpalette der Bäckerei beinhaltet diverse Misch- und Vollkornbrote, Toastbrot, Brötchen, Brezen sowie Konditoreiware und Blechkuchen. Der durchschnittliche Mehlbedarf pro Tag beträgt rund 200 t. Es werden sowohl Frisch- als auch Tiefkühlprodukte (TK-Produkte) hergestellt. 38 % des Mehles werden für die Produktion von Tiefkühlware eingesetzt.

Die Bäckerei bezieht Fernwärme, Erdgas und Strom und als Energieträger für die Produktion. Zum Frosten von Gebäck wird Flüssigstickstoff verwendet. Der spezifische Energieverbrauch beträgt rund 1,1 MWh/t Mehl.

Der Fernwärmedampf wird zur Erzeugung von Niederdruckdampf (1,4 bar) verwendet und über eine zentrale Dampfschiene zur Beheizung der Versandhalle und in der Kistenwaschanlage in der Produktion eingesetzt. Der erzeugte Niederdruckdampf wird für Heizzwecke (Heizung, Lüftung), zur Warmwasserbereitung sowie in der Produktion insbesondere zur Luftkonditionierung für die Gare und zur Beschwagung der Öfen eingesetzt. Der spezifische Fernwärmeverbrauch beträgt im Jahresdurchschnitt rund 250 kWh/t Mehl. Der Verbrauch steigt durch den Einsatz für Heizzwecke im Winter bis auf ca. 330 kWh/t Mehl. In den Sommermonaten beträgt er rund 200 kWh/t Mehl.

Erdgas wird überwiegend zur Beheizung der Backöfen in der Produktion sowie zur Erhitzung des Thermoöls für den Pasteur eingesetzt. Der spezifische Erdgasverbrauch beträgt im 962 kWh/t Mehl.

Der spezifische Stromverbrauch beträgt 262 kWh<sub>el</sub>/t Mehl. Zu den Hauptstromverbrauchern zählen die Produktionsanlagen, Verpackungsanlagen, die Kälteanlagen, Druckluftherzeuger sowie die Mehlförderungsgebläse.

Die Druckluftanlage der Bäckerei arbeitet bei einem Druck von 10 bar. Der Stromverbrauch zur Bereitstellung der Druckluft beträgt ca. 1.300 MWh/a.

In der Produktion werden 23 Kälteanlagen zur Kälteversorgung bei der Teigbereitung und Gärunterbrechung sowie zur Kälteversorgung der Tiefkühl- und Kühlräume betrieben. Den größten Bedarf an elektrischer Energie haben die Eiswasseranlage sowie die Tiefkühl- und Kühlräume. Der jährliche Energiebedarf beträgt ca. 2.000 MWh/a. Rund 80 % davon werden für die Kältebereitstellung in den Tiefkühlräumen sowie zur Eiswasserbereitung benötigt. 20 % entfallen auf die Kältebereitstellung für die Kühlräume der Bäckerei und Feinbäckerei.

Die Verarbeitung der Teige erfolgt in 16 Produktionslinien. Energietechnische Untersuchungen wurden beispielhaft für die Herstellung von Mischbrot, Brötchen, Toastbrot, Feingebäck und Fettgebackenem durchgeführt.

Der spezifische Energieverbrauch ist produktabhängig und wird unter anderem von folgenden Parametern beeinflusst:

- Teigzusammensetzung (und Füllungen)
- Ofentemperaturen
- Abgasverluste.

60 – 80 % entfallen auf die Wärmebereitstellung durch Erdgas während des Backprozesses. Auch der Stromverbrauch kann zum größten Teil dem Backprozess (Ofen bzw. Ofenbeladung) zugeordnet werden. Daher sollte insbesondere der Energieverbrauch der Öfen regelmäßig erfaßt und kontrolliert werden, um Abweichungen von Soll-Werten frühzeitig zu erkennen.

Basierend auf den Ergebnissen der Bestandsaufnahme wurden mögliche Maßnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz und zur Reduzierung der relevanten Emissionen erarbeitet:

#### **Bauliche Maßnahmen:**

- Ersatz der Fenster durch moderne Kunststoffenster mit Wärmeschutzverglasung.
- Einsatz moderner Rasterleuchten mit EVG und ggf. Lichtsteuerung
- Bewegungsmelder in den Werkstätten und anderen Räumen, die nur sporadisch benutzt werden, zur automatischen Lichtabschaltung.

#### **Anlagentechnische Maßnahmen:**

- Installation von Verbrauchszählern an einzelnen Verbrauchern
- Anlagentechnische Optimierung der Fernwärmedampfverteilung und –umwandlung u.a. Temperaturbegrenzung des Entgasers auf 103 °C, Isolierung von Ventilen und Dampfleitungen
- Optimierung der Kälteanlagen
- Wärmerückgewinnung: Nutzung der Abwärme aus Rauchgas und Schwadenabluft zur Heizung (zum Teil schon vorhanden)

- Nutzung der Restkälte aus Stickstoffabluft der Froster
- Erneuerung des Rohrleitungsnetzes Druckluft und Absenkung des Netzdruckes
- Einsatz eines Blockheizkraftwerkes

### **Organisatorische Maßnahmen:**

- Optimale Einstellung der Ofenbrenner
- Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen
- Optimierung der Kältenutzung d.h. Überprüfung der notwendigen Kühltemperaturen, maximale Auslastung der Kühlräume, regelmäßiges Enteisen der Verdampfer, Kühlräume so wenig und so kurz wie möglich öffnen
- Regelmäßige Wartung des Druckluft- und Dampfnetzes

Bei der nachfolgenden Bewertung der Maßnahmen lag der Schwerpunkt auf den anlagentechnischen und organisatorischen Maßnahmen, da hier die größten Einsparpotentiale zu erwarten sind. Die baulichen Maßnahmen sollten im Rahmen baulicher Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Maßnahmen, die zur sofortigen Umsetzung empfohlen werden, beinhalten die organisatorischen Maßnahmen, die anlagentechnische Optimierung der Dampfversorgung und -verteilung sowie die Erneuerung des Druckluftnetzes. Eine Minimierung der Aufheizzeiten der Öfen ermöglicht Einsparungen von 126 t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Die CO<sub>2</sub> -Einsparpotentiale einer anlagentechnischen Optimierung der Dampfversorgung betragen 387 t pro Jahr. Die dynamischen Amortisationszeiten der Maßnahmen liegen zwischen 1,3 und 3,7 Jahren. Die nachträgliche Isolation einzelner ungedämmter Dampfleitungsabschnitte sollte im Zusammenhang mit weiteren Baumaßnahmen durchgeführt werden.

Die Erneuerung des Rohrleitungsnetzes der Druckluft und eine regelmäßige Wartung des Netzes ermöglichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 225 t/a. Die dynamische Amortisationszeit beträgt 5,1 Jahre.

Die Installation von Verbrauchszählern ist für eine energiewirtschaftliche Optimierung des Betriebes sinnvoll. Neue Anlagen sollten zukünftig mit Meßwerterfassungssystemen oder zumindest Zählern zur Erfassung des Energieverbrauchs ausgerüstet werden. Eine regelmäßige Überprüfung läßt Abweichungen frühzeitig erkennen und gegensteuern. Durch die Installation einer Dampfmenge- und Anzeige der zugeführten Dampfmenge an den Öfen kann der zugeführte Beschwadungsdampf auf ein Minimum reduziert werden.

Die Abwärmenutzung aus den Öfen liefert Wärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Mit der Abwärme aus den Schwaden kann z.B. Warmwasser mit einer Vorlauftemperatur von 50 - 60 °C gewonnen werden. Die Abwärmenutzung der Rauchgase ermöglicht die Wärmenutzung mit Temperaturen über 100 °C. Insgesamt steht eine Wärmemenge von rund 9.861 MWh pro Jahr zur Verfügung. Das Wärmerückgewinnungssystem sollte in einer ersten Ausbaustufe auf die Wärmeversorgung der Verlade- und Versandhalle, der LKW-Waschanlage sowie auf die Wärmebereitstellung für Heizung und Lüftung ausgelegt werden. Mit dieser Maß-

nahme können CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 682 t/a erzielt werden. Die dynamische Amortisationszeit beträgt 3,1 Jahre. Für die Wärmeversorgung neuer Anlagen sollte die Abwärmenutzung aus den Rauchgasen und der Schwadenabluft schon bei der Planung in Betracht gezogen werden.

Spezifische Kennziffern zum Energieverbrauch in Bäckereien wurden entwickelt und durch Literaturwerte ergänzt. Die Ermittlung und regelmäßige Überprüfung von Kennziffern ermöglichen den einzelnen Betrieben eine Selbstkontrolle und bieten zudem die Möglichkeit, verschiedene Betriebe zu vergleichen und hinsichtlich des Energieverbrauches einzuordnen (Benchmarking). Der interne Vergleich einzelner Produktionsbereiche/Produktionslinien vereinfacht es, Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen zu finden.

Die Energieanalyse und die Erarbeitung von Einspar- und Verbesserungspotentialen sind wichtige Bausteine bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems. Die Verbesserung der Situation des Unternehmens (Wettbewerbsfähigkeit, Risikominimierung, Verbesserung der Organisation, Kostenminimierung) sollte dabei das Ziel sein und nicht die Validierung bzw. Zertifizierung.

Die Einführung eines EU-Öko-Audit Systems (EMAS) erfordert die Durchführung verschiedener Teilschritte:

- Festlegung einer unternehmens- bzw. standortspezifischen Umweltpolitik
- Bestandsaufnahme der umweltrelevanten Situation (Umweltprüfung)
- Erstellung eines Umweltprogrammes
- Aufbau eines Umweltmanagementsystemes
- Umweltbetriebsprüfung
- Umwelterklärung
- Validierung.

Derzeit wird die EU-Öko-Audit-Verordnung überarbeitet. Die Studie faßt die vorgesehenen Änderungen der Verordnung zusammen.

Im Rahmen eines Umweltmanagements sollte ebenfalls die Einführung eines Energiemanagements berücksichtigt werden. Die Kenntnis der Bedarfsstruktur, der tatsächlichen Verbrauchsmengen und der Lastgänge ermöglicht eine Minimierung des Energieverbrauches. Neben den organisatorischen Maßnahmen sind bei der Einführung eines Energiemanagements zunächst die technischen Voraussetzungen für eine Erfassung aller relevanten Energieverbräuche und Stoffströme zu schaffen.

Eine manuelle Erfassung von Meßwerten entspricht nicht mehr dem Stand der Technik, führt zu einer deutlich eingeschränkten Datenerfassung und ermöglicht keinen sofortigen Eingriff bei Störungen. Eine automatische Erfassung der Meßstellen mit Unterstützung eines Energiemanagementsystems ermöglicht eine kontinuierliche Meßdatenaufnahme. Das erleichtert die Schwachstellenanalyse und Optimierung der Hauptverbraucher. Energiemanagementsysteme mit Regelungs- und

Steuerungsfunktionen ermöglichen neben einer kontinuierliche Überwachung auch das das Schalten und Stellen von Informationspunkten. Das Einsparpotential durch Energiemanagementsysteme liegt zwischen 5 - 15 % des Jahresenergieverbrauches. Aus wirtschaftlichen Gründen wird empfohlen, bei künftigen Änderungen in der Energieversorgungsstruktur oder bei der Integration neuer Anlagen die notwendigen Meßstellen und –instrumente für eine automatische Erfassung der Energieströme vorzusehen, um schrittweise ein Energiemanagementsystem aufzubauen. Die Installation eines Energiemanagementsystems sollte auch dann geprüft werden, wenn ein Prozeßleitsystem im Betrieb eingeführt wird.

## 11 Literatur

- [1] Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung – HEA-e.V. (Hrsg.): Tips zum Umweltschutz und zur Energieeinsparung in Bäckereien und Konditoreien. Energie-Verlag : Heidelberg 1995
- [2] Kuhn, Herbert; Leis, Ulrich: Energieeinsparung in Bäckereien. In: Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom - Modellvorhaben und Fachartikel. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe 1999
- [3] Hagedorn, A.: Rationelle Energie- und Wasserverwendung, Branchenspezifische Beratung für das Backgewerbe im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Hannover AG. ASEW : Köln 1995
- [4] Schweizerischer Bäcker- und Konditorenmeisterverband: Rationeller Energieeinsatz in Bäckereien. RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen : Bern 1995
- [5] Kubessa, Michael: Energiekennwerte; Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb. BEA (Brandenburgische Energiesparagentur) : Potsdam 1998
- [6] N.N: Warmwasserbereitung in Bäckereien. Isar-Amperwerke : München 1994
- [7] Landesgewerbeamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Informationsdienst Nr. 5 – 1982, Rationelle Energienutzung in Bäckereien. Zentrale Informationsstelle für Energiefragen : Stuttgart 1992
- [8] Nussbaumer, Beat; Eggen, Bernhard: Energiemanagement in Bäckereien. Materialien zu RAVEL. Bundesamt für Konjunkturfragen : Bern 1995
- [9] Kriems, P.; Gerstmann, R.: Energie- und Qualitätsoptimierung beim Backen in Netzbandöfen. In: Bäcker und Konditor, (1989) 6, S. 162 – 166
- [10] Kriems, P.; Gerstmann, R.: Energie- und Qualitätsoptimierung beim Backen in Netzbandöfen (II). In: Bäcker und Konditor, 38 (1990) 1, S. 8-9
- [11] Kriems, P.; Gerstmann, R.: Energie- und Qualitätsoptimierung beim Backen in Netzbandöfen (V). In: Bäcker und Konditor, (1991) 1, S. 8-9
- [12] Oberösterreichischer Energiesparverband et.al.: Branchenberatung Energie. Energiekennzahlen und –sparpotentiale in Bäckereien. Juli 1998
- [13] Radken, P.; Jochem, E.: Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom -. Modellvorhaben und Fachartikel. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung : Karlsruhe 1999
- [14] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie u. Ges. (Hrsg.): Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (Gemis) Version 3.0, 1997
- [15] GLT. Qualitäts- und Energiemanagement im Backgewerbe. German Lebensmitteltechnologie GmbH, Berlin 2000
- [16] Statistisches Bundesamt. Berichtsjahr 1999, Tabellen 1.4-1.6 der Fachserie 4, Reihe 4.1.1
- [17] TÜV Rheinland (Hrsg.): Handbuch zur Beratung kleiner und mittlerer Unternehmen über Maßnahmen zur Energieeinsparung, Teil B1. 1984

- [18] Wiegand, S.: TU München, Lehrstuhl für Energie- und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie, persönliche Mitteilung März 2000
- [19] Brack, G.: Energiebedarf zur Getreidevermahlung und Backwarenherstellung in der Bundesrepublik Deutschland. In: Energie und Ernährungswirtschaft, Schriftenreihe des BML, Reihe A, Heft 285 (1983) 30-41
- [20] Seibel, W.; Spicher, G.: Backwaren. In : Lebensmitteltechnologie, Rudolf Heiss (Hrsg.). Springer-Verlag : Berlin, S.167-180
- [21] Ruppelt, E.; Bahr, M.: Grundlagen der Drucklufttechnik. In: Pumpen und Kompressoren aus Deutschland 1999 mit Druckluft und Vakuumtechnik. S. 108 – 113
- [22] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie: Energiebericht Bayern 1998/1999
- [23] Bode, M.: Umweltmanagement in Unternehmen. Information-Verl. (Praxis & Umweltrecht) : Freiburg 1995
- [24] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: EG-Umwelt-Audit (EMAS), Januar 2000
- [24] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: EG-Umwelt-Audit (EMAS), Januar 2000
- [25] Pöttler, E.: Spirax SarcoGmbH persönliche Mitteilung, 2000
- [26] Zimmermann: Firma Detarbeck: persönliche Mitteilung, 2000
- [27] ETSU: The application of computers to energy management in industry. Thermie programme action N° I101. European Commission DG Energy