



## Steigerung der Ressourceneffizienz in der Ernährungswirtschaft Studie



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

## Vorwort

Ich freue mich, Ihnen diese aktuelle Studie als einen wichtigen Beitrag zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Verbesserung des Umweltschutzes vorstellen zu können.

Die vorliegende Studie soll es den Unternehmen der Ernährungswirtschaft ermöglichen, sich über aktuelle Maßnahmen zur Ressourceneffizienz zu informieren, und darüber hinaus Unternehmen der Umweltwirtschaft und des Maschinen- und Anlagenbaus ermutigen, beste Lösungen für die Ernährungswirtschaft in ihrer Vielfalt zu entwickeln und zu erarbeiten.

Im Vergleich zu anderen Industriezweigen haben unsere Lebensmittelproduzenten die besondere Herausforderung, dass Effizienzmaßnahmen die sensible Qualität und den Geschmack der Lebensmittel nicht beeinträchtigen dürfen!

Die Ernährungswirtschaft in Nordrhein-Westfalen nimmt im Bundesvergleich eine herausragende Position ein: In der Ernährungsindustrie, im Ernährungshandwerk und beim Lebensmittelhandel belegt das bevölkerungsreichste Bundesland jeweils den ersten Platz bei Umsatz und Beschäftigung – vor Bayern und Niedersachsen.

Die Stärken der Ernährungsbranche in Nordrhein-Westfalen liegen in der Nähe zu Millionen Kunden im In- und Ausland, einer hervorragenden Verkehrsinfrastruktur, einem breiten Branchenmix und dem Vorhandensein leistungsfähiger Zulieferer aller Art. Diese Standortvorteile werden durch Produkt- und Prozessinnovationen sowie durch neue Marktstrategien gehalten und gefördert.

Mehr als **850.000 Menschen** in über **113.000 Betrieben** arbeiten in Nordrhein-Westfalen entlang der **Wertschöpfungskette Ernährung**, die von den Input-Sektoren der Landwirtschaft bis zu den diversen Verbraucher-Schnittstellen in Lebensmittel-einzelhandel oder Gastronomie reicht.

Für die **Ernährungsindustrie im engeren Sinne** gemäß der „Klassifikation der Wirtschaftszweige WZ 2008“ liefert die folgende Tabelle einen Überblick über die wichtigsten Zahlen und Fakten

## Zahlen und Fakten 2012

<b>Anzahl der Betriebe*</b>	<b>1.045</b>
NRW-Anteil an deutschen Betrieben	17,6%
<b>Beschäftigte*</b>	<b>87.760</b>
NRW-Anteil an deutschen Beschäftigten	17,9%
<b>Umsatz*</b>	<b>37 Mrd.EUR</b>
darunter Auslandsumsatz	21,6%
NRW-Anteil am deutschen Umsatz	22,2%
<b>Exporte**</b>	<b>9,7 Mrd. EUR</b>
NRW-Anteil an deutschen Exporten	18,5%
<b>Importe**</b>	<b>10,1 Mrd. EUR</b>
NRW-Anteil an deutschen Importen	22,4%

Quelle: IT.NRW, 2014

\* Die Angaben beziehen sich auf die Herstellung von Nahrungsmitteln (C 10) und Getränken (C 11) und Unternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten; sie basieren auf der neuen „Klassifikation der Wirtschaftszweige WZ 2008“.

\*\* Die Angaben beziehen sich auf die Außenhandelsstatistik Nordrhein-Westfalen.

In Nordrhein-Westfalen kann die stark mittelständisch geprägte Struktur der Ernährungswirtschaft – immerhin beschäftigen 77 Prozent der Unternehmen weniger als 100 Personen – ihre besondere Stärke entfalten, denn gerade die kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) behaupten sich mit ihrem besonderen Know-how sehr erfolgreich am Markt. Auch Global Player wissen den Standort Nordrhein-Westfalen sehr zu schätzen. So ist es kein Zufall, dass fünf der zehn umsatzstärksten Lebensmittelhandelshäuser in Deutschland ihren Sitz in Nordrhein-Westfalen haben.

Diese große Bedeutung ist nicht nur Herausforderung und Verpflichtung für die Ernährungswirtschaft, sondern für uns alle in NRW.

Nordrhein-Westfalen verfolgt ambitionierte Klimaschutzziele und hat im Jahr 2013 das erste Klimaschutzgesetz in einem deutschen Bundesland mit gesetzlichen Klimaschutzziele verabschiedet. Die Gesamtsumme der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen soll bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 % und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 verringert werden. Dieser Herausforderung stellen wir uns mit einer Vielzahl von Maßnahmen und bauen dabei u.a. auf die Innovationskraft der Wirtschaft. Exemplarisch für das große Engagement der regionalen Unternehmen der Ernährungswirtschaft steht die Umsetzung verschiedener Nachhaltigkeitskonzepte. Auch zählten zu den Preisträgern des Energieeffizienzpreises der IHK Mittlerer Niederrhein im Jahr 2014 drei Unternehmen der örtlichen Lebensmittelindustrie.

Wir verfolgen daher für Nordrhein-Westfalen eine Umweltwirtschaftsstrategie, die Nachhaltigkeit und ökologische Verantwortung mit ökonomischer Vernunft verbindet.

1. Wir stärken die Vernetzung der Unternehmen auf dem Feld der Umweltwirtschaft. Um die bestehenden Kompetenzen im Land zu vernetzen und zur Stärkung der Zusammenarbeit zwischen Industrie, kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie Wissenschaft beizutragen, greifen wir bereits auf etablierte und bewährte Strukturen zurück, wie die EnergieAgentur.NRW, die Effizienz-Agentur NRW und die Cluster. Wir werden kooperative Strukturen intensivieren sowie den Austausch und die interdisziplinäre Zusammenarbeit in wichtigen Zukunftsthemen fördern, gerade auch, um kleinere und mittlere Unternehmen dabei zu unterstützen, die Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in international marktfähige Produkte umzusetzen.

2. Wir fördern Umwelt- und Klimaschutzinnovationen.

In der neuen EU-Förderperiode 2014 bis 2020 werden wir mithilfe des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) im Rahmen des EFRE.NRW-Programms gezielt nordrhein-westfälische Unternehmen der Ernährungsindustrie und Forschungseinrichtungen dabei unterstützen, innovative Ideen für effizientere Verfahren sowie nachhaltigere Produkte zu entwickeln.

3. Wir wollen den Wissenstransfer verbessern.

Eine hohe Energie- und Materialeffizienz ist wichtig zur Minderung der Treibhausgasemissionen. In Zeiten hoher Energiepreise und einer zunehmenden Kostenwirksamkeit von Treibhausgasemissionen sind diese auch aus ökonomischen Gründen von großer Bedeutung für die nordrhein-westfälischen Unternehmen. Ein wichtiger Baustein des Wissenstransfers ist die hier erstellte Studie.

Ich danke allen Verfasserinnen und Verfassern der Siemens AG und allen mitarbeitenden Unternehmen, die mit der Studie einen wichtigen Schritt zum Wissenstransfer für unsere Ernährungswirtschaft geleistet haben. Mithilfe der EFRE- und Landesmittel konnte diese Studie erarbeitet werden und kann kostenlos allen Interessierten zum Download zur Verfügung gestellt werden.

Diese Studie wird sicher viele Anregungen geben und damit zum Erfolg für die Unternehmen und für die Umwelt beitragen.

Johannes Rimmel

Minister für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,

Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

## Inhalt

1	Einleitung .....	8
2	Besonderheiten der deutschen Ernährungsindustrie .....	10
2.1	Energie- und klimapolitische Rahmenbedingungen.....	10
2.2	Struktur der Branche .....	11
2.3	Energieeinsatz und Energiekosten .....	15
2.3.1	Entwicklung des Energieeinsatzes.....	15
2.3.2	Energieeinsatz – die bedeutendsten Branchen.....	18
2.3.3	Energiebedarfsstruktur – die bedeutendsten Branchen .....	20
2.3.4	Energiekosten – die bedeutendsten Branchen .....	22
2.4	Prozessklassifikation .....	24
2.4.1	Klassifikation von Produktionsprozessen .....	24
2.4.2	Branchen-Prozess-Matrix .....	28
2.4.3	Handhabungsbeispiel .....	31
2.5	Literaturverzeichnis .....	32
3	Bewertung der Energieeffizienz .....	33
3.1	Betriebliche Kennzahlen.....	33
3.1.1	Energieeinsatz .....	34
3.1.2	Energiebedarfsstruktur.....	37
3.1.3	Energiekosten .....	38
3.2	Ausgewählte Produktionsprozesse .....	40
3.2.1	Mechanische und thermische Trenn- und Zerteilungsprozesse .....	41
3.2.1.1	Separation .....	41
3.2.1.2	Mahlen.....	43
3.2.1.3	Osmotische Trennverfahren.....	44
3.2.1.4	Eindampfung.....	46
3.2.2	Erwärmen und Erhitzen .....	50
3.2.3	Trocknung.....	53
3.2.3.1	Sprühtrocknung .....	54
3.2.3.2	Stromtrocknung.....	58
3.2.3.3	Wirbelschicht- und Fließbettrocknung.....	60
3.2.3.4	Kontaktrocknung .....	62

---

3.2.3.5	Dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung .....	64
3.2.3.6	Gefriertrocknung .....	65
3.2.4	Homogenisierung .....	67
3.2.5	Thermische Konservierung .....	68
3.2.5.1	Pasteurisation .....	68
3.2.5.2	Ultrahocherhitzung.....	69
3.3	Querschnittstechniken .....	72
3.3.1	Dampf-, Heißwasser- und Thermoölversorgung .....	72
3.3.2	Heizung .....	76
3.3.3	Lüftungsanlagen .....	79
3.3.4	Kälteerzeugung, Kühlung und Klimatisierung.....	83
3.3.5	Wärmerückgewinnung .....	86
3.3.6	Druckluft .....	88
3.3.7	Elektrische Antriebe .....	92
3.3.8	Pumpen.....	99
3.3.9	Beleuchtung.....	100
3.3.10	Kraft-Wärme-Kopplung .....	103
3.3.11	Reinigung .....	105
3.4	Prozessautomation.....	108
3.5	Organisatorische und allgemeine Maßnahmen .....	111
3.6	Erneuerbare Energien.....	113
3.7	Literaturverzeichnis .....	116
4	Praxisbeispiele .....	117
4.1	Fleischverarbeitung .....	117
4.1.1	Wärmeintegration .....	118
4.1.2	Stromeinsparung .....	121
4.1.3	Wassereinsparung .....	125
4.2	Fruchtsaftherstellung, Mineralbrunnen und Brauereien .....	128
4.2.1	Wärmeintegration .....	128
4.2.2	Stromeinsparung .....	132
4.2.3	Wassereinsparung .....	133
4.2.4	Ressourceneinsparung .....	134
4.3	Milchverarbeitung .....	135

---

4.3.1	Übersicht möglicher Maßnahmen.....	136
4.3.1.1	Trennen und Abscheiden.....	137
4.3.1.2	Homogenisieren .....	137
4.3.1.3	Wärmeübertragung.....	138
4.3.1.4	Kühlung.....	138
4.3.1.5	Abfüllung und Verpackung .....	138
4.3.1.6	Flaschen-, Glas- und Behälter-Waschmaschine .....	139
4.3.2	Wärmeintegration .....	139
4.3.3	Stromeinsparungen .....	144
4.3.4	Wassereinsparung .....	147
4.4	Mahl-, Schäl- und Ölmühlen.....	148
4.4.1	Wärmeintegration .....	148
4.4.2	Stromeinsparung .....	148
4.4.3	Ressourceneinsparung .....	149
4.5	Herstellung von Backwaren und Dauerbackwaren .....	150
4.5.1	Wärmeintegration .....	151
4.5.2	Stromeinsparung .....	151
4.6	Herstellung von Süßwaren .....	153
4.6.1	Wärmeintegration .....	153
4.6.2	Stromeinsparung .....	154
4.6.3	Wassereinsparung .....	155
4.7	Herstellung von Teigwaren.....	156
4.7.1	Wärmeintegration und Stromeinsparung .....	156
4.7.2	Studien zur Optimierung des thermischen Energiebedarfs .....	157
4.8	Nachhaltigkeitsbemühungen der Ernährungsindustrie in NRW .....	159
4.9	Literaturverzeichnis .....	161
5	Instrumente zur Unterstützung der rationellen Energienutzung.....	162
5.1	Erfassung und Analyse der Energiedaten .....	162
5.1.1	1. Schritt: Grobanalyse .....	166
5.1.2	2. Schritt: Feinanalyse.....	167
5.1.3	3. Schritt: Auswertung .....	168
5.2	Aufbau eines Energiemanagementsystems .....	176
5.2.1	Einführung .....	176

---

5.2.2	Umsetzung in drei Stufen .....	178
5.3	Weiterführende Handbücher und Leitfäden .....	184
5.4	Literaturverzeichnis .....	185
6	Förderung und Finanzierung .....	186
6.1	Darstellung aktueller Förderprogramme .....	186
6.1.1	Antragsstellen und Zuschussprogramme .....	187
6.1.2	Antragsstellen und Kreditprogramme .....	190
6.2	Finanzierung .....	193
6.2.1	Energieliefer-Contracting .....	195
6.2.2	Einspar-Contracting .....	195
6.2.3	Finanzierungs-Contracting .....	196
6.2.4	Technisches Anlagenmanagement .....	196
6.3	Literaturverzeichnis .....	197
7	Abwasser und Abfall .....	198
7.1	Ressourceneffizienz des Wassers in der Ernährungsindustrie .....	198
7.1.1	Betriebliche Maßnahmen zur Abwasservermeidung .....	200
7.1.2	Betriebliche Maßnahmen zur Abwasserbehandlung .....	201
7.2	Verwertung von Bioabfall und Abfallrecycling in der Ernährungsindustrie .....	203
7.3	Praxisbeispiele .....	204
7.4	Literaturverzeichnis .....	206
8	Anhang .....	207
8.1	Glossar .....	207
8.2	Umrechnungsfaktoren .....	212
8.3	Abkürzungen .....	214
8.4	Einheiten .....	218
8.5	Checklisten .....	220

---

## 1 Einleitung

Für die deutsche Ernährungswirtschaft sind Fragen des rationellen Energieeinsatzes, Energieeinsparpotenziale sowie der kostengünstige Bezug von Energie eine stetige Herausforderung.

Die vorliegende Studie „Steigerung der Ressourceneffizienz in der Ernährungswirtschaft“ ist eine Aktualisierung und Weiterentwicklung des im Jahr 2000 veröffentlichten Leitfadens „Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie“. Sie soll in komprimierter und übersichtlicher Form eine Orientierungshilfe sein, um konkrete Verbesserungspotenziale und Lösungsmöglichkeiten für das eigene Unternehmen zu erkennen und so gezielt im Bereich Energie aktiv werden zu können. Sie bietet für das einzelne Unternehmen und für den gesamten Wirtschaftszweig eine Basis zur Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Reduzierung und Kostensenkung.

Die vorliegende Studie zeigt in allgemeingültiger Form branchentypische und übertragbare Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung auf, die für die Mehrzahl der Unternehmen innerhalb der einzelnen Branchen der Ernährungsindustrie anwendbar sind. Dabei wird zugrunde gelegt, dass Unternehmen mit vergleichbaren Produktionsprozessen ähnliche technische Strukturen und damit auch ähnliche Anforderungen im Energie- und Umweltbereich aufweisen.

Das Kapitel 2 enthält neben einer Zusammenfassung der aktuellen energie- und klimapolitischen Rahmenbedingungen eine übersichtliche Beschreibung der Struktur und des Energieeinsatzes der Ernährungsindustrie. Ein wesentliches Element ist die in Abschnitt 2.4 beschriebene Branchen-Prozess-Matrix. Sie hilft dem Leser bei der Identifikation der für seinen Betrieb relevanten Prozesse und Praxisbeispiele und ist so aufgebaut, dass die hergestellten Produkte bei der energetischen Optimierung der meisten Prozesse eine untergeordnete Rolle spielen. Ziel ist es, den Leser zu Beispielen zu führen, die zwar nicht seinen Betrieb beschreiben, aber durchaus Einsparpotenziale seiner Prozesse offenlegen.

In Kapitel 3 werden Hinweise zur Bewertung der Energieeffizienz von ausgewählten Produktions- und Querschnittstechniken und zur Optimierung des Energieeinsatzes in der Ernährungsindustrie gegeben. Abschnitt 3.1 enthält betriebliche Kennzahlen und bietet somit erste Vergleichsmöglichkeiten innerhalb der Ernährungsindustrie. Grundsätzlich ist der Energieeinsatz von vielen Faktoren abhängig, dennoch ist der Vergleich mit anderen Werten der Branche aufschlussreich und regt zu detaillierteren Analysen an. In Abschnitt 3.2 folgt eine Betrachtung von ausgewählten Produktionsprozessen mit detaillierten Ausführungen zu prozess- und verfahrenstechnischen Verbesserungsmaßnahmen. Die Querschnittstechniken Wärme-, Kälte- und Druckluftversorgung sowie Beleuchtung und Reinigung werden in Abschnitt 3.3, Prozessautomation in Abschnitt 3.4 sowie allgemeine organisatorische Maßnahmen in Abschnitt 3.5 aufgeführt. Abgerundet wird die Betrachtung durch eine kurze Übersicht der Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energiequellen (Abschnitt 3.6).

In Kapitel 4 werden die Praxisbeispiele aus dem Leitfaden 2000 überarbeitet und durch neue, innovative Beispiele von den damals untersuchten Betrieben sowie von weiteren Unternehmen ergänzt. Schwerpunkt der Betrachtung bilden die Branchen Fleischverarbeitung (Abschnitt 4.1), Fruchtsaftherstellung, Mineralbrunnen und Brauereien (Abschnitt 4.2), Milchverarbeitung (Abschnitt 4.3), Mahl-, Schäl- und Ölmühlen (Abschnitt 4.4), Herstellung von Backwaren und Dauerbackwaren (Abschnitt 4.5), Herstellung von Süßwaren (Abschnitt 4.6) und Herstellung von Teigwaren (Abschnitt 4.7).

Eine weitere Hilfestellung für die Umsetzung enthält Kapitel 5 mit praktischen Vorschlägen zur Durchführung von Energieanalysen und zur Einführung eines Energiemanagements im Betrieb. Die im Anhang bereitgestellten Checklisten ergänzen diese Vorschläge.

Hilfestellungen zur Finanzierung von Vorhaben (Contracting) und eine Auswahl verschiedener aktueller Förderprogramme werden in Kapitel 6 erläutert. Schließlich wird die Thematik Ressourceneffizienz im Kapitel 7 mit den Schwerpunkten Abwassermeidung und -behandlung sowie der Verwertung von Bioabfall und Abfallrecycling abgerundet.

## 2 Besonderheiten der deutschen Ernährungsindustrie

### 2.1 Energie- und klimapolitische Rahmenbedingungen

Die Energiepolitik auf europäischer und nationaler Ebene ist eng verknüpft mit den Vorgaben aus dem Bereich des Klimaschutzes.

Auf der Basis des Kyoto-Protokolls von 1997 hat sich die Europäische Union (EU) verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 20 % gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Im Rahmen der Lastenverteilung innerhalb der EU muss Deutschland seine Treibhausgasemissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 verringern. Weiterhin wurde auf EU-Ebene festgelegt, dass der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 20 % gegenüber dem Jahr 2005 verringert und der Anteil Erneuerbarer Energien auf 20 % gesteigert werden soll.

Die Beschlüsse des EU-Klimagipfels vom Oktober 2014 sehen eine verbindliche Reduktion der Treibhausgasemissionen der EU bis zum Jahr 2030 um mindestens 40 % gegenüber dem Jahr 1990 vor. Der Anteil der Erneuerbaren Energien soll auf mindestens 27 % steigen. Im Hinblick auf die Senkung des Endenergieverbrauchs wurde eine unverbindliche Zielmarke von mindestens 27 % vereinbart.

Mit dem Energiekonzept vom September 2010 hat die deutsche Bundesregierung die folgenden energie- und klimapolitischen Ziele bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 1990 definiert und damit die Grundlagen sowohl für die Erfüllung ihrer internationalen Verpflichtungen als auch für die nationale Energiewende gelegt:

- Reduktion der Treibhausgase (THG) um 80 bis 95 %
- Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 %
- Senkung des Primärenergieverbrauchs um 50 % gegenüber 2008.

Spezielle Vorgaben für die Industrie stellen die Erhöhung der Energieeffizienz in den Mittelpunkt:

- Steigerung der Energieproduktivität um 2,1 % pro Jahr und Minderung des Stromverbrauchs um 25 % bis 2050 gegenüber 2008
- Der „Spitzenausgleich“ (Strom- und Energiesteuer) wird ab 2013 nur noch gewährt, wenn die Betriebe einen Beitrag zu Energieeinsparungen in Form der Einführung eines Energiemanagementsystems (EnMS) leisten.

In Nordrhein-Westfalen (NRW) hat der Landtag im Januar 2013 das erste deutsche Klimaschutzgesetz mit gesetzlichen Klimaschutzziele verabschiedet. Die Gesamtsumme der klimaschädlichen Treibhausgasemissionen in NRW soll demnach bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 % und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 verringert werden. Dazu erstellt die Landesregierung derzeit unter Beteiligung von gesellschaftlichen Gruppen den NRW-Klimaschutzplan, der konkrete Einzelmaßnahmen zu Klimaschutz und

Klimafolgenanpassung festlegt, mit denen die verbindlichen Klimaschutzziele erreicht werden sollen.

Aus den genannten Rahmenbedingungen können sich direkte Auswirkungen auf die Ernährungswirtschaft in NRW ergeben. Aber die Anforderungen bieten auch Chancen:

- Energieeffizienz trägt wesentlich zu einer Senkung der Kosten der Energieversorgung für Unternehmen bei und ist so gleichzeitig ein zentraler Wettbewerbsfaktor und damit ein wichtiges Element der Standortpolitik.
- Energieeffizienz senkt die Nachfrage nach Energie und leistet so einen wichtigen Beitrag zu größerer Versorgungssicherheit, zur Reduzierung der Importabhängigkeit und zur Steigerung der Reichweite der erschöpfbaren Energieträger.
- Energieeffizienz ist angewandte Umweltschutzpolitik und in vielen Fällen unter Kostengesichtspunkten der günstigste Weg, die klima- und energiepolitischen Ziele zu erreichen.

Konkret wird zum Beispiel durch die Einführung eines EnMS der Energiebereich genauer als bisher betrachtet und weitere Einsparpotenziale werden aufgedeckt. Zudem mildert ein geringerer spezifischer Energieverbrauch und ein bundesweit höherer Anteil Erneuerbarer Energien die Folgen der teilweise beträchtlichen Schwankungen der Rohstoffpreise für das einzelne Unternehmen.

## 2.2 Struktur der Branche

Die Ernährungsindustrie war 2012 mit einem Gesamtumsatz von ca. 169,3 Mrd. € die drittgrößte Branche des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Bundesweit waren in dem Jahr ca. 554.000 Personen in rund 5.930 Betrieben beschäftigt. Die Situation in NRW ist vergleichbar. Die Ernährungsindustrie liegt mit einem Gesamtumsatz in 2012 von gut 37 Mrd. € landesweit ebenfalls an dritter Stelle. Hier sind in gut 1.000 Betrieben etwa 97.000 Mitarbeiter beschäftigt.

Nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2008 (WZ 2008) wird die Ernährungsindustrie in die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln mit neun Gruppen sowie 25 Untergruppen und die Getränkeherstellung mit einer Gruppe sowie sieben Untergruppen aufgeteilt (siehe Tabelle 2-1). Die in den folgenden Kapiteln dargestellten statistischen Auswertungen, die Branchen-Prozess-Matrix in Abschnitt 2.4 sowie die Auswertungen in Abschnitt 3.1 orientieren sich an dieser Klassifikation.

Neben der Branchensegmentierung – die klassischerweise markt- und damit produktorientiert ist – sind weitere Parameter geeignet, typische Strukturen der Ernährungsindustrie zu beschreiben. In dieser Studie werden die energiewirtschaftlichen Strukturzahlen herangezogen. Die stark heterogene Struktur der Branchen erschwert allerdings verallgemeinernde Aussagen. Die folgenden Branchen-

charakteristika sind Durchschnittswerte der gesamten Branche und treffen daher nicht zwingend auf das einzelne Unternehmen zu.

<b>10</b>	<b>Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln</b>
<b>10.1</b>	<b>Schlachten u. Fleischverarbeitung</b>
10.11	Schlachten (ohne Schlachten von Geflügel)
10.12	Schlachten von Geflügel
10.13	Fleischverarbeitung
<b>10.2</b>	<b>Fischverarbeitung</b>
<b>10.3</b>	<b>Obst- u. Gemüseverarbeitung</b>
10.31	Kartoffelverarbeitung
10.32	Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften
10.39	Sonstige Verarbeitung von Obst und Gemüse
<b>10.4</b>	<b>Herstellung von pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten</b>
10.41	Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.)
10.42	Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten
<b>10.5</b>	<b>Milchverarbeitung</b>
10.51	Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis)
10.52	Herstellung von Speiseeis
<b>10.6</b>	<b>Mahl- und Schälmmühlen, Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen</b>
10.61	Mahl- und Schälmmühlen
10.62	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen
<b>10.7</b>	<b>Herstellung von Back- und Teigwaren</b>
10.71	Herstellung von Backwaren (ohne Dauerbackwaren)
10.72	Herstellung von Dauerbackwaren
10.73	Herstellung von Teigwaren
<b>10.8</b>	<b>Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln</b>
10.81	Herstellung von Zucker
10.82	Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)
10.83	Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz
10.84	Herstellung von Würzmitteln und Soßen
10.85	Herstellung von Fertiggerichten
10.86	Herstellung von homogenisierten und diätischen Nahrungsmitteln
10.89	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln (anderweitig nicht genannt)
<b>10.9</b>	<b>Herstellung von Futtermitteln</b>
10.91	Herstellung von Futtermitteln für Nutztiere
10.92	Herstellung von Futtermitteln für sonstige Tiere
<b>11</b>	<b>Getränkeherstellung</b>
11.01	Herstellung von Spirituosen
11.02	Herstellung von Traubenwein
11.03	Herstellung von Apfelwein und anderen Fruchtweinen
11.04	Herstellung von Wermutsw Wein und sonstigen aromatisierten Weinen
11.05	Herstellung von Bier
11.06	Herstellung von Malz
11.07	Mineralwasser, Herstellung von Erfrischungsgetränken

Tabelle 2-1: Klassifikation der Ernährungsindustrie nach WZ 2008

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass statistische Daten in der erforderlichen Detaillierungsstufe nur bundesweit vollständig vorliegen und nicht länderspezifisch. Dies ist bedingt durch die Pflicht zur Geheimhaltung statistischer Daten, die

Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen zulassen könnten. Mit zunehmender Aggregation auf Bundesebene ist die Wahrung der Anonymität des einzelnen Betriebes gewährleistet, und es können detaillierte Daten veröffentlicht werden.

	WZ 2008	Branchenbezeichnung	Anzahl Betriebe (D)	(NRW)
1	10.71	Herstellung von Backwaren (ohne Dauerbackwaren)	2.490	500 (1)
2	10.13	Fleischverarbeitung	999	144 (2)
3	10.11	Schlachten (ohne Schlachten von Geflügel)	299	59 (3)
4	11.05	Herstellung von Bier	270	36 (4)
5	10.51	Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis)	203	16
6	11.07	Mineralwasser, Herstellung von Erfrischungsgetränken	176	25 (8)
7	10.82	Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)	160	32 (5)
8	10.91	Herstellung von Futtermitteln für Nutztiere	160	28 (6)
9	10.39	Sonstige Verarbeitung von Obst und Gemüse	130	26 (7)
10	10.89	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln ang.	126	21 (9)
11	10.61	Mahl- und Schälmaschinen	93	16
12	10.72	Herstellung von Dauerbackwaren	93	21 (9)
13	10.84	Herstellung von Würzmitteln und Soßen	85	15
14	10.32	Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften	71	10
15	10.2	Fischverarbeitung	58	1
16	10.85	Herstellung von Fertiggerichten	56	12
17	10.83	Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz	55	11
18	10.92	Herstellung von Futtermitteln für sonstige Tiere	52	18
19	10.12	Schlachten von Geflügel	49	8
20	11.01	Herstellung von Spirituosen	49	9
21	10.31	Kartoffelverarbeitung	40	3
22	11.02	Herstellung von Traubenwein	36	0
23	11.06	Herstellung von Malz	35	4
24	10.41	Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.)	30	8
25	10.81	Herstellung von Zucker	23	6
26	10.62	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	20	8
27	10.73	Herstellung von Teigwaren	19	0
28	10.86	Herstellung von homogenisierten und diätischen Nahrungsmitteln	16	2
29	10.52	Herstellung von Speiseeis	15	3
30	10.42	Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten	10	3
31	11.03	Herstellung von Apfelwein und anderen Fruchtweinen	5	0
32	11.04	Herstellung von Wermutwein und sonstigen aromatisierten Weinen	1	0
			<b>5.924</b>	<b>1.045</b>

Die eingeklammerten Werte geben den Rang an, den die jeweilige Branche in Nordrhein-Westfalen einnimmt.

Tabelle 2-2: Branchen der Ernährungsindustrie nach Anzahl der Betriebe 2012 in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt) und Nordrhein-Westfalen (Quelle: Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen)

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die *durchschnittlichen* Parameter und Indikatoren für die bundesdeutsche Ernährungsindustrie auch weitgehend für das Land NRW zutreffen, insbesondere da sowohl bezüglich des Umsatzes als auch hinsichtlich der Beschäftigtenzahl und des Energieverbrauches etwa ein Fünftel der gesamten Ernährungsindustrie in NRW angesiedelt ist.

Die Unternehmen der deutschen Ernährungsindustrie sind typischerweise kleine und mittlere Betriebe (KMU), wenige sind zu größeren Unternehmensgruppen zusammengeschlossen oder gehören Konzernen an. Die durchschnittliche

Mitarbeiterzahl liegt bei etwa 130 Beschäftigten (in NRW bei etwa 120), der durchschnittliche Jahresumsatz bei ca. 28 Mio. € pro Betrieb (in NRW ca. 35 Mio. € pro Betrieb). Die Anzahl der Betriebe der einzelnen Branchen ist in Tabelle 2-2 wiedergegeben.

Die Größenstruktur der Branche gibt Abbildung 2-1 wieder, in der die durchschnittliche Anzahl der Mitarbeiter pro Betrieb über dem durchschnittlichen Jahresumsatz der Betriebe der einzelnen Branchen aufgetragen ist.

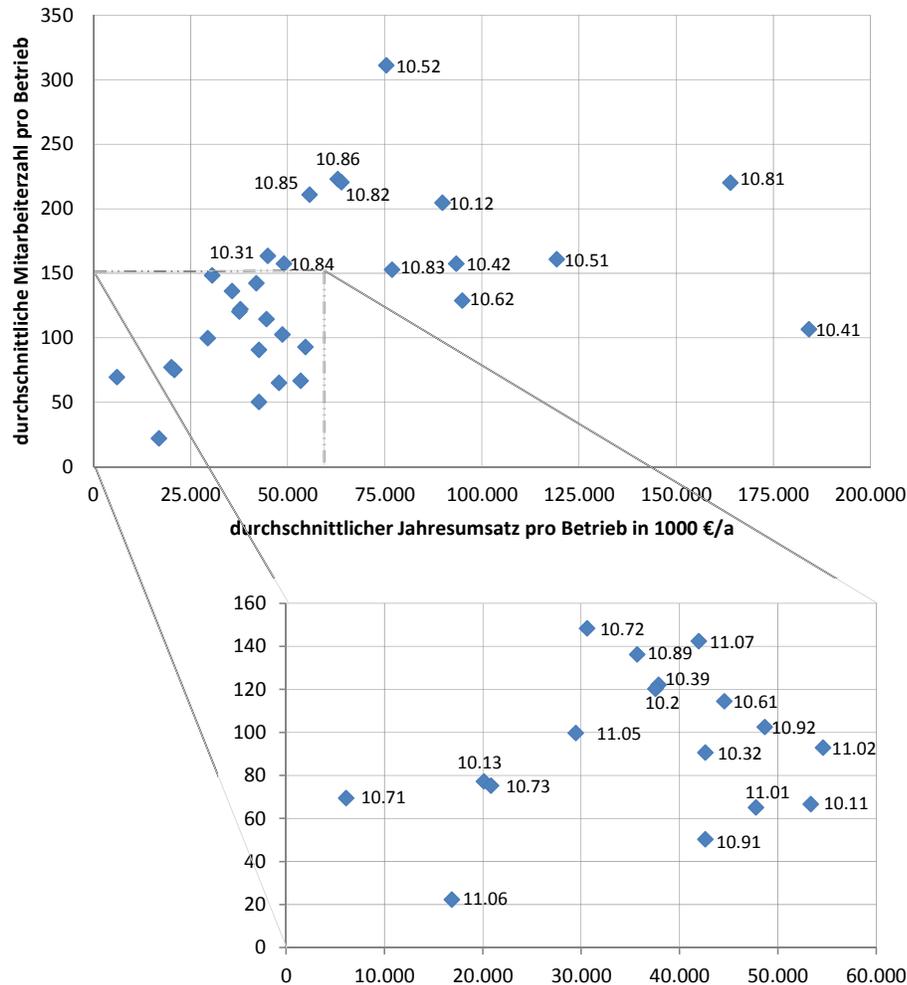


Abbildung 2-1: Größenstruktur in den Branchen der Ernährungsindustrie, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Auffällig ist die große Anzahl der Branchen mit kleinen und mittelgroßen Betrieben. Nur einige Branchen weisen vergleichsweise hohe durchschnittliche Jahresumsätze und hohe durchschnittliche Mitarbeiterzahlen auf. Dies sind in erster Linie die Branchen Herstellung von Speiseeis (10.52) sowie Herstellung von Zucker (10.81). Darüber hinaus fallen einige Branchen mit hohem durchschnittlichem Jahresumsatz bei vergleichsweise niedriger durchschnittlicher Mitarbeiterzahl auf, wie die Herstellung von Ölen und Fetten (10.41) sowie die Herstellung von Stärke und

Stärkeerzeugnissen (10.62). In all den Branchen mit hohen Mitarbeiterzahlen oder hohem Umsatz liegt die Zahl der Unternehmen in Deutschland jeweils unter 50.

## **2.3 Energieeinsatz und Energiekosten**

Die im Folgenden dargestellten Werte basieren auf einer Voranalyse, in der Daten der statistischen Ämter und aus der Literatur ausgewertet wurden.<sup>1</sup>

### **2.3.1 Entwicklung des Energieeinsatzes**

Mit einem Endenergieeinsatz von ca. 55,7 TWh/a (2012) steht die Ernährungsindustrie in Deutschland an sechster Stelle. Sie nimmt etwa 4,9 % des Energieeinsatzes des gesamten verarbeitenden Gewerbes in Anspruch. Davon wird in NRW ca. 20 % verbraucht. Die eingesetzten Energieträger sind auf Bundesebene 55 % Gas, 28 % Strom, 6 % Kohle, 4 % Fernwärme, 1 % Erneuerbare Energiequellen und 4 % sonstige Energieträger. Der Schwerpunkt des Energieeinsatzes im Nahrungs- und Genussmittelgewerbe liegt demnach stärker bei der thermischen als bei der elektrischen Energie. Der Gaseinsatz der Ernährungsindustrie entspricht einem Anteil von 10,4 % des bundesdeutschen Verbrauchs.

Die Entwicklung des Endenergieeinsatzes der Ernährungsindustrie von 2003 bis 2013 in absoluten Zahlen ist in Abbildung 2-2 dargestellt. Der Endenergieeinsatz wird als Primärenergieeinsatz abzüglich der Verluste im Umwandlungssektor und der Mengen an Energieträgern, die nicht zur Energiegewinnung eingesetzt werden, definiert. Für die Unternehmen entspricht dies der Menge an Strom und anderen Energieträgern, die sie von den Versorgungsunternehmen beziehen bzw. die sie selbst erzeugen (z.B. in betriebseigenen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen)) abzüglich der Stromabgabe an das öffentliche Netz.

---

<sup>1</sup> Die separate Ausweisung der Stromeigenerzeugung ist aufgrund der Datenlage problematisch und wird daher vernachlässigt. Es erfolgt eine gemeinsame Betrachtung von Fremd- und Eigenstrom.

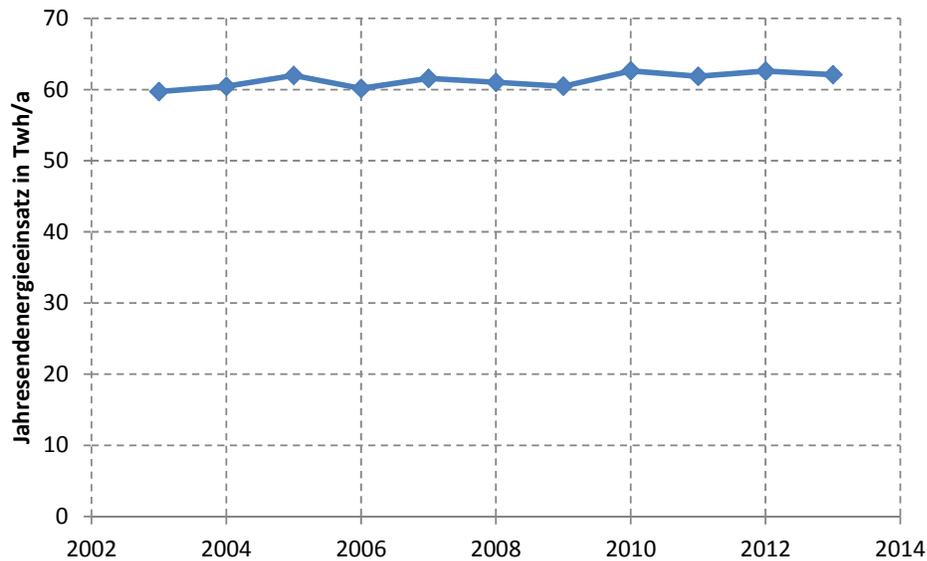


Abbildung 2-2: Entwicklung des Endenergieeinsatzes im deutschen Nahrungs- und Genussmittelgewerbe seit 2003 (Quelle: Statistische Bundesamt)

Der Endenergieeinsatz im deutschen Nahrungs- und Genussmittelgewerbe liegt seit einigen Jahren konstant bei rund 60 TWh/a (Abbildung 2-2). Da sich mit der Einführung einer neuen Klassifikation im Jahre 2003 (WZ 2003) die Zuordnung einiger Branchen innerhalb des produzierenden Gewerbes teilweise verschoben hat, werden ausschließlich Daten ab 2003 betrachtet.

Die großen Anstrengungen der Unternehmen hinsichtlich eines rationelleren Energieeinsatzes zeigen sich in der Entwicklung des spezifischen Endenergiebedarfs (Abbildung 2-3), der von 2003 bis 2012 um ca. 25 % gesenkt wurde. Die Industriezweige, in denen die größten Anstrengungen unternommen wurden, sind die Zuckerindustrie, die Brauereien sowie die milchverarbeitende Industrie – die Branchen also, die den höchsten Gesamtenergieeinsatz aufweisen (siehe auch Abbildung 2-5). Bei der Einführung einer neuen Klassifikation im Jahre 2008 (WZ 2008) wurde die Getränkeherstellung von der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln abgespalten. Daher weist die Statistik in diesem Jahr eine Diskontinuität auf.

Die zeitliche Entwicklung des Anteils des Strom- und Brennstoffverbrauchs am Gesamtenergieverbrauch der Ernährungsindustrie zeigt, dass sich die Anteile in den letzten Jahren auf einem konstanten Level von ca. 24 % bzw. 76 % bewegen (Abbildung 2-4).

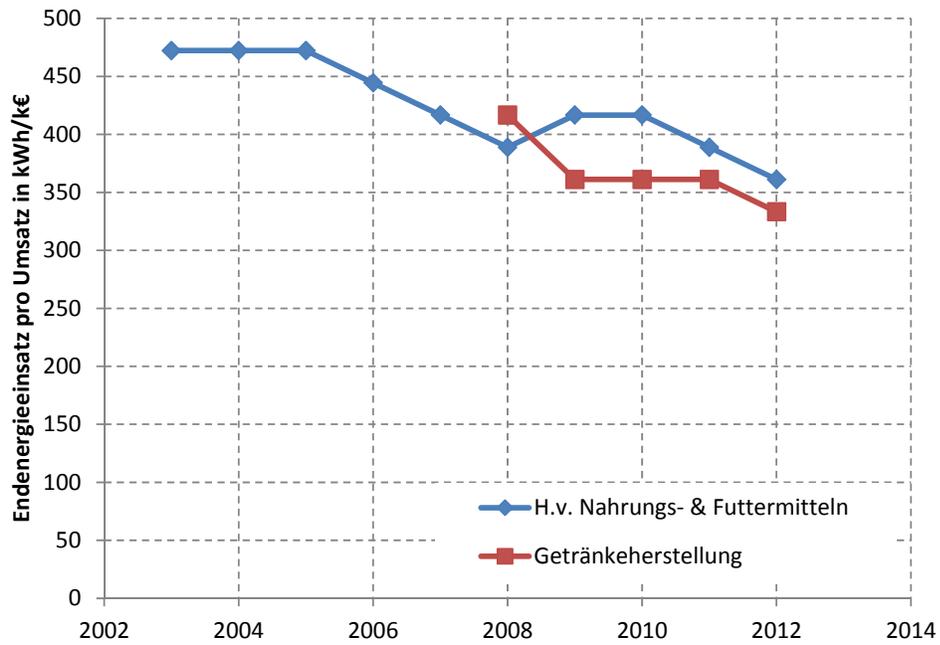


Abbildung 2-3: Entwicklung des spezifischen Endenergieeinsatzes pro 1.000 € Bruttowertschöpfung im deutschen Nahrungs- und Genussmittelgewerbe seit 2003 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

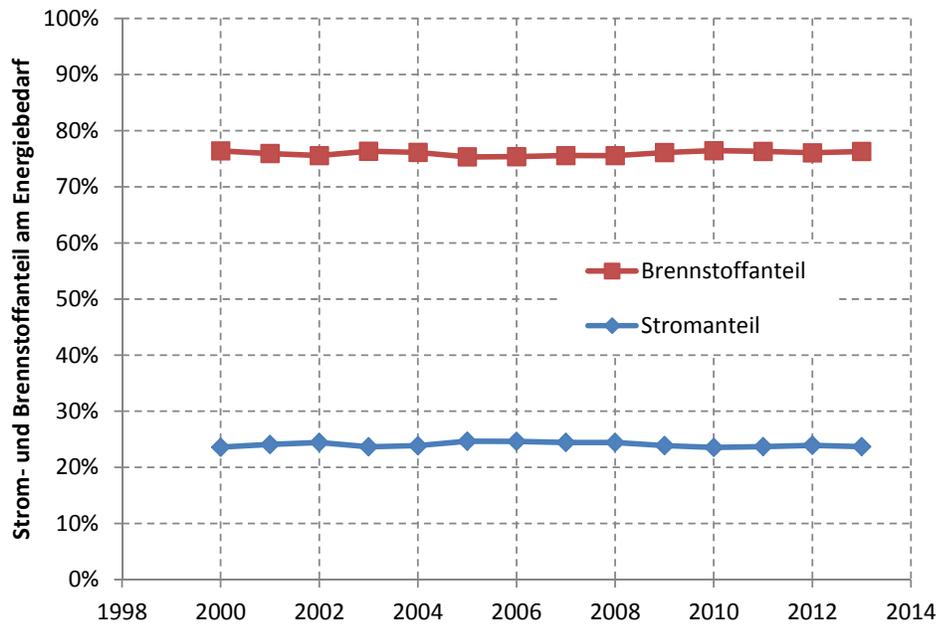


Abbildung 2-4: Entwicklung des jährlichen Strom- und Brennstoffanteils am Energiebedarf des gesamten verarbeitenden Gewerbes (Quelle: AG Energiebilanzen)

### 2.3.2 Energieeinsatz – die bedeutendsten Branchen

In Abbildung 2-5 sind die zehn Branchen der Ernährungsindustrie mit dem größten Energieeinsatz dargestellt. Diese zehn der insgesamt 32 Industriezweige benötigen etwa drei Viertel der gesamten in der Ernährungsindustrie eingesetzten Energie. Aufgrund der ähnlichen Strukturen sind die bundesweiten Ergebnisse auf NRW übertragbar. Es wird daher im Folgenden auf eine separate Darstellung der Situation in NRW verzichtet.

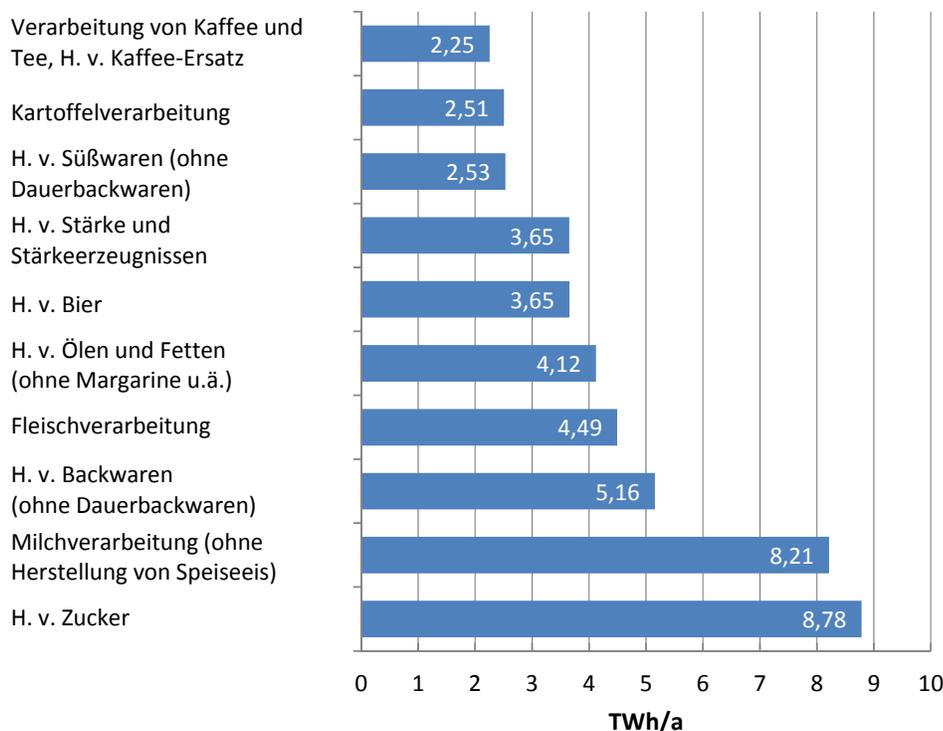


Abbildung 2-5: Deutsche Ernährungsindustrie – die zehn Branchen mit dem größten Endenergieverbrauch, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Die Untersuchung des Energieeinsatzes zeigt, dass auch der durchschnittliche Energieeinsatz bezogen auf die Anzahl der Betriebe, den Umsatz und die Beschäftigtenzahl in den einzelnen Branchen erheblich voneinander abweicht.

Tabelle 2-3 bis Tabelle 2-5 geben eine Übersicht über die Branchen, die den jeweils höchsten durchschnittlichen Endenergieverbrauch bezogen auf Betrieb, Umsatz bzw. Beschäftigtenzahl haben.

WZ 2008 Branchenbezeichnung			MWh/a
1	10.81	Herstellung von Zucker	381.835
2	10.62	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	182.615
3	10.41	Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.)	137.366
4	10.31	Kartoffelverarbeitung	62.630
5	10.83	Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz	40.979
6	10.51	Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis)	40.456
7	10.42	Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten	33.026
8	11.06	Herstellung von Malz	32.754
9	10.86	Herstellung von homogenisierten und diätischen Nahrungsmitteln	18.710
10	10.52	Herstellung von Speiseeis	18.613
11	10.89	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln ang	16.050
12	10.82	Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)	15.829
13	10.85	Herstellung von Fertiggerichten	14.355
14	11.05	Herstellung von Bier	13.533
15	10.12	Schlachten von Geflügel	13.062

Tabelle 2-3: Deutsche Ernährungsindustrie – die 15 Branchen mit dem größten jährlichen Endenergieverbrauch pro Betrieb, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

WZ 2008 Branchenbezeichnung			MWh/ Mio. €
1	10.81	Herstellung von Zucker	2328,25
2	11.06	Herstellung von Malz	1641,37
3	10.62	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	1922,57
4	10.31	Kartoffelverarbeitung	1393,92
5	10.41	Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.)	745,69
6	10.83	Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz	533,04
7	10.73	Herstellung von Teigwaren	476,40
8	11.05	Herstellung von Bier	459,37
9	10.89	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln ang	449,51
10	10.42	Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten	353,60
11	10.51	Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis)	339,07
12	10.71	Herstellung von Backwaren (ohne Dauerbackwaren)	338,96
13	10.72	Herstellung von Dauerbackwaren	312,21
14	10.32	Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften	293,52
15	10.86	Herstellung von homogenisierten und diätischen Nahrungsmitteln	293,03

Tabelle 2-4: Deutsche Ernährungsindustrie – die 15 Branchen mit dem größten jährlichen Endenergieverbrauch pro Umsatz, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

	<b>WZ 2008</b>	<b>Branchenbezeichnung</b>	<b>MWh/a</b>
1	10.81	Herstellung von Zucker	1734
2	11.06	Herstellung von Malz	1478
3	10.62	Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	1419
4	10.41	Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.)	1288
5	10.31	Kartoffelverarbeitung	383
6	10.83	Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee-Ersatz	168
7	10.51	Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis)	252
8	10.42	Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten	210
9	10.91	Herstellung von Futtermitteln für Nutztiere	190
10	10.32	Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften	138
11	11.05	Herstellung von Bier	136
12	10.73	Herstellung von Teigwaren	132
13	10.89	Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln ang	118
14	10.61	Mahl- und Schälmaschinen	107
15	10.11	Schlachten (ohne Schlachten von Geflügel)	106

Tabelle 2-5: Deutsche Ernährungsindustrie – die 15 Branchen mit dem größten jährlichen Endenergieverbrauch pro Mitarbeiter, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Zehn Branchen sind in allen drei Tabellen aufgeführt: Kartoffelverarbeitung, Herstellung von rohen Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.), Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten, Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis), Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen, Herstellung von Zucker, Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffeeersatz, Herstellung von Bier und Herstellung von Malz. Dies verdeutlicht den erheblichen Energieeinsatz in diesen Branchen.

In den meisten dieser Branchen, insbesondere in der Zuckerindustrie, wurden in der Vergangenheit erhebliche Anstrengungen zur Reduzierung des Energieeinsatzes unternommen, und es wurden bereits eine Vielzahl von Veröffentlichungen zu diesem Thema geschrieben. Aus diesem Grunde wird in dieser Studie nicht näher auf diese Branchen eingegangen.

### 2.3.3 Energiebedarfsstruktur – die bedeutendsten Branchen

Bei der Untersuchung des Energieverbrauchs wird deutlich, dass sich thermische und mechanische Prozesse hinsichtlich ihres Energiebedarfs stark unterscheiden.

Im Rahmen der Arbeiten zu dieser Studie wurden für einige bedeutende Prozesse Werte des spezifischen Energiebedarfs ermittelt. Diese sind in Abschnitt 3.2 aufgeführt.

### Elektrischer Energiebedarf

In der Produktion von Nahrungsmitteln wird elektrische Energie zur Deckung des Kraftbedarfs für thermische Prozesse und zur Kühlung eingesetzt. Ferner besteht Bedarf an elektrischer Energie bei Transport, Abfüllung und Verpackung. Weitere Querschnittstechniken mit einem hohen elektrischen Energiebedarf sind neben der Kälteerzeugung die Druckluftherzeugung, die Vakuumerzeugung und die Beleuchtung.

Der Anteil der elektrischen Energie am Gesamtbedarf eines Betriebes ist sehr unterschiedlich. In Abbildung 2-6 sind die zehn Branchen der Ernährungsindustrie mit dem größten Stromanteil am Energiebedarf dargestellt. Die angegebenen Zahlen sind Durchschnittswerte.

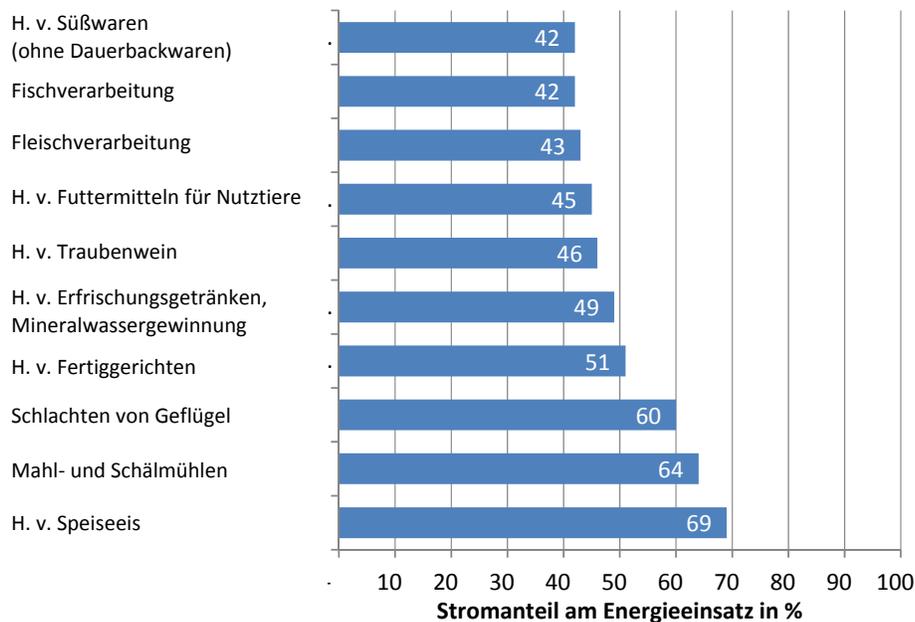


Abbildung 2-6: Deutsche Ernährungsindustrie – die zehn Branchen mit dem höchsten Stromanteil am Energieeinsatz, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

### Thermischer Energiebedarf

Zu den Branchen mit erheblichem thermischen Energiebedarf zählen die Herstellung von Zucker, die Kartoffelverarbeitung, die Herstellung von Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.) und die Herstellung von Malz (Abbildung 2-8). Ihr Hauptenergiebedarf fällt hier bei den thermischen Prozessen an, wie z.B. Raffinieren, Rösten, Dämpfen und Trocknen.

### 2.3.4 Energiekosten – die bedeutendsten Branchen

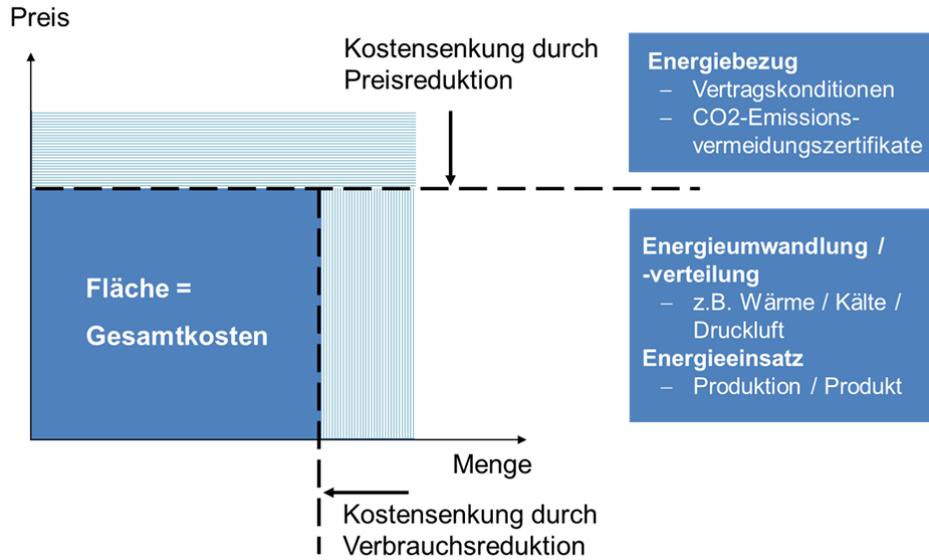


Abbildung 2-7: Preis und Verbrauchsmenge als wesentlich bestimmende Kriterien für die Energiekosten (Quelle: Siemens AG)

Die durchschnittlichen Energiekosten in der deutschen Ernährungsindustrie erscheinen mit unter 2,5 % des Bruttoproduktionswertes (Gesamtleistung des Unternehmens) auf den ersten Blick unbedeutend, jedoch liegen sie durchschnittlich in der Größenordnung der Umsatzrendite. Abbildung 2-9, in der die zehn Branchen mit den höchsten Energiekostenanteilen aufgeführt sind, veranschaulicht, dass die Energiekosten für einzelne Sparten der Ernährungsindustrie durchaus eine deutlich höhere Bedeutung haben. Es sind insbesondere die Unternehmen dieser Branchen, die sich bereits intensiv mit dem Thema Energie beschäftigen.

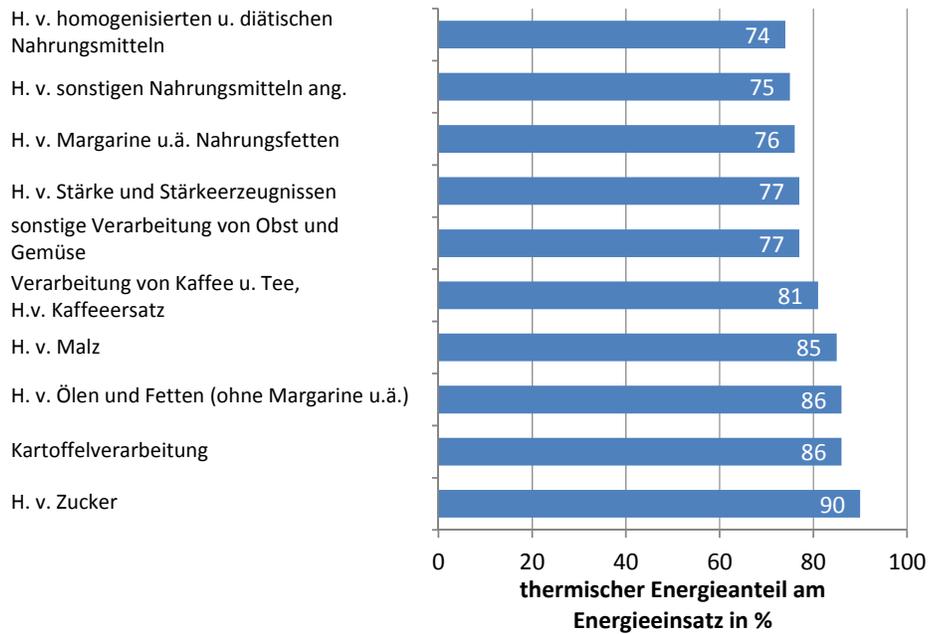


Abbildung 2-8: Deutsche Ernährungsindustrie – die zehn Branchen mit dem höchsten Anteil thermischer Energie am Energieeinsatz, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

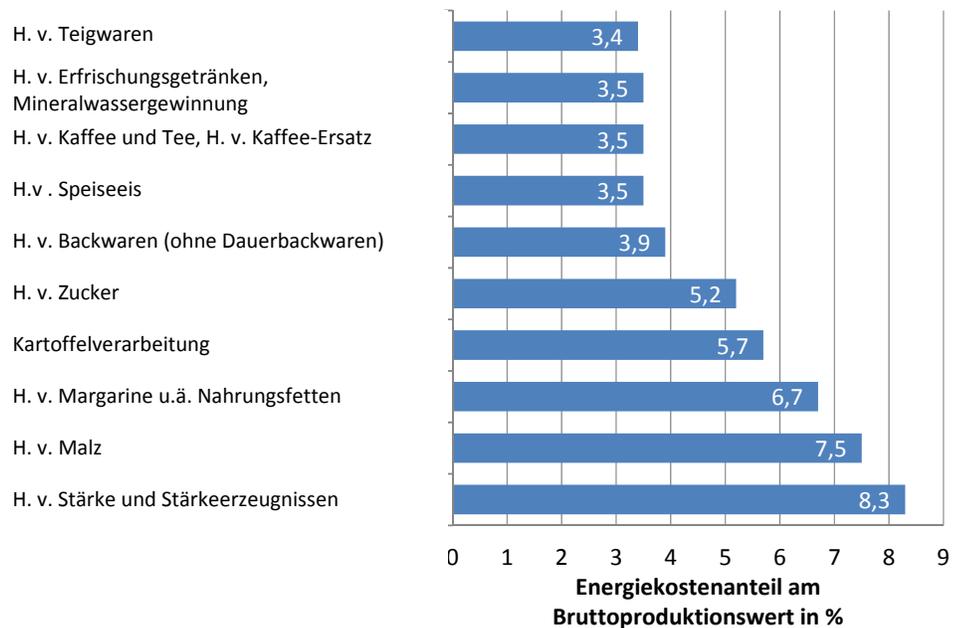


Abbildung 2-9: Deutsche Ernährungsindustrie – die zehn Branchen mit dem größten Energiekostenanteil, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

## 2.4 Prozessklassifikation

Ein wesentliches Ziel dieser Studie ist es, Informationen bereitzustellen und Instrumente zu schaffen, welche die verantwortlichen Mitarbeiter im Betrieb bei der Bewertung der Energieeffizienz ihrer Produktionsstätten, speziell aber ihrer einzelnen Produktionsprozesse sowie der eingesetzten Querschnittstechniken unterstützen können.

Bei der Vielzahl von Prozessen innerhalb der Ernährungsindustrie kann die Behandlung sämtlicher Prozesse – selbst bei Beschränkung auf energierelevante Fragestellungen – nicht vollständig erfolgen. Daher muss sich die Studie auf eine Auswahl von als *energieintensiv* einzuordnenden Prozessen beschränken.

Als konkrete Hilfestellung ist eine Klassifikation von Produktionsprozessen in der Ernährungsindustrie durchgeführt worden (Tabelle 2-6). Darin findet der Nutzer den gesuchten oder einen ähnlichen Prozess und die dazugehörige Prozessklasse. In der Branchen-Prozess-Matrix (Tabelle 2-7) wird für die einzelnen Branchen angegeben, welche Prozesse aus den gebildeten Prozessklassen für die Branchen typisch sind. Die Matrix dient zugleich als tabellarische Übersicht der in der Studie beschriebenen Prozesse und Branchen und verweist auf die jeweiligen Abschnitte in Kapitel 3 und Kapitel 4.

### 2.4.1 Klassifikation von Produktionsprozessen

Ein Vorschlag für eine umfassende Klassifikation der Prozesse der Ernährungsindustrie liefert *Tscheuschner, Grundzüge der Lebensmitteltechnik (2004)*. Für die Zielsetzung der Studie ist diese Klassifikation an die Energierelevanz einzelner Prozessklassen und Prozesse angepasst worden. Ziel ist es, die Gemeinsamkeiten verschiedener Prozesse darzustellen und dadurch breit anwendbare Lösungsmöglichkeiten aufzudecken. Erst durch eine solche Betrachtung ist es überhaupt möglich, übertragbare Konzepte zur rationellen Energienutzung für ausgewählte Branchen eines so heterogenen Wirtschaftszweiges wie der Ernährungsindustrie zu erstellen.

Um eine möglichst breite Grundlage zu erhalten, ist die Klassifikation so gewählt, dass nahezu alle Prozesse eingeordnet werden können, die hinsichtlich des Energieverbrauchs relevant sind. Jeder *Prozess* ist einer *Klasse* zugeordnet, die die Hauptaufgabe des Prozesses wiedergibt. In den *Prozessklassen* sind diejenigen Prozesse zusammengefasst, die unter Energieaspekten ähnliche Abhängigkeiten aufweisen, jedoch in den verschiedenen Branchen unterschiedlich ausgeprägt sind bzw. spezielle Eigenarten haben. Dies ermöglicht es, spezielle Erkenntnisse aus einer einzelnen Branche der Anwendung in anderen Branchen zugänglich zu machen.

Die verschiedenen Prozessklassen werden sogenannten *Grundprozessen* zugeordnet, wobei zwischen mechanischen, thermischen und speziellen Grundprozessen unterschieden wird. Als mechanische und thermische Grundprozesse werden hier nur diejenigen verstanden, die einen vernachlässigbar kleinen Anteil der jeweils

anderen Kategorie beinhalten. Zu den speziellen Grundprozessen gehören Prozesse, bei denen gleichermaßen thermische und mechanische Energie oder auch andere Bearbeitungsformen wie chemische oder biotechnologische Verfahren eingesetzt werden. Eine vierte Gruppe – sonstige Grundprozesse – bilden Reinigung, Verpackung und Lagerung.

### **Mechanische Grundprozesse**

Energieintensive mechanische Prozesse sind in erster Linie unter den Trenn-, Misch- und Zerteilungsprozessen sowie den Press- und Formvorgängen zu finden, darüber hinaus teilweise auch bei den strukturbildenden Prozessen. Kraftbedarf fällt dabei für Motoren und Hydraulikantriebe bei den Trenn-, Misch- und Zerteilungsprozessen, aber auch bei Umluftventilatoren in Klimakammern (Räucher-, Reife-, Keimprozesse etc.) an.

### **Thermische Grundprozesse**

Thermische Prozesse mit bedeutendem Energieaufwand sind alle thermischen Trenn- und Stoffübertragungsverfahren (wie Destillation oder Trocknung), aber auch alle Erwärmungs-, Verdampfungs- und Extraktionsprozesse (wie Kochen, Rösten oder Backen) sowie Prozesse zur thermischen Konservierung (wie Pasteurisation oder Sterilisation). Kühlen gehört ebenfalls zu den thermischen Prozessen, wobei hier die Kältebereitstellung energierelevant ist, ein in der Regel elektrisch betriebener Prozess.

Elektrisch betriebene thermische Prozesse sind die Mikrowellentrocknung, Warmhalteprozesse, teilweise auch Back-, Reife- oder Garprozesse sowie die elektrische Warmwasserbereitung. Hier ist anzumerken, dass der Einsatz von Strom für thermische Prozesse nicht branchenüblich, sondern meistens betriebsbedingt ist. Häufig können elektrische Anlagen (z.B. bei der Beheizung von Reifekammern oder Garräumen) auch durch thermische Beheizungen ersetzt werden.

### **Spezielle Grundprozesse**

Zu dieser Gruppe gehören verschiedene Prozesse der Klasse *Struktur bilden und umwandeln*, *Stoff umwandeln* und *Konservieren*. Außerdem werden Prozesse zum Entfernen von Rohstoffbestandteilen hier eingeordnet, auf die aber nicht näher eingegangen wird.

<b>Grundprozesse</b>	<b>Prozessklassen</b>	<b>Prozesse</b>
MECHANISCHE GRUNDPROZESSE	<b>Trennen</b>	Sortieren, Klassieren Sichten, Separieren Filtrieren Sedimentieren Zentrifugieren Schaumbrechen Flotieren Entstauben Membrantrennen
	<b>Zerteilen</b>	Brechen, Zerkleinern Zerlegen, Schneiden Wolfen, Kuttern Mahlen Versprühen
	<b>Mischen</b>	Körnige Systeme mischen Fluide Systeme mischen Kneten, Kuttern Suspendieren, Dispergieren, Emulgieren Hydrieren Begasen
	<b>Formen</b>	Füllen, Agglomerieren Pressen, Pelletieren Brikettieren, Tablettieren Walzen
THERMISCHE GRUNDPROZESSE	<b>Trennen</b>	Verdampfen Entkeimen Destillieren Rektifizieren Raffinieren Extrahieren
	<b>Erhitzen</b>	Kochen, Vakuumkochen Braten Rösten Backen Räuchern Blanchieren Frittieren Schmelzen Wärmebehandeln Darren, Dämpfen, Befeuchten
	<b>Trocknen</b>	Trocknen, Stoffübertragen Gefriertrocknen
	<b>Struktur bilden und umwandeln</b>	Konzentrieren Eindampfen, Kondensieren Kristallisieren Absorbieren, Adsorbieren Räuchern

Grundprozesse	Prozessklassen	Prozesse
(THERMISCHE GRUNDPROZESSE)	<b>Stoff umwandeln</b>	Keimen Gären Reifen Maischen Fermentieren
	<b>Konservieren</b>	Pasteurisieren UHT-Erhitzen Sterilisieren Schockgefrieren
	<b>Kühlen</b>	Kühlen, Tiefkühlen Gefrieren, Schockgefrieren
SPEZIELLE GRUNDPROZESSE	<b>Struktur bilden und umwandeln</b>	Schaumbilden Homogenisieren Conchieren Extrudieren Tumbeln Puffen Aufweichen
	Konservieren	Salzen, Pökeln
	Entfernen von Rohstoffbestandteilen	Waschen, Reinigen Schälen, Bürsten, Kratzen, Rupfen Entkernen, Entsteinen, Entrappen Enthäuten, Entbluten, Entknochen
SONSTIGE GRUNDPROZESSE	<b>Reinigen</b>	Waschen Spülen Cleaning in place (CIP) Absaugen
	Verpacken	Abfüllen Kartonieren Etikettieren
	Lagern	Lagern

(Prozessklassen, die in der Branchen-Prozess-Matrix aufgeführt sind, sind **fettgedruckt**.)

Tabelle 2-6: Klassifikation von Produktionsprozessen in der Ernährungsindustrie

Prozessklassen, die in der Branchen-Prozess-Matrix aufgeführt sind, sind in Tabelle 2-6 fett dargestellt. Die für die Ernährungsindustrie bezüglich des Energieeinsatzes interessanten zehn Prozessklassen sind:

- Trennen (mechanisch, thermisch)
- Zerteilen (mechanisch)
- Mischen (mechanisch)
- Erhitzen (thermisch)
- Stoff umwandeln (thermisch)
- Trocknen (thermisch)
- Struktur bilden und umwandeln (mechanisch, thermisch)
- Konservieren (thermisch)
- Kühlen (thermisch)
- Reinigen.

## 2.4.2 Branchen-Prozess-Matrix

Die Studie ist so aufgebaut, dass die hergestellten Produkte bei der energetischen Optimierung der meisten Prozesse eine untergeordnete Rolle spielen. Beispielsweise ist es bei der Nutzung von Abwärme prinzipiell uninteressant, ob die Wärme aus einem Ofen, aus einem Trockner oder von einem Kompressor stammt. Ähnliches gilt auch für Einsparpotenziale im Bereich Strom: Der Einbau überdimensionierter Motoren, Pumpen und Ventilatoren ist selten auf das Produkt zurückzuführen, derartige Schwachstellen finden sich in jeder Branche.

Ziel der in diesem Abschnitt dargestellten Branchen-Prozess-Matrix ist es, den Leser zu Beispielen zu führen, die zwar nicht seinen Betrieb beschreiben, aber durchaus Einsparpotenziale seiner Prozesse offenlegen. Die Beschreibung der Abwärmee-nutzung bei einem Gärraum für einen Backwarenhersteller ist durchaus auch für einen Fleisch verarbeitenden Betrieb (Räucherkammern), einen Milch verarbeitenden Betrieb (Gärraum für Joghurt) oder einen Flocken- oder Kaffeehersteller (Röster) interessant. Die Optimierung der Reinigung von Rohren in einem Milch verarbeitenden Betrieb trifft auch für Betriebe der Stärkeindustrie, Fruchtsaft-hersteller oder Brauereien zu. Die Mehrfachnutzung von Wasser bei einem Fruchtsaft-hersteller ist auch ein gutes Beispiel für Backwaren und Dauerback-warenhersteller (Kastenwäscher).

Die Branchen-Prozess-Matrix ist in Tabelle 2-7 dargestellt. In der ersten Spalte sind diejenigen Branchen der Ernährungsindustrie aufgeführt, die im Rahmen des Projektes untersucht wurden oder deren Prozesskette als besonders energieintensiv einzustufen ist. Die erste Zeile enthält die ausgewählten Prozessklassen (wie in Abschnitt 2.4.1 erläutert).

In der Matrix sind Prozesse eingetragen, die in den einzelnen Branchen innerhalb der Prozessklassen auftreten. Die Nummern in den Feldern der Matrix geben konkrete Hinweise auf die Abschnitte der Studie, in denen diese Prozesse näher behandelt werden.

Den Umgang mit der Klassifikationstabelle und der Branchen-Prozess-Matrix veranschaulicht das Beispiel in Abschnitt 2.4.3.

Prozessklasse Branche	Trennen (therm./mech.)	Zerteilen	Mischen	Erhitzen	Trocknen
<b>10.13</b> Fleischverarbeitung		Zerlegen, Schneiden, Wolfen	Mischen, Kuttern	Kochen, Braten, Räuchern, Frittieren 3.2.2 4.1	Gefrier- trocknen 3.2.3.6
<b>10.32; 11.05; 11.07</b> Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften; Mineralwasser, Herstellung von Erfrischungsgetränken; Brauereien	Filtern 3.2.1.3		Mischen, Karbonisieren	Maischen, Kochen 3.2.2 4.2.1	
<b>10.39</b> Sonstige Verarbeitung von Obst und Gemüse	3.2.1	Zerkleinern, Schneiden	Mischen	Blanchieren, Vakuum- kochen, Eindampfen 3.2	Trocknen 3.2.3
<b>10.41; 10.42</b> Herstellung von (pflanzlichen und tierischen) Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.); Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten	Zentrifugieren, Eindampfen, Extrahieren, Raffinieren	Zerkleinern	Hydrieren	Schmelzen	Trocknen 3.2.3
<b>10.51; 10.52</b> Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis); Herstellung von Speiseeis	Separieren, Baktofugieren, Eindampfen 3.2.1 4.3.1.1	Bruchbereiten	Homogeni- sieren 3.2.4 4.3	Wärme- behandeln 3.2.2 4.3.1.3	Trocknen, Sprühtrocknen 3.2.3
<b>10.61; 10.62</b> Mahl-, Schäl- und Zentrifugieren; Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	Sieben, Sichten, Separieren, Zentrifugieren, Auswaschen, Schälen 4.4	Mahlen, Zerkleinern		Darren, Dämpfen 3.2.2 4.4.1	Trocknen 3.2.3
<b>10.71; 10.71</b> Herstellung von Backwaren (ohne Dauerbackwaren); Herstellung von Dauerbackwaren		Schneiden	Mischen, Kneten	Backen 3.2.2 4.5.1	
<b>10.82</b> Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)	Separieren, Eindampfen 3.2.1.4	Zerkleinern, Mahlen, Brechen	Mischen, Kneten	Backen, Rösten, Kochen 3.2.2 4.6	Gefrier- trocknen 3.2.3.6
<b>10.73</b> Herstellung von Teigwaren		Schneiden, Stanzen	Mischen, Kneten	Kochen 3.2.2	Trocknen 3.2.3 4.7
<b>11.01</b> Herstellung von Spirituosen	Destillieren, Rektifizieren		Mischen		
<b>11.06</b> Herstellung von Malz	Entkeimen 3.2.1			Darren 3.2.2	Trocknen 3.2.3

Prozessklasse Branche	Struktur bilden und umwandeln	Stoff umwandeln	Konservieren	Kühlen	Reinigen
<b>10.13</b> Fleischverarbeitung	Extrudieren, Tumbeln	Reifen	Pasteurisieren, Sterilisieren, Salzen, Pökeln 3.2.5.1	Kühlen, Tiefkühlen 3.3.4 4.1	Reinigen, Kasten waschen 3.3.11 4.1
<b>10.32; 11.05; 11.07</b> Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften; Mineralwasser, Herstellung von Erfrischungsgetränken; Brauereien			Pasteurisieren 3.2.5.1 4.2	Kühlen 3.3.4 4.2.2	Flaschen waschen 3.3.11 4.2
<b>10.39</b> Sonstige Verarbeitung von Obst und Gemüse	Passieren		Pasteurisieren, Konservieren 3.2.5.1	Kühlen, Gefrieren 3.3.4	
<b>10.41; 10.42</b> Herstellung von (pflanzlichen und tierischen) Ölen und Fetten (ohne Margarine u.ä.); Herstellung von Margarine u.ä. Nahrungsfetten				Kühlen 3.3.4	
<b>10.51; 10.52</b> Milchverarbeitung (ohne Herstellung von Speiseeis); Herstellung von Speiseeis	Homogeni- sieren 3.2.4		Pasteurisieren, UHT-Erhitzen, Sterilisieren 3.2.5	Kühlen, Gefrieren 3.3.4 4.3.3	Waschen, CIP- Reinigung 3.3.11 4.3.1.6
<b>10.61; 10.62</b> Mahl- und Schälmmühlen; Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen	Aufweichen			Kühlen 3.3.4	Absaugen 4.4.2
<b>10.71; 10.72</b> Herstellung von Backwaren (ohne Dauerbackwaren); Herstellung von Dauerbackwaren	Extrudieren	Gären	Schock- gefrieren 3.3.2 4.5	Kühlen, Tiefkühlen 3.3.4 4.5.2	Reinigen, Spülen 3.3.11
<b>10.82</b> Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)	Conchieren, Kristallisieren				Formen waschen 3.3.11 7.3
<b>10.73</b> Herstellung von Teigwaren	Extrudieren, Formen, Pressen		Pasteurisieren 3.2.5.1 4.7	Kühlen, Gefrieren 3.3.4 4.7.1	CIP-Reinigung 3.3.11
<b>11.01</b> Herstellung von Spirituosen		Maischen, Gären	Pasteurisieren 3.2.5.1	Kühlen 3.3.4	CIP-Reinigung 3.3.11
<b>11.06</b> Herstellung von Malz	Ausweichen	Keimen		Kühlen 3.3.4	

Tabelle 2-7: Branchen-Prozess-Matrix

### 2.4.3 Handhabungsbeispiel

Beispiel: Fleischereibetrieb mit hohem Wasserverbrauch

Ein Fleischereibetrieb weist einen hohen Wasserverbrauch auf. Eine erste Analyse des Betriebes mit Hilfe des Abschnitts 4.1 zeigt, dass Wasch- und Reinigungsprozesse den größten Teil des Wasserverbrauchs ausmachen.

Ein Blick auf die Tabelle „Klassifikation von Produktionsprozessen“ (Tabelle 2-6) zeigt unter "SONSTIGE GRUNDPROZESSE" die Reinigungsprozesse (Waschen, Spülen, CIP, Absaugen). Ein Ausschnitt aus Tabelle 2-6 ist in Abbildung 2-10 dargestellt.

Grundprozesse	Prozessklassen	Prozesse
...	...	...
SONSTIGE GRUNDPROZESSE	<b>Reinigen</b>	Enthäuten, Entbluten, Entknochen
		Waschen Spülen Cleaning in place (CIP) Absaugen
	Verpacken	Abfüllen Kartonieren
	...	...

Abbildung 2-10: Ausschnitt aus Tabelle 2-6

Der Begriff „Reinigen“ ist **fett** geschrieben, d.h. in der Branchen-Prozess-Matrix (Tabelle 2-7) sind weitere Verweise zum Thema zu finden. Wie in Abbildung 2-11 zu sehen ist, sind die Prozesse zum Thema „Reinigen“ in der vierten Spalte vermerkt.

Neben dem Verweis auf Informationen und Beispielen aus der eigenen Branche (obere Lupe) sind in dieser Spalte artverwandte Prozesse aus anderen Branchen vermerkt. Die Ziffern am unteren Rand der Tabellenfelder verweisen auf entsprechende Abschnitte in Kapitel 3 und Kapitel 4.

Der Verweis auf die Abschnitte 4.2 und 4.6 für die Branchen 10.32; 11.05; 11.07 und 10.82 bezieht sich auf die dort beschriebenen Praxisbeispiele, die wertvolle Hilfestellung zur Prozessklasse „Reinigung“ bieten. Eventuelle Verweise auf Abschnitte in Kapitel 3 bei anderen Prozessen zeigen an, dass der betreffende Prozess in diesem Abschnitt beschrieben wird und allgemeine Maßnahmen empfohlen werden.

Prozessklasse	Kühlen	Reinigen
<b>10.13</b> Fleischverarbeitung	Kühlen, Tiefkühlen 3 4.1	Reinigen, Kasten waschen 4.1 4.1
<b>10.32; 11.05; 11.07</b> Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften; Mineralwasser, Herstellung von Erfrischungsgetränken; Brauereien	Kühlen 3, 3.1 4.2	Flaschen Waschen 4.2 4.2
<b>10.82</b> Herstellung von Süßwaren (ohne Dauerbackwaren)		Formen waschen 4.6 4.6

Abbildung 2-11: Ausschnitt aus Tabelle 2-7

## 2.5 Literaturverzeichnis

- 1) AG Energiebilanzen: Daten und Fakten, Zeitreihen bis 1989, URL: <http://www.ag-energiebilanzen.de/12-0-Zeitreihen-bis-1989.html> (10.11.2014).
- 2) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- 3) Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, URL: <https://www.umwelt.nrw.de/klima/index.php> (03.11.2014).
- 4) N.N.: Statistisches Bundesamt.
- 5) N.N.: Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen.
- 6) Tscheuschner, H.-D.: Grundzüge der Lebensmitteltechnik, Behr's Verlag, Hamburg 2004 (unveränderter Nachdruck 2010).

### **3 Bewertung der Energieeffizienz**

Ein wesentliches Ziel dieser Studie ist es, Instrumente aufzuzeigen, mittels derer Betriebsleiter und Fachpersonal der Unternehmen der Ernährungsindustrie eine möglichst objektive Bewertung der Energieeffizienz der Produktionsstätten in den Betrieben vornehmen können.

Um eine erste Einschätzung zu ermöglichen, wird in Abschnitt 3.1 ein Überblick über betriebliche Kennzahlen zum Energieeinsatz abhängig von Stromeinsatz und Bruttoproduktionswert in der Ernährungsindustrie gegeben.

In Abschnitt 3.2 werden wichtige Produktionsprozesse der Ernährungsindustrie einer energieorientierten Betrachtung und Bewertung unterzogen. Dabei werden insbesondere prozess- und verfahrenstechnische Optimierungspotenziale aufgezeigt. Bei der Vielzahl unterschiedlicher Verfahren innerhalb der Ernährungsindustrie kann die Behandlung sämtlicher Prozesse – selbst mit Einschränkung auf energierelevante Fragestellungen – nicht vollständig erfolgen, sodass sich die Ausführungen auf einige als energieintensiv einzuordnende Prozesse beschränken. Die Einteilung in übergreifende Prozessklassen erfolgt dabei analog zur Aufstellung in der Branchen-Prozess-Matrix (siehe Abschnitt 2.4).

Bedeutende Ansätze zur Optimierung des betrieblichen Energiebedarfs finden sich in der Regel in den Bereichen Wärme-, Kälte- und Druckluftversorgung sowie elektrische Antriebe im Allgemeinen, Beleuchtung und Reinigung. Eine ausführliche Betrachtung dieser sogenannten Querschnittstechniken erfolgt in Abschnitt 3.3. Auch aus diesen Bereichen werden jeweils ausgewählte Prozesse behandelt.

Dem Thema Prozessautomation ist mit Abschnitt 3.4 ein eigener Abschnitt gewidmet worden.

Neben diesen Ansätzen in der Prozess- und Verfahrenstechnik sowie in den Querschnittsbereichen finden sich eine ganze Reihe allgemeiner, als organisatorische Maßnahmen einzuordnender Möglichkeiten, den betrieblichen Energiebedarf weiter zu senken. Diese Ansätze sind in Abschnitt 3.5 zusammengefasst.

Schließlich werden in Abschnitt 3.6 technische Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie der energetischen Reststoffnutzung in den Betrieben der Ernährungsindustrie aufgezeigt.

#### **3.1 Betriebliche Kennzahlen**

Zur Bewertung der Energieeffizienz von Industriebetrieben werden häufig betriebliche Energiekennzahlen herangezogen und miteinander verglichen. Derartige Kennzahlen werden z.B. aus den gesamtbetrieblichen Energie-, Produktions- oder Umsatzdaten gebildet. Sie dienen den Betrieben insbesondere zur kontinuierlichen Beobachtung und Kontrolle des Energieeinsatzes und der Energieeffizienz.

### **„Benchmarking“ nur eingeschränkt möglich**

Der Vergleich dieser globalen Kennzahlen mit denjenigen anderer Betriebe vermittelt einen ersten Anhaltswert für die Positionierung eines Betriebes innerhalb seiner Branche. Die Kennzahlen erlauben allerdings keinen direkten Aufschluss über die Produktions- oder Betriebsstrukturen, und sie berücksichtigen nur bei geeigneter Klassifizierung den Produktmix der zu vergleichenden Betriebe. Das häufig vorgeschlagene sogenannte „Energiebenchmarking“, also der Vergleich der Energieeffizienz eines Betriebes mit dem „Besten“ der Branche, ist daher nur sehr eingeschränkt möglich.

Unternehmen mit sehr ähnlichen Prozessen und Prozessketten, z.B. Mineralbrunnen und Abfüllbetriebe, können aus der Abweichung der Kennzahlen möglicherweise interessante Rückschlüsse über die Energieeffizienz ihrer Betriebe ziehen. In Branchen mit stark unterschiedlichen Prozessketten, z.B. in der Milchindustrie, in der einige Betriebe nur Trinkmilch verarbeiten, andere jedoch sehr energieintensive Trocknungsprozesse betreiben, sind globale Kennzahlen ohne Kenntnis der Produktpalette kaum verwertbar.

### **Analyse der Energiedaten des Statistischen Bundesamtes**

Im Folgenden werden Energiekennzahlen für die Branchen der Ernährungsindustrie dargestellt. Im Unterschied zu Kapitel 2 werden hier alle Branchen der Ernährungsindustrie betrachtet, d.h. nicht ausschließlich die Branchen, die die höchsten Werte einzelner Energiekennzahlen vorweisen. Dadurch wird eine Orientierung der Betriebe im Vergleich zur Branche ermöglicht. Hierbei handelt es sich um die Analyse der Energiedaten des Statistischen Bundesamtes. Diese Daten liegen in der erforderlichen Detaillierungsstufe aus Datenschutzgründen nur bundesweit vor, nicht jedoch länderspezifisch. Aufgrund der sehr ähnlichen Strukturen bundesweit und in NRW sind die Ergebnisse aber auf NRW übertragbar.

#### **3.1.1 Energieeinsatz**

Der spezifische Endenergieeinsatz als das Verhältnis von Endenergie (also der Energiemenge, die in Form von Strom, Erdgas, Heizöl oder anderer Brennstoffe durch den Betrieb bezogen wird) und Bruttoproduktionswert ist für die unterschiedlichen Branchen der Ernährungsindustrie nicht miteinander vergleichbar, da sich die Zahlen auf völlig unterschiedliche Produkte beziehen. Die Werte sind aber von der gleichen Größenordnung und können daher in einem gemeinsamen Diagramm abgebildet werden (Abbildung 3-1).

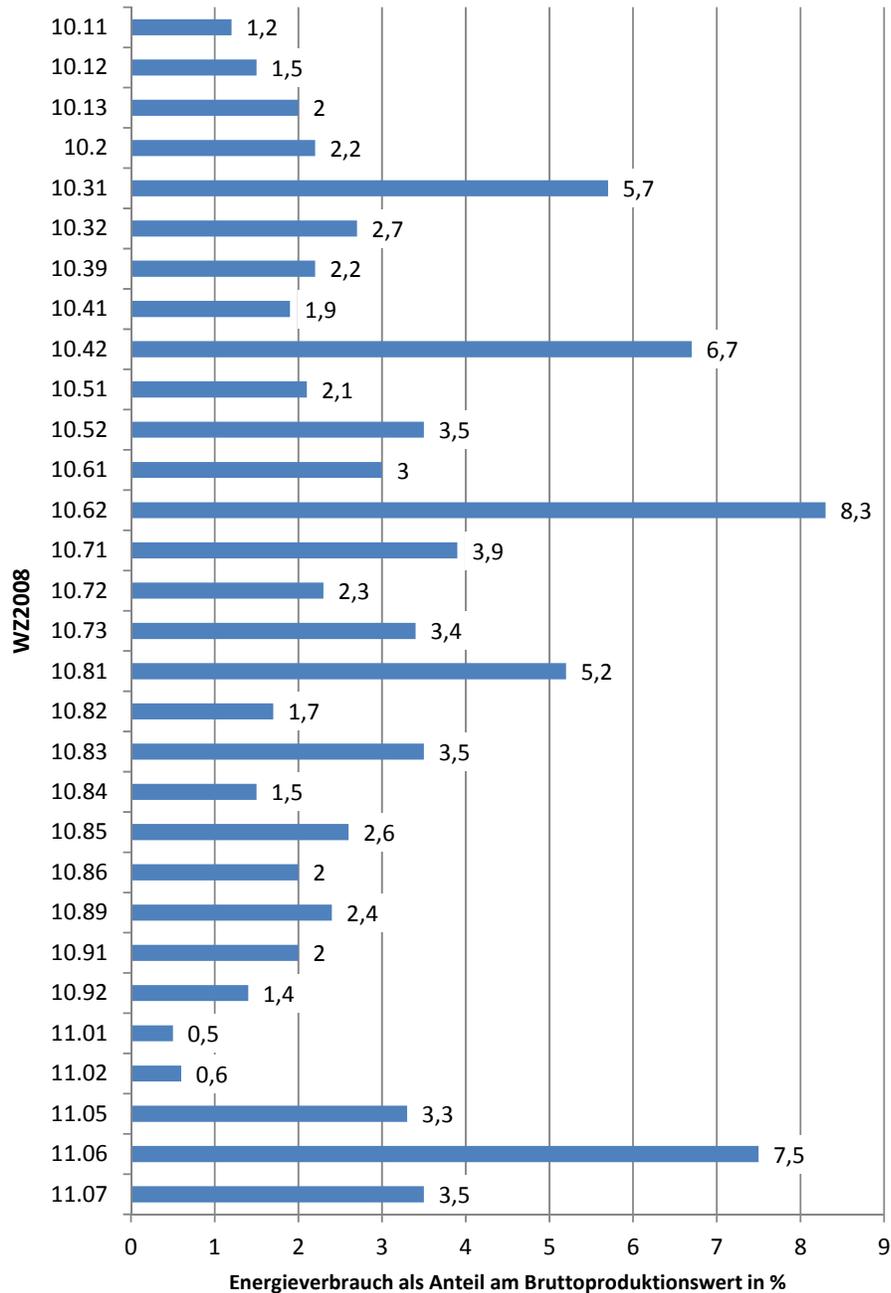


Abbildung 3-1: Spezifischer Endenergieeinsatz in den Branchen der Ernährungsindustrie, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

### Stromanteil am Endenergieeinsatz

Der Stromeinsatz in Abhängigkeit vom Endenergieeinsatz für die einzelnen Branchen ist in Abbildung 3-2 dargestellt. Jeder Betrieb lässt sich nun mit diesen Werten vergleichen. Eine bedeutende Abweichung der eigenen Werte vom Durchschnittswert legt nahe, die Ursache dafür zu ergründen. Es sei erneut darauf hingewiesen, dass der Energieeinsatz von vielen Faktoren abhängt. Dennoch ist der Vergleich mit

anderen Werten der Branche aufschlussreich und regt zu detaillierteren Analysen an. Für die tiefergehende Bewertung der Energieeffizienz einzelner Prozesse sei auf die Abschnitte 3.2 und 3.3 verwiesen.

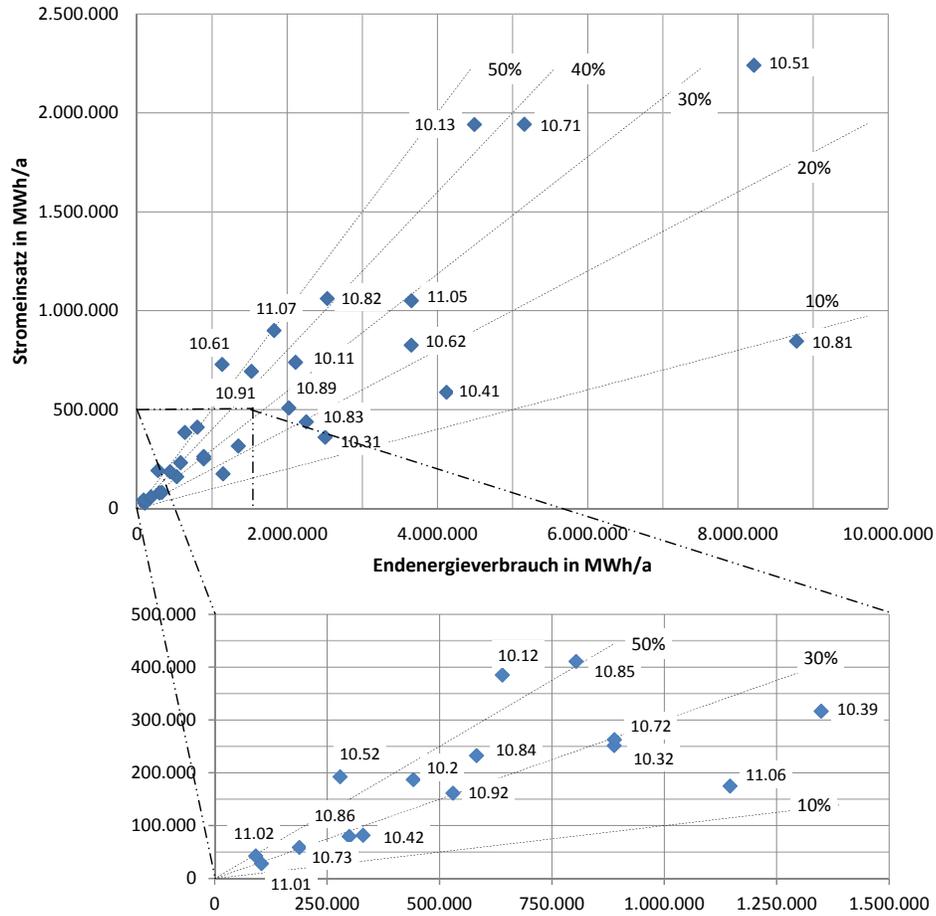


Abbildung 3-2: Durchschnittliche Strom- und Endenergiemengen für die Branchen der Ernährungsindustrie, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

### 3.1.2 Energiebedarfsstruktur

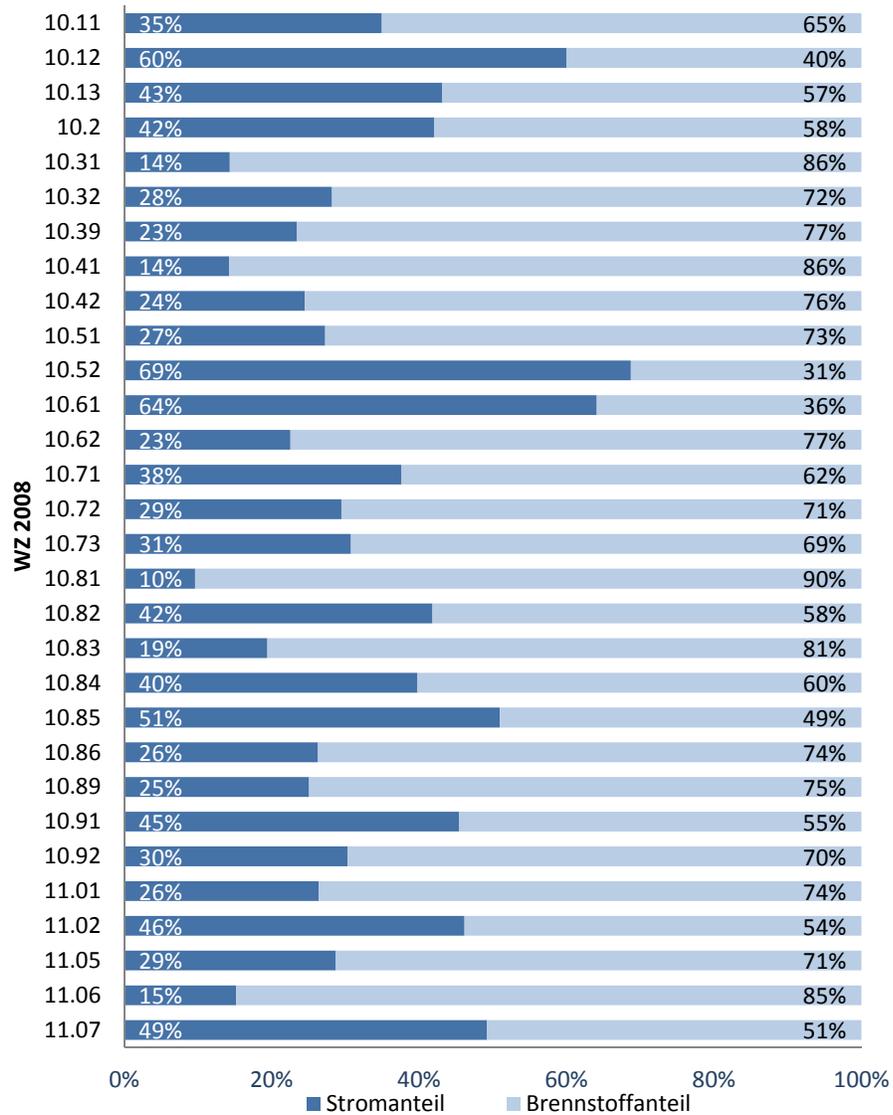


Abbildung 3-3: Durchschnittlicher Strom- und Brennstoffanteil am Gesamtenergieeinsatz für die Branchen der Ernährungsindustrie, 2012 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Abbildung 3-3 gibt die durchschnittliche prozentuale Aufteilung des Endenergieeinsatzes in Strom<sup>2</sup> und Brennstoffe wieder, wobei unter Brennstoffen Erdgas, Heizöl, Kohle, Biomasse und sonstige Energieträger zusammengefasst sind.

In den Branchen 10.3 (Obst- und Gemüseverarbeitung), 10.4 (Herstellung von Ölen und Fetten), 10.81 (Herstellung von Zucker), 11.06 (Herstellung von Malz) und 10.83 (Verarbeitung von Tee und Kaffee) werden über 75 % der Energie in Form von Brennstoffen eingesetzt. Die thermischen Prozesse wie Kochen, Trocknen, Verdampfen etc. bestimmen entscheidend die Prozesskette dieser Branchen. Branchen, die überwiegend Strom einsetzen, sind die Speiseeisherstellung (10.52), die Mahl- und Schälmaschinen (10.61), das Schlachten von Geflügel (10.12) und die Herstellung von Fertiggerichten (10.85). Im Produktionsablauf dieser Branchen dominieren entweder mechanische Prozesse wie Mischen, Zerkleinern oder Mahlen oder die energieintensiven Kühlprozesse, teilweise auch elektrisch betriebene thermische Prozesse.

### 3.1.3 Energiekosten

In Abhängigkeit von der bezogenen Gasmenge werden die Industrieabnehmer in sechs Klassen eingeteilt, für den Strombezug in sieben, siehe Tabelle 3-1.

<i>Erdgas</i>			<i>Strom</i>		
Verbrauch			Verbrauch		
<b>Gruppe I1</b>	< 1 000 GJ		<b>Gruppe IA</b>	< 20 MWh	
<b>Gruppe I2</b>	1 000 GJ - 10 000 GJ		<b>Gruppe IB</b>	20 MWh - 500 MWh	
<b>Gruppe I3</b>	10 000 GJ - 100 000 GJ		<b>Gruppe IC</b>	500 MWh - 2 000 MWh	
<b>Gruppe I4</b>	100 000 GJ - 1 000 000 GJ		<b>Gruppe ID</b>	2 000 MWh - 20 000 MWh	
<b>Gruppe I5</b>	1 000 000 GJ - 4 000 000 GJ		<b>Gruppe IE</b>	20 000 MWh - 70 000 MWh	
<b>Gruppe I6</b>	> 4 000 000 GJ		<b>Gruppe IF</b>	70 000 MWh - 150 000 MWh	
			<b>Gruppe IG</b>	> 150 000 MWh	

Tabelle 3-1: Referenzwerte für die Einteilung von Industrieabnehmern für Erdgas bzw. Strom in Klassen abhängig von der Bezugsmenge (Quelle: Eurostat)

Die zeitliche Entwicklung der Gas- und Elektrizitätspreise für diese Bezugsklassen zeigen Abbildung 3-4 bzw. Abbildung 3-5. Den Diagrammen kann entnommen werden, dass die Abnahmemenge einen spürbaren Einfluss auf den Preis hat, wobei dieser Effekt im Strombereich schwächer ausgeprägt ist.

Im Jahr 2012 lagen die Durchschnittswerte (gemittelt über alle Verbraucherklassen) für Gas bei ca. 0,04 €/kWh und für Elektrizität bei ca. 0,13 €/kWh.

<sup>2</sup> Die separate Ausweisung der Stromeigenerzeugung ist aufgrund der Datenlage problematisch und wird daher vernachlässigt. Es erfolgt eine gemeinsame Betrachtung von Fremd- und Eigenstrom.

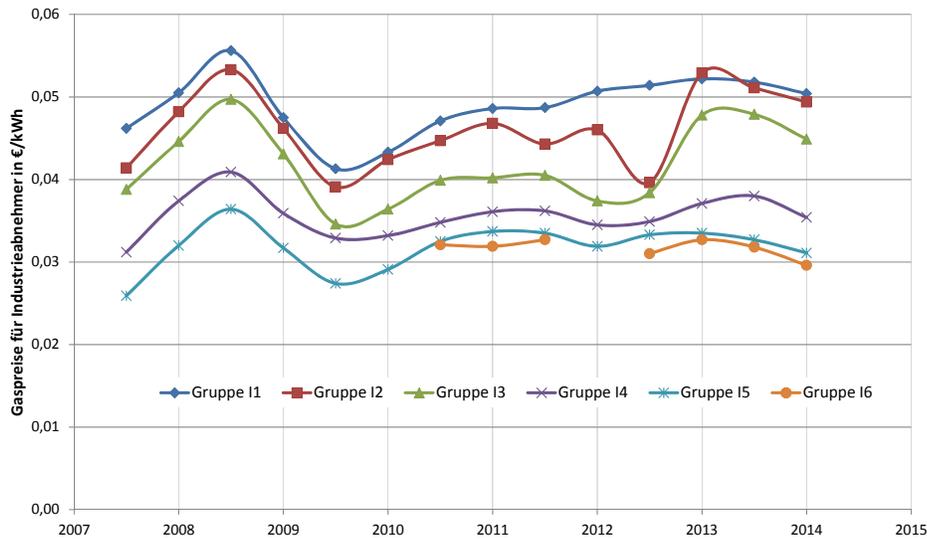


Abbildung 3-4: Halbjährliche Gaspreiseentwicklung für Industrieabnehmer, differenziert nach Verbrauchergruppen, ohne Mehrwertsteuer und erstattungsfähige Steuern und Ausgaben (Quelle: Eurostat)

Gasseitig lässt sich seit dem Jahr 2009 eine Entkopplung der Preise von Erdgas und den Preisen für Heizöl erkennen, die zuvor jahrzehntelang Bestand hatte. Dies ist sowohl auf einen konjunkturseitig bedingten Nachfragerückgang als auch auf eine Ausweitung des Angebotes an Erdgas, hauptsächlich im Bereich *Liquefied Natural Gas* (LNG), zurückzuführen. Insgesamt liegt das Preisniveau im Jahr 2014 im Vergleich zu 2007 auf einem nur leicht höheren Stand.

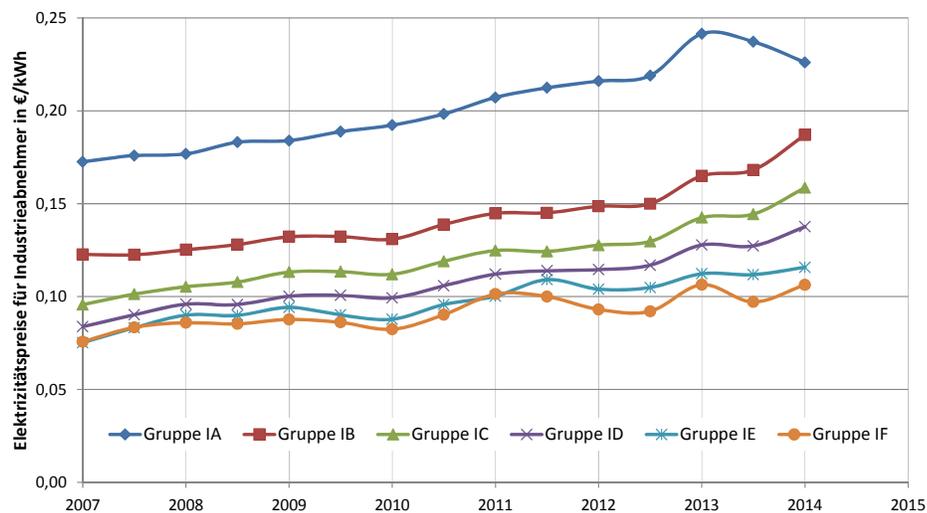


Abbildung 3-5: Halbjährliche Strompreisentwicklung für Industrieabnehmer, differenziert nach Verbrauchergruppen, ohne Mehrwertsteuer und erstattungsfähige Steuern und Ausgaben (Quelle: Eurostat)

In der gleichen Zeit sind die Strompreise für Industrieabnehmer spürbar gestiegen. Der im Betrachtungszeitraum starke Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien hat vor dem Hintergrund des deutschen Strommarktdesigns dazu geführt,

dass sich diese Preissteigerung hauptsächlich in Form der EEG-Umlage ausdrückt, während der Börsenpreis für Strom zeitgleich gesunken ist. Die Zusammensetzung des Elektrizitätspreises für die sechs Verbrauchergruppen ist Abbildung 3-6 zu entnehmen.

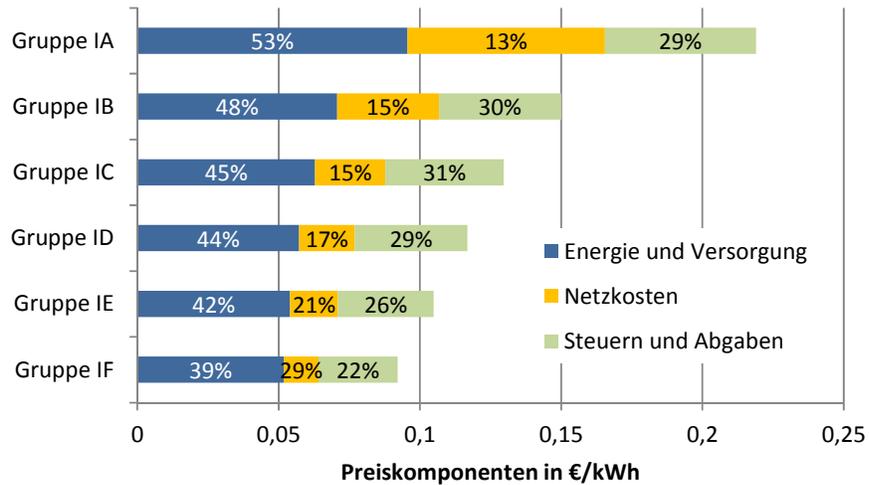


Abbildung 3-6: Zusammensetzung der Elektrizitätspreise für Industrieabnehmer für 2012, differenziert nach Verbrauchergruppen (Quelle: Eurostat)

### 3.2 Ausgewählte Produktionsprozesse

Energieintensive mechanische Prozesse sind in erster Linie unter den Trenn- und Zerteilungsprozessen sowie den Press- und Formvorgängen zu finden, darüber hinaus bei den Struktur bildenden Prozessen.

Thermische Prozesse mit bedeutendem Energieaufwand sind alle thermischen Trenn- und Stoffübertragungsverfahren wie die Eindampfung oder die Trocknung, aber auch alle Garprozesse und die thermischen Verfahren zur Haltbarkeitsverlängerung, wie die Pasteurisation oder die Sterilisation.

Mechanische und thermische Trenn- und Zerteilungsprozesse <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Separation</li> <li>▪ Mahlen</li> <li>▪ Osmotische Trennverfahren</li> <li>▪ Eindampfung</li> </ul> Erwärmen und Erhitzen Homogenisierung Thermische Konservierung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pasteurisation</li> <li>▪ Ultraheißerhitze</li> </ul>	Trocknung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sprühtrocknung</li> <li>▪ Stromtrocknung</li> <li>▪ Wirbelschicht- und Fließbettrocknung</li> <li>▪ Innovative Verfahren der Konvektionstrocknung</li> <li>▪ Kontaktrocknung</li> <li>▪ Dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung</li> <li>▪ Gefrierrocknung</li> </ul>
--	---

Tabelle 3-2: Übersicht der detailliert betrachteten Produktionsprozesse

Diese energieintensiven Prozesse werden im Folgenden einer näheren Betrachtung unterzogen. Ergänzend zu den grundlegenden Ausführungen in diesem Kapitel finden sich in Kapitel 4 Beispiele aus Detailuntersuchungen in einzelnen Betrieben.

### 3.2.1 Mechanische und thermische Trenn- und Zerteilungsprozesse

Zu den mechanischen Trenn- und Zerteilungsprozessen zählen die Separation, das Mahlen sowie das osmotische Trennverfahren wohingegen das Eindampfen den thermischen Trenn- und Zerteilungsprozessen zugeordnet wird. Im Folgenden werden diese Prozesse beschrieben.

#### 3.2.1.1 Separation

Zur mechanischen Trennung mehrphasiger Stoffgemische mit voneinander abweichender Dichte der Phasen werden in der Ernährungsindustrie als Separatoren bezeichnete Tellerzentrifugen eingesetzt. Während sich im natürlichen Gravitationsfeld der Erde eine solche Phasentrennung nur sehr langsam vollzieht, wird beim Separationsprozess durch die Zentrifugalbeschleunigung die treibende Kraft der Phasentrennung um Faktoren zwischen 7.000 und 8.000 angehoben.

In der Molkereitechnik beispielsweise werden Separatoren u.a. in folgenden Bereichen eingesetzt:

- zur Reinigung der Rohmilch, d.h. bei der Abtrennung von Verunreinigungen und unerwünschten Mikroorganismen,
- zur Trennung von Vollmilch in Rahm und Magermilch,
- zur Baktofugierung, d.h. Abtrennung von weiteren Mikroorganismen bei der Käseemilchherstellung,
- zur Trennung von Quark bzw. Kasein und Molke.

Der durchschnittliche Drehzahlbereich der Separatoren liegt zwischen 4.500 und 6.500 Umdrehungen pro Minute bei Massendurchflüssen von bis zu 75.000 l/h.

In der Regel bewirkt eine Erhöhung der Temperatur der zu trennenden Stoffe eine Verringerung der Viskosität und damit eine Verbesserung des Trennprozesses. Bei Milch z.B. werden i.A. Temperaturen zwischen 50 und 60 °C als optimal angesehen (Warmmilchseparation). Die sogenannte Kaltmilchenträuhung bei einer Temperatur zwischen 4 und 30 °C bietet dagegen den Vorteil die Milch bei der angelieferten Temperatur verarbeiten zu können.

#### *Energiebedarf von Separatoren*

Der elektrische Leistungsbedarf von Separatoren wird bestimmt von der Maschinendrehzahl, den Trommelabmessungen und dem Produktdurchsatz. Als spezifischer Kennwert gilt eine überschlägige elektrische Leistungsaufnahme von 0,5 bis 1 kW je 1.000 l/h Massendurchsatz, woraus sich ein spezifischer Energiebedarf in der

Größenordnung von 0,5-1 kWh/m<sup>3</sup> ergibt. In Abbildung 3-7 ist beispielhaft der Energiebedarf moderner Warmmilch-Separatoren dargestellt (Herstellerangaben).

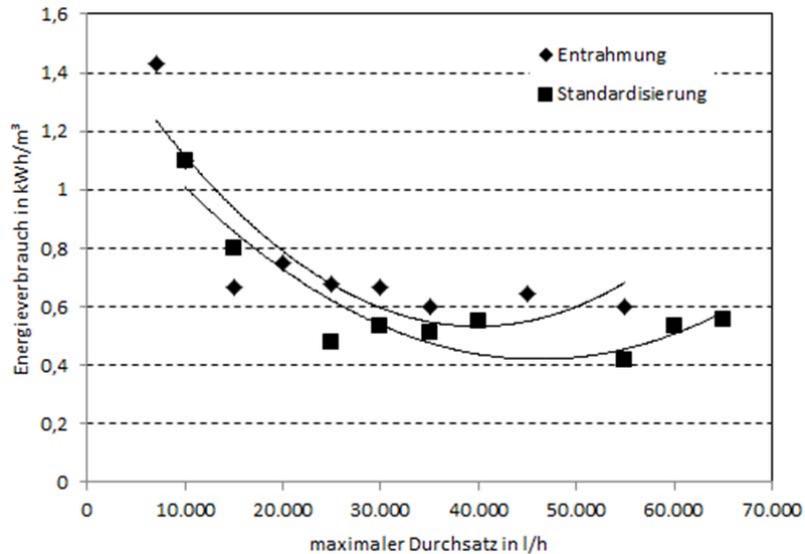


Abbildung 3-7: Spezifischer Energiebedarf bei der Warmmilch-Separation  
(Quelle: Tetra Pak GmbH)

Die Quarkseparation ist erheblich energieintensiver als die Entrahmungsseparation oder die Klärung von Schnittkäseemolke. Eine ausreichend gute Trennung der feinen gefällten Milcheiweißpartikel ist nur bei entsprechend verringerten Durchflussmengen zu erzielen. Zudem erfordert die höhere Produktviskosität einen größeren Energieeintrag beim Zentrifugieren. Quarkseparatoren besitzen zur Abfuhr der entstehenden Dissipationswärme einen eigenen Eiswasseranschluss zur Produkt- und Motorkühlung.

Moderne Separatoren unterscheiden sich in ihrem Energiebedarf nur unwesentlich von denen älterer Baujahre. Deutliche Einsparungen im spezifischen Energiebedarf sind in der nahen Zukunft nicht zu erwarten. Der oben dargestellte Wert von etwa 0,5 kWh/m<sup>3</sup> kann lediglich für die größeren Bautypen der Entrahmungs-Separatoren mit 40 m<sup>3</sup>/h Durchsatzleistung als erreichbar angesehen werden. Maschinen dieser Größenordnung werden jedoch von mittelständischen Molkereien nur selten eingesetzt. Bedarfswerte von etwa 1-2 kWh/m<sup>3</sup> sind je nach Anlagenhersteller und Einsatzzweck üblicher. Bei Reinigungsseparatoren sollten die spezifischen Energiebedarfswerte etwas niedriger liegen.

#### *Hoher Energiebedarf bei Teillast*

Im Teillastbereich steigt der spezifische Energiebedarf eines Separators überproportional an, daher sollten die Auslegungsparameter der Anlage während des Betriebes eingehalten werden. Ferner können im Laufe der Betriebszeit ansteigende Energiebedarfswerte auch auf den Verschleiß von Lagern zurückzuführen sein. Eine regelmäßige Überprüfung der Leistungsaufnahme kann also auch zur Indikation von präventiven Wartungsarbeiten dienen.

Beim Wechsel von Produktions- und Reinigungszyklen wurden in untersuchten Betrieben vereinzelt Leerlaufzeiten von mehr als 30 Minuten beobachtet, während die Leistungsaufnahme bei 60 % des sonst üblichen Wertes lag. Durch Optimierung der Anlagensteuerung und ggf. Abschaltung der Separatoren lässt sich dieser Leerlaufbetrieb vermeiden.

#### *Nutzung des Sperr- und Kühlwassers zur Vorreinigung*

Einsparungen können auch im Bereich des Wasserverbrauchs erzielt werden. Die als Steuer-, Sperr- sowie Kühlwasser eingesetzten Wassermengen werden sehr häufig als verlorene Ströme direkt in das Abwasser geleitet. Prinzipiell besteht jedoch gegen deren Wiederverwendung bei der Vorreinigung keinerlei Einwand, sodass eine entsprechende Rückführung und Zwischenspeicherung anzustreben ist.

### **3.2.1.2 Mahlen**

Neben der Trockenvermahlung von Weizen und Roggen (das Getreide wird jedoch i.A. vorher benetzt oder gedämpft) wird die Nassvermahlung mit vorgeschalteter Quellung für Mais eingesetzt.

Mahlverfahren dienen nicht nur der Zerkleinerung, sondern ebenso der Trennung der Kornteile Endosperm, Schale und Keimling durch den selektiven Aufschluss des Korns. Das Ergebnis jedes Mahlgangs ist demnach ein Produktgemisch, welches anschließend durch Siebe nach Korngröße getrennt wird (Sichten).

#### *Getreidevermahlung auf Walzenstühlen*

Die derzeit technisch und ökonomisch günstigste Methode der selektiven Zerkleinerung von Weizen und Roggen ist der Einsatz von Walzen in einem Walzenstuhl (siehe Abbildung 3-8).

Hierzu werden die Beanspruchungsmechanismen Schneid-, Druck- und Scherwirkung von Riffel- und Glattwalzen genutzt (siehe Abbildung 3-9). Des Weiteren werden Prall- und Schlagmühlen als Selbstpassage oder zur Unterstützung der Walzenstühle eingesetzt (siehe Abbildung 3-10).

Die Zwischen- und Endprodukte werden in der Regel pneumatisch gefördert. Die Förderluft wird durch Abscheider von dem zu transportierenden Gut getrennt und in Gewebefiltern von feinem Staub gereinigt.

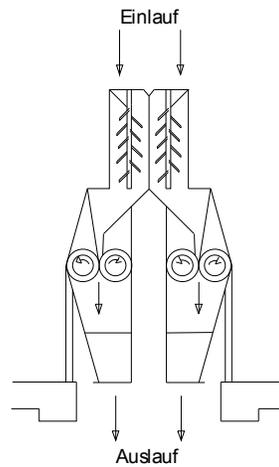


Abbildung 3-8: Doppelwalzenstuhl (Quelle: Heiss, 1995)

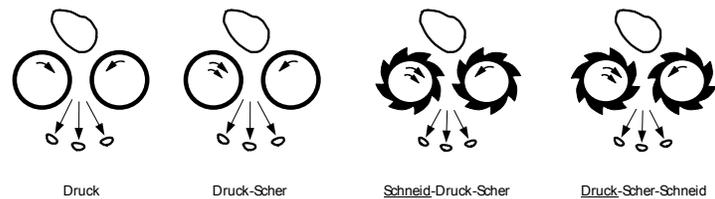


Abbildung 3-9: Zerkleinerung durch Walzen (Quelle: Heiss, 1995)

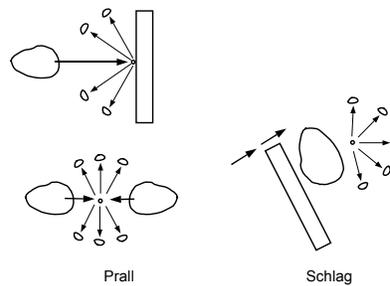


Abbildung 3-10: Gutbeanspruchung durch Prall und Schlag (Quelle: Heiss, 1995)

#### Vermeidung von Lastspitzen

Optimierungspotenziale liegen hier vorrangig im Anlagenbetrieb, d.h. in der Vermeidung von Lastspitzen und übermäßigem Leerlaufbetrieb. Beides lässt sich durch eine entsprechende Produktionsplanung erreichen (z.B. Abschaltung oder verminderter Betrieb in Zeiten hoher Stromabnahme).

#### 3.2.1.3 Osmotische Trennverfahren

Osmotische Verfahren werden zum einen zur Abscheidung unerwünschter Bestandteile aus Flüssigkeiten, zum anderen zur Aufkonzentration von Lösungen bzw. zur Absenkung des Feuchtegehalts vor Trocknungsprozessen eingesetzt. Insbesondere in diesem letzten Zusammenhang können osmotische Verfahren maßgeblich dazu beitragen, den Energiebedarf von Trocknungsprozessen (siehe Abschnitt 3.2.3) zu senken.

### Osmotische Vorkonzentration

Für Fruchtstücke und ähnliche Güter stellt die osmotische Vorkonzentration ein einfaches Verfahren zur Absenkung des Feuchtegehalts vor einer Trocknung dar. In einer Zuckerlösung wandert durch osmotischen Druck Feuchtigkeit über die Zellwand aus der Frucht in die Lösung und Zucker in die Frucht. Für die nachfolgende Trocknung sind Konvektionstrockner und Gefriertrockner üblich (siehe Abschnitt 3.2.3).

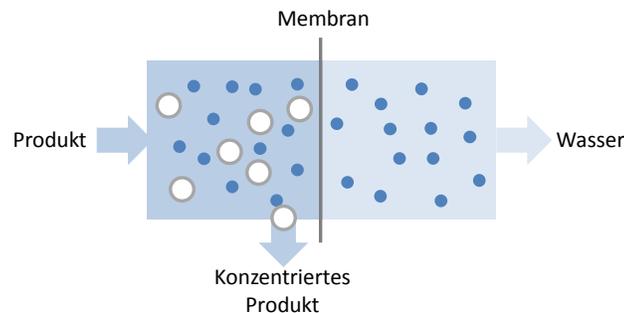


Abbildung 3-11: Funktionsweise der Vorkonzentration durch Umkehrosmose (Quelle: Siemens AG)

Durch die Aufnahme des Zuckers wird die Stabilität der Fruchtstücke während der Trocknung und Lagerung erhöht. Der höhere Zuckergehalt verlangsamt jedoch die Trocknung, da die Bewegung des Wassers in der Frucht durch den Zucker gehemmt wird. Die längere Trocknungszeit wird aber durch den geringeren Energieeinsatz, eine längere Haltbarkeit und qualitative Vorteile des Trockenguts ausgeglichen.

Dieses technologisch einfache Verfahren mit sehr geringem Energiebedarf eignet sich selbstverständlich nur für Produkte, bei denen der erhöhte Zuckergehalt tolerierbar bzw. sogar erwünscht ist.

### Umkehrosmose

Käsemolke, Magermilch, Zuckerlösungen, Kaffee, Tee, Fruchtsäfte, Wein und Tomatensaft lassen sich mit der Umkehrosmose auf einen Trockenmassegehalt von ca. 30 % konzentrieren. Im Vergleich zur Eindampfung und dem seltenen Gefrierkonzentrieren weist die Umkehrosmose den kleinsten spezifischen Energieverbrauch aller Verfahren zur Vorkonzentration auf.

#### *Energiebedarf nur für Pumpen*

Energie wird bei diesem Verfahren nur für Pumpen benötigt, wobei neben diversen Umwälzpumpen hauptsächlich die Hochdruckpumpe zum Halten des Druckniveaus den Energiebedarf verursacht.

Bei Trocknungsverfahren, für die eine Trockenmasse von 30 % ausreichend ist, stellt die Umkehrosmose eine gute Alternative dar. Zur „Hochkonzentration“ auf die z.B. für einen Sprühturm optimalen 60 % Trockenmasse sind häufig weitere Anlagen (meistens ein Fallstromeindampfer) notwendig. Dies erhöht den apparativen, regelungstechnischen und personellen Aufwand. Die Umkehrosmose wird daher nur in Sonderfällen angewendet.

#### **3.2.1.4 Eindampfung**

Die Eindampfung ist das am weitesten verbreitete Verfahren zur Vorkonzentration und Eindickung von Nahrungsmitteln. Nicht nur Ausgangsstoffe für Trockenprodukte, sondern oftmals auch pastöse Produkte wie Marmelade oder Apfelmus werden nach dem eigentlichen Herstellungsprozess eingedampft.

##### *Fallfilmverdampfer*

In der Ernährungsindustrie haben sich Röhrenverdampfer, insbesondere Fallfilmverdampfer, zur thermischen Vorkonzentration von fließfähigen Lebensmitteln durchgesetzt. Die einzudampfende Flüssigkeit fällt als Film (kleiner als 1 mm Dicke) an der Innenseite eines Rohres hinab, welches von außen beheizt wird. Die aus der Flüssigkeit austretenden Dampfblasen strömen mit der Flüssigkeit abwärts. Die durch die Schwerkraft erzeugte Strömung des Films wird dabei durch die Schubwirkung der Dampfblasen erhöht.

Am Ende des Rohres tritt das Zweiphasengemisch in einen Abscheider, in den die Brüden (der Wasserdampf aus der Lösung) und das eingedampfte Konzentrat durch Einbauten, Schwerkraft oder Zentrifugalkräfte getrennt werden. Über die Einstellung eines Teilvakuums im Rohr kann mit niedrigen Temperaturen gearbeitet werden, um der Temperaturempfindlichkeit vieler Nahrungsmittel gerecht zu werden.

Der Fallfilmverdampfer bietet eine Reihe von Vorteilen: Er lässt sich in einem großen Bereich skalieren (Leistungen bis 100 kg/s Wasserverdampfung) und überträgt die Wärme von der Rohraußenwand zum Film bereits bei kleinen Temperaturdifferenzen. So kann das Produkt schonend eingedampft werden. Produktanbackungen und somit der Reinigungsbedarf werden verringert, außerdem lässt sich die Brüdenkompression (siehe unten) einfacher realisieren. Der Grad der Eindampfung im Fallfilmverdampfer wird durch die Viskosität des Guts begrenzt, da die Filmbildung eine gewisse Fließfähigkeit voraussetzt und der Reinigungsaufwand mit steigender Viskosität zunimmt.

#### **Energieeinsparung durch mehrstufige Eindampfung und Brüdenkompression**

##### *Mehrstufige Eindampfung*

Zur Reduzierung des Primärenergieeinsatzes für die Eindampfung werden Fallfilmverdampfer in der Regel mehrstufig ausgelegt (siehe Abbildung 3-12). Der ausgetriebene Wasserdampf (die Brüden) einer Stufe wird in die nachgeschaltete Stufe geleitet. Dort wird die Kondensationswärme dieser Brüden genutzt, um die

benötigte Verdampfungswärme zur Aufkonzentrierung der Lösung in dieser Stufe bereitzustellen. Da eine gewisse Temperaturdifferenz zur Wärmeübertragung notwendig ist, wird in der folgenden Stufe durch die Einstellung eines geringeren Druckes (Teilvakuum) eine niedrigere Siedetemperatur erreicht. Bei diesen einfachen mehrstufigen Anlagen sinkt der spezifische Dampfbedarf durch Nutzung der Brüden nach der Formel in Abbildung 3-13.

Mit steigender Stufenanzahl steigt linear der Bedarf an Heizfläche zur Wärmeübertragung an (Strichpunktlinie im Diagramm, Abbildung 3-13), weshalb ein wirtschaftliches Optimum zwischen geringem Energiebedarf (hohe Stufenanzahl) und geringen Kapitalkosten (kleine Übertragungsfläche) gefunden werden muss.

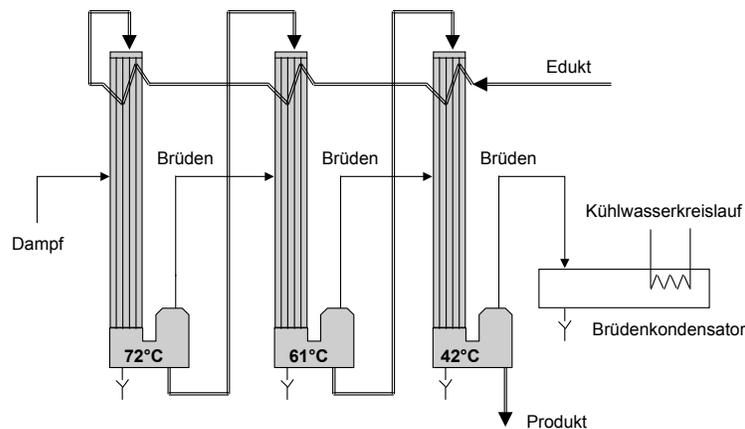


Abbildung 3-12: Schematischer Aufbau eines mehrstufigen Fallfilmeindampfers (Quelle: Meyer et. al., 2000)

$$\frac{\dot{m}_{\text{Dampf}}}{\dot{m}_{\text{verd. Wasser}}} = \frac{1}{\text{Anzahl Stufen}} \cdot \left( \frac{\dot{m}_{\text{Dampf}}}{\dot{m}_{\text{verd. Wasser}}} \right)_{\text{Einstufiger Verdampfer}}$$

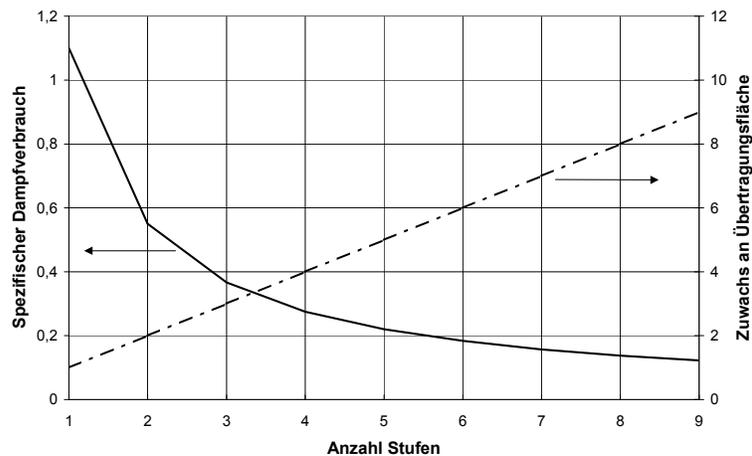


Abbildung 3-13: Spezifischer Dampfverbrauch eines Fallfilmeindampfers (durchgezogene Linie, linke Achse) und Zuwachs der Übertragungsfläche (strichpunktlinie, rechte Achse) (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Stand der Technik sind heute mehrstufige Anlagen mit Brüdenkompression. Dabei werden die Brüden einer nachgeschalteten Stufe verdichtet, d.h. auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und einer vorderen Stufe als Heizdampf zugeführt. Brüdenkompressoren sind also letztendlich besondere Formen von Wärmepumpen. Der spezifische Frischdampfbedarf sinkt mit dieser Methode schon bei kleinerer Stufenanzahl noch weiter ab.

#### *Thermische Brüdenkompression*

Die vorherrschende Technik zur Kompression der Brüden ist die Dampf-injektion (thermische Brüdenkompression). Aus einem Dampfnetz mit höherem Druck wird Dampf in eine Düse geleitet, die in der Brüdenleitung angebracht ist. Mit Hilfe der Injektionswirkung des Dampf-Freistrahls werden die Brüden aufgrund eines Impulsaustausches mitgerissen und auf einen höheren Druck verdichtet. Der Verdichtungsgrad hängt dabei von der Druckdifferenz zwischen Brüdenleitung und Dampfnetz ab. Diese sogenannten thermischen Brüdenkompressoren sind einfach im Aufbau, leicht zu reinigen, robust in der Anwendung, aber schlecht regelbar.

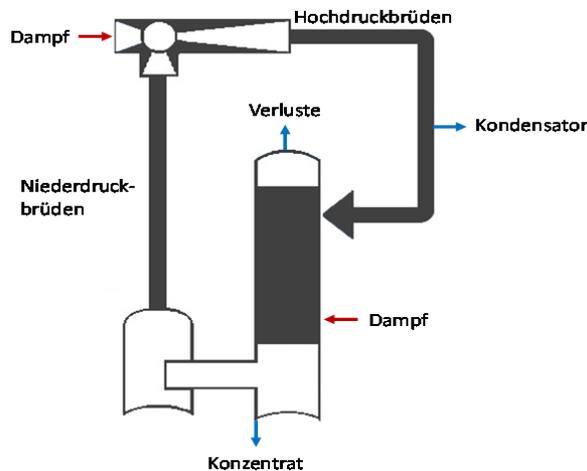


Abbildung 3-14: Thermische Brüdenkompression (Quelle: Siemens AG)

Mit der thermischen Brüdenkompression sinkt der spezifische Dampfbedarf einer siebenstufigen Anlage bis auf ca. 400 kJ Primärenergie pro kg verdampftes Wasser, was dem Wert einer 14-stufigen Anlage ohne Brüdenkompression entspricht.

Eigene Untersuchungen an einem dreistufigen Fallstromeindampfer mit thermischer Brüdenverdichtung ergaben die in Tabelle 3-3 angegebenen Werte. Daraus ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf von 887 kJ/kg verdampftes Wasser (Umrechnungsfaktoren siehe Anhang).

Spezifischer Dampfmengenstrom	$0,25 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$
Spezifischer Dampfbedarf	$693 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$
Spezifischer Kühlbedarf (bereitgestellt durch Rückkühlturm mit $5,5 \text{ kW}_{\text{th}}$ )	$274 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$
Spezifischer elektrischer Energiebedarf (Pumpen etc.)	$12 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$

Tabelle 3-3: Energiekennzahlen für 3-stufigen Eindampfer mit thermischer Brüdenkompression (Quelle: Welzel, Kruska, 2000)

#### *Mechanische Brüdenkompression*

Eine andere Primärenergie sparende Möglichkeit ist die Brüdenverdichtung mit einem mechanischen Kompressor (häufig Kreiselverdichter oder Radialventilatoren). Da kein Wärmeeintrag von außen erforderlich ist, kann von einer vollständigen Wärmerückgewinnung (WRG) gesprochen werden. Es ist nur die mechanische Energie des Verdichters notwendig. Dampf und Kühlwasser werden in diesen Anlagen nur in geringem Maße eingesetzt.

Die mechanische Brüdenverdichtung kommt sowohl in mehrstufigen als auch in einstufigen Anlagen zum Einsatz. In den einstufigen Anlagen durchströmt die Lösung verschiedene Sektionen des Verdampferkörpers und wird durch Umwälzpumpen zur jeweils nächsten Sektion befördert. Die in den einzelnen Sektionen austretenden Brüdenströme werden im mechanischen Kompressor verdichtet und in den Verdampferkörper gebracht. In jeder Sektion wird also auf dem gleichen Temperaturniveau verdampft.

Eigene Untersuchungen an einem einstufigen Fallstrom-Eindampfer mit mechanischer Brüdenkompression ergaben die in Tabelle 3-4 dargestellten Werte.

Spezifischer Dampfbedarf	$13,5 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$
Spezifischer Kühlbedarf (elektrischer Energiebedarf: $4 \text{ kW}_{\text{el}}$ )	$5,7 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$
Spezifischer elektrischer Energiebedarf (mechanischer Verdichter und Pumpen)	$47,9 \frac{\text{kg}_{\text{Dampf}}}{\text{kg}_{\text{verd. Wasser}}}$

Tabelle 3-4: Energiekennzahlen für einstufigen Eindampfer mit mechanischer Brüdenkompression (Quelle: Welzel, Kruska, 2000)

Der geringere spezifische Energiebedarf von Eindampfern mit mechanischer Brüdenkompression rechtfertigt den apparativen Mehraufwand gegenüber den Dampf injektoren. Weiterhin sind die Regelbarkeit sowie der geringere Kühlbedarf (Verringerung der zu kondensierenden Wasserdampfmenge) ein Vorteil.

Aus diesen Werten ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf von 162 kJ/kg verdampftes Wasser.

#### *Kraft-Wärme-Kopplung möglich*

Wird statt eines elektrischen Motors ein Gasmotor als Kompressor eingesetzt, fällt die energetische Beurteilung noch günstiger aus, da sowohl Abgas- als auch Motorenabwärme im Prozess genutzt werden können.

Es sind weitere Kombinationen mit Wärme-Kraft-Maschinen denkbar: So kann z.B. der Verdichter mit einer Dampfturbine angetrieben und der teilentspannte Dampf aus der Turbine als Heizdampf im Prozess weiterverwendet werden.

In handelsüblichen Verdichtern werden Temperaturerhöhungen bis zu 12 K erreicht. Nicht geeignet sind diese Verdichter für den Betrieb im hohen Vakuum, da die zu fördernden Dampfvolumina zu groß werden. Grundsätzlich sind mechanische Verdichter auch anfälliger für Verunreinigungen in den Brüden und erfordern mehr Wartung.

### **3.2.2 Erwärmen und Erhitzen**

Das Erwärmen oder Erhitzen von Rohstoffen oder Produkten ist ein Prozess, der in unterschiedlichen Ausprägungen in nahezu jeder Branche anzutreffen ist. In der Ernährungsindustrie zählen hierzu u.a. das Kochen, das Dämpfen, das Darren sowie das Backen. Diese Prozesse werden im Folgenden näher behandelt.

#### **Kochen**

Unter Kochen wird das Garen von Lebensmitteln in heißem Wasser (flüssig oder dampfförmig) verstanden. Hierzu werden in der Chargenproduktion Kochkessel (Wasserbad) und Kochschränke (Dampf) eingesetzt.

#### *Gute Isolierung wichtig*

Zur Optimierung des notwendigen Energieeinsatzes sollte auf eine ausreichende und intakte Isolierung der Produktionsanlagen geachtet werden. Die Wärmerückgewinnung aus dem heißen „Koch“-Wasser bzw. dem anfallenden Kondensat ist aus wirtschaftlichen und technischen Gründen (Verunreinigungen, Installationsaufwand) nur in Einzelfällen sinnvoll.

#### **Dämpfen und Darren**

Das Dämpfen weist zwar starke Ähnlichkeit zum Prinzip des Kochschanks auf (das Produkt wird einer Dampfatmosfera ausgesetzt), im Gegensatz zum Kochen dient das Dämpfen im Allgemeinen lediglich der Anhebung der Produktfeuchtigkeit und -temperatur.

### *Dampfmengen anpassen*

Insbesondere bei kontinuierlich ablaufenden Dämpfprozessen besteht das Problem, durch Anpassung des Produktdurchsatzes und der Dampfzufuhr die gewünschten Produktparameter bei möglichst niedrigem Dampfverbrauch einzustellen. Da im Allgemeinen der Produktdurchsatz den Vorrang hat, kann der tatsächliche spezifische Dampfbedarf deutlich über dem Optimum liegen.

### *Abwärme nutzen*

Die Nutzung der Abwärme (Brüden) setzt einen hinreichend großen Niedertemperaturwärmebedarf voraus (z.B. zur Vorwärmung von Speise- oder Frischwasser) und kann nur bei ausreichend hohen Energiemengen wirtschaftlich betrieben werden.

Darren werden z.B. in der Malzherstellung und in der Haferverarbeitung eingesetzt und bestehen aus einer Kombination von Dämpfer und Wärmekammer. Dem Produkt wird beim Durchlaufen der Wärmekammer die Feuchtigkeit entzogen, die ihm während des vorgeschalteten Dämpfvorgangs zugeführt wurde.

Neben einer ausreichenden Isolierung der Anlage besteht die Möglichkeit, die Abluft der Wärmekammer (Brüden) zur direkten Vordämpfung einzusetzen. Durch regelmäßige Wartung und Überprüfung der Anschlussleitungen und Ventile können Dampfverluste durch Undichtigkeiten minimiert werden. Ein Beispiel für den Betrieb von Dämpfern und Darren ist in Abschnitt 4.4 beschrieben.

## **Backen**

Während des Backens werden Teigstücke in verschiedenen Phasen zu Gebäck umgewandelt. Der größte Teil der hierzu notwendigen Heizwärme dient dabei der Verdampfung des im Teig enthaltenen Wassers.

Backöfen gibt es in verschiedenen Bauformen. Die Wärmebereitstellung erfolgt elektrisch, mittels Brennstoff oder über Thermoöl:

- *Etagenbacköfen*  
Diese haben eine oder mehrere übereinander angeordnete Backkammern, die einzeln oder in Gruppen beheizt werden können. Der Betrieb erfolgt chargenweise.
- *Backschränke (Stikkenöfen)*  
Sie bestehen aus einem einzelnen Backraum. Die Beschickung erfolgt chargenweise mittels Etagenwagen als Backgutträger.
- *Durchlaufbacköfen*  
Für den kontinuierlichen Backbetrieb werden Durchlaufbacköfen eingesetzt. Das Backgut wird dabei fortlaufend auf ein Förderband gegeben, das anschließend die Backkammer durchläuft.

Ein Sonderfall des Backens sind Dampfbackkammern (z.B. für Pumpnickel). Hierbei wird das Backgut chargenweise in geschlossenen Backformen bei niedrigen Temperaturen (ca. 100 °C) über mehrere Stunden mit Niederdruckdampf gesotten.

#### *Maßnahmen zur Energieeinsparung*

Technische Maßnahmen zur Energieeinsparung beim Backen sind u.a.:

- *Isolierung der Herdtüren*  
Die Standardtüren von Etagenbacköfen weisen in der Regel keine Wärmeisolierung auf. Bei der Neuanschaffung von Backöfen empfiehlt es sich, wärmeisolierte Herdtüren vorzusehen. Eine Nachrüstung ist in der Regel nicht wirtschaftlich.
- *Herdgruppensteuerung*  
Etagenbacköfen mit Herdgruppensteuerung bieten die Möglichkeit, gleichzeitig Sortimente (unterschiedliche Backwaren) zu backen. Bei Teilbelegung des Backofens besteht zudem die Möglichkeit, einzelne Herdgruppen abzuschalten und so den Energiebedarf des Ofens zu senken.
- *Stufenbrenner*  
Bei Teilbelegung des Backofens kann die Brennerleistung an den verminderten Wärmebedarf angepasst werden. Eine Nachrüstung alter Backöfen ist aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel nicht zu empfehlen.
- *Luftabschlussklappe am Brenner*  
Diese Einrichtung unterbricht bei Brennerstillstand die Luftzufuhr und vermindert die Abgasverluste. Eine Nachrüstung alter Brenner ist jedoch derzeit nicht wirtschaftlich.
- *Abgasklappe*  
Durch eine Abgasklappe werden die Abgasverluste des Backofens reduziert. Die Abgasklappe wird automatisch betätigt und sollte möglichst dicht schließen. Je nach Ofentyp muss ggf. aus technischen Gründen ein Restgasstrom aufrechterhalten werden. Dies muss vorab in Rücksprache mit dem Ofenhersteller geklärt werden.
- *Abgasprüfleitung*  
Die Brennereinstellung an Backöfen ohne Abgasprüfleitung erfolgt am Rauchgasrohr außerhalb des Ofens, in der das Abgas bereits mit Luft vermischt sein kann. Durch eine Abgasprüfleitung kann die Brennereinstellung direkt am Brenner überprüft und vorgenommen werden.
- *Abgas-Abwärmenutzung*  
Das Abgas verlässt den Backofen oftmals mit über 300 °C. Ein großer Teil dieser Wärme kann z.B. zur Erzeugung von Warmwasser oder Dampf (Heizwärme, Reinigungsprozesse), zur Kälteerzeugung oder für den Betrieb von Fettbackgeräten genutzt werden. Für die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme ist ein ausreichender und möglichst kontinuierlicher Wärmebedarf notwendig.

Ein Beispiel für die Bilanzierung eines Backofens ist in Abschnitt 4.5 zu finden.

### 3.2.3 Trocknung

Thermische Trocknungsprozesse sind in der Regel die energieintensivsten Prozesse der Ernährungsindustrie. Die im Gut enthaltene Feuchtigkeit wird bei den verschiedenen Verfahren über komplexe Mechanismen (Diffusion, Kapillarströmungen, Druckaufbau durch Schrumpfung der Feststoffstruktur, abwechselnde Verdunstung und Rekondensation) an die Gutoberfläche transportiert und verdampft bzw. verdunstet.

#### *Hoher Energieaufwand*

Der hohe Energieaufwand der thermischen Trocknung ist durch die Bindungsenergien sowie die hohe spezifische Wärmekapazität des Wassers bedingt.

In der Ernährungsindustrie werden überwiegend folgende Trocknungsverfahren eingesetzt:

- *Konvektionstrocknung*  
Die für die Trocknung benötigte Energie wird mittels eines Gases konvektiv an die Gutoberfläche übertragen. Die freigesetzte Feuchtigkeit wird mit dem Gasstrom abgeführt. In der Ernährungsindustrie kommen unter den konvektiven Trocknungsverfahren hauptsächlich die Sprühtrocknung, die Stromtrocknung sowie die Fließbett- und Wirbelschichttrocknung zum Einsatz, die in Abschnitt 3.2.3.1, 3.2.3.2 und 3.2.3.3 näher betrachtet werden.
- *Kontaktstrocknung*  
Die Wärme wird über Wärmeleitung an das Gut übertragen. Kontaktstrockner sind als Schrank- oder Bandtrockner, als Tellerstrockner, als Walzentrockner oder als Rührstrockner ausgeführt. Stellvertretend wird in Abschnitt 3.2.3.4 ein Walzentrockner näher beschrieben.
- *Dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung*  
Im feuchten Gut wird Energie eines elektrischen Hochfrequenz-Feldes in Wärme umgewandelt. Die dielektrische Trocknung wird in Abschnitt 3.2.3.5 einer energetischen Betrachtung unterzogen.
- *Gefrierstrocknung*  
Hier wird die Feuchtigkeit mittels Sublimation dem gefrorenen Gut entzogen. Dies ist in Abschnitt 3.2.3.6 näher erläutert.

#### *Reduzierung des Energiebedarfs durch Vorkonzentration*

Die effektivste Möglichkeit zur Reduzierung des Energiebedarfs für thermische Trocknungsprozesse ist der Einsatz von Entwässerungs- oder Vorkonzentrationsverfahren. Jedoch ist dies aus produktechnischer Sicht nicht überall möglich. Einige Vorkonzentrationsverfahren wurden bereits in Abschnitt 3.2.1 vorgestellt.

Unter energetischen Gesichtspunkten stellt die mechanische Entwässerung z.B. in Presswerken, Vakuum- und Druckfiltern oder Zentrifugen immer eine günstige Methode dar, weil die erforderliche Primärenergie für die benötigte mechanische Energie sehr viel kleiner ist als bei der thermischen Vorkonzentration. Leider gibt es in der Ernährungsindustrie nur wenige Bereiche, wo das Produkt mechanischen Belastungen ausgesetzt werden kann. Als Beispiele sind Zuckerrübenschnitzel und bestimmte Fraktionen bei der Stärkeherstellung zu nennen, die vor der Trocknung mittels mechanischer Einwirkung vorkonzentriert werden.

Im Folgenden sind die wesentlichen Trocknungsprozesse näher erläutert.

### 3.2.3.1 Sprühtrocknung

Bei der Sprühtrocknung wird das Feuchtgut in einer Zerstäubungseinrichtung (Zerstäuberscheibe, Hochdruckdüse, Rotationsdüse) in feine Tröpfchen zerstäubt und in den Sprühturm eingebracht. Über einen gekoppelten Wärme- und Stoffaustausch wird das in den Tröpfchen enthaltene Wasser verdampft. Die dafür benötigte Wärme wird konvektiv aus der Trocknungsluft übertragen.

Es entstehen Pulverpartikel mit einer über die Prozessführung einstellbaren Restfeuchte. Der Wasserdampf wird über die Trocknungsluft abgeführt. In nachgeschalteten Einrichtungen muss die mit Feuchtigkeit beladene Abluft aus dem Sprühturm von mitgerissenen Partikeln befreit werden, bevor sie an die Umgebung abgegeben werden kann.

Voraussetzung für den Einsatz in Sprühtrocknern ist die Pumpbarkeit des Feuchtguts. Dies ist gleichzeitig ein großer Vorteil dieses Verfahrens, da nur wenige andere Trocknungsverfahren pumpbare Feuchtgüter trocknen können. Der Prozess ist kontinuierlich und lässt sich voll automatisieren, außerdem treten nur relativ geringe Stillstandzeiten auf. So wirken Temperatureinstellungen bereits nach wenigen Minuten.

Bei Produktwechsel hingegen dauert das „Leerblasen“ des Turms häufig über eine Stunde. Diese für die energetische Analyse wichtigen Zeiten ohne Produktdurchsatz bei vollem Energieverbrauch werden im Abschnitt 3.3.5 näher betrachtet.

Neben einem großen Raumbedarf (insbesondere in der Höhe) stellen die relativ hohen Investitionen den größten Nachteil dieses Verfahrens dar. Bei Sprühtrocknern ist der thermische Wirkungsgrad aufgrund des Wärmeverlustes durch die Abluft generell geringer als bei Kontaktrocknern.

Neben dem einfachen Prozess haben sich zur Verbesserung der Energieausnutzung mehrstufige Prozesse durchgesetzt.

#### *Zweistufige Anlage*

Beim zweistufigen Prozess verlässt das Feuchtgut den Sprühtrockner mit einer erhöhten Restfeuchte, wodurch eine geringere Luftauslasstemperatur (und damit eine höhere thermische Effizienz) des Sprühturms sowie ein höherer

Produktdurchsatz realisierbar sind. Die Restfeuchte wird dem Gut in einem nachgeschalteten Wirbelschicht-Trockner (siehe Abschnitt 3.2.3.3), meist ein vibrierendes Wirbelbett, entzogen. Da das Gut relativ lange im Wirbelbett verbleibt, lässt es sich bei niedrigen Temperaturen auf eine geringe Restfeuchte trocknen. Durch eine Entfeuchtung der Zuluft zum Wirbelbett lässt sich die Restfeuchte weiter verringern.

### Mehrstufige Systeme

Um eine weitere Erhöhung der energetischen Effizienz zu erreichen, wurden mehrstufige Systeme entwickelt. Am Boden des Sprühturms ist ein statisches Fließbett installiert. Die Partikel werden im Turm soweit getrocknet, dass sie im fluidisierbaren Zustand den Boden des Turms erreichen (1. Stufe). Dort tritt über perforierte Bleche Trocknungsluft ein und erzeugt ein statisches Fließbett, in welchem die Pulverteilchen weiter trocknen (2. Stufe). Über Wandöffnungen wird weitere Trocknungsluft tangential eingeblasen, sodass eine spiralförmige Wandströmung ("Wandfegeluft") entsteht, die den Kontakt von Tröpfchen und Wand und damit Ablagerungen verhindert. Die Abluft wird bei mehrstufigen Anlagen in der Mitte des Bodens oberhalb des Fließbetts entnommen. Die bereits gute Trennung von Abluft und Pulver wird in einem (kleineren) Zyklon vervollständigt (3. Stufe). Ein nachgeschaltetes Wirbelbett oder ein Bandtrockner sorgt für die Resttrocknung und Kühlung des Pulvers (4. Stufe).

In Abbildung 3-15 ist ein Sprühturm mit Düsenzerstäubung, nachgeschaltetem Wirbelschichtkühler, integriertem Fließbett und Schlauchfilter dargestellt.

Seit Mitte der achtziger Jahre wurde die Integration des Sprühtrocknungs-Prozesses weiter vorangetrieben. So werden hochintegrierte Anlagen angeboten, die die Sprühtrocknung, Agglomeration und Nachtrocknung in einem Gerät bieten.

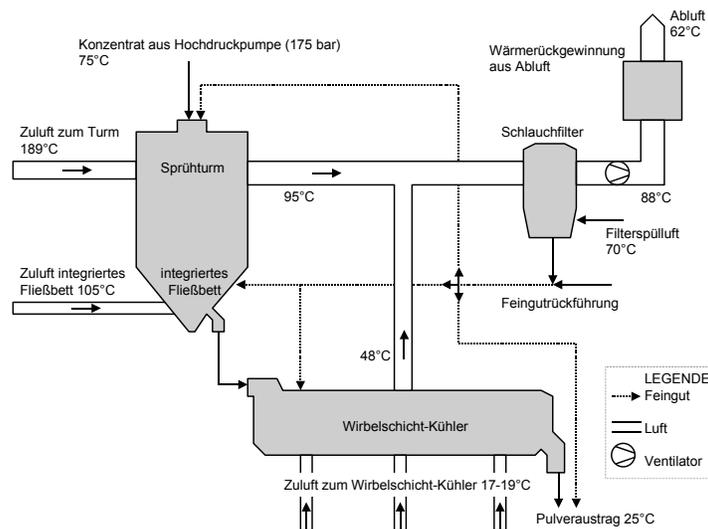


Abbildung 3-15: Schematische Darstellung eines Sprühturms für Molkepulver mit nachgeschaltetem Wirbelschichtkühler, integriertem Fließbett, Schlauchfilter in der Abluft und Düsenzerstäubung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

### **Rationelle Energienutzung bei der Sprühtrocknung**

Unterschiedliche Maßnahmen ermöglichen die Reduzierung des spezifischen Energieeinsatzes für die Trocknung von Lebensmitteln. Ob und inwieweit die im Folgenden dargestellten Maßnahmen für eine bestimmte Anlage in Betracht kommen, muss im Einzelfall geprüft werden. In jedem Fall ist eine Bestimmung des spezifischen Energiebedarfs hilfreich.

#### *Einfluss des Temperaturgefälles im Sprühturm*

Zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades bzw. zur Reduzierung des Wärmebedarfs sollte die Einlasstemperatur der Trocknungsluft so hoch wie möglich und die Austrittstemperatur so niedrig wie möglich eingestellt werden. Einer hohen Eintrittstemperatur sind aber insbesondere in der Ernährungsindustrie wegen der Temperaturempfindlichkeit der Trocknungsgüter Grenzen gesetzt. Die Verringerung der Austrittstemperatur geht meist mit einer höheren Restfeuchte im Pulver einher. Die Weiterverarbeitbarkeit des Pulvers in nachgeschalteten Anlagenteilen ist aber nur unterhalb einer gewissen Restfeuchte möglich. Dies begrenzt die minimale Austrittstemperatur der Trocknungsluft. Eine Abhilfe bieten mehrstufige Anlagen mit integriertem statischem Fließbett.

#### *Konzentration im Zulauf*

Die Vorkonzentration z.B. in einem Fallfilmeindampfer (Abschnitt 3.2.1.4) hat immer einen geringeren spezifischen Energiebedarf als die Trocknung in einem Sprühturm. Es ist deshalb notwendig, die Vorkonzentration auf die kleinstmögliche Restfeuchte zu betreiben. Eine Reduzierung des Restfeuchtegehalts von 50 % auf 40 % verringert den Energiebedarf für die anschließende Sprühtrocknung um 50 %. Da die steigende Viskosität der aufkonzentrierten Flüssigkeit die Grenze für den Einsatz von Eindampfern darstellt, bietet es sich an, die höher konzentrierte Flüssigkeit durch die wärmeren Stufen des Eindampfers zu leiten, was auch in der Praxis häufig geschieht.

#### *Vorwärmung des Feuchtguts*

Durch die Vorwärmung des Feuchtguts wird aufgrund der sinkenden Viskosität eine bessere Zerstäubung erreicht. Das höhere Temperaturniveau verhindert Kristallisationsprozesse im Feuchtgut vor dem Trocknen, wie sie z.B. bei bestimmten Molke- oder Eiweißprodukten auftreten können. Falls die Vorwärmung bereits in vorgeschalteten Prozessen (Eindampfen, Homogenisieren) stattfindet oder ohne zusätzlichen Energieeinsatz mit Abwärme aus anderen Prozessen erfolgen kann, sind Einsparungen möglich. Häufig können dafür die Brühdämpfe der letzten Stufe des Eindampfprozesses benutzt werden. Eine andere, weniger ergiebige Wärmequelle zur Vorwärmung ist ein Nasswäscher.

#### *Strahlungs- und Konvektionsverluste*

Eine Isolierung der Anlagen mit Feststoffen wie Mineralwolle zur Verringerung der Wärmeverluste nach außen ist in der Ernährungsindustrie nicht geeignet. In die Isolierung eindringendes Produkt (z.B. durch Leckagen) führt zu bakteriologischen

Risiken für die ganze Anlage. Üblich sind deshalb, leicht demontierbare Verkleidungen, die eine Luftschicht zur Sprühturmwand aufbauen und gleichzeitig Inspektionen der Turmwand ermöglichen. Durch geeignete Aufhängungen müssen Wärmebrücken vermieden werden. Die Isolationseigenschaften entsprechen denen einer Isolierung mit Mineralwolle. Wenn der Sprühturm relativ eng in das Gebäude eingepasst worden ist, die Türen wärmeisolierend ausgelegt sind und sich nur selten Personal dort aufhalten muss, bilden die Luftmasse und die Mauern eine genügende Isolation. Im Betrieb können dabei durchaus Raumtemperaturen von 40 bis 50 °C erreicht werden, es ist aber weiterhin eine sehr einfache Kontrolle der Turmwandung auf Leckagen möglich.

Alternativ kann die Zuluft für den Sprühturm aus dem Gebäude selbst angesaugt werden. Die an die Gebäudeluft übergegangene Wärme aus dem Prozess kann dadurch teilweise zurückgewonnen werden.

#### *Umluftbetrieb*

Bei halbgeschlossenen Anlagen wird ein Teil der Abluft gereinigt und wieder als Trocknungsluft für den Prozess verwendet. Ohne zusätzliche Entfeuchtung ist der Umluftbetrieb aber nur begrenzt möglich. Bei Nahrungsmitteln kommen hygienische Probleme hinzu, da im Kreislauf mitgeführte Partikel höheren Temperaturen ausgesetzt werden und so z.B. die Keimbildung verstärkt wird.

#### *Abluft als Verbrennungsluft*

Die warme Abluft aus dem Trocknungsprozess lässt sich als vorgewärmte Verbrennungsluft im Luftherhitzer für die Trocknungsluft nutzen. Dadurch wird der Brennstoffbedarf reduziert.

#### *Weitere Nutzung der Wärme der Abluft*

Die Wärme der Abluft lässt sich auf verschiedene Weise zur Vorwärmung der Zuluft nutzen. Bei örtlicher Nähe bieten sich Luft-Luft-Wärmeaustauscher an. Hierbei muss der Wärmeaustauscher (meist berippte Röhren) wegen der Staubbelastung der Abluft hinter der sekundären Filtereinrichtung (z.B. Textilfilter) angeordnet sein. Als Alternative bietet sich ein Wärmeträgerkreislauf an (häufig eine Wasser-Glykol-Mischung für Temperaturen < 130 °C). Dieser wird mit einem glatten und polierten Edelstahl-Röhren-Wärmeaustauscher auf der Luftseite realisiert. Diese Wärmeaustauscher können mit CIP-Anlagen (Cleaning In Place) ausgerüstet werden. Der apparative Mehraufwand lohnt sich bei relativ niedrigen Zulufttemperaturen und Ablufttemperaturen von 90 bis 130 °C.

#### *Wärmepumpen*

Zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft bieten sich insbesondere gasmotorisch betriebene Wärmepumpen an. Ein derartiges System lässt sich modular aufbauen (Erhöhung der Ausfallsicherheit): Ein bereits bestehender Wärmerückgewinnungskreislauf kann durch eine Wärmepumpe ergänzt werden, die mittels eines Gasmotors angetrieben wird. Eine vollständige Integration (mit hohem apparativem

Aufwand) beinhaltet dann die Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe und eine Abgaswärmenutzung beim Gasmotor.

#### *Wärmetransformatoren*

Prinzipiell bietet sich auch der Einsatz von Wärmetransformatoren an. Wärmetransformatoren nehmen einen Wärmestrom auf einem niedrigen Temperaturniveau auf und geben einen kleineren Wärmestrom auf einem höheren (nutzbaren) Temperaturniveau mit geringem Einsatz von Primärenergie ab (Prinzip einer Absorptionswärmepumpe). Insbesondere in den Temperaturbereichen konvektiver Trocknungsprozesse (Abwärme von 50 °C bis 60 °C und Nutzwärme von 120 °C bis 130 °C) versprechen Wärmetransformatoren einen effizienten Einsatz mit gutem Teillastverhalten. Sie sind bisher noch in der Entwicklungsphase oder nur als Pilotanlage realisiert und am Markt nicht verfügbar.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für Wärmetransformatoren sind die Nutzung der Brüdenwärme der letzten Stufe von Eindampfprozessen und von Kühl- und Reinigungswässern.

#### **3.2.3.2 Stromtrocknung**

In Stromtrocknern reißt strömende Warmluft die Feuchtgutpartikel mit, überträgt Wärme auf das Gut und führt den entstehenden Wasserdampf ab. In einem Staubabscheider (Zyklon oder Textilfilter) wird die befeuchtete Trocknungsluft anschließend vom Trockengut getrennt (siehe Abbildung 3-16).

#### *Einfacher Stromtrockner*

Der intensive Kontakt zwischen Feuchtgut und Warmluft ermöglicht einen sehr kurzen, intensiven Trocknungsprozess. Der einfachste Stromtrockner besteht aus einem geraden vertikalen Rohr mit rundem oder rechteckigem Querschnitt. Außenluft wird über einen Erhitzer erwärmt. Eine Zugabeeinrichtung dosiert das Feuchtgut in den Luftstrom. Die kleinen und leichteren Teilchen werden schneller nach oben befördert als schwerere Teilchen, die somit länger der Trocknungsluft ausgesetzt sind.

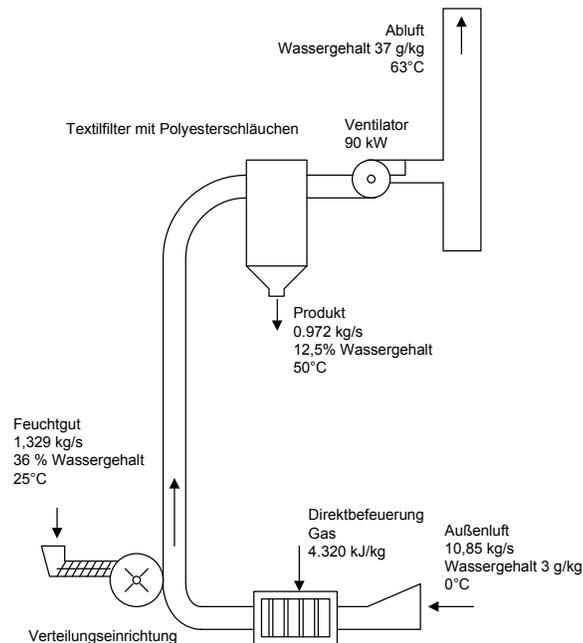


Abbildung 3-16: Einfacher Stromtrockner für Stärke mit Anlagenparametern (Quelle: Meyer et. al., 2000)

#### *Geringere Investitionen*

Die Investitionen, der Aufwand für Betrieb und Wartung und der Raumbedarf für einen Stromtrockner sind im Vergleich zu anderen konvektiven Trocknungsverfahren gering. Wegen der nur sehr kurzen Trocknungszeit kann bei den einfachen Stromtrocknern ausschließlich ungebundene Flüssigkeit entfernt werden, da die diffusiven Prozesse des Wassertransports und andere Vorgänge in der kurzen Zeit nicht ausreichend wirken können.

In der Ernährungsindustrie wird die Stromtrocknung häufig bei der Verarbeitung von Stärken, Proteinen, Kartoffelpüree, Futtermitteln und Soßenpulver eingesetzt. Generell eignen sich wegen der kurzen Trocknungsdauer viele temperatur-empfindliche Güter in pulveriger Form.

#### *Ringtrockner*

Als Weiterentwicklung des einfachen Stromtrockners ist der *Ringtrockner* zu verstehen (Abbildung 3-17). In dem ringförmig geführten Rohr wird das Trockengut durch Zentrifugalkräfte nach Feuchtegehalt klassifiziert: In der Luft schwebende Partikel werden nach Dichte (und damit nach Feuchtegehalt) separiert. Schwerere und feuchtere Partikel werden mit einem Teil der Trocknungsluft in den Kreislauf zurückgeführt, während ausreichend getrocknete (kleinere und leichtere) Partikel mit dem Rest der Trocknungsluft zu einem Zyklon transportiert wird. Dort wird die Trocknungsluft abgeschieden und das Produkt ausgetragen. Über Klappenstellungen kann so die gewünschte Restfeuchte der getrockneten Partikel eingestellt werden.

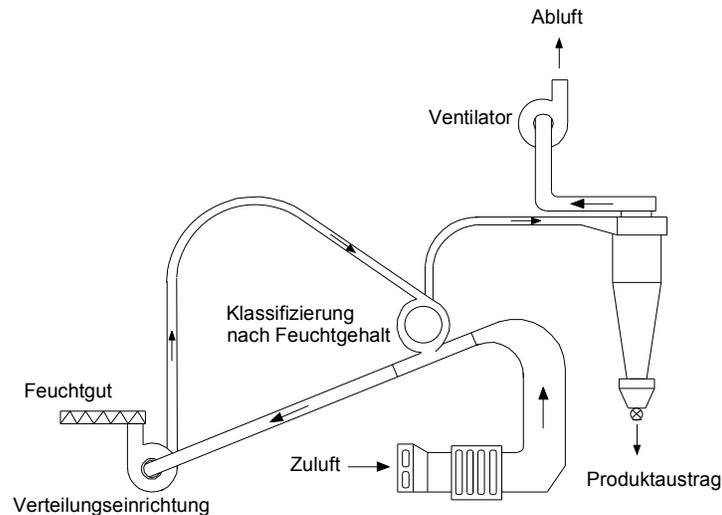


Abbildung 3-17: Ringtrockner (Quelle: Baker, 1997)

Durch die teilweise Kreislaufführung wird im Ringtrockner eine sehr schonende und gleichmäßige Trocknung von Gütern mit unterschiedlichen Partikelgrößen erreicht. Durch die im Vergleich zum Stromtrockner längere Verweildauer kann auch gebundene Flüssigkeit entfernt werden. Die im Kreis geführten Partikel werden nach Bedarf in einer Zerkleinerungsmühle bearbeitet, welche zudem durch Turbulenzerzeugung zum verbesserten Wärmeübergang beiträgt. So lässt sich die gewünschte Partikelgröße im Trockenprodukt recht genau einstellen.

Mit Ringtrocknern lassen sich höchste hygienische Anforderungen erfüllen. Die Leitungen werden von Luft und Feuchtgut bei hoher Geschwindigkeit gespült, sodass es bei sachgerechtem Betrieb selten zu Ablagerungen kommt. Das einzige kritische Anlagenteil ist die Zugabevorrichtung für das Feuchtgut, die regelmäßig gereinigt werden muss.

Aus dem einfachen Stromtrockner lassen sich weitere Bauformen ableiten. So gibt es zentrifugal wirkende Trockner, Kombinationen aus Steig- und Fallrohren, zyklonartige Trocknungskammern, Drallrohr Trockner etc., die aber in der Ernährungsindustrie nur sehr begrenzt zum Einsatz kommen.

### 3.2.3.3 Wirbelschicht- und Fließbettrocknung

Die Wirbelschicht- oder Fließbettrocknung beruht darauf, dass die Produktpartikel von einer vertikalen Luftströmung in einem Schwebezustand gehalten werden. Das schwebende Gut wird als fluidisierte Schicht (Wirbelschicht) bezeichnet, da sie Eigenschaften einer Flüssigkeit aufweist.

Bei einer Erhöhung der Zuluftgeschwindigkeit über das Fluidisierungsniveau hinaus strömt die Luft in Form von Blasen durch die Wirbelschicht und sorgt für eine gute Durchmischung der Schicht (siehe Abbildung 3-18).

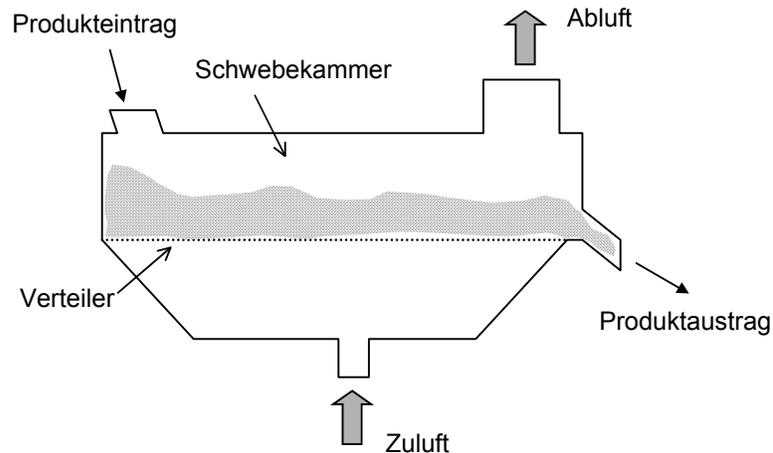


Abbildung 3-18: Schema eines Wirbelschichttrockners (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Wirbelschichten lassen sich zum Kühlen, Agglomerieren und Beschichten sowie insbesondere zum Trocknen von Partikeln nutzen. Wirbelschichttrockner können mit sehr großen Produktdurchsätzen (10 kg/h bis 100 t/h) vollautomatisiert betrieben werden. Aufgrund der geringen Anzahl mechanisch bewegter Teile ergeben sich lange Standzeiten und ein geringer Wartungsaufwand. Dem gegenüber steht ein hoher Aufwand für die Vergleichmäßigung und Stabilisierung der Wirbelschicht, insbesondere bei Grobpartikeln (Partikelgröße > 3 mm). Der gute Wärme- und Stoffaustausch in der Wirbelschicht ermöglicht kurze Trocknungszeiten (60 s bis 2 h) und eine homogene Temperaturverteilung im Wirbelbett. Es sind Partikelgrößen von 20 µm bis 5 mm verarbeitbar.

### Rationelle Energieverwendung bei der Wirbelschichttrocknung

Neben den bei allen Konvektionstrocknern üblichen Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft ergeben sich bei Wirbelschichttrocknern zusätzlich folgende Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieeinsatzes:

#### *Umluftbetrieb*

Durch Umluftführung eines Teils der Trocknungsluft lässt sich ein erheblicher Teil der zur Erwärmung der Luft notwendigen Energie zurückgewinnen. Die Umluft rate ist aus brandschutztechnischen Gründen sowie durch die begrenzte Wasseraufnahme der Mischluft eingeschränkt. Die Wasseraufnahme kann durch Entfeuchtung erhöht werden, die Wirtschaftlichkeit einer Entfeuchtungseinrichtung ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Bei temperaturempfindlichen Gütern muss die Umluft vor der erneuten Erwärmung mit Hilfe eines Zyklons und eines nachgeschalteten Filters von Partikeln getrennt werden. Ablagerungen von Guts partikeln im Kreislaufsystem müssen bei Umluftbetrieb durch konstruktive Maßnahmen vollständig vermieden werden.

### *Wärmeübertragung durch Konvektion und Wärmeleitung*

Eine Reduktion der Abwärme in der Fortluft kann durch eine gemischte Wärmeübertragung erreicht werden: Wärme wird durch Konvektion und Wärmeleitung zugeführt. D.h. ein Teil der Wärme wird zusätzlich über Rippen (in die Schicht eingebrachte Stäbe oder ähnliche Heizflächen) übertragen. Der Trocknungsluftstrom kann somit verringert werden. Auf diese Weise können bis zu 80 % der benötigten Wärme eingebracht werden.

### *Geschlossener Kreislauf des Trocknungsgases*

Der Einsatz inerter Trocknungsgase wie CO<sub>2</sub> erfordert einen geschlossenen Wirbelschichttrockner. Die Trocknung unter CO<sub>2</sub>-Atmosphäre bietet zum einen Qualitätsvorteile, da Luftsauerstoff biochemische Reaktionen im Trocknungsgut begünstigt, aufgrund derer die Farbe, der Geschmack und die Struktur des Guts negativ verändert werden können. Zum anderen müssen durch den geschlossenen Kreislauf keine Maßnahmen zur Reduzierung von Geruchsemissionen getroffen werden. Außerdem werden Wärmeverluste durch Abluft vermieden.

In einer Weiterentwicklung kann die Verdampfungswärme mittels einer Wärmepumpe zurückgewonnen werden. Dabei kondensiert die Feuchtigkeit im Gasstrom am Verdampfer der Wärmepumpe. Die von der Wärmepumpe aufgenommene Wärme wird nach der Kondensatabscheidung wieder größtenteils an den Gasstrom zurückgegeben, sodass der Energieeinsatz zur Gaserhitzung reduziert wird.

Zusätzliche Investitionen entstehen im Vergleich zu herkömmlichen Trocknern durch die hermetische Bauweise des Trockners, spezielle Eingabe- und Austragsschleusen für das Gut und den apparativen Aufwand für die Wärmepumpe. Darüber hinaus verursacht die Kapselung der Anlage einen erhöhten Reinigungsaufwand. Auf einer solchen Anlage lassen sich insbesondere hochwertige und stückige Produkte trocknen, wie Fleisch, Fisch, Schalentiere, Gewürze, Pilze u.ä., die ansonsten typischerweise gefriergetrocknet werden.

#### **3.2.3.4 Kontakt Trocknung**

In Kontakt Trocknern wird das Feuchtgut durch direkten Kontakt mit einer heißen Oberfläche getrocknet. Die Wärme wird größtenteils durch Wärmeleitung übertragen. Der Gasvolumenstrom kann deutlich kleiner als bei Konvektionstrocknern gewählt werden, da das Gas nicht Wärmeträger ist, sondern nur zum Abtransport der Feuchte (Wasserdampf) dient. In der Regel wird ein Teil der benötigten Wärme aber auch durch das Gas mittels Konvektion eingebracht. Der Übergang vom reinen Kontakt Trockner zum Konvektionstrockner ist daher fließend. Je nach Temperatur- und Druckniveau erfolgt die Trocknung als Verdampfung oder Verdunstung (vgl. Abschnitt 3.2.3.3).

Kontakt Trockner werden insbesondere bei temperaturempfindlichen und teuren Produkten mit geringen Produktdurchsätzen benutzt. Auch besondere Eigenschaften

des Feuchtguts oder bestimmte Emissionsschutz- bzw. Umweltschutzanforderungen können den Einsatz von Kontaktrocknern erforderlich machen.

Eine grobe Einteilung der Kontaktrocknungsverfahren kann nach der Form des Feuchtguts und der Art, wie es mit der wärmeübertragenden Fläche in Kontakt gebracht wird, erfolgen:

- Auf Walzen- oder Zylindrocknern werden flüssige, breiige und pastöse Feuchtgüter (mit ausreichendem Wärmeleitungsvermögen) als Dünnschicht getrocknet.
- In Vibrationskontaktrocknern, Röhren- bzw. Trommelrocknern werden Feuchtgüter mit festen, nicht zu großen Partikeln und Pasten als Umschaulschicht getrocknet.

Auf einem Teller, Band oder einer Platte lassen sich sonstige Feuchtgüter als ruhende Schicht ggf. unter Vakuum trocknen.

### **Walzentrockner**

Walzentrockner (siehe z.B. Abbildung 3-19) eignen sich insbesondere für den kontinuierlichen Betrieb und werden für fließfähige Feuchtgüter in der Ernährungsindustrie verwendet. Durch verschiedene Methoden der Feuchtgut-Zufuhr lassen sich Produkte unterschiedlicher Viskosität verarbeiten. Insbesondere temperaturempfindliche Produkte (z.B. Babynahrung) können mit dem Walzentrockner verarbeitet werden, da das Feuchtgut aufgrund des dünnen Films nur kurz höheren Temperaturen ausgesetzt werden muss. Die Haftung des Feuchtguts am Walzenmaterial ist Voraussetzung für die Trocknung und hängt von verschiedenen Eigenschaften des Gutes ab (Benetzungsfähigkeit, Oberflächenspannung, Viskosität). Durch Vorkonzentration oder Zugabe von Zusatzstoffen lassen sich in einigen Fällen diese Eigenschaften an die Erfordernisse des Walzentrockners anpassen.

Bei der Walzentrocknung wird ein dicker Film des Feuchtguts auf die Walze aufgebracht, die langsam (typischerweise mit 4 bis 20 Umdrehungen pro Minute) rotiert. Während 80 % der Umdrehung bleibt das Feuchtgut an der Walze haften, bis es als flocken- oder schuppenförmiges Trockengut abgeschabt wird. Die Walze wird von innen z.B. mit Dampf beheizt.

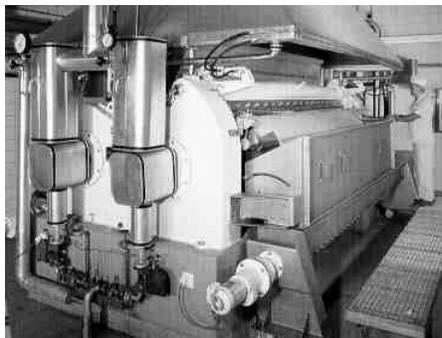


Abbildung 3-19: Walzentrockner für Vollmilchpulver (Foto: Wetzell)

Um einen gleichmäßigen Film zu gewährleisten, darf die Schichtdicke ein Mindestmaß nicht unterschreiten. Bei zu großen Filmdicken besteht die Gefahr, dass das Feuchtgut an der Walzenoberfläche durch Überhitzung verkrustet. Zudem kann die notwendige Trocknungszeit wegen verlängerter Diffusionswege des Wassers zunehmen.

Walzentrockner werden üblicherweise unter Umgebungsdruck eingesetzt, lassen sich aber auch in einer Vakuumkammer betreiben.

### **Rationelle Energienutzung bei der Kontakttdrocknung**

Die Beheizung der Heizflächen von Kontakttdrocknern erfolgt üblicherweise über Wärmeträger (Thermoöl, Heißwasser, Dampf). Gasförmige Heizmittel lassen sich nur bei großen Volumendurchsätzen und stark vergrößerten Oberflächen (Rippen) sinnvoll einsetzen. Bei der Verwendung von Dampf ergeben sich nur dann gute Wärmeübergangszahlen, wenn die sich bildende Kondensatschicht dünn bleibt, also keinen zusätzlichen Widerstand zum Wärmeübergang bildet. Deshalb muss dafür gesorgt werden, dass sich eine ausreichend große Ablaufgeschwindigkeit (Neigung) einstellt und der Heizdampf nicht bereits als Nassdampf eintritt.

Im Heizdampf können Luftblasen (z.B. aufgrund von Leckagen) bei zu geringen Dampfgeschwindigkeiten Nester bilden und den Wärmeübergang behindern. Der Eintritt von Luft in Stillstandzeiten lässt sich allerdings nur sehr schwer verhindern.

### **3.2.3.5 Dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung**

Bei der dielektrischen Trocknung wird im feuchten Gut Energie aus einem elektrischen Hochfrequenz-Feld in Wärme umgewandelt. Der Begriff *dielektrische Trocknung* bezieht sich auf den Frequenzbereich von 1 bis 100 MHz, während zwischen 300 MHz und 300 GHz in der Regel von *Mikrowellentrocknung* gesprochen wird.

Dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung bieten den Vorteil der volumetrischen Erwärmung des Guts und der Vergleichmäßigung der Feuchteverteilung im Gut. Die hohen Energiekosten und Investitionen schränken diese Verfahren in der Regel auf die Verarbeitung von Gütern hoher Qualität mit mittleren Durchsätzen oder von Produkten mit schlechter Wärmeleitfähigkeit ein.

#### *Kombination mit konventionellen Verfahren*

Trotz des hohen apparativen Aufwands und des ausschließlichen Einsatzes hochwertiger elektrischer Energie haben sich dielektrische Trocknung und Mikrowellentrocknung speziell in Kombination mit konventionellen Verfahren bewährt. Die Kombination mit der Vakuumtdrocknung ist allerdings nur im Mikrowellenbereich möglich, da bei niedrigen Frequenzen und bei sinkendem Druck die Neigung zu Gasentladungen zunimmt. Die Verbindung von dielektrischer Trocknung mit konduktiven Verfahren und der Trocknung durch Wärmestrahlung ist bisher nicht erfolgreich eingesetzt worden.

Das Verhältnis von konvektiver zu dielektrischer Trocknung (Aufteilung der Wasserverdampfung) ist maßgeblich für die Effizienz des kombinierten Prozesses. Die Verbesserung des Feuchtetransports durch dielektrische Trocknung hängt dabei stark von der Struktur des Feuchtguts ab. Es haben sich folgende Kombinationen bewährt:

#### *Vorwärmung*

Vor dem Beginn der konventionellen Trocknung erwärmt der dielektrische Trockner das Feuchtgut vorwiegend im Innern bis auf Verdampfungstemperatur. Hierdurch wird Feuchtigkeit an die Guts Oberfläche gedrängt und der konventionelle Trockner kann ohne Vorwärmphase direkt im optimalen Bereich arbeiten. Die Trocknungsrate ist höher und die Trocknungszeit kürzer.

#### *Haupttrocknung*

Im Trocknungsabschnitt mit fallender Trocknungsgeschwindigkeit (bereits trockene Guts Oberfläche und Trocknungsfront im Innern des Guts) kann der dielektrische Trockner als Unterstützung eingesetzt werden. Die sich im Inneren des Gutes befindende Feuchtigkeit wird direkt verdampft und unter Umgehung langsamer Diffusionsprozesse an die Oberfläche gedrängt. Bei dicken und schlecht leitenden Materialien ist diese unterstützende Wirkung besonders effizient.

#### *Nachtrocknung*

Der dielektrische Trockner kann auch zur Nachtrocknung benutzt werden. Die Restfeuchte kann dabei unter Vermeidung von Überhitzung sehr genau eingestellt werden.

### **3.2.3.6 Gefriertrocknung**

Die Trocknung von Nahrungsmitteln durch Verdampfen hat oftmals einen wesentlichen Einfluss auf deren Erscheinungsbild, Farbe und Geschmack. Bei Instant-Produkten stellt die Wiederaufnahme von Wasser den Ausgangszustand nicht immer zufriedenstellend her, da sich wasserundurchlässige Schichten im Trockenprodukt bilden können. Die Gefriertrocknung bietet eine interessante Alternative, bei der Geschmack, Nährstoffe und Form des Trockenproduktes weitgehend erhalten bleiben.

Die Gefriertrocknung läuft in drei Schritten ab:

1. Einfrieren des Feuchtguts. Dies geschieht entweder durch Kühlung mit Kältemitteln oder durch das Verdampfungsgefrieren. Bei letzterem wird durch die Erzeugung eines Teilvakuums der Partialdruck des Wasserdampfes abgesenkt. Dadurch verdampft das Wasser und entzieht dem Feuchtgut Wärme, bis das Gut einfriert.
2. Sublimation des Wassers. Unter Hochvakuum (bei Drücken unterhalb des Tripelpunktes von Wasser) sublimiert das Wasser. Dem Gut wird gerade so viel

Wärme zugeführt, dass die durch die Sublimation entzogene Wärme ersetzt wird. Um die Sublimation zu beschleunigen, wird die Temperatur so hoch wie möglich eingestellt, ohne dass das Gut dabei auftaut. Um das Vakuum zu halten, muss der Wasserdampf abgeführt werden. Dafür werden Vakuumpumpen und Eiskondensatoren eingesetzt.

3. Desorption der Restfeuchte: Die Trocknung der Restfeuchte erfolgt unter Vakuum und Erwärmung des Gutes auf 40 bis 60 °C.

### **Rationelle Energienutzung bei der Gefriertrocknung**

Der größte Energieeinsatz bei der Gefriertrocknung wird für die Entfernung des Wasserdampfes benötigt. Diese wird durch eine Kombination der Kondensation von Eis an gekühlten Kondensatorflächen und der Absaugung der Brüden aus der Trockenkammer erreicht.

Um den Energiebedarf möglichst gering zu halten, ist auf folgende Bedingungen zu achten:

- *Kurze Leitungen*  
Da die großen Brüden volumina im Vakuum (1 ml Eis wird zu 1.000 l Wasserdampf) nur mit einem geringen Dampfdruckgefälle abgeführt werden können, müssen die Leitungen vom Trockenraum zur Kondensatoroberfläche möglichst kurz sein und einen hohen Querschnitt aufweisen.
- *Regelmäßige Enteisung*  
Die Eisschicht auf der Kondensatoroberfläche sollte regelmäßig abgeschabt werden, um die Temperaturdifferenz durch den Wärmewiderstand der Eisschicht gering zu halten. Bei großen Anlagen bietet sich der Einsatz zweier im Wechsel betriebener Kondensatoren an.
- *Zeitlicher Versatz*  
Kritisch ist der ungleichmäßige Bedarf an Kälte, mechanischer Energie und Wärme. Durch zeitlichen Versatz des Chargenbetriebs mehrerer Gefriertrockner und den Einsatz von Kälte- und Wärmespeichern lässt sich der Energiebedarf der Anlagen vergleichmäßigen. Es bietet sich der Einsatz von Wärmepumpen zur Kälte- und Wärmelieferung an.

### *Nutzung von Restwärme*

Der hohe Bedarf an Wärme auf niedrigem Temperaturniveau (bei der Nach Trocknung ca. 40 bis 60 °C, während der Sublimation zwischen 10 und 100 °C) kann u.U. durch Abwärme aus anderen Prozessen gedeckt werden.

### 3.2.4 Homogenisierung

Ein wichtiger Prozess in der Milchindustrie ist die Homogenisierung. Rohmilch neigt, wie alle Emulsionen, zum Aufrahmen, da das enthaltene Fett teilweise in großen Tropfen vorliegt. Dieser unerwünschte Effekt wird durch eine Homogenisierung unterbunden bzw. stark verlangsamt.

Bei der Homogenisierung wird die Milch unter hohem Druck durch enge Spalte gedrückt, die nur wenig größer als die Fettkugeldurchmesser selbst sind. Bei den typischen Vordrücken von bis zu 300 bar kommt es im engsten Spaltbereich unter starkem Druckabfall zu einer Beschleunigung der Flüssigkeit auf Geschwindigkeiten von bis zu 250 m/s. Dabei treten enorme Scherkräfte und z.T. auch Kavitation auf. Die größeren Fettkügelchen deformieren und zerfallen letztlich in kleinere Tröpfchen von weniger als 1 µm Durchmesser. Die Anzahl der Fettkügelchen steigt dabei um den Faktor 400 bis 1.000 an.

Das Kernstück eines Homogenisators ist die dreizylindrige Hochdruck-Kolbenpumpe mit zwei Homogenisierstufen. Neben dreizylindrigen Kolbenpumpen werden aus Gründen gleichmäßigerer Fördercharakteristika auch fünf- und siebenzylindrige eingesetzt.

#### *Zweistufiges Homogenisieren*

Das zweistufige Homogenisieren dient dazu, die zerkleinerten Fettkügelchen, die sich teilweise nach der ersten Stufe zu Agglomeraten vereinigen, wieder zu dispergieren. Durch geeignete Düsenkonstruktionen sowie den Einsatz von Prall- und Druck-einstellringen ist es auch möglich, beide Effekte (Fettkugelzerkleinerung und Dispergierung) in einer Stufe zu vereinigen. Die meisten Homogenisiermaschinen arbeiten jedoch mit dem beschriebenen zweistufigen Verfahren. Die prozess-technisch optimale Temperatur für die Homogenisierung liegt zwischen 60 und 70 °C.

Der Leistungsbedarf der Homogenisierung ist direkt proportional zum Volumenstrom und zur aufgebrauchten Druckerhöhung. Bei einer mittleren Vollmilchdichte von 1.015 kg/m<sup>3</sup> und einer Temperatur von 60 °C ergibt sich ein massenspezifischer Energiebedarf von 12,3 bis 24,6 kJ/kg bezogen auf die homogenisierte Milch.

Für die Prozessoptimierung aus energiewirtschaftlicher Sicht bieten sich mehrere Ansatzpunkte:

#### *Teilstromhomogenisierung (Simultanes Homogenisieren und Mischen)*

Bei der Teilstromhomogenisierung werden nur 18 bis 27 % des Gesamtmilchstromes homogenisiert, die sich aus dem abgeschiedenen Rahm und einer definierten Menge an Magermilch zusammensetzen. Nach der Homogenisierung wird diesem Teilstrom mit hohem Fettgehalt erneut Magermilch zugeführt, um den gewünschten Fettgehalt einzustellen. Für Frischmilch ist das Prozessergebnis völlig ausreichend. Der Energiebedarf wird so im Vergleich zur Vollstromhomogenisierung um 75 bis 80 % reduziert.

### *Druckreduzierung*

Die Gestaltung der Düsen und Ventile ist von besonderer Bedeutung für die Höhe des erforderlichen Vordrucks bei der Homogenisierung.

Am schlechtesten schnitten in Versuchsreihen Schrägventilsitze mit erforderlichen Drücken von über 400 bar ab. Bei Mehrkantenventilen waren immer noch Drücke über 225 bar nötig, um den angestrebten Homogenisierungsgrad zu erreichen. Das beste Ergebnis lieferte das Einkantenventil mit Prallring bei Drücken um 120 bar.

### *Kühl- und Schmierwassereinsatz*

Bei älteren Maschinen wird der Kühlwasserstrom häufig bei Produktionsbeginn eingeschaltet. Eine einfache Thermostatschaltung behebt diesen Mangel und führt im Jahresmittel zu einer nicht unerheblichen Einsparung an Kühlwasser. Kühl- und Schmierwasser können, anstatt direkt ins Abwasser geleitet zu werden, einem Kreislauf zugeführt bzw. zwischengespeichert und als Vorspülwasser in der Reinigung genutzt werden.

### *Ultraschalltechnologie*

Im Bereich der Homogenisierung ist die Prozessgestaltung mittels Ultraschall eine innovative Technologie. Dabei wird die nötige Energie durch eine im Ultraschallfrequenzbereich mit 20 bis 30 kHz schwingende Membran auf die Milch übertragen. Es bilden sich innerhalb der Flüssigkeit kleine Hohlräume aus, die nach einem bestimmten Energieeintrag implodieren, wodurch die Fettkügelchen ähnlich wie bei der Kavitation zerrissen werden.

## **3.2.5 Thermische Konservierung**

Die thermische Konservierung von Lebensmitteln erfolgt in der Regel durch eine rasche Abfolge von Erwärmungs- und Abkühlprozessen. Entsprechend gehören diese zu den energieintensivsten Prozessen innerhalb der Ernährungsindustrie. Im Folgenden werden die Pasteurisation sowie die Ultrahocherhitzung detaillierter behandelt.

### **3.2.5.1 Pasteurisation**

Bei der Pasteurisation wird das Produkt zunächst erhitzt und nach einer definierten Verweilzeit abgekühlt. Hierfür werden für flüssige Nahrungsmittel Plattenwärmeaustauscher eingesetzt.

#### *Energieeinsparung durch internen Wärmeaustausch*

Der zu erwärmende Produktstrom wird durch den bereits pasteurisierten Produktstrom vorgewärmt. Die notwendige Restaufheizung sowie Restkühlung hängt von der Größe der Wärmeübertragungsflächen und der Höhe des Massendurchsatzes ab. Die optimale Größe des Wärmeübertragers ergibt sich aus

der Abwägung der erreichbaren Kosteneinsparung gegenüber den damit verbundenen Investitionen.

Der Anteil der intern übertragenen Wärme an der insgesamt notwendigen Heizwärme wird als Wärmerückgewinn bezeichnet. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten kann ein maximaler Wärmerückgewinn von etwa 90 % erreicht werden.

#### *Heißabfüllung*

Bei „Heißabfüllungen“ kann der zu erwärmende Produktstrom nicht durch den pasteurisierten Produktstrom vorgewärmt werden, da das Produkt unmittelbar nach der Erhitzung z.B. in Flaschen abgefüllt wird (Säfte etc.). Die anschließende Kühlung liefert nur Wärme auf niedrigem Temperaturniveau. Dies liegt zum einen daran, dass der kalte Produktstrom nicht mehr direkt durch den heißen vorgewärmt wird, sondern ein Kühl-/Heizmedium zwischengeschaltet werden muss (zweifacher Wärmeübergang), zum anderen lassen sich solche (Kühl-) Systeme nur mit einigem technischen Aufwand energetisch optimal betreiben. Dementsprechend niedrig fällt der erzielbare Wärmerückgewinn aus.

#### *Pasteurisation von abgepackten Produkten*

Die Pasteurisation von bereits fertig abgepackten Produkten kann je nach Verpackungsart mit warmer Luft oder Heißwasser erfolgen. Ausschlaggebend für einen möglichst geringen Energieeinsatz ist die ausreichende Isolation der entsprechenden Anlagen bzw. Räumlichkeiten (Hot-room, Autoklav etc.) sowie – bei Chargenproduktion – die Möglichkeit, das eingesetzte heiße Wasser o.ä. zu speichern. Eine Wärmerückgewinnung, wie oben beschrieben, kann hier nur mit hohem Aufwand realisiert werden.

### **3.2.5.2 Ultrahoherhitzung**

Die unter dem Einsatz der Ultrahoherhitzung (UHT = ultra high temperature) erzeugten Produkte sind vorwiegend H-Milch, H-Sahne bzw. H-Kondensmilch und H-Kaffeesahne. Daneben wird die UHT-Erhitzung auch bei der Käseeremilchproduktion in Verbindung mit der Entkeimungsseparation (Baktofugierung) angewendet. Die Milch wird bei der UHT-Erhitzung in der Regel für 2 bis 4 Sekunden auf 135 bis 150 °C erhitzt. Hierzu werden zwei unterschiedliche Verfahren eingesetzt:

#### **Direkte UHT-Erhitzung**

Beim direkten Verfahren wird entweder eine Dampf-in-Milch-Injektion oder eine Milch-in-Dampf-Injektion vorgenommen. Im ersten Fall wird über eine Mischkammer Frischdampf in den auf etwa 75 °C vorgewärmten Milchstrom eingeblasen, im zweiten Fall läuft die Milch als frei fallender Film aus auf der Unterseite geschlitzten Rohren oder als versprühte Tröpfchen in eine mit Sattdampf gespeiste Kammer. In beiden Mischungsvarianten muss der Dampf und dementsprechend das Speisewasser einen hohen Reinheitsgrad haben. Der Sattdampf kondensiert bei der

Mischung vollständig, gibt dabei seine latente Wärme an die Milch ab und verdünnt diese.

Der Vorteil der direkten UHT-Erhitzung liegt in den extrem kurzen Aufheizzeiten von unter einer Sekunde. Das von der Milch aufgenommene Wasser wird anschließend durch Expansionsverdampfung unter Vakuum wieder entzogen und somit die ursprüngliche Zusammensetzung der Milch hergestellt. Der Entspannungsdampf und die behandelte Milch sollten zur Vorwärmung der Rohmilch genutzt werden.

Abbildung 3-20 zeigt beispielhaft einen Prozess zur H-Milch-Herstellung mit integrierter aseptischer Homogenisierung.

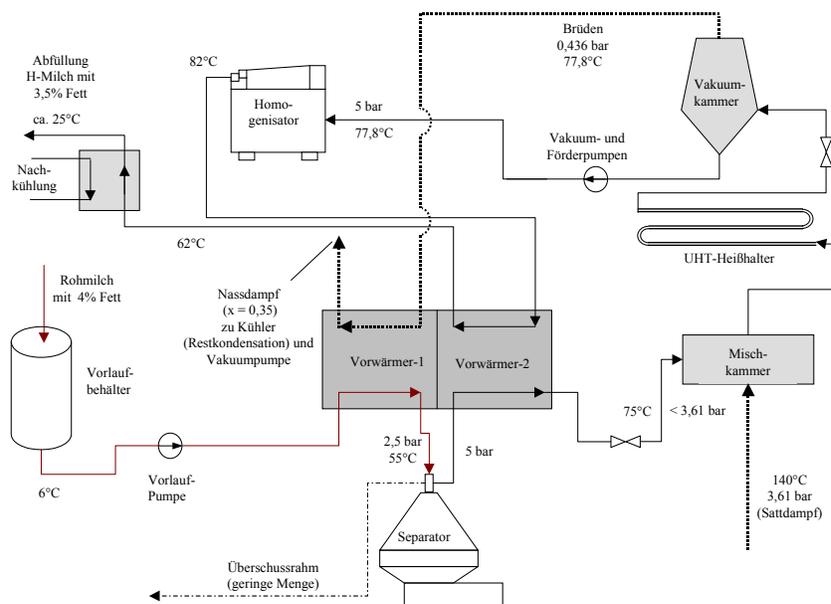


Abbildung 3-20: Komponenten und Verschaltung bei der Herstellung von H-Milch mit direkter UHT-Erhitzung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

### Wärmebedarf

Der theoretische spezifische Mindestenergiebedarf pro Produktmenge liegt bei der direkten UHT-Erhitzung bei ca. 274 kJ/kg. Hinzu kommt noch der elektrische Energiebedarf für die Vakuumpumpen sowie die Rohmilchzulaufpumpe. Je nach Anlage kann durch die Gestaltung der Brüdenkondensation auch auf die Vakuumpumpe verzichtet werden.

### Indirekte UHT-Erhitzung

UHT-Erhitzungsanlagen mit indirekter Produkterhitzung arbeiten prinzipiell ähnlich wie Pasteurisationsanlagen. Für die Wärmeübertragung auf das Produkt werden dabei sowohl Platten- als auch Röhrenwärmeübertrager eingesetzt. Als Vorteil der Röhrenbauform gelten die geringeren Abdichtungsprobleme bei gleichzeitig höherer Druckbelastbarkeit, die größeren Produktfließgeschwindigkeiten und die daraus resultierende kurze Aufheizzeit und Verweildauer. Als Nachteil ist der schlechtere Wärmedurchgangskoeffizient zu sehen.

Abbildung 3-21 zeigt beispielhaft das Prozessschema einer indirekt arbeitenden UHT-Erhitzung mit einem zwischengeschalteten Wasserkreislauf.

#### Wasserkreislauf statt Dampfeinspritzung

Im Gegensatz zur direkten UHT-Erhitzung entfällt die produktseitige Druckerhöhung. Da das Wasser im heißen Teil der Anlage bei jedem Umlauf auf Steril-Temperatur erhitzt wird, sind Reinfektionen hier praktisch ausgeschlossen. Die klassische indirekte UHT-Anlage wird üblicherweise nicht über 140 °C betrieben, um eine Ansatzbildung der Milchproteine zu vermeiden.

Der Wasserkreislauf gewährleistet sowohl die ausreichende Kühlung des Produktes bis auf Verpackungstemperatur, als auch die Produktvorwärmung vor der eigentlichen UHT-Erhitzung auf bis zu 127 °C (Wärmeintegration). An die Stelle der Vakuumpumpen tritt die Wasserumwälzpumpe und ggf. noch eine weitere Produktförderpumpe zur Überwindung der Druckverluste in den zusätzlichen Wärmeaustauschern.

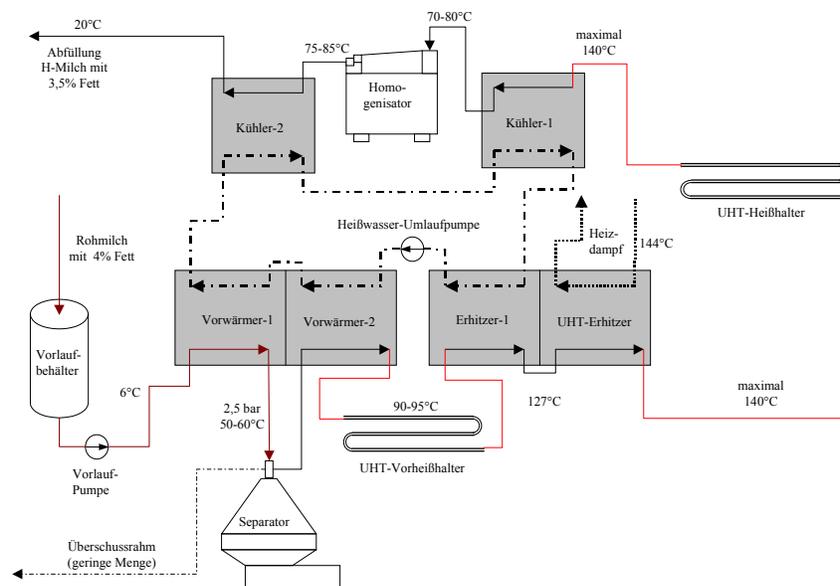


Abbildung 3-21: Komponenten und Verschaltung bei der Herstellung von H-Milch mit indirekter UHT-Erhitzung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

#### Niedriger Wärmebedarf

Unter der Annahme gleicher Wärmekapazitätsströme ergibt sich für diese Variante ein theoretischer Wärmebedarf von 53,2 kJ/kg, also weniger als ein Fünftel des Wärmebedarfs der direkten Prozessvariante. Eine Nachkühlung des fertig wärmebehandelten Produktes entfällt ganz.

Nachteilig zeigen sich bei der indirekten UHT-Erhitzung die bei der vergleichsweise langen Vorheizhaltung der Milch entstehenden geschmacklichen Einbußen (typischer Kochgeschmack der H-Milch), die von vielen Konsumenten nicht toleriert

werden. Ferner werden bei der oben erwähnten oberen Temperaturbegrenzung von 140 °C nicht alle Keime, insbesondere Sporen, sicher deaktiviert.

Aus diesem Grund sind in den letzten Jahren vermehrt verschiedene hygienisch sicherere und gleichzeitig produktschonendere UHT-Anlagen entwickelt worden, die mit einer indirekten Vorwärmung auf 130 bis 140 °C und einer anschließenden Dampf-injektion auf etwa 150 °C arbeiten. Die notwendige Entspannungsverdampfung kann vor oder nach der Dampf-injektion erfolgen. Mit diesen kombinierten Verfahren ist ein zwischen 20 und 75 % höherer Wärmerückgewinn als bei der alleinigen direkten Erhitzung über Dampf-injektion erreichbar.

### **3.3 Querschnittstechniken**

Die sogenannten Querschnittstechniken spielen in der Ernährungsindustrie eine bedeutende Rolle. Es sind diese Versorgungstechniken, die einen großen Teil des betrieblichen Energiebedarfs verursachen und in denen oftmals die größten Optimierungspotenziale zu finden sind. In den Abschnitten 3.3.1 bis 3.3.11 wird auf folgende Bereiche detailliert eingegangen, wobei ein Schwerpunkt auf die Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz gelegt wird:

- Dampf- und Warmwasser- und Thermoölversorgung
- Heizungs- und Lüftungsanlagen
- Kälteerzeugung, Kühlung und Klimatisierung
- Wärmerückgewinnung
- Druckluft
- elektrische Antriebe und Pumpen
- Beleuchtung
- Kraft-Wärme-Kopplung und Erneuerbare Energien
- Gebäude – Umbau und Neubau.

Des Weiteren werden abschließend in diesem Abschnitt organisatorische und allgemeine Maßnahmen vorgestellt.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Empfehlungen sind selbstverständlich von jedem Verantwortlichen auf ihre Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen. Es hängt von den jeweiligen Gegebenheiten in einem Unternehmen ab, welche Maßnahmen sinnvoll und praktikabel sind.

#### **3.3.1 Dampf-, Heißwasser- und Thermoölversorgung**

In der Ernährungsindustrie werden in der Regel die Wärmeträger Dampf, Heißwasser oder Thermoöl bzw. Luft eingesetzt. Die Bereitstellung von Dampf, Thermoöl und Heißwasser erfolgt üblicherweise durch zentrale Kessel. Das Spektrum der eingesetzten Kessel reicht von neuen, über teilmodernisierte bis hin zu ca. 15-20

Jahre alten Dampferzeugungsanlagen. Hieraus ergibt sich teilweise ein Potenzial zur Kesselerneuerung bzw. Modernisierung, da heutige Kessel mit automatischen Steuerungen und effizienter Peripherie weniger Energieverluste aufweisen als ältere Systeme.

Durch Veränderungen in der Produktion bzw. bereits umgesetzte Energieeffizienzmaßnahmen sind die Kessel häufig überdimensioniert. Die geringe Kesselauslastung führt zu einem ungünstigen Regelverhalten und entsprechenden Energieverlusten sowie zu erhöhtem Verschleiß und Instandhaltungsaufwand.

### **Parameteroptimierung**

Die erzeugten Drücke bzw. Temperaturen entsprechen häufig nicht dem jeweiligen Bedarf der angebundenen Verbraucher. Hierdurch ergeben sich entsprechende Verluste bei der Erzeugung bzw. Verteilung von Wärme. Untersuchungen der Kesselparameter und ihrer optimalen Anpassung ergaben, dass fast immer eine Absenkung des Druckniveaus möglich ist bzw. bereits realisiert werden konnte. In einigen Fällen ist eine dezentrale Versorgung einzelner Anlagen auf hohem Druck- bzw. Temperaturniveau sinnvoll, um eine weitere Parameteroptimierung der zentralen Versorgungsanlage gewährleisten zu können.

### **Wärmedämmung**

In einigen Betrieben ist die Wärmedämmung der Wärmeerzeuger, Rohrleitungen des Versorgungsnetzes sowie angebundener Produktionsanlagen verbesserungswürdig. An Armaturen, Ventilen bzw. Flanschverbindungen können spezielle Isolierformteile bzw. -manschetten eingesetzt werden, die bei Wartung und Instandhaltungsarbeiten leicht entfernt bzw. anschließend wieder angebracht werden können. Auch an Produktionsanlagen ist – manchmal mit Einschränkungen – eine nachträgliche Wärmedämmung sinnvoll.

### **Economizer**

Insbesondere hohe Abgastemperaturen am Kessel führen zu großen Wärmeverlusten. Diesbezüglich werden bereits vielfach sogenannte Economizer zur Speisewassererwärmung durch Abkühlung der Kesselabgase eingesetzt. Durch Einbindung zusätzlicher Abgaswärmeübertrager kann benötigtes Kesselzusatzwasser bzw. Produktionswasser erwärmt werden. Bei Abkühlung der Abgase unterhalb des Taupunktes im Rahmen einer Brennwertnutzung müssen die Abführung anfallender Kondensatmengen bzw. eventuelle Schwierigkeiten durch den reduzierten Kaminzug berücksichtigt werden, sodass unter Umständen die Nachrüstung eines Edelstahlkamins bzw. eines Abgasventilators zur Zwangsventilation erforderlich ist.

### **Kondensat und Speisewasser**

Defekte Kondensatableiter führen häufig zu erheblichen Wärmeverlusten. Daher sollten diese regelmäßig überprüft bzw. bei Bedarf ausgetauscht werden. Die Funktion von Kondensatableitern kann entweder durch Verwendung spezieller Ultraschall-Messsysteme oder Thermographieaufnahmen getestet werden.

Potenziale im Bereich der Speisewasseraufbereitung werden vor allem in der Einführung neuerer Techniken gesehen. Aufgrund unzureichender Speisewasserqualität kann es an Dampfkesseln zu hohen Abschlamm- und Absalzmengen kommen. In diesem Zusammenhang sollten Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung zur Vorwärmung von Kesselzusatz- bzw. Prozesswasser untersucht werden. Zusätzlich kann die Wasseraufbereitung bzw. -überwachung an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst und der Abschlamm- / Absalzvorgang bedarfsabhängig geregelt werden. Welches Verfahren zur Wasseraufbereitung erforderlich ist, hängt von der individuellen Zusammensetzung des Rohwassers ab und sollte daher im Einzelfall geprüft und in Abstimmung mit dem jeweiligen Kesselhersteller ausgewählt werden. In der Regel erfolgt die Wasseraufbereitung jedoch mittels Ionenaustauscher bzw. Umkehrosmose.

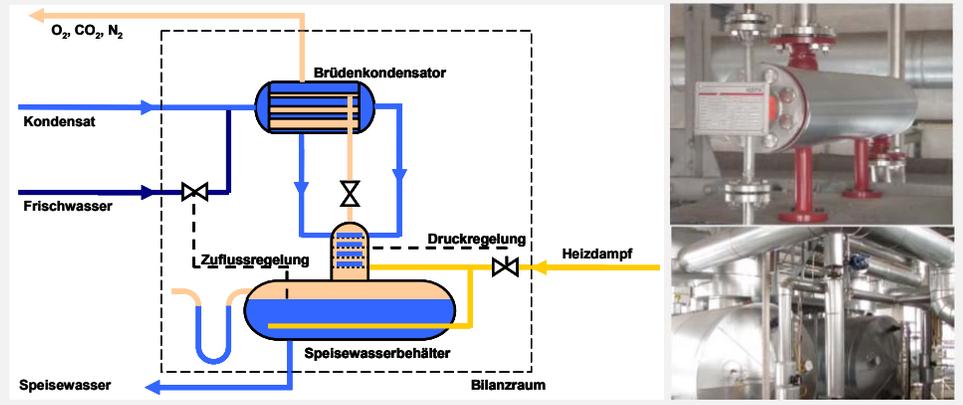
Ionenaustauscher sind zwar in der Anschaffung günstiger, führen allerdings bedingt durch die erforderlichen Betriebsstoffe zu erhöhten laufenden Kosten im Betrieb. Umkehrosmose-Anlagen ermöglichen eine vollständige Entfernung organischer Verbindungen. Aufgrund der großen Menge aufkonzentrierten Wassers (ca. 15 % Retentat) kommt es allerdings zu einem hohen Rohwasserverbrauch. Zudem ist eine Vorbehandlung der Rohwassers (Ionenaustauscher oder Elektrolyseverfahren) erforderlich. Während das durch die Umkehrosmose aufbereitete Permeat zur Dampferzeugung oder als Prozesswasser eingesetzt wird, kann das aufkonzentrierte Retentat häufig zum Beispiel für Reinigungszwecke genutzt werden.

Die bei der Kondensatentspannung bzw. der Speisewasserentgasung entweichenden Brüden können durch Einbindung geeigneter Brüdenkondensatoren zur Speisewasser- bzw. Prozesswassererwärmung genutzt werden. Prinzipiell sollte stets eine möglichst hohe Kondensatrücklaufmenge angestrebt werden, um sowohl die Kondensatenergie zu nutzen als auch Kosten für die Speisewasseraufbereitung gering zu halten. Dies ist allerdings aufgrund des teilweise direkten Dampfeinsatzes nur bedingt möglich.

**Praxisbeispiel:**

Zur Reduzierung der Wärmeverluste durch entweichenden Fegedampf am Speisewasserbehälter wurde in einem Betrieb ein Brüdenkondensator zur Speisewasservorwärmung installiert.

Investition: 35.000 € Brennstoffeinsparung: 390 MWh/a (H<sub>s</sub>)  
 Kosteneinsparung: 17.500 €/a CO<sub>2</sub>-Einsparung: 70 t/a



Praxisbeispiel 1: Wärmerückgewinnung am Speisewasserbehälter

**Brennerregelung**

Im Bereich der Brennerregelung wird häufig das größte Potenzial gesehen. Durch den Einsatz einer O<sub>2</sub>-Brennerregelung an Dampf- bzw. Thermoölkesseln lassen sich der Luftüberschuss bei der Verbrennung und somit die Wärmeverluste über den Abgasstrom auf den notwendigen Mindestwert reduzieren. In einigen Betrieben liegen bereits Erfahrungswerte zur O<sub>2</sub>-Brennerregelung vor. Das Einsparpotenzial liegt bei rund 1,5 % der bezogenen Brennstoffenergie. Je nach Brennertyp kann die Brennerfrischluft zusätzlich durch Einbindung vorhandener Abwärmequellen vorgewärmt werden. Möglichkeiten einer Verbrennungsluftvorwärmung sollten sowohl an Brennern zentraler Kessel als auch an dezentralen Wärmeerzeugern wie z.B. an Spannräumen und Trocknern geprüft werden. In einem Betrieb konnte der Brennstoffbezug eines 10 t/h-Dampfkessels durch Installation eines Economizers und einer O<sub>2</sub>-Brennerregelung um ca. 6 % bis 7 % reduziert werden.

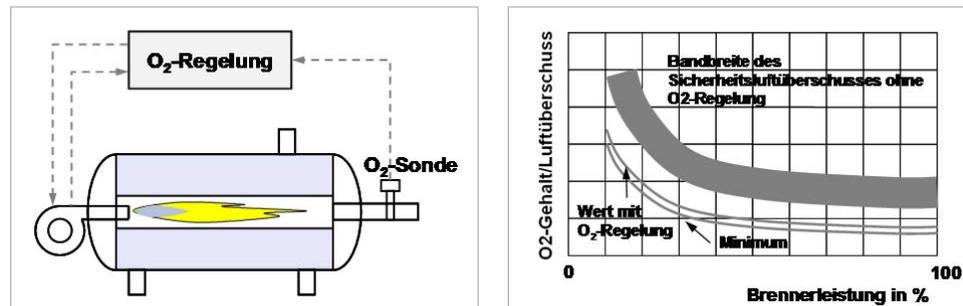


Abbildung 3-22: Schematische Darstellung einer O<sub>2</sub>-Brennerregelung (Quelle: Siemens AG)

**Praxisbeispiel:**

An einem Dampfkessel wurde eine O<sub>2</sub>-Brennerregelung zur Reduzierung der Wärmeverluste über den Abgasstrom nachgerüstet.

<i>Investition:</i>	14.500 €
<i>Kosteneinsparung:</i>	7.200 €/a
<i>Brennstoffeinsparung:</i>	205 MWh/a Erdgas
<i>CO<sub>2</sub>-Einsparung:</i>	37 t/a



Praxisbeispiel 2: O<sub>2</sub>-Brennerregelung

### 3.3.2 Heizung

In der Ernährungsindustrie ist der Heizwärmebedarf in den Produktionsbereichen aufgrund des hohen Wärmeeintrags durch Produktionsanlagen verhältnismäßig gering. In der Regel erfolgt die Raumwärmeversorgung entweder über ein zentrales Heizungsnetz oder über dezentrale Warmlufterzeuger bzw. Heizstrahler. Als Energieträger werden hauptsächlich Erdgas, Heizöl und Fernwärme eingesetzt. Optimal wäre es, wenn der benötigte Heizwärmebedarf durch Abwärme bereitgestellt wird. Dies erfolgt häufig zum Beheizen der Büroräume, wobei hier vielfach noch Optimierungspotenzial besteht.

#### **Brennwert- und Niedertemperaturheizkessel**

Bei der Wahl des Kessels sollten Brennwertkessel konventionellen Systemen vorgezogen werden. Brennwertkessel nutzen die eingesetzte Primärenergie am effizientesten. Aufgrund des im Brennstoff enthaltenen Wasserstoffs entsteht bei der Verbrennung Wasserdampf. Beim Brennwertkessel werden die Abgase soweit abgekühlt, dass es zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt. Dabei wird die bei der Kondensation frei werdende latente Wärme neben der fühlbaren sensiblen Wärme genutzt. Die zurück gewonnene Wärmemenge wird über den Heizungsrücklauf wieder in das System eingebracht. Daher ist der Einsatz von Brennwerttechnik nur in Kombination mit einem Niedertemperatur-Heizungsnetz mit Rücklauftemperaturen unter 50 °C sinnvoll. Da die minimal erreichbare Rücklauftemperatur maßgeblich von der, durch die Heizungsregelung vorgegebenen Vorlauftemperatur und den Wärmeübergabeflächen des Heizungsnetzes abhängt, sollte das Heizungssystem vor Umstellung auf Brennwerttechnik diesbezüglich geprüft und ggf. optimiert werden. Bei der Neuplanung von Heizungssystemen sind entsprechend große Heizflächen (z.B. Fußbodenheizung in Bürobereichen) vorzusehen.

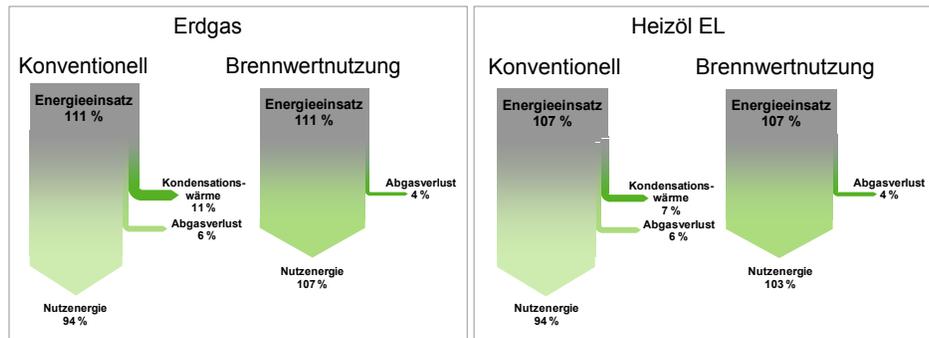


Abbildung 3-23: Gegenüberstellung konventioneller Wärmeerzeugung und Brennwertnutzung (Quelle: Siemens AG)

Wie in Abbildung 3-23 dargestellt kann mit einem Erdgas-Brennwertkessel ein Wirkungsgrad von 107 % (bezogen auf den Heizwert), mit einem Heizöl-Brennwertkessel ein Wirkungsgrad von 103 % erzielt werden.

### Raumtemperatur

In Tabelle 3-5 bzw. Tabelle 3-6 sind die empfohlenen Raumtemperaturen für unterschiedliche Tätigkeitsbereiche nach DIN 12831 bzw. Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 angegeben. Erfahrungsgemäß lässt sich der Heizenergiebedarf je 1 °C Reduzierung der Raumtemperatur um ca. 6 % senken.

Raumnutzung	Erforderliche Raumtemperatur nach DIN 12831
Fertigungs- und Werkstatt Räume	15 °C
Fertigungs- und Werkstatt Räume bei sitzenden Tätigkeiten	20 °C
Ausstellungshallen	15 °C

Tabelle 3-5: Erforderliche Raumtemperatur nach DIN 12831

Tätigkeit	Erforderliche Raumtemperatur nach ASR 6 (75 cm über dem Fußboden)
Überwiegend sitzende Tätigkeit	19 °C
Nicht überwiegend sitzende Tätigkeit	17 °C
Schwere körperliche Arbeit	12 °C
Verkaufsräume	19 °C

Tabelle 3-6: Erforderliche Raumtemperatur nach ASR 6

### Heizungsregelung

Unnötig hohe Vorlauftemperaturen im Heizkreis zentraler Heizungssysteme führen zu hohen Wärmeverlusten bei der Wärmeverteilung und bei Brennwertsystemen aufgrund der höheren Rücklauftemperatur zu einem geringeren Wirkungsgrad. Daher sollte die Vorlauftemperatur des Heizkreises grundsätzlich so gering wie

möglich gehalten werden. Moderne Heizungssysteme verfügen deshalb über eine witterungsgeführte Regelung der Vorlauftemperatur (Außentemperaturregelung) und eine zeitweise Absenkung der Vorlauftemperatur (Nachtabenkung). Zudem sollten die Wärmeabnehmer mit Thermostatventilen ausgestattet sein, um eine möglichst genaue Regelung der Raumtemperatur zu gewährleisten.

Die Wärmeverteilung über den Heizkreis erfolgt über Umwälzpumpen. Einige dieser Pumpen werden ganzjährig betrieben und fördern einen konstanten Volumenstrom. Durch den Einsatz energieeffizienter Pumpen mit Druckdifferenzregelung kann der Volumenstrom des Heizmediums bedarfsgerecht an die jeweilige Thermostatstellung am Wärmeabnehmer angepasst werden. Moderne Hocheffizienzpumpen mit Synchronmotor und Permanentmagnetrotor können den Stromverbrauch gegenüber herkömmlichen Pumpen um etwa zwei Drittel verringern.

Um eine gleichmäßige Wärmeverteilung über das Heizungsnetz sicherstellen zu können, ist ein Abgleich der hydraulischen Widerstände und somit auch der maximalen Volumenströme an den Wärmeabnehmern erforderlich. Dieser Vorgang wird als Hydraulischer Abgleich bezeichnet und sollte immer dann durchgeführt werden, wenn Änderungen am Heizungsnetz vorgenommen wurden.

### **Heizwärmeverteilung**

Die Einbringung und Verteilung von Raumwärme erfolgt entweder durch Konvektion über Radiatoren bzw. Luftherhitzer oder über Wärmestrahlung.

Häufig werden in den Unternehmen entweder dezentrale, direkt befeuerte Luftherhitzer oder zentral über Warmwasser bzw. Dampf versorgte Heizlüfter eingesetzt. Vereinzelt werden auch elektrisch betriebene Heizlüfter verwendet. Nachteilig bei der konvektiven Wärmeerbringung ist die ungünstige Temperaturverteilung über die Hallenhöhe. Hierdurch ist eine gezielte Wärmeerbringung nur bedingt möglich. In vielen Fällen ist der Einsatz von Hell-/Dunkelstrahlern bzw. Deckenstrahlplatten energetisch günstiger. Da Deckenstrahlplatten neben Dampf auch mit Warmwasser versorgt werden können, besteht zusätzlich die Möglichkeit, vorhandene Abwärmequellen im Unternehmen einzubinden.

---

Warmluftheizungen	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ integrierbare Lüftungssysteme zur Einhaltung der Luftqualität</li><li>▪ mögliche Ergänzung mit Luftaufbereitung durch Staubfilter, Befeuchter und Luftkühler</li></ul>
Strahlungsheizungen	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ niedrigere Raumtemperaturen bei gleicher Behaglichkeit</li><li>▪ geringere Wärmeverluste bei häufig geöffneten Hallentoren</li><li>▪ bis zu 30 % niedrigerer Primärenergieverbrauch</li><li>▪ kurze Aufheizzeiten</li><li>▪ keine Zugluft, keine Staubaufwirbelungen</li><li>▪ gezielte Beheizung von Teilflächen möglich</li><li>▪ keine Verluste durch Wärmeverteilungsnetz bei Hell- und Dunkelstrahlern</li><li>▪ keine Einfriergefahr bei Hell- und Dunkelstrahlern</li><li>▪ günstiges Temperaturprofil über die Hallenhöhe</li><li>▪ bei Deckenstrahlplatten Niedertemperatur-Prozessabwärme nutzbar</li></ul>
Fußbodenheizungen	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ günstiges Temperaturprofil über die Hallenhöhe, daher besonders für hohe Hallen geeignet</li><li>▪ angenehmes Wärmeempfinden bei niedrigeren Raumtemperaturen</li><li>▪ Niedertemperatur-Prozessabwärme nutzbar</li></ul>

---

Tabelle 3-7: Beschreibung unterschiedlicher Heizsysteme

### Hallentore

Um Zugluft und einhergehende Wärmeverluste zu vermeiden, sollten Hallentore und Oberlichter während der Heizperiode geschlossen werden. Ist dies aus betrieblichen Gründen nicht möglich, sollten Luftschleusen oder Torluftschleier installiert werden. Häufig frequentierte Tore sollten als Schnellauftore ausgeführt werden. In einigen Fällen ist eine regelungstechnische Kopplung gegenüberliegender Tore sinnvoll, um Zugluft zwischen unterschiedlichen Gebäudeöffnungen zu reduzieren. Ebenso sollte ein Betrieb der Heizung verhindert werden, wenn Tore oder Fenster geöffnet sind. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass geöffnete Fenster und Tore nicht nur ein Wärmeleck bilden, sondern auch diffuse Emissionen ermöglichen, die im Immissionsschutzrecht unerwünscht sind. Produktionshallen sind im Unterdruck zu planen, um diffuse Emissionen zu verhindern. Dies ist bei einem Energiekonzept immer zu berücksichtigen.

### 3.3.3 Lüftungsanlagen

#### Regelung

In vielen Betrieben sind Lüftungsanlagen überdimensioniert und werden unabhängig vom jeweiligen Frischluftbedarf betrieben. In Bereichen, in denen ein variabler Volumenstrom aus produktionstechnischen Gründen erforderlich ist, werden häufig Drall-, Drossel- und Bypassregelungen eingesetzt.

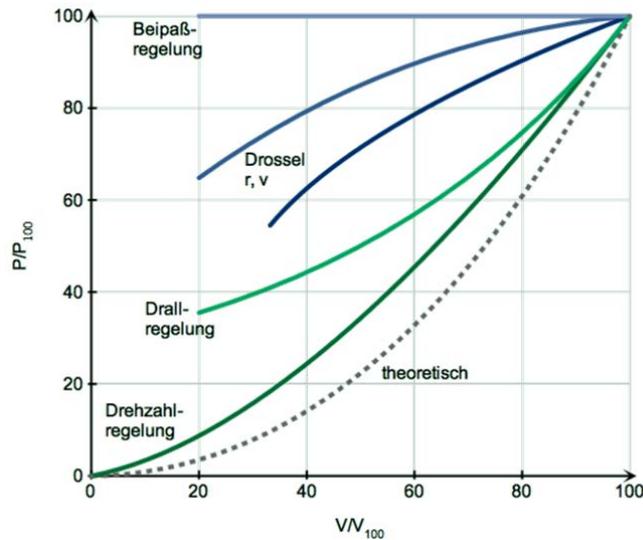


Abbildung 3-24: Möglichkeiten der Ventilatorregelung und erforderliche Wellenleistung (Darstellung ohne Verluste des Antriebsmotors bzw. des Frequenzumrichters) (Quelle: Recknagel et al., 2008)

Die Umstellung auf eine bedarfsgerechte Regelung über Frequenzumrichter wird häufig als sinnvoll erachtet. Hierdurch ergeben sich neben dem verringerten Strombezug der Ventilatoren auch Vorteile bzgl. der Luftqualität in den entsprechenden Bereichen. Zur bedarfsgerechten Regelung des Volumenstromes kann als Führungsgröße z.B. die Feuchte bzw. Schadstoff-/CO<sub>2</sub>-Beladung der Abluft gewählt und vorgegeben werden. Zum Teil ist auch eine Kopplung mit der Maschinensteuerung bestimmter Produktionsanlagen sinnvoll. Möglichkeiten zur Einbindung der Lüftersteuerung in eine zentrale Gebäudeleittechnik sollten untersucht werden. Während Stromlastspitzen können Lüftungsanlagen im Rahmen eines Spitzenlastmanagements kurzzeitig heruntergeregelt oder abgeschaltet werden.

### Luftwechselrate

Vorgaben für die erforderliche Luftwechselrate sind in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 5 zusammengefasst. Hauptkriterien für die Raumluftqualität bzw. den jeweiligen Luftwechselbedarf sind Luftschadstoffe, Feuchtigkeit, Geruch, Wärme und Personenzahl.

Raumart	Luftwechselrate in 1/h	Kriterium für den Luftwechsel
Lagerhalle	2 bis 6	Personenanzahl
Fabrikhallen, Montagehallen	1,5 bis 7	Personenanzahl
Druckereien	4 bis 6	Luftschadstoffe
Wäschereien	15 bis 25	Feuchtigkeit, Geruch
Walzwerke	10 bis 40	Wärme, Luftschadstoffe
Glashütten	20 bis 80	Wärme, Luftschadstoffe

Tabelle 3-8: Erforderliche Mindestluftwechselrate nach ASR 5

### Luftverteilung

Die Verteilung der zugeführten Frischluft erfolgt in der Regel über Zuluftkanäle und verschiedene Luftauslässe. Die Zu- und Abluft sollte gezielt, wenn möglich über Wärmerückgewinnung betrieben werden. Bei der Auslegung von Lüftungskanälen sollten Strömungswiderstände durch die Wahl großzügiger Kanaldurchmesser, möglichst weniger Umlenkstellen und kurzer Leitungslängen vermieden werden. Luftauslässe sollten an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst sein. Hierbei sind insbesondere Zuglufterscheinungen sowie die Luftdurchmischung zu berücksichtigen.

### Wärmerückgewinnung

Zur Wärmerückgewinnung an Lüftungsanlagen können entweder Plattenwärmeübertrager, Regenerativwärmeübertrager oder Rotationswärmeübertrager eingesetzt werden. Regenerativwärmeübertrager liefern den höchsten Wärmerückgewinnungsgrad mit ca. 90 %, werden allerdings aufgrund der verhältnismäßig hohen Anschaffungskosten nur selten in Lüftungsanlagen eingesetzt. Rotationswärmeübertrager sind deutlich kostengünstiger und weisen Temperaturrückgewinnungsgrade von rund 80 % zwischen Zu- bzw. Abluftstrom auf. Bei einer hohen Luftbelastung können Systeme mit integrierter Abreinigungseinrichtung eingesetzt werden. Vergleichbar gering ist der Rückgewinnungsgrad bei Plattenwärmeübertragern (meist Kreuzstromplattenwärmeübertrager) mit etwa 60 %.

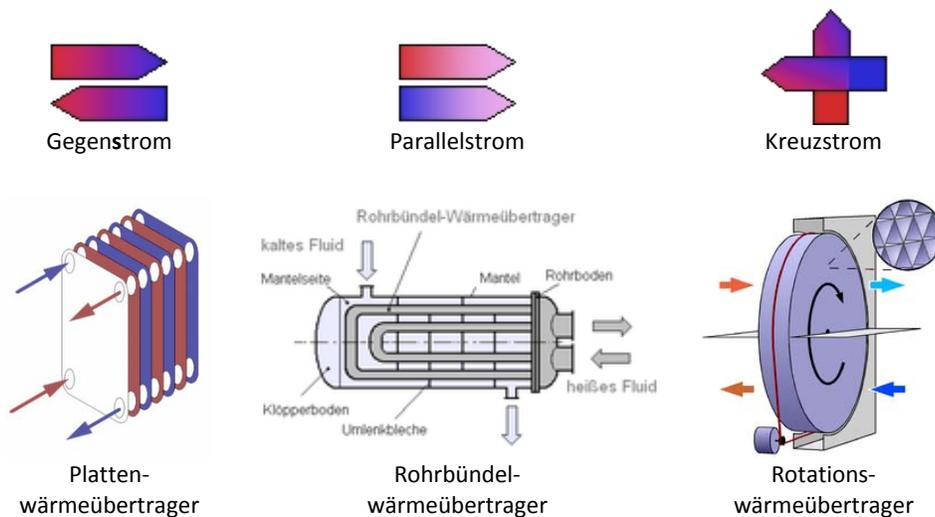


Abbildung 3-25: Funktionsweise und Bauarten von Wärmeübertragern (Quelle: Siemens AG)

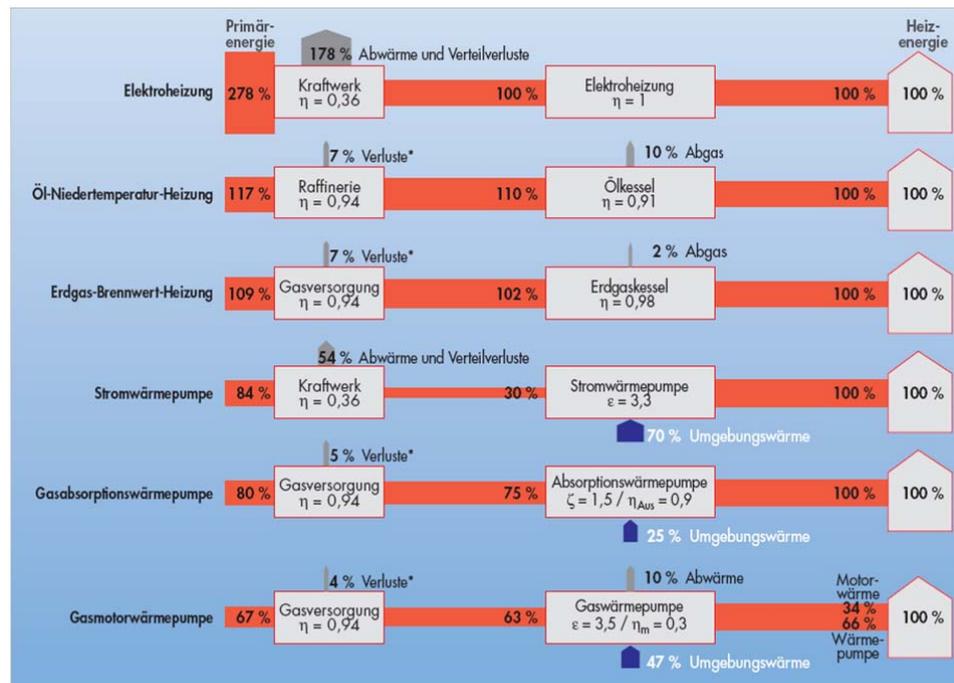
### Wärmepumpen

Mit Wärmepumpen kann Wärme von einem niedrigeren Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden. Als Wärmequellen kommen das Erdreich, Grundwasser, Luft aber auch Abwärme in Betracht.

Grundsätzlich wird abhängig von der Antriebsart des Verdichters zwischen Elektro-, Gasmotor- und Sorptionswärmepumpen unterschieden. Bei Gasmotorwärmepumpen kann zusätzlich die Abwärme des Verbrennungsmotors genutzt werden. Sorptionswärmepumpen werden thermisch angetrieben und finden seltener Anwendung in Industrieunternehmen.

Erfahrungsgemäß sind in vielen Unternehmen Abwärmequellen bekannt, welche aufgrund des geringen Temperaturniveaus nur bedingt im Rahmen einer Wärmerückgewinnung eingebunden werden können. Diesbezüglich ist der Einsatz von Wärmepumpen zur Anhebung des Temperaturniveaus möglich. Je nach Größe und Bauart der Wärmepumpe können Temperaturen von 50 bis über 80 °C erzielt werden. Das Verhältnis zwischen nutzbarer Heizwärme einer Wärmepumpe und aufgewendeter Verdichterleistung wird mit der Leistungsziffer beschrieben und ist somit ein Maß für die Effizienz der Wärmepumpe. Da die Leistungsziffer mit zunehmendem Temperaturhub und steigender Nutztemperatur abnimmt, sollten Anwendungen mit geringer Temperaturanhebung vorgezogen werden.

In Abbildung 3-26 sind unterschiedliche Wärmepumpentypen mit konventionellen Wärmeerzeugern verglichen.



\*Förderungs-, Transport-, Umwandlungs- und Verteilverluste sowie Energieaufwand Transport

Abbildung 3-26: Gegenüberstellung unterschiedlicher Wärmepumpentypen mit konventionellen Wärmeerzeugern (Quelle: Siemens AG)

### 3.3.4 Kälteerzeugung, Kühlung und Klimatisierung

Zur möglichst wirksamen Eindämmung von Keimvermehrungen werden in vielen Branchen der Ernährungsindustrie große Energiemengen zur Kühlung benötigt. In Fleisch verarbeitenden Betrieben beispielsweise liegt der Anteil des Strombedarfs, der für die Kälteerzeugung aufgewendet wird, häufig in der Größenordnung von 25 % des Gesamtstrombedarfs, was den hohen Stellenwert einer energieoptimierten Kälteversorgung verdeutlicht.

#### *Kompressionskälteanlagen*

In der Ernährungsindustrie werden große Kompressionskälteanlagen aufgrund der niedrigen Investitionen, der guten thermodynamischen Eigenschaften (sehr hohe Verdampfungsenthalpie innerhalb des zur Prozesskälteerzeugung relevanten Temperaturbereichs) und der gesetzlichen Anforderungen (FCKW-Verbot) überwiegend wieder mit Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) als Kältemittel betrieben. Neben den kältetechnischen Vorteilen besitzt Ammoniak keinerlei Ozonzersetzungs- oder Treibhauspotenzial. Ammoniak ist jedoch als Gefahrstoff einzustufen.  $\text{NH}_3$ -gefüllte Großkälteanlagen ab 3.000 kg  $\text{NH}_3$  sind daher nach der 4. BImSchV genehmigungspflichtig (Akkumulierungsgebot).

Den typischen schematischen Aufbau einer Kompressionsgroßkälteanlage zur Prozesskälteerzeugung, wie sie prinzipiell in der Ernährungsindustrie anzutreffen ist, zeigt Abbildung 3-27.

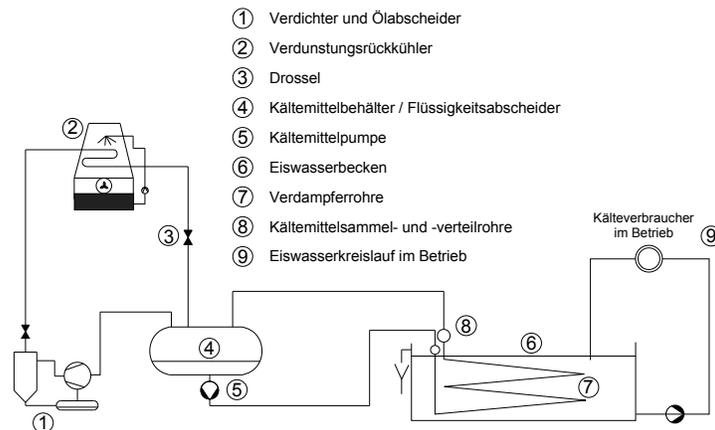


Abbildung 3-27: Schema einer typischen Kompressionsgroßkälteanlage (Quelle: Hannemann, 1998; Witt Kältemaschinen GmbH, 2000)

#### *Absorptionskältemaschinen*

Absorptionskältemaschinen, etwa auf der Basis Ammoniak/Wasser oder auch Wasser/Lithiumbromid, werden nicht zuletzt aufgrund der hohen Anlagenkosten nach wie vor eher selten eingesetzt. Hinzu kommt, dass die Temperaturniveaus der als „Antriebsenergie“ eingesetzten üblichen Abwärmequellen (Druckluftheizer, Abluft aus Trockenanlagen, Restwärme im Abgas von Kesselfeuerungen etc.) oft nicht zur alleinigen Energieversorgung einer Absorptionskälteanlage ausreichen bzw.

die Abwärme zeitlich versetzt zum Kühlbedarf anfällt. Wärme muss zusätzlich aus dem betrieblichen Dampfnetz eingekoppelt werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage deutlich verschlechtert bzw. unrentabel wird.

Wirtschaftlich interessant wird der Betrieb von Absorptionskälteanlagen überall dort, wo größere, möglichst konstante Abwärmequellen mit Temperaturen oberhalb von 120 °C vorliegen. Dies kann z.B. in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage realisiert werden – der sogenannten Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Dieses Versorgungskonzept wird insbesondere vor dem Hintergrund steigender Strompreise interessanter, bedarf aber einer detaillierten Einzelfallprüfung.

Eine weitere Möglichkeit ist die Kopplung und „Aufwertung“ eines auf niedrigerem Temperaturniveau anfallenden Abwärmestromes mit einer Wärmepumpe, wobei diese Option jedoch infolge des hohen Anlagenaufwands bisher aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wenig attraktiv erscheint.

### **Verdampfungs- und Kondensationstemperatur**

Das größte Einsparpotenzial bei Kälteanlagen liegt in der optimalen Auslegung von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur. Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Verdampfung und Kondensation, desto geringer ist die Druckdifferenz, die vom Verdichter überwunden werden muss, und somit der Energieaufwand für den Betrieb der Kälteanlage.

#### *Verdampfungstemperatur und Energieaufwand*

Zwei Bauarten von Verdampfern werden eingesetzt: lange, in einem Stück durchgehende Rohrschlangen und geschweißte, parallel durchströmte Konstruktionen. Letztere zeichnen sich durch ihre geringeren Druckverluste und damit verbunden durch einen niedrigeren Verdichterenergiebedarf aus. Übliche Verdampfungstemperaturen in langen, durchgängigen Rohrschlangen liegen zwischen -8 und -10 °C, während mit den zwar in der Anschaffung etwas teureren Parallelverdampfern Temperaturen von etwa -4 °C erzielt werden. Dabei gilt, dass eine um 1 °C höhere Verdampfungstemperatur etwa 1-2 % weniger Energieaufwand am Verdichter erfordert.

#### *Rückkühlung durch Kühlturm*

Die Abkühlung und Kondensation des Kältemittels erfolgt in der Regel über Verdunstungsrückkühler. In diesen „Kleinkühltürmen“ zirkuliert Wasser, das zur Verminderung der Härte häufig speziell aufbereitet sein muss. Dieses Kühlwasser nimmt die Kondensationswärme des Kältemittels auf und verdunstet teilweise. Dabei stellt sich eine von der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängige minimale Kühlwassertemperatur ein, die sogenannte Kühlgrenz- oder Feuchtkugeltemperatur. Diese Temperatur steigt in Mitteleuropa nur äußerst selten über 23 °C an. Der Jahresdurchschnitt liegt unter 10 °C.

Durch eine gute Auslegung der Austauschflächen in diesen Verdunstungsrückkühlern sind fast ganzjährig Wasserumlaufemperaturen von etwa 20 °C zu erzielen. Dies ermöglicht die Kältemittelverflüssigung bei unter 30 °C. Deutlich höhere Kondensationstemperaturen deuten entweder auf unzureichende Wärmeabgabeflächen im Verdunstungsrückkühler oder auf starke Verunreinigungen durch Kalkablagerungen bzw. Algenbewuchs hin, die den Wärmeübergang deutlich verschlechtern können. Eine regelmäßige Überprüfung und Wartung bzw. Reinigung von Kältemittelverflüssigungssystemen ist zu empfehlen. Die tatsächlich vorliegende Kondensationstemperatur kann an der Druckanzeige an den Verdichtern, die in der Regel eine Doppelskala für Druck und Temperatur besitzen, kontrolliert werden.

#### *Kondensationstemperatur und Energieaufwand*

Analog zur Verdampferauslegung bewirkt die Absenkung der Kondensationstemperatur um 1 °C eine Reduzierung des Verdichterenergiebedarfs um etwa 3-4 %.

#### **Abwärmenutzung**

Das aus dem Verdichter austretende Kältemittel (vgl. Abbildung 3-27) kann je nach Auslegung der Anlagenkomponenten hohe Temperaturen aufweisen. Für die Verdichtertemperatur gilt dabei näherungsweise:

$$\vartheta_{\text{Verdichter}} \leq (\vartheta_{\text{Kondensation}} - \vartheta_{\text{Verdampfung}}) \cdot 3$$

#### *Hohe Verdichteraustrittstemperaturen*

Dies führt bei einer Verdampfungstemperatur von -5 °C und einer Verflüssigungstemperatur von 35 °C zu einer Verdichteraustrittstemperatur von etwa 120 °C. Dieses Temperaturniveau ist zur Warmwassererzeugung gut geeignet.

Die Temperatur dieser sensiblen Wärme fällt zwar bei der Wärmeübertragung – anders als bei der isothermen Kondensationswärmeabfuhr – schnell ab, dennoch lassen sich mittlere Warmwassertemperaturen von etwa 50 bis 60 °C erzielen. Diese Wärmerückgewinnungsmaßnahme ist in der Praxis bereits häufig erfolgreich umgesetzt worden.

Ein weiteres Beispiel, in dem zusätzlich zur sogenannten Enthitzung des Kältemittels noch die Abwärme des Ölkühlers der modernen Schraubenverdichtereinheit zurückgewonnen wird, zeigt Abbildung 3-28. Hier ist neben dem Hauptwärmeaustauscher (oben rechts) eine weitere, im Bedarfsfall zuschaltbare Wasserkühlung (unten rechts) vorgesehen. Damit wird sichergestellt, dass die Kältemaschine auch dann betrieben werden kann, wenn der Warmwasserspeicher keine Wärme mehr aufnehmen kann.

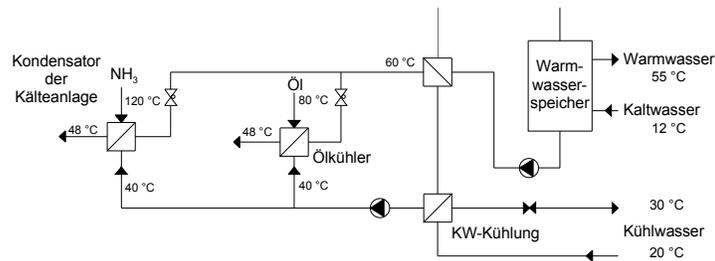


Abbildung 3-28: Beispiel zur Wärmerückgewinnung aus einer Kälteanlage (Quelle: Ersing, 1997)

Die eigentliche Kondensation erfolgt in der Regel über Verdunstungsrückkühler. Als Alternative zur ungenutzten Wärmeabgabe an die Umgebung kann auch die vollständige Einkopplung der Kondensationswärme z.B. zur Vorwärmung des Wassers für die Reinigungsanlage (CIP-System) erwogen werden.

### Regelung der Kühlwassermenge

Kühlwasserpumpen bzw. Drosselventile an den Produktionsanlagen werden häufig manuell angesteuert. Im Rahmen einer automatisierten, bedarfsgerechten Regelung der Kühlwasserpumpen über Frequenzumrichter kann der Stromeinsatz für Kühlanwendungen reduziert werden. Dafür sollte die Kühlwassermenge am Verbraucher temperaturabhängig und das Fördervolumen zentraler Kühlwasserpumpen druckabhängig geregelt werden. In diesem Zusammenhang sollten die für die Produktion erforderlichen Mindestparameter definiert und als Führungsgröße der Regelung verwendet werden (siehe auch Abschnitt 3.3.8).

Bei der Wahl eines geeigneten Standortes zur Aufstellung von Rückkühlern bzw. Kühltürmen kann der Wärmeeintrag durch gezielte Ausrichtung der Anlagen verringert werden. So sollten diese nicht nach Süden ausgerichtet angebracht werden. Ventilatoren in Rückkühlwerken sollten temperaturabhängig geregelt werden.

### 3.3.5 Wärmerückgewinnung

In der Ernährungsindustrie kommt es insbesondere durch warme Abluft, Abgas bzw. Abwasser zu hohen Abwärmeströmen.

#### Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Ein Teil des über das Abwasser abgeführten Wärmestromes kann durch Einbindung geeigneter Wärmeübertrager wie z.B. Platten-, Rohrbündelwärmeübertrager oder Rohrschlangen zurück gewonnen und beispielsweise zur Prozesswassererwärmung genutzt werden. Insbesondere bei Reinigungsabwasser ist die hohe Schmutzbelastung des Abwassers zu beachten, da dies zu einer schnellen Verschmutzung der Wärmetauscher führt, sodass die Reinigungsintervalle entsprechend kürzer sind. Für eine optimale Wärmeübertragung ist daher ein individuell angepasstes Wartungsintervall festzulegen.

### **Trennung unterschiedlicher Temperaturniveaus**

Eine optimale Ausnutzung der Temperaturniveaus verschiedener Abwärmequellen kann durch Trennung warmer und kalter Wärmeströme erreicht werden. Wärmeübertrager sollten direkt an den jeweiligen Wärmequellen wie z.B. an Waschanlagen installiert werden, damit eine vorherige Abkühlung des Abwassers durch Durchmischung verhindert werden kann.

### **Wärmerückgewinnung aus Abluft**

Die Wärmerückgewinnung aus Abgas bzw. Abluft wie z.B. an Trocknern oder Kesseln kann durch Einsatz sogenannter Rotationswärmeübertrager (Wärmerad) zur Erwärmung von Frischluft erfolgen. Diese können auch mit integrierter Abreinigungsverfahren eingesetzt werden, sodass Verunreinigungen im Abluftstrom weitestgehend als unproblematisch angesehen werden können.

### **Optimale Wärmeintegration**

Zur optimalen Wärmenutzung ist generell vor Umsetzung einer Wärmerückgewinnung eine detaillierte Analyse vorhandener Abwärmequellen bzw. Wärmesenken erforderlich. Diesbezüglich sollte insbesondere auf die zeitliche Übereinstimmung von Wärmeangebot und -bedarf und die jeweiligen Temperaturniveaus geachtet werden. Bei Bedarf ist die Anhebung des Temperaturniveaus durch Einsatz von Wärmepumpentechnik möglich. In den Betrieben sind zwar häufig unterschiedliche Abwärmequellen bekannt, diese können allerdings aufgrund der geringen Anzahl von Wärmesenken entsprechenden Temperaturniveaus nur bedingt in eine Wärmerückgewinnung eingebunden werden. Das theoretische Wärmerückgewinnungspotenzial kann im Rahmen einer sogenannten Pinch-Point-Analyse<sup>3</sup> ermittelt werden.

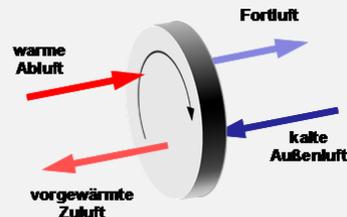
---

<sup>3</sup> Ordnung der Wärmeströme nach Temperaturniveaus, abkühlende Medien sollen möglichst andere erwärmen, Minimierung des Wärmeverlusts

**Praxisbeispiel:**

An einem Trockner wurde eine Rotationswärmeübertrager zur Vorwärmung von Zuluft durch Abkühlung des Abluftstromes im Rahmen einer Wärmerückgewinnung eingesetzt.

Investition:	8.000 €
Kosteneinsparung:	3.000 €/a
Brennstoffeinsparung:	84 MWh/a Erdgas
CO <sub>2</sub> -Einsparung:	15 t/a



Praxisbeispiel 3: Wärmerückgewinnung am Trockner

### 3.3.6 Druckluft

Wie in fast allen Branchen ist auch in der Ernährungsindustrie eine zunehmende Automatisierung festzustellen. Während es früher nur einige wenige Einsatzbereiche für Druckluft gab, ist heute in einer Vielzahl von Funktionsaufgaben bei der Ventilsteuerung, den Verpackungsmaschinen, der Staubfilterreinigung und der Produktförderung auf den Drucklufteinsatz nicht mehr zu verzichten.

Druckluft stellt eine sehr kostenintensive Energieform dar. Wie in Abbildung 3-29 dargestellt, werden lediglich rund 4 % der bei der Druckluftherzeugung aufgewendeten elektrischen Energie in Nutzenergie umgewandelt. Die restlichen 96 % werden in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben.

#### Abwärmenutzung

Ein großer Teil der zur Verfügung stehenden Abwärme kann im Rahmen einer Wärmerückgewinnung genutzt werden. Bei luftgekühlten Druckluftkompressoren kann die warme Abluft der Kompressoren während der Heizperiode direkt in nahegelegene Produktionsbereiche eingblasen werden und zur Raumwärmebereitstellung genutzt werden. Kompressoren mit integriertem Öl/Wasser-Wärmeübertrager eignen sich aufgrund des hohen Temperaturniveaus der ausgekoppelten Wärme (ca. 70 °C) für weitere Anwendungsmöglichkeiten wie z.B. die Warmwasserbereitstellung oder Rücklaufanhebung am zentralen Heizungssystem bzw. zur Vorwärmung des Kesselzusatzwassers oder betrieblichen Prozesswassers. Bei der Neuanschaffung von Kompressoren sollten aus diesem Grund wassergekühlte Anlagen vorgezogen werden. Der nachträgliche Einbau entsprechender Wärmeübertrager sollte stets mit dem jeweiligen Anlagenhersteller abgesprochen werden.

Durch die Wärmerückgewinnung aus warmer Druckluft vor der Druckluftaufbereitung kann, neben der direkten Einsparung von Prozesswärme, eine deutliche Entlastung des Drucklufttrockners erreicht werden.

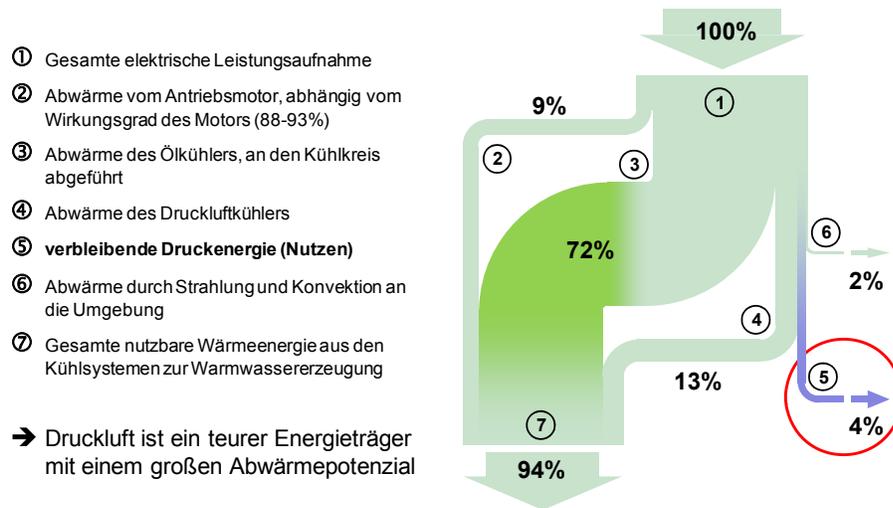


Abbildung 3-29: Energieverluste bei der Druckluftherzeugung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

### Aufstellungsort

Bei der Aufstellung von Druckluftkompressoren sollte stets die Temperatur der angesaugten Luft im Betrieb berücksichtigt werden. Je kühler die Ansaugluft des Kompressors, desto höher ist die Luftdichte und entsprechend geringer ist der Energiebedarf bei der Druckluftherzeugung. So ergibt sich durch Absenkung der Ansaugtemperatur um 10 K ein Einsparpotenzial beim Strombezug der Druckluft-erzeugung von rund 4 %.

### Netzdruck

Für eine wirtschaftliche Druckluftherzeugung ist die Anpassung des Netzdrucks und der Kompressorfördermengen an die jeweiligen betrieblichen Erfordernisse notwendig. Die Absenkung des Betriebsdruckes um 1 bar verringert z.B. den elektrischen Energiebedarf um ca. 4-7 % (abhängig vom Ausgangsdruck). Bei stärker voneinander abweichenden Betriebsdrücken einzelner Anlagen kann die Aufstellung mehrerer dezentraler Kompressoren mit kleineren Netzen auf unterschiedlichen Druckniveaus wirtschaftlich sinnvoll sein.

### Substitution von Druckluftverbrauchern

Aufgrund des hohen Energiebedarfs bei der Druckluftherzeugung sollte wenn möglich auf den Einsatz von Druckluft verzichtet werden. In vielen Bereichen können Druckluftantriebe durch Direktantriebe ersetzt werden.

Zu Reinigungszwecken ist Druckluft nur bedingt geeignet, da der Schmutz nicht abgeführt, sondern ausschließlich im Raum verteilt wird. Empfehlenswert ist der Einsatz von Staubsauganlagen.

In einigen Unternehmen wird eine nicht unerhebliche Druckluftmenge in Systemen zur Luftbefeuchtung eingesetzt. Alternative Systeme zerstäuben das Wasser ausschließlich mit Hochdruckpumpen, sodass keine zusätzliche Druckluft benötigt wird.

### **Druckluftspeicher**

Der Betrieb von Produktionsanlagen mit großen Druckluftabnahmemengen führt in vielen Unternehmen zu starken Netzdruckschwankungen. Dies kann zu häufigen An- und Abschaltvorgängen bzw. einem ständigen Wechsel zwischen Last- und Leerlaufbetrieb des Kompressors führen. Beides sollte im Sinne einer energieeffizienten Druckluftherzeugung vermieden werden. Zudem steigt der Verschleiß bzw. der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand der Kompressoren mit steigenden Schaltspielen stark an. Zum Ausgleich schwankender Abnahmemengen sollten daher ausreichend dimensionierte Speicherbehälter bzw. Leitungsquerschnitte vorgesehen werden. Insbesondere bei langen Druckluftleitungen bietet sich die Aufstellung dezentraler Speicher oder Kompressoren in unterschiedlichen Netzbereichen an. Gleichzeitig werden durch diese Maßnahme Strömungsverluste und entsprechende Netzdruckverluste verringert.

### **Kompressorsteuerung**

Unterhalb einer Kompressorauslastung von 85 % des Fördervolumenstroms ist eine Drehzahlregelung die energetisch und wirtschaftlich günstigere Variante. Mit modernen drehzahlgeregelten Kompressoren können Energieeinsparungen von bis zu 35 % gegenüber herkömmlich taktenden Kompressoren erreicht werden. Durch Einbindung der Druckluftkompressoren in eine übergeordnete Steuerung lässt sich die kumulierte Förderleistung einzeln angesteuerter Aggregate optimal an den jeweiligen Druckluftbedarf anpassen. Hier hat sich der Betrieb von Kompressoren unterschiedlicher Leistungsstufen als vorteilhaft erwiesen. Die Leistungsstufen sollten dabei so gewählt werden, dass eine gleichmäßige Abdeckung des Bedarfsprofils durch Kombination der jeweiligen Fördermengen ermöglicht wird.

Zur Bewertung der Druckluftherzeugung können Energiebezugskennzahlen gebildet werden. Diesbezüglich bietet sich das spezifische Verhältnis zwischen Strombezug und erzeugter Druckluftmenge an. Ein guter Energiebezugskennwert für die Druckluftherzeugung bei ca. 6 bar liegt bei etwa  $0,10 \text{ kWh/m}^3$ .

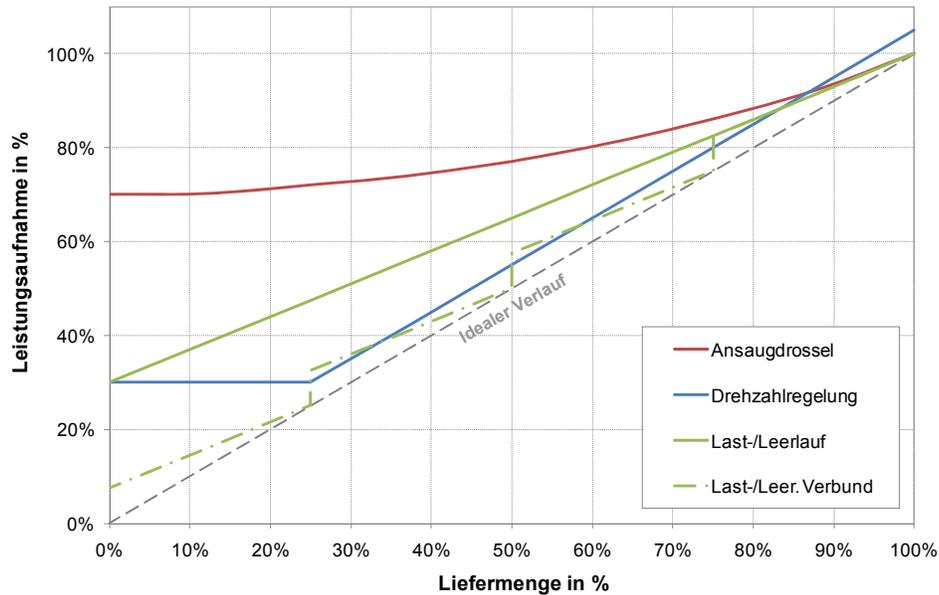


Abbildung 3-30: Leistungsaufnahme von Schraubenverdichtern mit verschiedenen Regelprinzipien (Quelle: EnergieAgentur.NRW)

**Praxisbeispiel:**

Durch die Durchführung eines Softwareupdates und Optimierung der im Programm hinterlegten Kompressorabfolge konnten die Leerlaufverluste von 4 auf 3 % reduziert werden. Zusätzlich wurde der Druckverlauf über die Betriebsdauer ausgeglichen.

- Investition: 1.000 €
- Kosteneinsparung: 1.800 €/a
- Stromeinsparung: 16 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Einsparung: 10 t/a



Praxisbeispiel 4: Optimierung der Kompressorsteuerung

**Druckluftnetz**

Neben der regelmäßigen Wartung von Druckluftherzeugungs- bzw. Aufbereitungsanlagen ist auch eine ständige Prüfung und Instandhaltung des Druckluftnetzes erforderlich. Insbesondere an flexiblen Schläuchen und verschiedenen Verbindungsstellen kommt es häufig zu Leckagen und entsprechend hohen Energieverlusten. Regelmäßige Messungen können helfen, Transparenz über Druckluftverbrauch bzw. Leckage-Verluste zu schaffen.

*Vermeidung von Leckagen*

Die Durchführung eines Aufpumpversuches bei abgeschalteten Druckluftverbrauchern kann Aufschluss über das Maß der Netzleckagen liefern. Dazu wird ein Kompressor mit bekannter Fördermenge gestartet. Bei Erreichen des eingestellten

maximalen Netzdruckes ( $p_A$ ) schaltet er in den Leerlauf (oder ab). Infolge der Undichtigkeiten fällt der Druck im Netz allmählich ab, bis der Kompressor bei Erreichen des Einschaltdruckes ( $p_E$ ) wieder auf Lastbetrieb schaltet und erneut zu fördern beginnt. Die Be- und Entlastungszeiten ( $t_1$  und  $t_2$ ) werden mehrmals gemessen und gemittelt. Der Zusammenhang von Netzdruck und Zeit ergibt dann ein charakteristisches Sägezahnprofil, aus dem sich, wie in Abbildung 3-31 dargestellt, die mittlere zeitliche Leckagemenge bestimmen lässt.

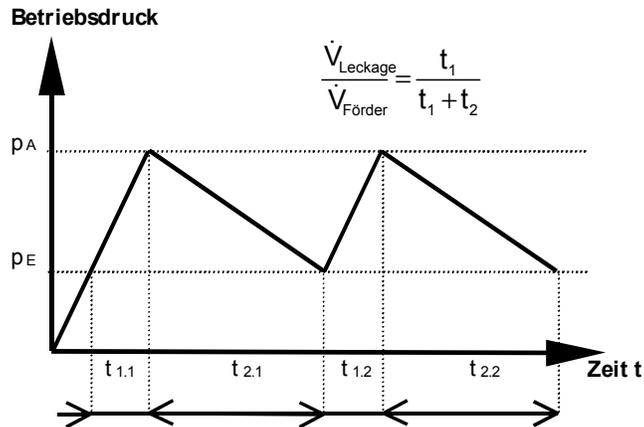


Abbildung 3-31: Bestimmung der Leckagemenge durch einen Aufpumpversuch (Quelle: Meyer et. al., 2000)

**Einfachste Herangehensweise:**

*Ablesung des Laststundenzählers in produktionsfreier Zeit (z.B. Freitagabend bis Montagfrüh)*

→  $t_1$  = abgelesene Laststunden;

$t_1 + t_2$  = Messdauer

*Voraussetzung während der Messung:*

- Kein Dauerbetrieb von Verbrauchern außerhalb der Produktionszeit
- Betrieb am besten nur eines, in jedem Fall nicht drehzahlregelten Kompressors

Netzbereiche sollten außerhalb der Betriebszeiten abgeriegelt werden, um Leckagen innerhalb bestimmter Produktionsbereiche zu vermeiden. Diesbezüglich ist eine Kopplung elektrischer Ventile der Druckluftversorgung einzelner Anlagen mit der jeweiligen Maschinensteuerung sinnvoll. Häufig ist dann auch eine vollständige Abschaltung der Kompressoren möglich.

**3.3.7 Elektrische Antriebe**

Bei elektrischen Antrieben liegt der Energiekostenanteil an den Lebenszykluskosten über 95 %. Daher ist, insbesondere beim Austausch defekter Antriebe, der Einsatz energieeffizienter Motoren und die Optimierung der Antriebsregelung zu empfehlen.

Betrachtungen zur Anlagenoptimierung sollten immer den gesamten Antriebsstrang umfassen und dabei stets auf die anzutreibende Maschine ausgerichtet sein. Idealer

Weise erfolgt demnach zunächst die Optimierung der Maschine/Anwendung und dann die Optimierung der Antriebskomponenten inklusive Regelung:

1. *Maschine/Anwendung:*  
Einsatz effizienter Maschinen sowie richtige Dimensionierung abgestimmt auf die Anwendung z.B.: Gebläse statt Kompressor bei geringen Drücken, Pumpen in Kaskadenschaltung etc.
2. *Kraftübertragung:*  
Vermeidung von Kraftumlenkung (z.B. Kupplungen statt Riemen),  
Einsatz effizienter Getriebe,  
Einsatz von Zahnriemen statt Keil-/Flachriemen (Riemenwartung)
3. *Antrieb:*  
Richtige Dimensionierung (Überdimensionierung vermeiden)  
Einsatz effizienter Motoren (IE3 ...)  
Einsatz von HT-Motoren statt Getriebe (anwendungsspezifisch)
4. *Steuerung/Regelung:*  
Drehzahlregelung bei variierenden Lasten (insbesondere Pumpen, Lüfter)  
Sanftstarter, FUs mit Bypassfunktion (Verlustreduzierung im Volllastbetrieb)  
Effiziente Schütze.

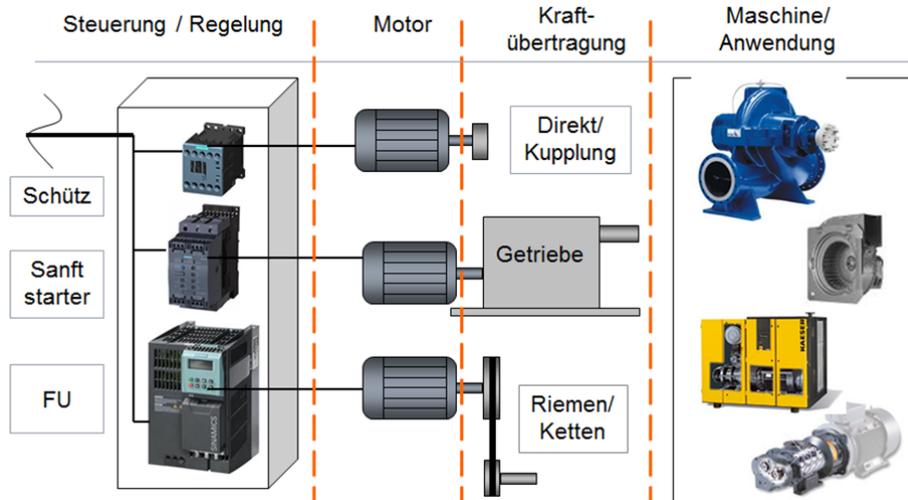


Abbildung 3-32: Anlagenoptimierung umfasst den gesamten Antriebsstrang (Quelle: Siemens AG)

### Klassifizierung Energieeffizienter Antriebe

2011 wurde die EFF-Klassifizierung elektrischer Antriebe durch die neue IE-Norm<sup>4</sup> ersetzt. Durch die Umstellung auf die neue Norm können sich die derzeitigen Bau- größen der Motoren ändern. In Europa dürfen seit Juni 2011 unregelte Motoren im Bereich 0,75-375 kW nur mit Effizienzklasse IE2 oder höher in Verkehr gebracht werden (Eco-Design Directive 2005/32/EC), ab 2015 gilt für Motoren ab 7,5 kW, die nicht in Kombination mit einem Frequenzumrichter betrieben werden, IE3 oder höher.

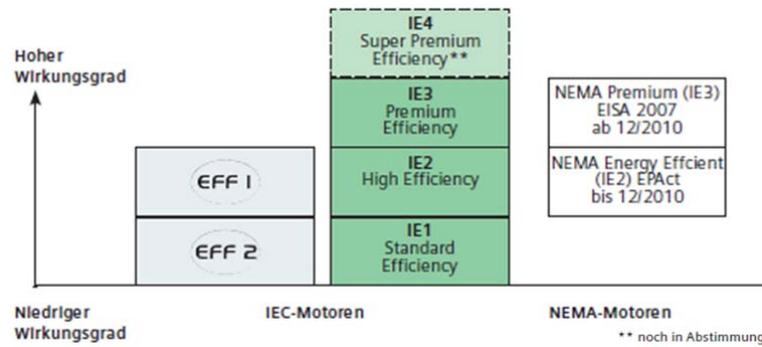


Abbildung 3-33: Umstellung der Wirkungsgrad-Klassifizierung elektrischer Antriebe (Quelle: Siemens AG)

Der Einsatz von anderem/mehr Material hat z.T. eine Änderung der Motorabmessungen zur Folge: in der Regel sind IE3-Motoren etwas länger als IE1-Aggregate. Der veränderte Platzbedarf muss bei der Planung eines entsprechenden Motorenaustausches berücksichtigt werden.

<sup>4</sup> IEC 60034-30, International Electrotechnical Commission

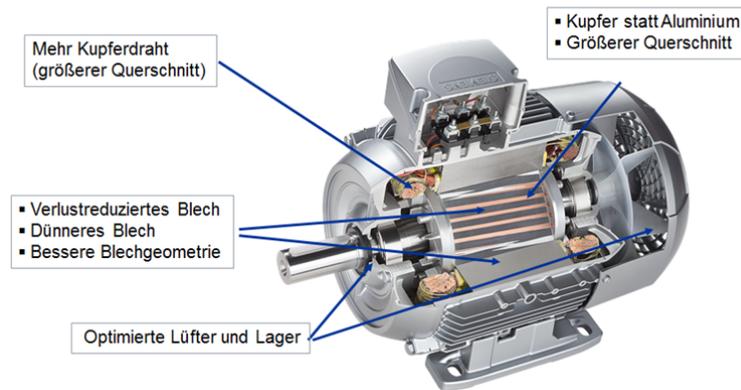


Abbildung 3-34: Verbesserung der Motoreffizienz (Quelle: Siemens AG)

Heutzutage ist die Effizienzklasse von Asynchron-Niederspannungsmotoren direkt auf dem Typenschild ausgewiesen. Bei älteren Motoren können die ebenfalls auf dem Typenschild angegebenen Nenndaten zur Berechnung der (Nenn-)Effizienz gemäß der folgenden Formel herangezogen werden:

$$\eta = \frac{P_{mech}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi}$$

Nennleistung (mechanisch) P      kW (Kilowatt)

Nennspannung U                      V (Volt)

Nennstromstärke I                  A (Ampere)

Leistungsfaktor  $\cos \phi$

**Beispiel:**

Auf dem Typenschild sind folgende Werte gegeben:

- 150 kW
- 380 V
- 286 A
- $\cos \phi = 0,9$

Damit ergibt sich der Nennwirkungsgrad zu:

$$\eta = \frac{15.000W}{\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 286A \cdot 0,9} = 94,4\%$$

Wie bereits erwähnt, handelt es sich hier um den Nennwirkungsgrad, d.h. dieser Wert wird erreicht, wenn der Motor gut gewartet und mit der angegebenen Nennleistung betrieben wird. Die Effizienz von älteren Antrieben (älter als fünf Jahre mit mehr als 5.000 h/a Betriebsdauer) kann z.B. aufgrund von Lagerverschleiß oder Verschmutzungen (verminderte Wärmeabfuhr/Motorkühlung, höhere Betriebstemperatur) abnehmen. Der tatsächliche Wirkungsgrad eines im Betrieb befindlichen Motors kann nur durch eine zeitgleiche Messung der elektrischen Leistungsaufnahme sowie der mechanischen Leistungsabgabe (Drehmoment) bestimmt werden. Letzteres ist im normalen Produktionsbetrieb üblicherweise nicht möglich, sodass bei einer Motorenanalyse neben den Ergebnissen der Strommessung auf den Nennwirkungsgrad zurückgegriffen werden muss.

## Dimensionierung

Die Dimensionierung und die damit verbundene Auslastung eines Elektromotors haben erheblichen Einfluss auf die Energieeffizienz der jeweiligen Anlage. Zu groß dimensionierte Motoren arbeiten in einem Bereich mit schlechtem Wirkungsgrad und niedrigem Leistungsfaktor. Daher ist bei der Anschaffung von Motoren stets auf eine Dimensionierung zu achten, die auf die tatsächlichen Bedürfnisse abgestimmt ist. Wenn absehbar ist, dass die Leistungsanforderungen auf Dauer geringer sind, sollten überdimensionierte Antrieb gegen Modelle einer kleineren Leistungsklasse ausgetauscht werden. Aufgrund der leistungsabhängigen Baugröße von Elektromotoren ist allerdings der Wechsel gegen Motoren geringerer Nennleistung in bestehenden Anlagen aufgrund geometrischer Anforderungen der jeweiligen Maschine schwierig. Durch den Einsatz von Standfuß- oder Flanschadaptern, welche problemlos in der Betriebsschlosserei gefertigt werden können, ist dennoch der Einbau kleinerer Motoren möglich.

Wie in Abbildung 3-35 exemplarisch dargestellt beginnt der Wirkungsgrad bei einer Last von weniger als 50 % der Nennleistung spürbar abzunehmen, unter 25 % ist die Abnahme signifikant. Dementsprechend sollte ein Motor mit etwa 80 % seiner Nennleistung oder mehr betrieben werden.

Durch eine Messung der Stromaufnahme (Leistungsmessung) kann der tatsächliche Auslastungsgrad abgeschätzt werden – dieses Vorgehen liefert zwar keine präzisen Ergebnisse, aber eine gute erste Einschätzung.

In manchen Anwendungsfällen wird die volle Nennleistung des Motors nur kurzzeitig, z.B. während Anfahrvorgängen, und nicht im Normalbetrieb benötigt. Solche (seltenen) Spitzenlastfälle müssen selbstverständlich bei der Erarbeitung von Austauschempfehlungen untersucht und berücksichtigt werden.

Liegt der Leistungsbedarf unter  $1/3$  der Nennleistung, kann der Wirkungsgrad des Antriebs in einigen Fällen durch einfaches Umklemmen der Motorwicklungen verbessert werden. Bei dieser Umschaltung von Dreieck- zu Sternschaltung gehen das Drehmoment und die Nennleistung des Motors auf  $1/3$  zurück, sodass der Antrieb wieder mit günstigem Wirkungsgrad arbeitet. Auch in diesem Fall ist zu prüfen, ob der Motor noch das geforderte Anlaufmoment erbringen kann.

Anlagen mit periodischer Motorlast können über intelligente Steuerungen betrieben werden. Diese erkennen die zyklische Leistungsaufnahme des Antriebs und reduzieren den Strombezug im Teillastbereich.

Üblicherweise kann davon ausgegangen werden, dass sich der Austausch eines IE1-Motors, der kontinuierlich mit maximal 25 % der Nennleistung für mindestens 5.000 h/a betrieben wird, durch einen entsprechend kleiner dimensionierten IE3-Motor in weniger als drei Jahren amortisiert. Ein Rechenbeispiel ist in Abbildung 3-35 dargestellt.

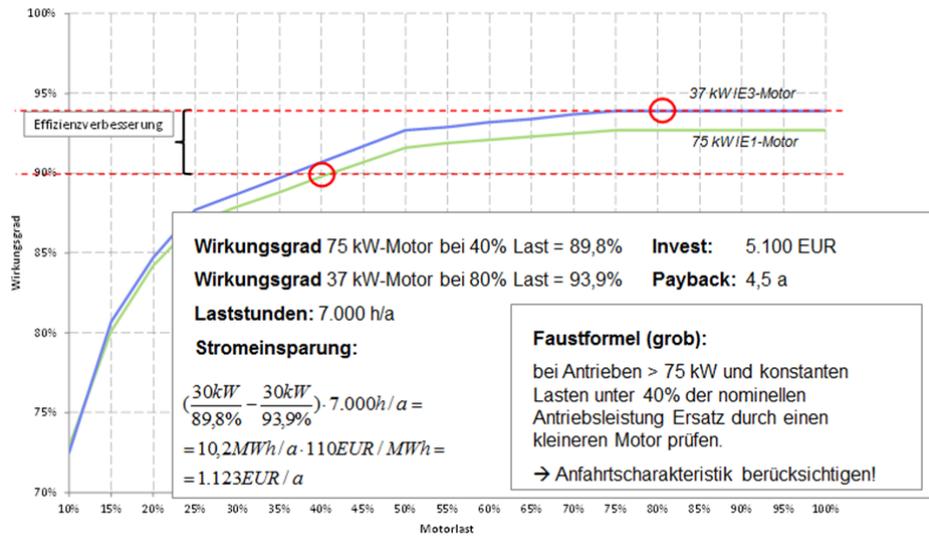


Abbildung 3-35 Wirkungsgradverlauf in Abhängigkeit vom Teillastverhalten (Quelle: Siemens AG)

### Kraftübertragung

Die Kraftübertragung wird in der Regel genutzt um:

- eine Kraftumlenkung vorzunehmen (Richtungswechsel)
- eine Kraftübersetzung bzw. Geschwindigkeitsänderung zu erreichen (Getriebe, Riemen, Ketten usw.)
- Maschinenteile voneinander zu entkoppeln und Vibrationen am Antrieb zu verringern oder auch als Sicherheitselement (bspw. Mühlen).

Zum Zwecke der Kraftübertragung werden hauptsächlich Riementriebe und Getriebe verwendet. Generell gilt: Kraftumlenkung führt zu Energieverlusten und sollte möglichst vermieden werden. In Abbildung 3-36 sind einige Wirkungsgrade exemplarisch aufgeführt. Nach Möglichkeit sollten Zahnriemen verwendet werden.

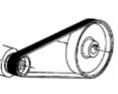
					
System	Keilriemen	Gekerbter Keilriemen	Flachriemen	Zahnriemen	Kette
Wirkungsgrad	90-96%	94-98%	96-98%	96-99%	95-98%
Schlupf	1%	1%	<1%	0%	0%
Stoßfest	ja	ja	ja	nein	nein
Wartung	hoch	mittel	mittel	gering	mittel
Anschaffungskosten	100%	130%	120%	300%	500%

Abbildung 3-36 Wirkungsgrade verschiedener Kraftübertragungsarten (Quelle: Siemens AG)

Zur Vermeidung/Minimierung dieser Übertragungsverluste können z.B. Riemenantriebe ohne Kraftübersetzung gegen Direktantriebe mit flexiblen Kupplungen

ersetzt werden (i.d.R. Kompressoren, Lüfter). Zur Bewertung der Umsetzbarkeit einer solchen Maßnahme ist immer eine Einzelfallprüfung erforderlich. Eine gute Wartung ist für eine effiziente Kraftübertragung in jedem Fall unabdingbar.

Ältere Getriebe (> 15 Jahre) weisen in der Regel niedrigere Wirkungsgrad als moderne Getriebe auf. Der Getriebeaustausch allein aus Gründen der Effizienzsteigerung/Energieoptimierung ist für kleinere Anwendungen im Allgemeinen zu kostenintensiv und sollte für Motoren über 30 kW in Betracht gezogen werden.

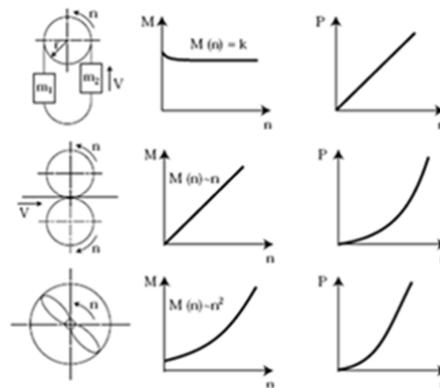
	Stirradgetriebe- motor 	Flachgetriebe- motor 	Kegelradgetriebe- motor 	
Leistungsbereich [Nm]	90 ... 1.680	150 ... 1.850	2-stufig: 110...450	3-stufig: 220...1.60
Drehzahlbereich [1/min]	6,7 ... 426	4,9 ... 406	5,9 ... 417,9	
Wirkungsgrad	Pro Stufe ca. 98% (2 oder 3 Stufen)	Pro Stufe ca. 98% (2 oder 3 Stufen)	Pro Stufe ca. 98% (2 oder 3 Stufen)	

Abbildung 3-37 Wirkungsgrade verschiedener Getriebearten (Quelle: Siemens AG)

### Regelung

Anlagen mit variabler Drehzahl sollten bedarfsabhängig über einen Frequenzumrichter geregelt werden. Neben der erhöhten Effizienz ergeben sich teilweise produktionstechnische Vorteile durch die verbesserte Regelgenauigkeit der jeweiligen Anlage. Typische Anwendungsfälle sind:

- Förderanlagen  
z.B. Aufzüge, Hebeeinrichtungen
- Werkstoffbearbeitung  
z.B. Walzen, Extruder
- Strömungsmaschinen  
z.B. Pumpen, Gebläse



Wie aus der oben stehenden Abbildung ersichtlich ist in diesen Fällen ist die Leistung (P) proportional zur benötigten Drehzahl (n) und der Einsatz einer Drehzahlanpassung bei variablen Lasten insbesondere bei Strömungsmaschinen wie Pumpen und Lüfter sinnvoll.

Die gängigsten Arten der Antriebsregelung sind:

- Sanftstarter  
„Rampe“ zum Anfahren/Bremsen des Motors
- Polumschaltung  
Feste Drehzahlstufen (3000, 1500 etc.), geringerer Wirkungsgrad
- Frequenzumrichter (FU)  
Variable Drehzahlen möglich (Motor sollte auf „FU-Fähigkeit“ überprüft werden, ansonsten Motor wechseln).

Antriebe, welche aufgrund des typischen Betriebsprofils nicht mit einer Drehzahlregelung ausgestattet sind, können zur verringerten Leistungsaufnahme beim Anfahren der jeweiligen Anlage mit einem Sanftstarter versehen werden. Neben der Reduzierung von Stromlastspitzen erhöht sich hierdurch die Motorlebensdauer aufgrund der verringerten Belastung des Antriebs.

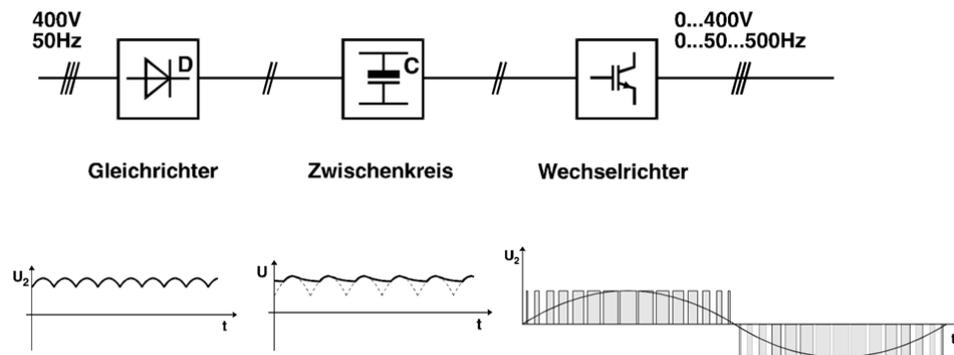


Abbildung 3-38: Funktionsweise eines Frequenzumrichters (Quelle: Siemens AG)

Bei kurzzeitiger Abschaltung elektrischer Antriebe sind die maximal zulässigen Schaltspiele pro Stunde zu berücksichtigen. Antriebe mit einer Leistungsaufnahme unter 20 kW können in der Regel problemlos abgeschaltet werden.

### 3.3.8 Pumpen

Bedingt durch Reinigungs- bzw. Förderprozesse, aber auch in den Bereichen der Heizwärmeverteilung, Dampferzeugung und Brunnenwasserförderung ist in den Betrieben eine große Anzahl an Pumpen zu finden. Diese sind häufig aus historischen Gründen überdimensioniert bzw. arbeiten in einem ungünstigen Betriebspunkt. Insbesondere beim Austausch defekter Pumpen wird diesbezüglich großes Potenzial gesehen. Auch durch Optimierung des Rohrleitungssystems sind Energieeinsparungen möglich.

#### Energieeffizienzpumpen

Einsparpotenziale bei Pumpen werden nach Erfahrung von Unternehmen hauptsächlich im Einsatz effizienter Antriebsmotoren gesehen. Allerdings ist die Pumpengeometrie bzw. das Regelverhalten ebenso entscheidend für eine energie-

effiziente Betriebsweise. Diesbezüglich sollte bei defektem Pumpenantrieb ein Austausch der kompletten Pumpe gegen eine Energieeffizienzpumpe geprüft werden.

### **Dimensionierung**

Umstellungen in der Produktion und entsprechende Veränderungen der Betriebsbedingungen bzw. der Anlagenkennlinie sollten beim Austausch defekter Pumpen berücksichtigt werden. Daher ist immer eine Auslegung auf Basis der erforderlichen Druckerhöhung, des Volumenstroms und Regelverhalten der Pumpe notwendig.

### **Regelung**

Neben der Energiekostenoptimierung ermöglicht die Drehzahlregelung über Frequenzumrichter eine genaue Einstellung von Prozessparametern. Wirkungsgrade heutiger Frequenzumrichter liegen zum Teil über 98 %. Sinnvoll ist der Einsatz eines Frequenzumrichters bei einer Auslastung des Antriebsmotors zwischen 40 und 80 %, dabei muss allerdings immer die Anlagenkennlinie je nach Anwendungsfall berücksichtigt werden.

Pumpen, die nicht direkt mit der Produktion gekoppelt sind, sollten wenn möglich in das Spitzenlastmanagement eingebunden werden, um zusätzliche Lastspitzen zu vermeiden. Zusätzlich kann der Pumpenbetrieb durch ausreichend dimensionierte Vorratsbehälter vergleichmäßigt werden.

### **Rohrleitungssystem**

Insbesondere in historisch gewachsenen Unternehmen besteht ein hohes Einsparpotenzial im Bereich des Rohrleitungssystems. Durch geringe Leitungsquerschnitte, große Leitungslängen, verwinkelte Rohrleitungen mit einer Vielzahl von Formstücken, aber auch durch Ablagerungen oder Korrosion an den Rohrwandungen werden hydraulische Widerstände und einhergehende Strömungsverluste begünstigt. Diesbezüglich sollten betreffende Leitungsbereiche begradigt und raue durch hydraulisch glatte Leitungen ersetzt werden. Warme Versorgungsleitungen (z.B. von Heißwasser oder Thermoöl) sollten mit einer ausreichenden Wärmedämmung ausgestattet sein.

## **3.3.9 Beleuchtung**

Die in der Ernährungsindustrie eingesetzten Beleuchtungssysteme sind häufig aus energiewirtschaftlicher Sicht verbesserungswürdig. Insbesondere bei der Neuplanung und Modernisierung von Produktions- und Lagerbereichen bzw. Verwaltungsgebäuden können Energieeinsparpotenziale von bis zu 80 % erreicht werden. Neben der erhöhten Lichtausbeute und einhergehender Energiekosteneinsparung kann die Lichtqualität der Beleuchtung durch die Implementierung gezielter Maßnahmen erhöht werden.

### Anforderungen an die Lichtqualität

Gesetzliche Mindestanforderungen an die Lichtqualität richten sich nach der jeweiligen Sehaufgabe und sind in der Norm DIN EN 12464-1 festgehalten. Empfohlene Richtwerte für die Beleuchtungsstärke unterschiedlicher Arbeitsbereiche sind in Tabelle 3-9 dargestellt. In vielen Fällen ist die Beleuchtung überdimensioniert, sodass eine Absenkung der Beleuchtungsstärke möglich ist.

Arbeitsbereich / Tätigkeit	Beleuchtungsstärke E in lux
Verkehrsflächen und Flure, Lagerräume, Pausenräume	100
Trocknungsraum	100
Treppen, Laderampen, Fahrwege mit Personenverkehr	150
Arbeitsplätze und –zonen an Bädern, Garderoben, Waschräume, Toiletten	200
Versand-/Verpackungsbereiche	300
Sanitätsräume, EDV-Arbeitsplätze	500
Technisches Zeichnen	750

Tabelle 3-9: Erforderliche Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464-1

Hauptkriterien zur Bewertung der Lichtqualität von Beleuchtungssystemen sind neben der Beleuchtungsstärke die Blendungsbegrenzung, Lichtfarbe und Farbwiedergabe, Reflexion und die zeitliche Gleichmäßigkeit (Flimmerfreiheit).

### Lampenwechsel

In vielen Betrieben werden T8-Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) eingesetzt. Durch die Umstellung der Beleuchtung auf T5-Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) ergibt sich je nach Lampenleistung eine Energieeinsparung von bis zu 40 %. Zusätzlich ergeben sich durch die Umstellung auf elektronische Vorschaltgeräte eine Verlängerung der Lampenlebensdauer und demzufolge auch eine entsprechende Reduzierung der Auswechselkosten. Ein Lampenwechsel sollte immer mit dem jeweiligen Anlagenhersteller abgestimmt werden. In der Regel ist es empfehlenswert die Leuchten und nicht nur die Lampen zu wechseln (siehe auch Abschnitt 3.3.9).

### Effiziente Leuchten

Leuchten in Produktions- und Lagerbereichen sind häufig nicht mit Reflektoren ausgestattet oder verfügen lediglich über weiße Reflektorbleche mit geringem Reflexionsgrad. Diesbezüglich ist auch eine nachträgliche Installation von effizienten Spiegelreflektoren sinnvoll. Diese sollten hinsichtlich ihrer geometrischen Gestalt (Wölbung) an die jeweilige Raumhöhe angepasst werden, um eine frühzeitige Lichtstrahlaufweitung zu vermeiden. Insbesondere in Arbeitsbereichen, in denen Reflektoren stark verschmutzen würden, besteht die Möglichkeit spezielle Leuchtstofflampen mit integrierter Reflektorschicht einzusetzen.

Lampe	Lichtausbeute $\eta$ in lm/W	Farbwiedergabe $R_a$	Lebensdauer in h	Anwendungsgebiete
Glühlampe	6 -16	100	1.000 - 2.000	<i>sehr geringe Lichtausbeute, werden schrittweise aus dem Handel genommen</i>
Halogen-glühlampe	12 – 26 (12 V) 10 – 19 (230 V)	100	1.000 - 5.000	<i>bessere Lichtausbeute als Glühlampen, Verwendung insbesondere für die Spotbeleuchtung in Verwaltungsbereichen, gut dimmbar</i>
Kompaktleuchtstofflampe (Energiesparlampe)	32 - 65	85 - 95	5.000 - 20.000	<i>hohe Lichtausbeute, vielseitig einsetzbar, für flächige Beleuchtung oder Spotbeleuchtung, z.T. dimmbar</i>
Leuchtstofflampe	32 - 105	65-97	5.000 - 50.000	<i>noch höhere Lichtausbeute als Kompaktleuchtstofflampen, mit EVG gut dimmbar</i>
Leuchtdiode	15 - 110	Unterschiedlich bis zu 92	15.000 - 50.000	<i>teilweise gute bis hohe Lichtausbeute, hoher Anschaffungspreis, daher bisher geringere Verbreitung, zunehmend aber Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung, gut geeignet für Spotbeleuchtung</i>
Hochdruck-quecksilberdampf-lampe	60	50	10.000	<i>werden zunehmend gegen Halogenmetalldampflampen oder Natriumhochdruckdampflampen ersetzt, CE-Kennzeichnung erlischt 2010</i>
Halogenmetall-dampflampe	77 - 110	65 - 97	9.000 - 13.000	<i>hohe Lichtausbeute, gute bis sehr gute Farbwiedergabe, nur bedingt dimmbar, bei Dimmen Farbverschiebung ins Grünliche</i>
Hochdruck-natrium-dampflampe	86 - 133	20	1.500 - 32.000	<i>sehr hohe Lichtausbeute, geringe Farbwiedergabe (gelbstichiges Licht), Anwendung häufig in Lagerbereichen bzw. Außenbeleuchtung, dimmbar</i>
Niederdruck-natrium-dampflampe	180	20	18.000	<i>höchste Lichtausbeute, jedoch schlechte Farbwiedergabe (gelbes Licht), deshalb fast nur in der Außenbeleuchtung eingesetzt, nicht dimmbar</i>

Tabelle 3-10: Gegenüberstellung unterschiedlicher Lampentypen

### Raumgestaltung

Durch die gezielte Wahl heller Wand- und Deckenfarben kann der Raumwirkungsgrad erhöht werden. Verschattungen durch Kabelkanäle, Rohrleitungen, Anlagenkomponenten oder Hochregale sollten vermieden werden.

Sowohl die Anordnung der Leuchten als auch die Einteilung der Beleuchtungsschaltgruppen sollte an die jeweiligen Arbeitsbereiche, Sehaufgaben bzw. Tageslichteinfall angepasst werden. Daher ist vor der Neuinstallation einer

Beleuchtungsanlage eine professionelle Auslegung mit Hilfe einer entsprechenden Planungssoftware sinnvoll. Bei der Platzierung der Lichtschalter ist auf eine ausreichende Kennzeichnung und gute Zugänglichkeit zu achten.

Zur Minimierung des Wärmeeintrags und der Blendung auf Bildschirmen in Produktionshallen im Sommer sind insbesondere weiß gestrichene Fensterflächen an Scheddächern weit verbreitet. Aufgrund des verringerten Tageslichteinfalls erhöht sich der Strombezug für die Beleuchtung. Diesbezüglich liegen in einem Unternehmen bereits positive Erfahrungen zum Einsatz aufklebbarer Wärmeschutzfolien vor. Diese reduzieren zwar den Wärmeeintrag und die Blendung in die Halle, lassen allerdings diffuses Licht zur Raumausleuchtung durch.

### **Beleuchtungsregelung**

In Räumen mit hohem Tageslichteinfall ist eine tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung sinnvoll. Weiterhin bewährt hat sich die Kopplung der Beleuchtung an die Maschinenstromversorgung. Zudem kann die Beleuchtung im Rahmen einer Zeitsteuerung an die Betriebszeiten einzelner Arbeitsbereiche angepasst werden. In diesem Zusammenhang sollten Einbindungsmöglichkeiten in eine zentrale Gebäudeleittechnik untersucht werden. Insbesondere in Fluren, Sozialräumen und Lagerbereichen sollten Präsenzmeldern zur Anwesenheitssteuerung eingesetzt werden.

### **3.3.10 Kraft-Wärme-Kopplung**

Neben der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme ist eine gleichzeitige Bereitstellung im Rahmen einer Kraft-Wärme-Kopplung möglich. In Ernährungsbetrieben werden hauptsächlich Motorblockheizkraftwerke (MBHKW), Gasturbinen oder Dampfturbinen eingesetzt.

#### **Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage hängt im Wesentlichen vom jeweiligen Wärmebedarfsprofil und den Brennstoff- bzw. Strompreisen des Standortes ab. Für einen wirtschaftlichen Betrieb einer KWK-Anlage sollte die Betriebsdauer mindestens 5.000 h/a betragen. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist das Verhältnis zwischen Brennstoff- und Strompreis. So sollte der Brennstoffpreis möglichst unter 50 % des Strompreises liegen. Um eine hohe Auslastung der KWK-Anlage zu erreichen, ist eine möglichst konstante Wärmeabnahme erforderlich. Die Auslegung der Anlage kann entweder für einen strom- oder wärmegeführten Betrieb erfolgen.

#### **Wärmegeführte Betriebsweise**

Wie in Abbildung 3-39 dargestellt, kann bei der wärmegeführten Betriebsweise der Wärmebedarf über gestaffelte KWK-Anlagenblöcke bereitgestellt werden. Wärmebezugsspitzen werden über zusätzliche Spitzenlastbrenner abgedeckt. Der erzeugte Strom kann entweder am Standort selbst genutzt oder ins lokale Stromnetz eingespeist werden. Bei einer wärmegeführten Betriebsweise wird nur Strom produziert, wenn die dabei entstehende Wärme genutzt werden kann.

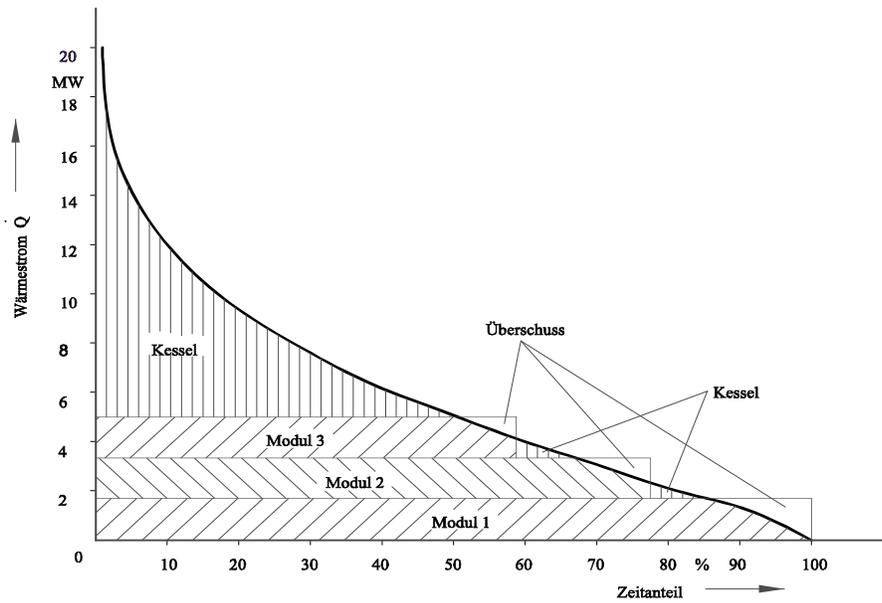


Abbildung 3-39: Wärmegeführte Betriebsweise einer KWK-Anlage (Quelle: Siemens AG)

### Stromgeführte Betriebsweise

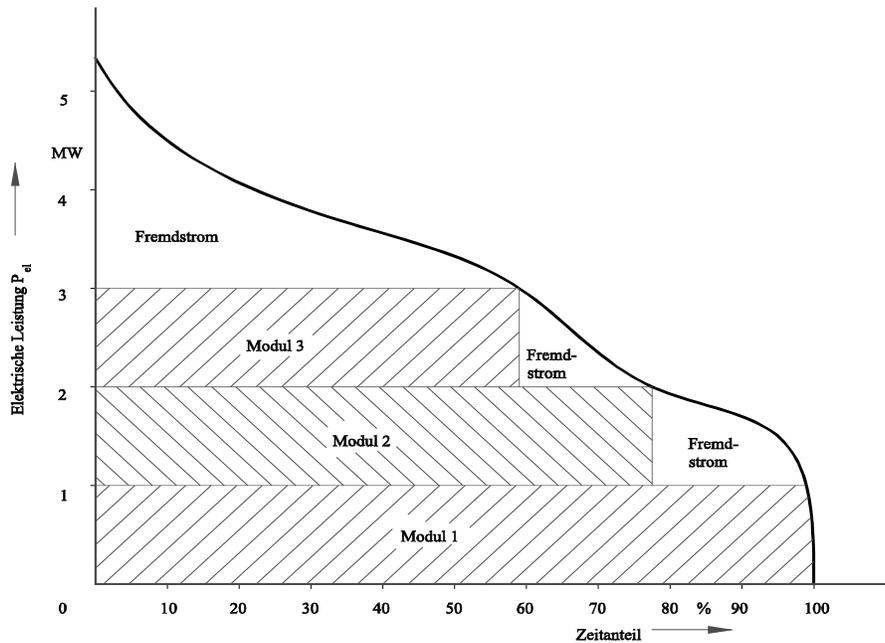


Abbildung 3-40: Stromgeführte Betriebsweise einer KWK-Anlage (Quelle: Siemens AG)

Beim stromgeführten Betrieb wird die jeweilige Anlage nach dem aktuellen Strombedarf geregelt. Um zeitliche Verschiebungen zwischen Wärmebedarf und dem vom Strombedarf abhängigen Betrieb der KWK-Anlage auszugleichen, werden Wärmespeicher eingesetzt. Kann die erzeugte Wärmemenge nicht abgenommen werden, wird die bei der Stromerzeugung entstehende Wärme für diesen Zeitraum ungenutzt an die Umgebung abgeführt.

Für die Auslegung einer KWK-Anlage ist in jedem Fall eine detaillierte Prüfung des jeweiligen Unternehmens in Hinblick auf die Struktur des Strom- bzw. Wärmebedarfs erforderlich. Des Weiteren müssen lokale Gegebenheiten wie z.B. Aufstellort oder die Kopplung mit dem vorhandenen Wärmeversorgungsnetz berücksichtigt werden.

### 3.3.11 Reinigung

Die in Nahrungsmitteln enthaltenen Proteine, Fette und Kohlenhydrate neigen beim Kontakt mit den Oberflächen von Behältern, Rohrleitungen und anderen Anlagenteilen zu Ablagerungen und Anhaftungen. Da viele Rohstoffe und Produkte einen ausgezeichneten Nährboden für die verschiedensten Mikroorganismen bieten, ist eine regelmäßige und gründliche Reinigung in der Ernährungsindustrie unerlässlich (HACCP). Eine unzureichende Reinigung und Desinfektion kann zu erheblichen Produktionsschwierigkeiten bis hin zum befristeten gesetzlich reglementierten Produktionsstopp führen. Darüber hinaus erhöhen sich mit zunehmender Ablagerungsdicke in durchströmten Bauteilen die Druckverluste, was einen erhöhten Pumpenenergiebedarf zur Folge hat. In Wärmeaustauschern verringert sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Übertragungsflächen, woraus ein gesteigerter thermischer Energiebedarf resultiert.

Aus diesen Gründen nimmt die Reinigung der Produktionsanlagen einen bedeutenden Stellenwert ein, der sich sowohl im Zeitaufwand als auch im betrieblichen Energiebedarf niederschlägt.

#### **CIP-Reinigung**

Automatische Reinigungssysteme, welche die Anlage in der Regel unmittelbar im Anschluss an einen Produktionszyklus reinigen, sind heute in vielen Bereichen der Ernährungsindustrie anzutreffen. Bei diesem Prinzip werden alle durchflossenen Anlagenteile von der Reinigungslösung durchspült und gereinigt, ohne dass das Zerlegen von Maschinen und Anlagenteilen notwendig wird. Die Reinigungslösungen werden in der Regel zwischengespeichert und wiederverwendet. Dies führt zu einer Reduzierung des Wasser- und Energieeinsatzes.

#### *Zweiphasenreinigung*

In der Vergangenheit wurde am Häufigsten die sogenannte Zweiphasenreinigung angewendet. Nach dem Restausschub der in der Anlage verbliebenen Produktmenge mit Wasser (seltener mit Druckluft) und dem Vorspülen zur Beseitigung lose anhaftender Verunreinigungen erfolgt die alkalische Reinigung mit 1,2- bis 1,5-prozentiger Lauge bei 70 bis 90 °C. Die zweite Phase umfasst ein Zwischenspülen mit Wasser und die saure Reinigung mit 1,0- bis 1,2-prozentiger Säure bei 70 °C. Im Anschluss an das Nachspülen mit Wasser wird die Anlage ggf. desinfiziert und erneut mit Frischwasser nachgespült.

Zur Vorwärmung des Spülwassers eignet sich z.B. die Abwärme von Druckluft- oder Kälteanlagen.

### *Einsparungen durch Einphasenreinigung*

Es ist jedoch nicht immer erforderlich, das komplette Reinigungsprogramm durchzuführen. Insbesondere der Schritt der sauren Reinigung kann je nach Wasserhärte gelegentlich entfallen. Speziell entwickelte moderne alkalische Reinigungsmittel ermöglichen mittlerweile auch eine Einphasen-Reinigung, wodurch ein Reinigungsschritt und eine Spülung entfallen und entsprechend Zeit und Energie eingespart werden können. Allgemein gilt, dass eine Temperaturerhöhung die Reinigungszeit verkürzt, wobei jedoch die erwähnten Temperaturgrenzwerte nicht überschritten werden dürfen, um Anbrennungen und vor allem auch Korrosion zu vermeiden.

### *Verfahrensprinzip*

Unabhängig von der Abfolge der einzelnen Reinigungsschritte gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahrensprinzipien bei der CIP-Reinigung:

- *Verlorene Reinigung*  
Bei der verlorenen Reinigung werden die verschmutzte Reinigungslösung im Anschluss direkt dem Abwassersystem zugeführt. Dieses Prinzip wird dann eingesetzt, wenn der Verschmutzungsgrad eine Wiederverwendung der Reinigungsmittel aus hygienischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht erlaubt. Der technische Aufwand ist relativ gering, daher sollte das Prinzip der verlorenen Reinigung generell bei kleinen oder selten genutzten Anlagen eingesetzt werden.
- *Stapelreinigung*  
Bei der Stapelreinigung werden alle benötigten Reinigungslösungen gebrauchsfertig gemischt und temperiert in Stapeltanks vorrätig gehalten und nach ihrem Einsatz wieder in möglichst hohem Umfang dorthin zurückgeführt. Je nach Verschmutzungsgrad wird die Reinigungsflüssigkeit dabei entweder nach einem bestimmten Zeitraum komplett ersetzt oder in kürzeren Abständen nur teilweise ausgetauscht. Welche Variante hinsichtlich Wasser- und Energiebedarf vorteilhafter ist, muss im Einzelfall je nach Produktionsstruktur erwogen werden. Das CIP-Prinzip mit Stapelung erfordert zwar einen größeren apparativen Aufwand, bei Optimierung der Anlage sind jedoch vor allem die Wasser-, Reinigungsmittel- und Energiekosten deutlich geringer als bei der verlorenen Reinigung.

### *Faustregel*

Als Faustregel gilt, dass für Kreislaufvolumina der zu reinigenden Komponenten von mehr als 700 l bei nicht übermäßigem Verschmutzungsgrad die Stapelreinigung wirtschaftlicher ist. Allein durch die Nutzung des Nachspülwassers zur Vorspülung im nächsten Reinigungszyklus werden 25 bis 30 % Wasser, 15 % Dampf und 10 bis 12 % Reinigungsmittel eingespart.

### *Dezentrale CIP-Systeme*

Neben der zentralen gibt es auch die dezentrale Stapelreinigung. Insbesondere in Großbetrieben können bei zentralen CIP-Anlagen die Druck-, Vermischungs- und Wärmeverluste zu einem höheren Energiebedarf führen als dezentrale Anlagen. Hier kann trotz erhöhtem Anlagenaufwand die Errichtung mehrerer dezentral positionierter CIP-Systeme günstiger sein.

### **Membranverfahren**

Zur Reduzierung der Wasser- und Reinigungsmittelverbräuche werden immer häufiger Membranverfahren zur Aufbereitung von Reinigungswasser und -lösungen eingesetzt, hauptsächlich die energetisch besonders günstige Ultrafiltration (UF). Durch die Aufbereitung von Reinigungslösungen sind Wasser-, Dampf- und Reinigungsmiteleinparungen von bis zu 90 % erreichbar. Dem stehen der Strombedarf für die Pumpen der UF-Anlage sowie ein zusätzlicher Personalaufwand gegenüber.

Bei der Aufbereitung der Spülwassermengen besitzt das als Permeat anfallende Brauchwasser eine ausreichende Reinheit für Vor- und Zwischenspülungen und hat oft noch Temperaturen von 40 bis 50 °C. Die Zwischenspeicherung dieses Wassers kann in großen Schichtspeichern erfolgen, wobei eine Steuerung die Temperatur des Wassers überwacht und es in entsprechender Höhe einleitet. Vermischungsverluste werden so minimiert und richtig temperiertes Spülwasser steht immer zur Verfügung. Im untersten, kalten Speicherbereich kann zusätzlich weitere Abwärme aus Druckluftkompressoren, Kälteanlagen oder ähnlichen Abwärmequellen eingekoppelt werden. Gegebenenfalls kann auf den Einsatz von Verdunstungsrückkühlern für diese Anlagen verzichtet werden.

### **Automatisierte Leitfähigkeitsmessung und -überwachung**

Bei der herkömmlichen Reinigung wird die Dauer der einzelnen Reinigungsintervalle meist aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt. Dies führt teilweise zu unnötig langen Spülzeiten. Durch die automatische Leitfähigkeitsmessung wird die Reinigung innerhalb einer Anlage kontinuierlich überwacht. Dabei werden Messsonden am Anfang und Ende der Prozesskette installiert. Während der Reinigungsphase weisen die beiden Messsonden unterschiedliche Leitfähigkeitswerte auf. Gleichen sich die Werte einander an, ist der Reinigungsvorgang abgeschlossen, und die Steuerung leitet den nächsten Reinigungsschritt ein.

So wird einerseits die Durchmischung von Restprodukt, Lauge, Säure oder Spülwasser minimiert (jede Flüssigkeit wird automatisch dem richtigen Speicherbehälter zugeführt), und andererseits die Reinigungsdauer verkürzt (Verbesserung der Produktionsauslastung). Neben der Einsparung von Wasser kann durch diese Technik auch die Reduzierung der notwendigen Heizwärme erreicht werden.

### **Molchtechnik**

Der Wasserverbrauch bei der konventionellen Reinigung von Rohren steigt mit zunehmender Produktviskosität. Besonders bei viskosen Produkten empfiehlt sich daher der Einsatz der Molchtechnik. Ein Molch ist ein Kunststoffkörper mit einem Metallkern, der sich dicht in die Leitungen einpasst und Produkt und Spülwasser etc. mechanisch voneinander trennt. Der Wasserverbrauch lässt sich durch Einsatz der Molchtechnik um ca. 90 % verringern. Die Produktverluste werden ebenfalls gesenkt.

Die Voraussetzungen für den Einsatz der Molchtechnik sind ein konstanter Innendurchmesser der Rohre, das Fehlen von Achsversätzen sowie weite Rohrkrümmerradien (mindestens zweifacher Innendurchmesser). Weiterhin werden Molchstationen benötigt, mit deren Hilfe der Molch in die Leitung eingeführt bzw. entnommen werden kann.

### **Allgemeines**

Grundsätzlich ist es wichtig, dass die Reinigungsflüssigkeiten alle Flächen gut erreichen können. Dies erfordert einen Wechsel der Fließrichtung und gezieltes Spülen von Blindleitungen. Rohrkupplungen sollten durch Schweißverbindungen ersetzt werden.

Glatte Oberflächen erleichtern Reinigungsvorgänge, da sie Schmutz von vornherein wenig Haftfläche bieten.

Die Reinigungs- und Desinfektionsmittel sollten weitestgehend biologisch abbaubar sein und so sparsam wie möglich eingesetzt werden. Dies reduziert die Abwasserbelastung und die damit verbundenen Kosten.

## **3.4 Prozessautomation**

Im Rahmen der Prozessautomatisierung werden alle Anlageteile in eine Informations- und Steuerungsarchitektur integriert. Signale aus diesen Prozessen sowie anderweitig eingepflegte Informationen werden in die Steuerung eingebunden. Hierzu zählen zum Beispiel Prozesskennzahlen, Prozessinformationen und Sensordaten.

Zu den generellen Vorteilen der Prozessautomatisierung zählt, dass sich die wichtigen Daten eines Produktionsprozesses einfach zusammenfassen und dokumentieren lassen. Dadurch beschleunigt sich zum einen die Fehlerdiagnostik bei eventuell auftretenden Problemen. Zum anderen lässt sich das Gesamtverfahren durch die gesammelten Daten optimieren. Dafür werden die Daten aus dem laufenden Betrieb verarbeitet und analysiert. Einzelne Prozessschritte können anschließend z.B. besser vernetzt werden.

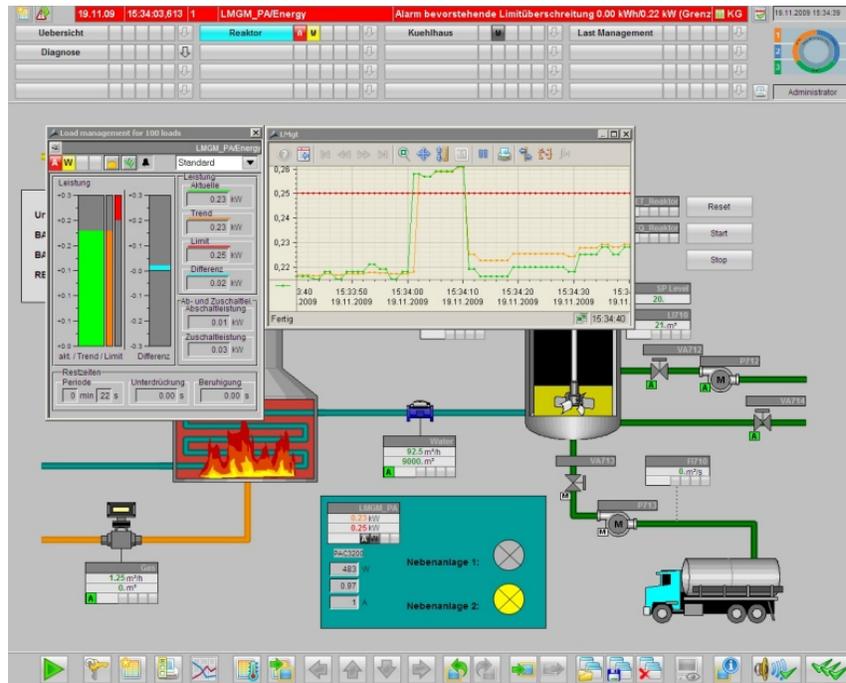


Abbildung 3-41: Prozessautomatisierung, exemplarisch (Quelle: Siemens AG)

Im Bereich der Energieeffizienz kann so beispielsweise durch den Einsatz eines modernen Energiedaten-Management-Systems (EDMS) die vorhandene Prozessleittechnik verwendet werden, um den Energiebedarf zu analysieren und zu senken. Dabei können unter anderem spezifische Auswirkungen für einzelne Produktionsschritte und -anlagen ausgewertet werden.

Im Rahmen eines Energieeffizienzkonzepts werden wichtige Kennzahlen zum Energieverbrauch erfasst (z.B. der Energiebedarf in Bezug auf die Produktionsmenge) und der Einfluss klimatischer Bedingungen, wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit, berücksichtigt. Dies ermöglicht es, Energieeffizienzmaßnahmen zu identifizieren und den Allgemeinzustand der Anlage bezüglich der Energieeffizienz zu bewerten. Neben einem allgemeinen Verbrauchs-Überblick auf allen Ebenen lassen sich auch energieintensive Prozesse aufspüren, und selbst versteckte Potenziale im Betrieb von bereits optimierten Anlagen werden sichtbar.

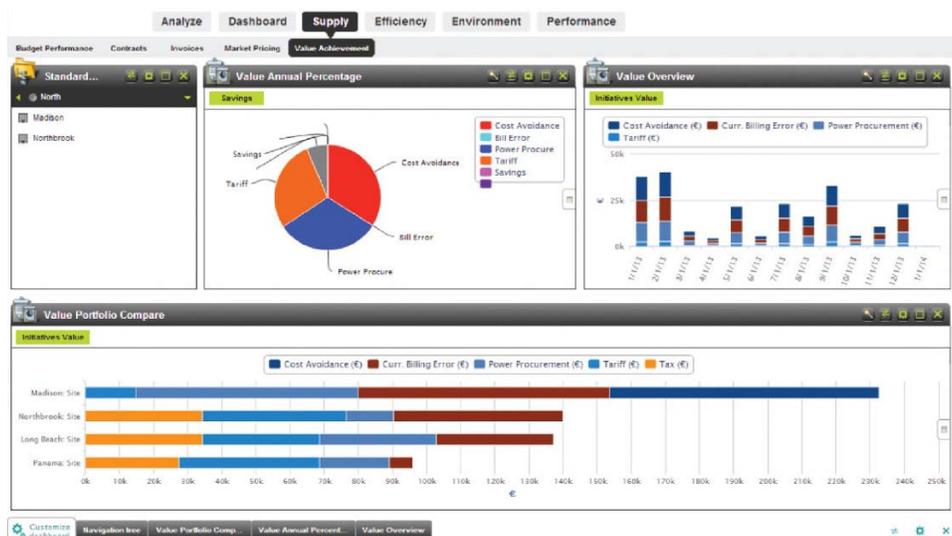


Abbildung 3-42: Energiedatenmanagement, exemplarisch (Quelle: Siemens AG)

Die gewonnene Datentransparenz hilft dem Anwender Energieeffizienzmaßnahmen und das passende Umsetzungskonzept zu finden. Hierzu zählen beispielsweise die Installation von Wärmerückgewinnungsanlagen oder die Optimierung der Energiebezugspreise durch bessere Planbarkeit bzw. Auswahl des geeignetsten Tarifs. Ermöglicht wird dies durch die Vorhersage des Energiebedarfs und des Lastverlaufs für einen oder mehrere Standorte, einzelne Verbraucher, Produktionsbereiche oder Gebäude.

#### *Optimierung der Energiebezugspreise*

In Zeiten der liberalisierten Energiemärkte sind unterschiedlichste Produkte zur Strombeschaffung erhältlich. Die mittels des Energiedatenmanagements gesammelten Daten versetzen das Unternehmen in die Lage, eine tägliche Prognose des Produktionsverlaufs und dessen Energiebedarf zu erstellen. Diese kann im Rahmen einer „Vollstrukturierten Beschaffung“ dem Energieanbieter als tägliche Fahrplananmeldung übermittelt werden, der daraufhin die benötigten Strommengen an der Börse einkauft und dem Unternehmen bereitstellt.

Die Realisierung der Optimierung der Energiebezugspreise wird durch die Übernahme der Risiken durch den Unternehmer erzielt. Je genauer die zugrundeliegenden Prognosen der benötigten Energiemenge sind, umso geringer ist das Ausgleichsenergieisiko, wodurch sich niedrigere Preisaufschläge generieren lassen.

#### *Spitzenlastmanagement*

Ein Spitzenlastmanagement, wie in Abschnitt 5.1.3 „Lastganganalyse“ beschrieben, hat zum Ziel, die Stromleistungskosten zu senken, die in der Höhe von der jeweils höchsten Leistungsspitze abhängen. Durch beispielsweise gleichzeitig anfahrnde Maschinen und die dadurch resultierenden, vergleichsweise hohen Lastspitzen können die Stromleistungskosten unnötig hoch sein, wenn die Maschinen dieses Beispiels auch versetzt angefahren werden könnten. Spitzenlastwächter sind hier ein

übliches Mittel der Wahl, die aufgrund der kontinuierlich gemessenen Last und einer zuvor bestimmten Vorrangigkeit bestimmte Teile des Maschinenparks zu- oder abschalten. Ist eine Prozessautomatisierung vorhanden oder soll diese eingeführt werden, macht es jedoch Sinn die Aufgabe des Spitzenlastmanagements hierin zu integrieren.

### 3.5 Organisatorische und allgemeine Maßnahmen

Neben allen technischen Anstrengungen zur Reduzierung des Energiebedarfs spielt ein umsichtiger Umgang mit Energie eine wichtige Rolle. Oft führen schon kleine Anpassungen im Arbeitsablauf oder bewusstes Abschalten von nicht benötigten Geräten zur Einsparung von Energiekosten. Solche organisatorische Maßnahmen kommen meistens ohne Investitionen oder nur mit geringen Investitionen aus. In den meisten Unternehmen bestehen zahlreiche Möglichkeiten, den Energiebedarf durch organisatorische oder gering-investive Maßnahmen zu senken. Neben allen technischen Anstrengungen zur Reduzierung des Energiebedarfes spielt insbesondere ein energiebewusstes Verhalten sämtlicher involvierter Personen – Personal – eine wichtige Rolle bei der Energieeinsparung.

So ist es beispielsweise in vielen Betrieben üblich, dass Bürogeräte (zum Beispiel PC, Kopierer, Drucker) aber auch Anlagen in der Produktion (zum Beispiel Druckluftstation, Beleuchtung, etc.) in betriebsfreien Zeiten nicht abgeschaltet werden. Je nach Anzahl der Verbraucher und der Art des Betriebes (Ein- oder Mehrschichtbetrieb) ist durch Abschalten nicht benötigter Geräte ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial vorhanden. Mitunter ist auch durch die Anpassung von Arbeitsabläufen in der Produktion eine Einsparung möglich. So können etwa durch zeitversetztes Anfahren von Prozessen Lastspitzen verhindert werden. Ebenso können durch die Optimierung von Abläufen unnötige Leerlaufzeiten verhindert werden. Oft ist auch durch die Anpassung von Prozessparametern wie Druck oder Temperatur eine Einsparung möglich.

Im Folgenden sind Beispiele für organisatorische Maßnahmen aufgeführt, die zum Teil auch ohne Investitionen umgesetzt werden können:

Optimale Energieeffizienz der Anlagen sichern
Energieeffizienz sollte Kriterium beim Kauf von Anlagen und Geräten sein
Anpassen von Prozessparametern (Druck, Temperatur) <ul style="list-style-type: none"><li>• Reduzierung der Raumlufttemperatur bzw. Erhöhung der Raumluftfeuchte</li><li>• Anpassung der Heizung und Klimaanlage (Temperaturregelung)</li><li>• Niedrigere Vorlauftemperaturen der Heizungsanlagen</li><li>• Niedrigere Brauchwassertemperaturen</li><li>• Senkung des Druckniveaus bei Druckluftanlagen</li></ul>
Regelmäßige Wartungs- und Kontrollarbeiten
Korrekte Bedienung der Regelanlagen zum Beispiel bei Lüftungsanlagen

### Unnötigen Betrieb vermeiden

Korrekt eingestellte Zeitschaltuhren zum Beispiel im Verwaltungsbereich

Stand-by-Betrieb bei Bürogeräten tagsüber nutzen, nachts Geräte vollständig ausschalten (am besten über eine Steckerleiste)

Betriebszeiten der Lüftungsanlagen reduzieren

Anpassung von Arbeitsabläufen zur Reduzierung der Leerlaufzeiten bei großen Anlagen

Heizwärme sparen durch korrektes Lüften der Räume (Stoß- statt Dauerlüftung)

### Beleuchtungskonzept optimieren

Bedarfsgerechte Schaltung von Beleuchtungsgruppen

Energiesparlampen nutzen

Keine Beleuchtung von Räumen bei ausreichendem Tageslichteinfall und/oder „Nicht-Benutzung“

Einsatz von tageslichtabhängiger Regelung und Präsenzmeldern

Wenn organisatorische Maßnahmen identifiziert werden sollen, sind folgende Fragestellungen im Vorfeld zu berücksichtigen:

- Welche Tätigkeiten/Abläufe sind besonders energierelevant?
- Was ist dort zu beachten?
- Wird den Mitarbeitern dieses ausreichend vermittelt oder ist es in der entsprechenden Verfahrensanweisung oder Prozessbeschreibung ausreichend dargestellt?
- Wie wird sichergestellt, dass Energieeffizienz bei Neuanschaffungen von Maschinen und Ausrüstung berücksichtigt wird?

Eine wichtige organisatorische Maßnahme ist die Durchführung von Schulungen, damit diese Fragen geklärt werden können.

Hierunter fallen einerseits Informations- und Sensibilisierungsmaßnahmen für alle Mitarbeiter, andererseits spezifische Schulungen, die für bestimmte Aufgaben und Maßnahmen notwendig werden können. Das Verhalten der Mitarbeiter hat auch einen spürbaren Einfluss auf den Erfolg der Energiesparmaßnahmen und des Energiemanagements. Daher ist es sehr zu empfehlen, das Bewusstsein jedes Einzelnen für die Bedeutung der Senkung des Energieverbrauchs innerhalb des Unternehmens durch Informationsveranstaltungen und Schulungen zu entwickeln. In Schulungen kann den Mitarbeitern energiebewusstes Verhalten im Alltag näher gebracht werden. Für die Mitarbeiter besonders relevante Punkte betreffen das Lüftungsverhalten und die Nutzung elektrischer Verbraucher. Um die Mitarbeiter zu energiesparendem Verhalten anzuregen, sollte nach geeigneten Mitteln zur Motivation und zur Information gesucht werden. Denkbar sind Erinnerungshilfen wie beispielsweise Schilder an Maschinen und Anlagen, Computern und Fenstern.

Um die Motivation der Mitarbeiter aufrecht zu erhalten, sollten regelmäßig aktuelle Verbrauchswerte oder Energiekennzahlen bekannt gemacht werden. Außerdem sollten Mitarbeiter bei der Erarbeitung der Verbesserungsvorschläge zum Energiesparen einbezogen werden.

### 3.6 Erneuerbare Energien

#### **Biogas, Bioerdgas**

Biogas entsteht hauptsächlich in landwirtschaftlichen Betrieben oder Klärwerken und kann zur Wärme- bzw. Dampferzeugung oder in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK; z.B. Blockheizkraftwerk oder Dampfturbine) zur Stromerzeugung genutzt werden. Neben der direkten Nutzung von Biogas besteht die Möglichkeit, Bioerdgas aus dem Erdgasnetz zu beziehen. Dabei handelt es sich um aufbereitetes Biogas, das an anderer Stelle in gleicher Menge in das Erdgasnetz eingespeist wurde.

Der in einer mit Biogas oder Bioerdgas betriebenen KWK-Anlage erzeugte Strom kann entweder direkt im Betrieb genutzt oder in das örtliche Stromnetz eingespeist werden. Für die Einspeisung wird im Rahmen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) eine festgelegte Einspeisevergütung über einen Zeitraum von 20 Jahren gewährt. Voraussetzungen dafür sind allerdings eine ganzjährige Wärmeabnahme und ein hoher elektrischer Wirkungsgrad der KWK-Anlage. Dies entspricht den Regelungen beim Betrieb vergleichbarer Anlagen mit herkömmlichem Erdgas.

Die reine Wärme- bzw. Dampferzeugung aus Biogas ist derzeit wirtschaftlich nicht darstellbar und kann nur aus ökologischen Gründen in Betracht gezogen werden.

#### **Feste Biomasse (überwiegend Holz)**

Je nach Brennstoffbeschaffenheit werden in Biomasse-Kesseln überwiegend Rost- bzw. Wirbelschichtfeuerungen zur Dampferzeugung eingesetzt. Dampfturbinen, seltener Dampfmaschinen, treiben Generatoren an. Diese erzeugen elektrischen Strom, welcher entweder im Unternehmen selbst genutzt oder in das örtliche Stromnetz eingespeist und nach EEG vergütet werden kann. Im Rahmen einer Kraft-Wärme-Kopplung kann entweder vor oder hinter der Turbine Dampf entnommen und in der Produktion genutzt werden.

Neben Dampfturbinen bzw. -motoren werden in Einzelfällen auch Holzvergaser-motoren oder Stirlingmotoren zur Energiewandlung eingesetzt.

Für KWK-Anlagen, die mit fester Biomasse betrieben werden, gelten gleiche Randbedingungen wie für den Energieträger Biogas und Bioerdgas.

Interessant kann eine solche Anlage auch zur reinen Wärmeerzeugung sein, wenn Holz kostengünstig oder kostenfrei zur Verfügung steht, z.B. als Einwegpaletten, die ansonsten entsorgt werden müssen. Zur Lagerung des Brennstoffes sind ausreichend dimensionierte Bunker zur Brennstofflagerung und entsprechende Fördereinrichtungen erforderlich. Je nach verwendeten Brennstoffen bzw.

Feuerungstechnik sind entsprechende Maßnahmen zur Abgasaufbereitung zu treffen, um Emissionen zu reduzieren und gesetzlichen Vorgaben gerecht zu werden.

### **Solarthermie**

Bei der Planung solarthermischer Anlagen sollte neben dem Aufstellort das Wärmebedarfsprofil des Unternehmens untersucht werden. Typische Anwendungen sind Brauchwassererwärmung oder Heizungsunterstützung. Diesbezüglich kann der Solarkreis als Rücklaufanhebung in das bestehende Heizungssystem eingebunden werden. Problematisch erweist sich das System bei fehlender Wärmeabnahme, z.B. bei Betriebsstillstand. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der erreichbaren Temperatur, da nur ein mittleres Temperaturniveau realisiert werden kann, das in der Regel auch mittels Wärmetauschern erreicht wird. In diesem Bereich haben viele Unternehmen einen Überschuss, während Wärme auf einem höheren Temperaturniveau Mangelware ist.

Aufgrund des wechselnden solaren Wärmeangebots ist im Regelfall neben der Solaranlage ein zusätzlicher Wärmeerzeuger erforderlich. Dadurch wird ein wirtschaftlicher Betrieb schwierig und ist in der Regel nur durch die Inanspruchnahme von Fördermitteln zu erreichen.

Neben der zusätzlichen Wärmebereitstellung über eine thermische Solaranlage stellt sich häufig die Realisierung einer Wärmerückgewinnung an Produktions- oder Nebenanlagen als wirtschaftlichere Alternative heraus.

### **Photovoltaik**

Die Erzeugung regenerativen Stroms durch eine Photovoltaikanlage ist bei geeigneten Standortbedingungen eine sichere und Konjunktur unabhängige Anlagemöglichkeit, da die Vergütung des Stroms durch das EEG über 20 Jahre garantiert ist. Darüber hinaus sind solche Anlagen nahezu wartungsfrei, da sie keine beweglichen Teile enthalten. Allerdings wird auch das eingesetzte Kapital über diesen langen Zeitraum bei vergleichsweise langen Amortisationszeiten gebunden. Die Photovoltaikanlage kann unabhängig von der eigentlichen Produktion installiert werden und ist nur abhängig von der Größe der geeigneten Dachfläche und den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln.

Neben der jeweiligen Dach- bzw. Fassadenausrichtung bzw. Verschattung z.B. durch benachbarte Gebäude oder Bäume sollten bei der Planung statische Aspekte in Hinblick auf die Eigenlast der Anlagenmodule bzw. zusätzliche Windlasten berücksichtigt werden. Zudem ist in vielen Unternehmen eine hohe Flexibilität hinsichtlich produktionstechnischer Umstellungen und Veränderungen notwendig. So können sich beispielsweise durch Installation von Photovoltaikanlagen Einschränkungen bezüglich erforderlicher Dachdurchbrüche für Abluftkanäle etc. ergeben. Brandschutzmaßnahmen müssen getroffen und vor der Anlageninstallation mit der jeweiligen Versicherung abgeklärt werden. Die Feuerwehr sollte informiert sein, da im Brandfall zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen.

Insbesondere bei der Anlagenmontage auf alten Dächern können leichte Dünnschichtmodule bzw. spezielle PV-Folien verwendet werden. In jedem Fall sollten die Montageflächen vor Installation der Module auf Schäden überprüft und falls erforderlich saniert werden.

Alternativ besteht die Möglichkeit einer Dachflächenvermietung an einen externen Investor bzw. Anlagenbetreiber. Rechtliche Rahmenbedingungen sollten hierbei immer vorab geklärt werden.

### **Windkraftanlagen**

Je nach lokalen Randbedingungen ist der Betrieb von Windkraftanlagen zur Stromerzeugung möglich. Der erzeugte Strom kann zur entsprechenden EEG-Einspeisevergütung ins örtliche Stromnetz eingespeist werden. Bei der Planung von Windkraftanlagen sind insbesondere baurechtliche Vorgaben (Flächennutzungsplan), Windhäufigkeit und –stärke sowie Schattenwurf und Schallemission der Anlage zu beachten. Hierzu sind entsprechende Messungen und Simulationsrechnungen im Rahmen einer detaillierten Standortanalyse notwendig.

In vielen Gemeinden sind mittlerweile Vorrangzonen für die Errichtung von Windkraftanlagen ausgewiesen, sodass eine Aufstellung einer solchen Anlage auf dem Firmengelände meist nicht möglich ist. Sind keine Vorrangzonen ausgewiesen oder befindet sich das Firmengelände in einer solchen Vorrangzone, sollte die Möglichkeit der Windenergienutzung in Zusammenarbeit mit Fachleuten geprüft werden. Wie bei der Photovoltaik steht die Nutzung der Windenergie in keinem Zusammenhang mit der eigentlichen Produktion, da der Strom komplett ins Stromnetz eingespeist und vergütet wird. Sie kann aber dennoch eine lukrative Anlageoption darstellen.

### 3.7 Literaturverzeichnis

- 1) Baker, C. J.: Industrial Drying of Foods. Blackie Academic & Professional, 1997.
- 2) Dehli, M.: Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe. Praktische Möglichkeiten des rationellen Energieeinsatzes in Betrieben. expert-Verlag, 1998.
- 3) Hartz, T.; Kruska, M.: Energiewirtschaftliche Untersuchung und Bewertung von Prozessen der Milchverarbeitenden Industrie. Projektstudie am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, RWTH-Aachen 2000.
- 4) Heiss, R.: Lebensmitteltechnologie. Springer Verlag, 6. Auflage, 2004.
- 5) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- 6) Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.-R.: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 09/10. Oldenbourg Industrieverlag, 2008.
- 7) Spreer, E.: Technologie der Milchverarbeitung. 8. Auflage, Behr's Verlag, Hamburg 2006.
- 8) Tscheuschner, H.-D.: Grundzüge der Lebensmitteltechnik. Behr's Verlag, Hamburg 2004 (unveränderter Nachdruck 2010).
- 9) Welzel, S.; Kruska, M.: Energieorientierte Bewertung und Analyse von Trocknungsanlagen in der Ernährungsindustrie. Projektstudie am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, RWTH-Aachen 2000.
- 10) Wieczorek, J.: Die wirtschaftliche Druckluftstation – Planung, Installation, Betrieb. Resch-Verlag, München 1991.

## 4 Praxisbeispiele

Zur Erstellung dieses Kapitels flossen Beispiele aus unterschiedlichen Quellen ein. Zum einen werden die Praxisbeispiele aus dem „Leitfaden für die betriebliche Praxis – Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie“, der im Jahr 2000 veröffentlicht wurde, überarbeitet. Ergänzend werden neue, innovative Beispiele von den damals untersuchten Betrieben sowie von weiteren Unternehmen erläutert. Die Beispiele stammen u.a. von Energieanalysen, die der Verfasser der Studie bei Unternehmen der Ernährungswirtschaft in NRW durchgeführt hat. Einige Praxisbeispiele wurden von innovativen Unternehmen zur Verfügung gestellt, die im Rahmen der Erstellung der Studie kontaktiert wurden und bereit waren, Daten eigener umgesetzter Maßnahmen zur Ausarbeitung von Praxisbeispielen zu liefern. Ferner wurden einige Beispiele Veröffentlichungen der Effizienz-Agentur NRW, die Unternehmen im Rahmen eines PIUS-Checks und mit Hilfe der PIUS-Finanzierung bei der Identifikation und der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen unterstützt hat, entnommen.

### 4.1 Fleischverarbeitung

In der Fleisch verarbeitenden Industrie werden große Energiemengen für die Wärme- und Kältebereitstellung benötigt. Die Wärme in Form von Heißwasser und Dampf wird zum Kochen, Dämpfen und Garen sowie zum Sterilisieren und Reinigen eingesetzt. Kälte wird hauptsächlich zur Lagerung der Roh- und Fertigware verwendet. Die Kälteerzeugung zählt im Allgemeinen zu den großen elektrischen Verbrauchern. Zu diesen gehören ferner leistungsstarke Produktionsmaschinen wie z.B. Kutter, Wolf etc. In

Abbildung 4-1 sind die Energieströme eines Fleisch verarbeitenden Betriebes exemplarisch dargestellt.

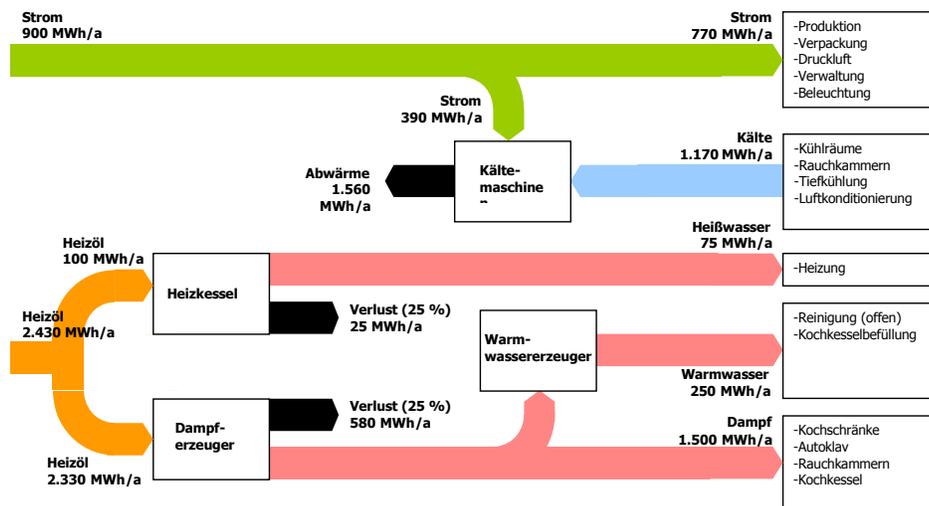


Abbildung 4-1: Energieflussdiagramm eines Fleisch verarbeitenden Betriebes (Quelle: Meyer et. al., 2000)

### 4.1.1 Wärmeintegration

#### Betrieb 1:

In einem untersuchten Betrieb ergab die Wasserbilanz des Dampfsystems einen erhöhten Dampf- und/oder Kondensatverlust, d.h. dem Kessel wird deutlich mehr Frischwasser zugeführt, als in den „offenen Verbrauchern“ (Kochschranke, Autoklav) in Form von Dampf verbraucht wird (also das System verlässt). Die wesentlichen Energie- und Stoffströme sind in Abbildung 4-2 dargestellt.

Durch die Überprüfung und Instandsetzung des Dampf- und Kondensatleitungsnetzes (Austausch eines defekten Wärmeaustauschers, Beseitigung von Leckagen und die Isolierung von Leitungen) werden jährliche Einsparungen von 200 bis 670 MWh Heizöl erzielt.

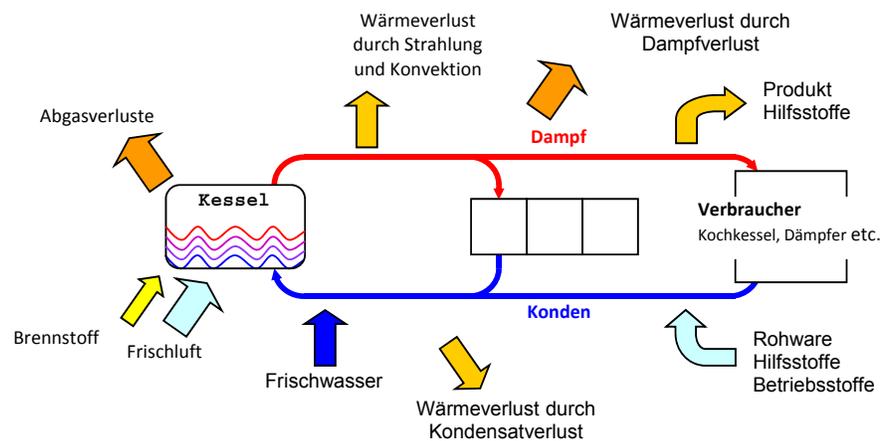


Abbildung 4-2: Wärme(verlust)ströme eines Dampfnetzes (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Von den wärmetechnischen Produktionsanlagen bieten insbesondere Aggregate, in denen größere Wassermengen (in Abbildung 4-2 zu den Hilfsstoffen gezählt) erhitzt werden, die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung (Kochkessel, Autoklav etc.). Die Erwärmung geschieht im Allgemeinen entweder direkt durch Dampfeindüsung oder indirekt über Dampfwärmeaustauscher. Die heißen Abwässer eignen sich zur Vorwärmung für die Warmwasserbereitung (Kochkesselbefüllung, Reinigung, Sanitärbereich etc.).

Hierzu müssen entsprechende Rohrleitungen, Speicherbehälter und Wärmeaustauscher installiert werden. Die Möglichkeiten hängen stark von den örtlichen Gegebenheiten (Installationsaufwand und Platzbedarf für Zwischenspeicherung) und den betrieblichen Randbedingungen (Produktionsablauf, Verschmutzungsgrad etc.) ab. Im untersuchten Betrieb eignet sich ein bereits vorhandenes Abkühlbecken zur Zwischenspeicherung. Die Entfernung zum Heizungsraum, in dem das Warmwasser erzeugt wird, ist gering.

Ähnliches gilt für die Kistenwaschmaschine (Kastenwäscher), bei der im gleichen Maße heiße Spüllauge überläuft wie Frischwasser zugeführt wird. Durch den Einbau eines Wärmeaustauschers, mit dessen Hilfe das kalte Frischwasser vorgewärmt wird

(Wärmerückgewinnung), können jährlich 14 MWh Strom (40 MWh Primärenergie) eingespart werden. Bei einer Umrüstung auf Dampfheizung können durch die Wärmerückgewinnung ca. 17 MWh Heizöl pro Jahr eingespart werden.

### **Betrieb 2:**

In einem anderen Betrieb wurde das Abwärmepotenzial der Kälteanlagen analysiert und ein Wärmerückgewinnungskonzept erarbeitet. In dem Betrieb, in dem mehr als 35 % des Stromverbrauchs auf die Kälteanlagen der Kühltunnel, Kühl- und Gefrierhäuser entfallen, werden auch große Mengen an Heißwasser zu Reinigungszwecken benötigt, was einen ganzjährigen Wärmebedarf darstellt. Die Betrachtung des Abwärme-Potenzials umfasste die nachfolgend aufgeführten Anlagen, die alle eine installierte elektrische Leistung von mehr als 40 kW aufweisen:

- 3 x Kaltwassersatz Zerlegung
- Normalkühlung
- 2 x zweistufige NH<sub>3</sub>-Anlage
- Tiefkühlung Versand
- Normalkühlung Versand
- Intensivkühlung Wurst-Herstellung.

Das technisch und wirtschaftlich nutzbare Abwärmepotenzial der aufgeführten Anlagen entspricht einer Erdgas-Einsparung von ca. 3.500 MWh/a. Dabei wurde eine Nutzung der ausgekoppelten Wärme sowohl zur ganzjährigen Warmwasserbereitung als auch zur Unterstützung der Heizungsanlage in der Übergangszeit und den Wintermonaten berücksichtigt. Da das Abwärmepotenzial den Wärmebedarf des Betriebes weit überschreitet, wurde zusätzlich empfohlen, beim Austausch oder der Erneuerung von Kälteanlagen Sorptionskälteanlagen einzusetzen und diese mit der Abwärme von Kompressionskälteanlagen zu betreiben.

Eine weitere Möglichkeit zur Abwärmenutzung bieten Systeme zur thermischen Nachverbrennung. In einigen Produktionsprozessen ist die Abluft so stark verunreinigt, dass sie nicht ohne weiteres abgesaugt und nach außen abgeführt werden kann. In einem der untersuchten Betriebe wurde eine thermische Nachverbrennung zur Behandlung der Fritteusen-Abluft betrieben. Dabei fiel Abgas mit einer Abgastemperatur von über 200 °C an, das bisher ungenutzt abgeführt wurde. Durch den Einbau eines Abgas-Wasser-Wärmeübertragers lassen sich bis zu 1.100 MWh Wärme pro Jahr einsparen, die bisher konventionell über einen Gaskessel erzeugt wurden. Es ist jedoch zu beachten, dass der Wartungsaufwand für diese Anwendung aufgrund der Verschmutzung der Abluft relativ hoch ist. Um eine optimale Wärmeübertragung zu gewährleisten und Ausfällen der thermischen Nachverbrennung durch zu geringen Kaminzug aufgrund eines versotteten Wärmeübertragers vorzubeugen, ist dieser in regelmäßigen Abständen auszubauen und zu reinigen.

### **Betrieb 3:**

Durch den Einsatz einer Wärmepumpe, die Abwärme aus einer zentralen Kältemaschine auf ein höheres Temperaturniveau bringt, sodass diese als Nutzwärme in Heizungskreisläufen eingespeist werden kann, werden in einem Betrieb der Fleisch verarbeitenden Industrie Wasser und Heizenergie eingespart.

Durch die Kühlung der Rohstoffe und Produkte in Kühlhäusern wird der gesamte Fertigungsprozess beeinflusst. Eine Kühlung erfolgt vom Wareneingang bis zur Verarbeitung zu Wurst, beim Garen und Herunterkühlen sowie bei der Lagerung der Fertigprodukte.

Wo Kälte produziert wird, entsteht auch Abwärme. Doch diese steht in der Regel nur in geringem Maße für die Nutzung zur Verfügung; das Temperaturniveau der Abwärme liegt zu 95 % im Bereich von ca. 25-30 °C. Soll die Wärme in ein bestehendes Heizungssystem eingespeist werden, sind höhere Vorlauftemperaturen notwendig.

Die Gaskompression der zentralen Kälteanlage für die Produktionskühlung erfolgte bisher über Schraubenverdichter und erreichte ein Temperaturniveau von ca. 30 °C. Eine Abwärmenutzung für Heizzwecke auf diesem Niveau ist nicht möglich. Daher wurde dem Kondensatorkreislauf der zentralen Kälteanlage eine zusätzliche Verdichtungsstufe mit einem Kolbenverdichter nachgeschaltet. Durch dieses Konstruktionskonzept mit dem zusätzlichen Verdichter im Ammoniak-Kreislauf wird die Abwärme auf ein höheres und damit nutzbares Niveau angehoben. Das Ammoniakgas wird bei einer Temperatur von ca. 25-30 °C von 10-11 bar auf 33 bar verdichtet, wodurch die Temperatur auf ca. 70 °C ansteigt. Damit können an der Sekundärseite des Wärmepumpenkondensators Wasser-Austrittstemperaturen von ca. 65-68 °C erreicht werden.

Die Abwärme wird somit direkt aus der Hochdruckstufe der zentralen Kälteanlage gewonnen, wodurch mögliche Verluste durch einen zusätzlichen Zwischenkreis nicht auftreten. Aus jeder Kilowattstunde elektrischer Energie, die der Wärmepumpe zugeführt wird, lassen sich ca. 6 kWh Wärme auf einem für die Nutzung ausreichenden Temperaturniveau gewinnen. Damit ist das System noch effizienter als herkömmliche Wärmepumpen. Ein zusätzlicher positiver Effekt stellt sich an den Kondensatoren der Hauptkälteanlage ein. Die dem Kreislauf entnommene Energie muss nicht mehr den Verdunstungskondensatoren zugeführt werden, was zu einer Einsparung an Nachspeisewasser und zu einer Reduzierung des für die Ventilatoren erforderlichen Stromverbrauchs führt.

Die aus der Kälteanlage gewonnene Heizenergie wird im Wesentlichen für die Beheizung der Prozessanlagen genutzt (Kaltrauchanlagen und Nachreiferäume). Ein weiterer großer Verbraucher ist die Warmwasserbereitung für die Betriebsreinigung. In diesem Bereich werden täglich weit über 100 m<sup>3</sup>/h Wasser mit einer Temperatur von ca. 55 °C verbraucht.

Durch den Einsatz der Wärmepumpe reduziert sich der Energieaufwand zum Heizen um ca. 3.500.000 kWh/Jahr. Zusätzlich werden 5.000 m<sup>3</sup> Wasser eingespart. Im Vergleich zur Situation vor der Umsetzung der Maßnahme konnte der elektrische Energiebedarf um ca. 20 %, der Wasserverbrauch um ca. 3 % reduziert werden

#### 4.1.2 Stromeinsparung

##### **Betrieb 1:**

Der Verlauf des Strombezugsprofils (siehe Abbildung 4-3) weist während der Produktionszeit starke Leistungsschwankungen und eine während der Nächte von Montag bis Freitag im Vergleich zum Wochenende deutlich höhere elektrische Grundlast auf. Die Stromaufnahme am Wochenende wird in erster Linie durch die kontinuierlich betriebenen Kühlaggregate verursacht, in den Nächten von Montag bis Freitag zusätzlich durch den Betrieb der Räucherschränke.

Durch eine einfache Form der Spitzenlastüberwachung (Maximumwächter) kann die kostenrelevante Höchstleistung im vorliegenden Fall um ca. 25 kW reduziert werden. Hierdurch wird eine jährliche Einsparung von 4 % erreicht. Durch den Maximumwächter werden eine Vergleichmäßigung des Strombezugsprofils und damit eine Senkung der Leistungsspitzen erzielt. Dazu werden ausgesuchte Maschinen wie die Kälte- und Lüftungsanlagen kurzfristig (5 bis 10 Minuten) automatisch abgeschaltet bzw. leistungsstarke Anlagen wie die Kutter während dieses Zeitraums gegen ein Wiedereinschalten gesperrt.

Die Kältemaschinen weisen im untersuchten Betrieb auch außerhalb der Produktionszeiten (kein Luftwechsel, keine Einlagerung) hohe Laufzeiten auf. Der erhöhte Kältebedarf kann dabei sowohl durch mangelnde Isolation der Kühlräume sowie der Kühlmittleitungen verursacht werden als auch durch den mangelhaften Zustand der Kühlaggregate (Alter, Wartungszustand). Weiterführende Untersuchungen, wie z.B. die Thermographie, geben einen genaueren Ausblick auf die gebäudetechnischen Ursachen. Verglichen mit üblichen Bedarfswerten sind jährliche Einsparungen von 70 MWh Strom (200 MWh Primärenergie) möglich.

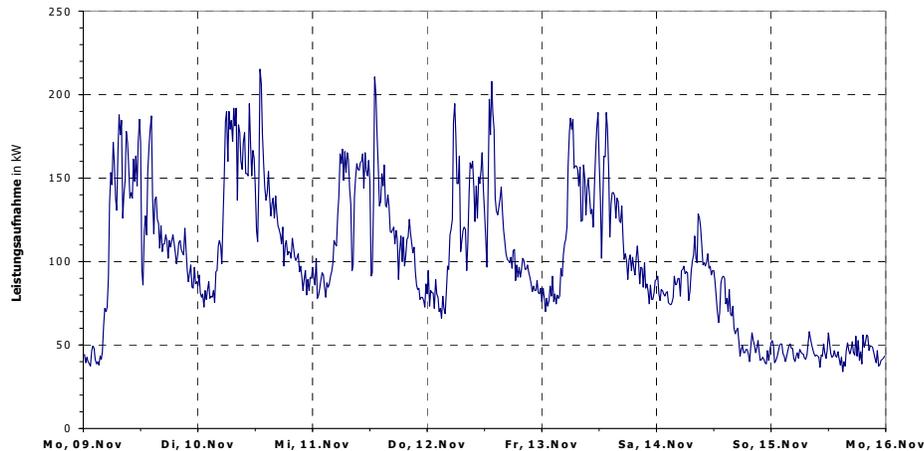


Abbildung 4-3: Messung der Stromaufnahme für eine repräsentative Woche (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Die Umrüstung des Kastenwäschers von elektrischer Beheizung auf Dampfbeheizung (Dampfnetz vorhanden) bringt eine Einsparung von 48 MWh Strom pro Jahr. Die Wärme wird nun im Dampfkessel mit Heizöl (57 MWh) erzeugt, und es ergibt sich eine Primärenergieeinsparung von 80 MWh pro Jahr.

Messungen an den Druckluftkompressoren haben gezeigt, dass der Jahresstromverbrauch durch Minimierung der Leckageverluste um 14 MWh (40 MWh Primärenergie) verringert werden kann.

### **Betrieb 2:**

In einem Fleisch verarbeitenden Betrieb, der hauptsächlich Schinken-, Fleisch- und Wurstwaren herstellt, wurde die Produktions-Abluftreinigung im Rahmen der Neuplanung von Produktionsanlagen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Gesichtspunkte ausgelegt.

Die Abluft von Fritteusen und Brätern zur Herstellung von Frikadellen ist sehr stark mit Ölen, Fetten, Aerosolen und Gerüchen belastet. Zusätzlich werden durch die Hitzebehandlung der Lebensmittel erhebliche Mengen an organischen Kohlenstoffverbindungen freigesetzt. Aufgrund der starken Verunreinigungen ist es erforderlich, Filteranlagen bzw. Filterverfahren einzusetzen, die weder verstopfen noch verkleben. Darüber hinaus müssen die Filteranlagen in der Lage sein, ein breites Spektrum von organischen Geruchsverbindungen zu beseitigen. In konventionellen Produktionsanlagen zur Herstellung von Frikadellen wird zur Abluftreinigung eine thermische Nachverbrennung eingesetzt, welche einen hohen Erdgaseinsatz erfordert und somit CO<sub>2</sub>- und CO-Emissionen verursacht.

Zur Reinigung der Abluft an der neu installierten Produktionsanlage wird ein innovatives Abluftreinigungssystem eingesetzt. Die installierte Hybrid-Abluftfilteranlage ist die erste großtechnische Anwendung in der Frikadellen-Produktion.

In der ersten Stufe dieses mehrstufigen Verfahrens, der Elektrofiltration, werden Öl- und Fettaerosole abgeschieden. Anschließend wird die vorgereinigte Abluft über einen Wärmetauscher abgekühlt, um dadurch Frischluft zur Versorgung der Betriebsräume vorzuwärmen. Zur Nachheizung der vorgewärmten Frischluft wird eine Wärmepumpe eingesetzt. Dem Wärmeübertrager ist ein Geruchsabscheider-Modul nachgeschaltet. In diesem werden die geruchstragenden Moleküle mit Vakuum-UV-Lampen bestrahlt. Die Bestrahlung bewirkt eine chemische Reaktion, bei der die intensiv riechenden langkettigen Moleküle oxidieren und in kurzkettinge Moleküle zerfallen. Die neue Anlage umfasst mehrere Stromzähler, sodass der elektrische Energiebedarf der einzelnen Anlagenteile (Filter, UV-Licht sowie Zu- und Abluft-Ventilatoren) getrennt erfasst werden kann. Zudem wird der Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Klimaanlage separat erfasst. Das an der neuen Produktionsanlage installierte System erzielt im Vergleich zu konventioneller Anlagentechnik eine jährliche Energieeinsparung von ca. 5.016 MWh, was einer Einsparung von ca. 97 % entspricht. Gegenüber einer Abluftreinigungsanlage mit thermischer Nachverbrennung lassen sich ca. 957 t CO<sub>2</sub> pro Jahr einsparen.

Das Projekt wurde vom Betrieb in Zusammenarbeit mit der Effizienz-Agentur NRW umgesetzt. Die Investitionskosten wurden zu 30 % vom BMU-Umweltinnovationsprogramm getragen.

### **Betrieb 3:**

In einem Betrieb zur Verarbeitung von Schweinehälften wurde eine umfangreiche Analyse des Druckluft-Systems durchgeführt, die ein erhebliches Einsparpotenzial ergab. Da die Bereiche Druckluft-Erzeugung, -Aufbereitung und -Verteilung in vielen Branchen vergleichbar aufgebaut sind und bereits ausreichend in Veröffentlichungen behandelt wurden, werden die Einsparpotenziale dieser Bereiche an dieser Stelle nicht erneut aufgeführt. Um branchenspezifische Maßnahmen aufzuzeigen, wird vielmehr die Untersuchung der Druckluft-Verbraucher detailliert beschrieben.

Druckluftwerkzeuge sind oft handlich, leicht und haben kleinere Abmessungen als elektrische Verbraucher. Allerdings ist Druckluft eine sehr teure Energieform. Man setzt elektrische Energie ein, um unter hohen Umwandlungsverlusten Druckluft zu erzeugen, die auf dem Weg zum Verbraucher und selbst dort mit weiteren Verlusten behaftet ist. Viele Geräte sind in der Druckluft-Ausführung einfacher zu handhaben, verursachen jedoch Kosten, die teilweise bis zu 90 % über den Kosten elektrischer Werkzeuge liegen können. Mittlerweile bieten verschiedene Hersteller einen Großteil der Werkzeuge auch in elektrischer Ausführung an, deren Handhabung der ihrer Druckluft-Ausführung in nichts nachsteht.

Die in der Zerlegung des untersuchten Betriebs eingesetzten Handdentschwarzer, Rundmesser und Klauenzangen arbeiten mit pneumatisch angetriebenen Motoren. Um die Betriebskosten der Druckluft-Verbraucher zu bestimmen, wurden die Schichtleiter gebeten, über den Zeitraum von einem Monat die Einsatzzeiten der einzelnen Verbraucher tabellarisch zu dokumentieren. So konnten die täglichen Betriebsstunden der einzelnen Geräte ausgewertet und mit Hilfe des spezifischen

Druckluft-Bedarfs, der den Herstellerunterlagen der Geräte entnommen werden konnte, der Jahres-Druckluftbedarf der einzelnen Verbraucher berechnet werden. Zur Bestimmung der Betriebskosten wurden die spezifischen Druckluftkosten bestimmt. Diese basieren auf einem über eine Messung an den Kompressoren bestimmten spezifischen Stromverbrauch (kWh/m<sup>3</sup>) und einem angenommenen Strompreis von 0,12 €/kWh. Die nachfolgend aufgeführten Tabellen gibt einen Überblick über die Berechnung der Betriebskosten.

Gerät:	Jahres-Betrieb	Druckluft-Bedarf	Druckluft-Kosten	Betriebs-Kosten
	h/a	m <sup>3</sup> /h	€/m <sup>3</sup>	€/a
Rundmesser 1	2.184	23,76	0,0156	810
Rundmesser 2	1.742	23,76	0,0156	646
Klauenzange 1	2.314	25,00	0,0156	902
Klauenzange 2	2.106	25,00	0,0156	821
			<b>Summe</b>	<b>3.179</b>

Tabelle 4-1: Betriebskosten der Schinken-Feinzerlegung (Tagschicht)

Die Gesamtkosten für die Druckluftherzeugung (ohne Leckage-Verluste) zum Betrieb der Rundmesser und Klauenzangen für die Tagschicht in der Feinzerlegung liegen bei 3.179 €/a.

Gerät:	Jahres-Betrieb	Druckluft-Bedarf	Druckluft-Kosten	Betriebs-Kosten
	h/a	m <sup>3</sup> /h	€/m <sup>3</sup>	€/a
Rundmesser 1	2.730	23,76	0,0156	1.012
Rundmesser 4	2.730	23,76	0,0156	1.012
Rundmesser 5	2.730	23,76	0,0156	1.012
Entschwarer 1	2.704	25,5	0,0156	1.076
Entschwarer 2	2.704	25,5	0,0156	1.076
Entschwarer 3	2.704	25,5	0,0156	1.076
Klauenzange 3	2.704	25,00	0,0156	1.055
Klauenzange 4	2.704	25,00	0,0156	1.055
			<b>Summe</b>	<b>8.372</b>

Tabelle 4-2: Betriebskosten der Grob-, Schinken- und Schulterzerlegung (Nachtschicht)

Die Gesamtkosten für die Druckluftherzeugung (ohne Leckage-Verluste) zum Betrieb der Rundmesser, Entschwarer und Klauenzangen für die Nachtschicht in der Grob-, Schinken- und Schulterzerlegung liegen bei 8.372 €/a. Somit belaufen sich die Gesamtkosten für die Zerlegung der Schweinehälften auf 11.551 €/a.

Für die Zerlegung sind mittlerweile auch elektrische Modelle erhältlich, bei denen das Handstück von einem externen Motor über eine Sehne angetrieben wird. Diese Motoren haben eine Leistungsaufnahme von 0,6 kW.

Gerät:	Jahres-Betrieb	Leistung	Energie-Verbrauch	Strom-Preis	Betriebs-Kosten
	h/a	kW	kWh/a	€/kWh	€/a
Rundmesser 1	2.184	0,6	1.310	0,12	157
Rundmesser 2	1.742		1.045		125
Klauenzange 1	2.314		1.388		167
Klauenzange 2	2.106		1.264		152
<b>Summe</b>					<b>601</b>

Tabelle 4-3: Betriebskosten der Schinken-Feinzerlegung (Tagschicht)

Beim Einsatz von elektrischen Rundmessern und Klauenzangen für die Tagschicht in der Feinzerlegung würden die Stromkosten sich auf ca. 601 €/a belaufen.

Gerät:	Jahres-Betrieb	Druckluft-Bedarf	Druckluft-Kosten	Strom-Preis	Betriebs-Kosten
	h/a	kW	€/m³	€/kWh	€/a
Rundmesser 1	2.730	0,6	1.638	0,12	197
Rundmesser 4	2.730		1.638		197
Rundmesser 5	2.730		1.638		197
Entschwarzer 1	2.704		1.622		195
Entschwarzer 2	2.704		1.622		195
Entschwarzer 3	2.704		1.622		195
Klauenzange 3	2.704		1.622		195
Klauenzange 4	2.704		1.622		195
<b>Summe</b>					<b>1.563</b>

Tabelle 4-4: Betriebskosten der Grob-, Schinken- und Schulterzerlegung (Nachtschicht)

Eine Umstellung der Zerlegung auf elektrisch angetriebene Rundmesser, Entschwarzer und Klauenzangen würde die Betriebskosten auf 1.563 €/a senken. Somit belaufen sich die Gesamtkosten für die Zerlegung der Schweinehälften über elektrisch angetriebene Geräte auf 2.164 €/a. Dies entspricht einer Gesamteinsparung von über 80 %.

Die Anschaffungskosten der elektrischen Geräte sind ca. 25 % höher als die der Druckluft-Geräte, amortisieren sich jedoch aufgrund der hohen Energieeinsparung in der Regel in kurzer Zeit. Darüber hinaus fallen die Reparatur- und Wartungskosten der Elektro-Geräte rund 50 % geringer aus. Eine komplette Umrüstung auf elektrische Zerlege-Geräte hat zudem zur Folge, dass die Auslastung im Druckluft-Netz sinkt, was ggf. eine Absenkung des Betriebsdrucks und somit eine weitere Energieeinsparung bei der Druckluft-Erzeugung ermöglicht.

#### 4.1.3 Wassereinsparung

##### Betrieb 1:

In Abbildung 4-4 ist das Wasserbezugsprofil des untersuchten Betriebes für einen repräsentativen Werktag und zum Vergleich für einen Sonntag dargestellt (gemessen am Wasserhauptanschluss).

Der Wasserverbrauch am Wochenende von insgesamt ca. 11 m<sup>3</sup>/d ist nicht allein durch die automatische Kesselwassernachspeisung zu erklären. Durch die konsequente Abschaltung aller Verbraucher außerhalb der Produktionszeiten sowie die Überprüfung und Instandsetzung der Maschinenanschlüsse (Beseitigung von Leckagen und undichten Absperreinrichtungen) wird eine jährliche Wassereinsparung von 2.900 m<sup>3</sup> erzielt.

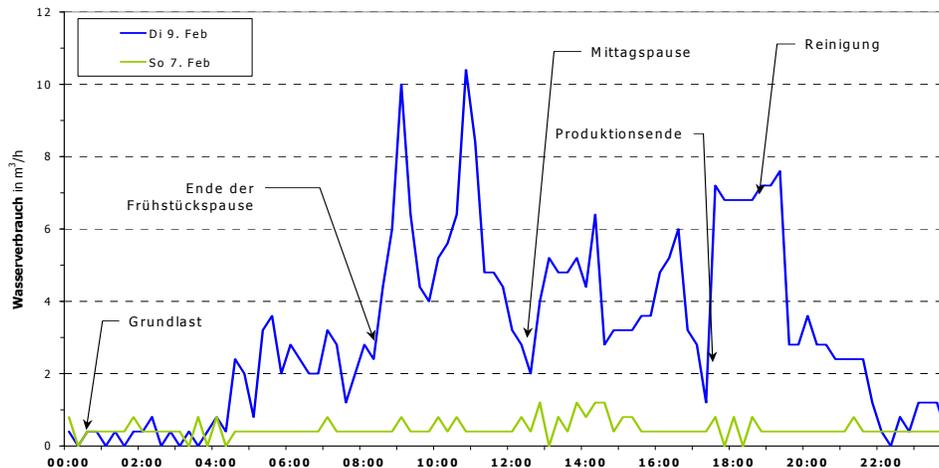


Abbildung 4-4: Messung des Wasserbezugs für einen repräsentativen Tag (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Zur Abkühlung der Produkte nach dem Kochprozess werden Kühlduschen eingesetzt. Durch schrittweise Herabsetzung der Durchflussmengen (so wenig Wasser wie nötig zum Erreichen einer akzeptablen Abkühlrate) können jährlich 1.800 m<sup>3</sup> Wasser eingespart werden.

Ein Teil des abfließenden Kühlwassers, insbesondere aus dem Autoklav, kann in anderen Anlagen, z.B. dem Kastenwäscher eingesetzt werden. Durch diese Maßnahme wird der Wasserverbrauch ebenfalls um 1.800 m<sup>3</sup> pro Jahr verringert.

### Betrieb 2:

In einem Fleisch verarbeitenden Betrieb, welcher hauptsächlich Convenience-Produkte wie Frikadellen, Cheeseburger, Hot-Dogs etc. herstellt, wurde eine Analyse des Prozesswassersystems durchgeführt. Ziel der Untersuchung war, den gesamten Wasser-, Chemikalien- und Energieeinsatz unter Berücksichtigung der hohen Anforderungen an die Lebensmittelhygiene zu senken. Analysiert wurde die innerbetriebliche Wertschöpfung (Wareneingang, Schnitzelvorbereitung, Portionierung, Bratstraße, Froster, Verpackung und Fremdreinigung). Durch ablauforganisatorische Verbesserungen unter Einbindung der Mitarbeiter konnte der Prozesswasserverbrauch, beispielsweise durch eine trockene Vorreinigung, deutlich um 0,32 m<sup>3</sup>/t Produkt reduziert werden.

Das mit Fett, Fleischresten, Lake und Marinaden belastete Abwasser gelangt in ein aus einem Vor- und einem Nachabscheider für Fette bestehendes Reinigungssystem.

Das Problem der durch große Mengen heißer Reinigungsabwässer gelösten lipophilen Stoffe konnte durch branchenübliche Fettabscheider nicht gelöst werden.

Das Optimierungskonzept umfasst einen anaeroben Schlammreaktor (ASR-Technologie) mit nachgeschalteter Ultrafiltration und Umkehrosmose, die folgende Stufen umfasst:

- Mechanische Reinigung durch Siebe und Rotoren
- Biologische Klärung mit Belebtschlamm-Verfahren
- Schlammabscheidung mittels Ultrafiltration
- Wasseraufbereitung mittels Umkehrosmose
- Teilrückführung in die Kühltürme.

Zunächst fördert eine Pumpe das Abwasser zur Feststoffentfernung aus einem Sammelschacht durch einen rotierenden Filter in ein Misch- und Ausgleichsbecken. In diesem Becken erfolgen eine Sedimentation der Grobstoffe, ein Temperatenausgleich und die automatische Korrektur des pH-Wertes durch Zugabe von Natronlauge. Die anschließende biologische Klärung übernimmt ein aerober Schlammreaktor, die Trennung der wieder verwendbaren Biomasse vom gereinigten Abwasser die nachgeschaltete Ultrafiltration. Der gewonnene Schlamm wird durch den Einsatz einer Mantelschneckenzenrifuge (Dekanter) mit integrierter Press-einrichtung entwässert. Von dem gereinigten Prozesswasser wird ein Anteil von 25 % als Reinwasser in den Kühltürmen verwendet. So entsteht ein geschlossener Kühlwasserkreislauf mit einer Wassereinsparung von 10.000 m<sup>3</sup> pro Jahr.

Das Projekt wurde vom Betrieb in Zusammenarbeit mit der Effizienz-Agentur NRW umgesetzt. Das Vorhaben wurde mit einem Zuschuss aus dem Förderprogramm „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft NRW“ des NRW-Umweltministeriums unterstützt.

## Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)

4.1	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung		
			MWh/a 1)	€/a 2)	tCO <sub>2</sub> /a 3)
1	Erhöhter Dampf- und / oder Kondensatverlust	Überprüfung und Instandsetzung der wärmetechnischen Anlagen	200 - 670	14.000 - 46.900	51 - 172
2	Wärmeverluste am Kastenwäscher durch heißes Abwasser	Wärmerückgewinnung	40	1.820	8,4
3	Hohe Abwärme durch Kälteerzeugung	Wärmerückgewinnung an Kälteanlagen	3.500	140.000	706
4	Themische Nachverbrennung von Abluft	Installation eines Abgas-Wärmetauschers	1.330	53.200	268
5	Hohe Abwärme an zentraler Kühlanlage	Einsatz einer Wärmepumpe (Kolbenverdichter) im Kältemittel-Kreislauf	3.500	140.000	706
6	Hohe elektrische Leistungsspitzen	Maximumüberwachung (Lastmanagement)	-	-	-
7	Hohe Laufzeiten der Kältemaschinen	Untersuchung / Instandsetzung der kältetechnischen Anlagen	200	9.100	42
8	Elektrische Beheizung des Kastenwäschers	Umrüstung auf Dampfheizung	80	6.500	19
9	Hohe Druckluftleckagen	Untersuchung des Leitungsnetzes und der Verbraucher, Reduzierung der Leckagen	40	1.820	383
10	Einsatz von Druckluft-Werkzeugen in der Zerlegung	Umrüstung auf elektrische Werkzeuge	224	10.169	2.139
11	Neuinstallation einer Produktionsanlage zur Herstellung von Frikadellen	Einsatz einer Hybrid-Abluftfilteranlage anstelle einer konventionellen Abluftreinigung mit thermischer Nachverbrennung	5.000	-	957

1) Primärenergie, d.h. elektrische Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 35% für Umwandlung und Verteilung berücksichtigt, Wärme (Dampf etc.) mit 83 %.

2) Durchschnittspreise (germittelt über alle Verbraucherklassen) 2012; siehe 3.1.3 Energiekosten

3) Emissionsfaktoren der Brennstoffe gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle; Emissionsfaktor Strom des deutschen Strommixes 2012

## 4.2 Fruchtsaftherstellung, Mineralbrunnen und Brauereien

In der Mineralbrunnenbranche und bei der Herstellung von Fruchtsäften und Erfrischungsgetränken sowie in Brauereien werden große Energiemengen zum Erhitzen von Wasser bzw. zur Dampferzeugung benötigt. Dieses Wasser (Dampf) wird zur Reinigung von Flaschen und Kästen sowie zum Erhitzen von Saft eingesetzt. Große elektrische Verbraucher sind die Abfüllanlagen, die Förderanlagen sowie die Druckluftbereitstellung.

### 4.2.1 Wärmeintegration

#### Betrieb 1:

Um das Potenzial zur Energieeinsparung und Kostensenkung bei der Wärmebereitstellung zu bestimmen, sind im untersuchten Betrieb an der Flaschenreinigungsanlage und dem Kühltunnel detaillierte Messungen und Analysen durchgeführt worden. Die Schwachstellen der Anlagen sind in Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6 dargestellt.

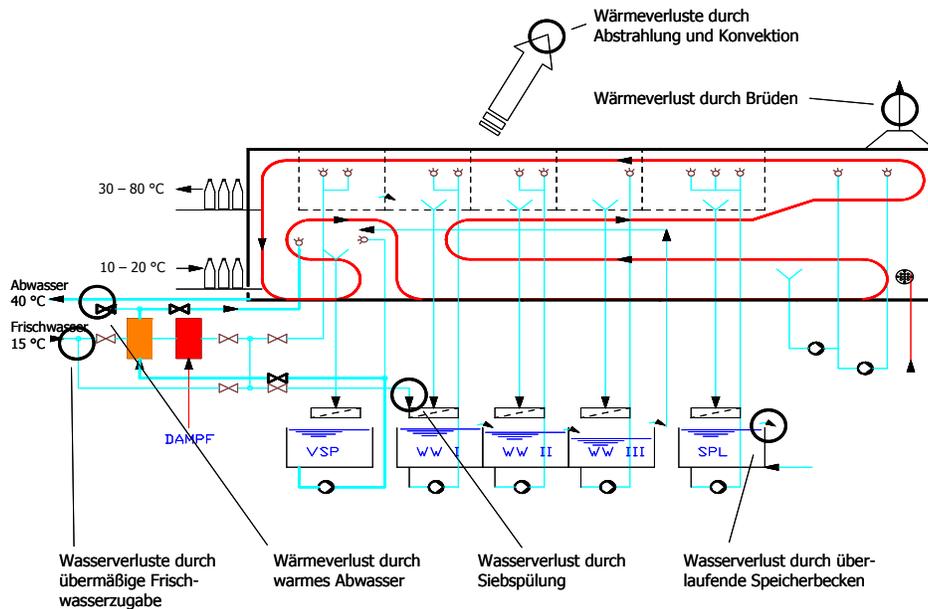


Abbildung 4-5: Wärme- und Wasserverluste an einem Flaschenwäscher (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Bei der letzten Spülung der Flaschen mit Frischwasser wird eine Temperatur von 80 °C (Heißabfüllung) benötigt. Dazu wird das Wasser (Ausgangstemperatur ca. 15 °C) über zwei Plattenwärmeaustauscher aufgeheizt. Im ersten Wärmeaustauscher wird Wärme aus dem Schmutzwasser der Waschmaschine genutzt. Im zweiten wird mit Dampf nachgeheizt.

Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit war die Verweilzeit des Schmutzwassers im Wärmeaustauscher jedoch nur kurz, sodass das Schmutzwasser bis zum Austritt aus der Anlage nur auf 40 °C abkühlen konnte. Die Restwärme blieb ungenutzt. Durch eine einfache Veränderung der Verschaltung ist die Strömungsgeschwindigkeit des Schmutzwassers verringert und so die Wärmeausnutzung verbessert worden.

Durch diese Maßnahme sowie die Reduzierung des Frischwasserverbrauchs durch Einbau einer Zuflussregelung, die Zwischenspeicherung überlaufender Lauge in einem zusätzlichen Speicherbehälter und die Umstellung der Siebspülung von Frischwasser- auf Schmutzwassereinsatz werden am Flaschenwäscher jährlich insgesamt ca. 660 MWh Gas und 30.000 m<sup>3</sup> Wasser eingespart.

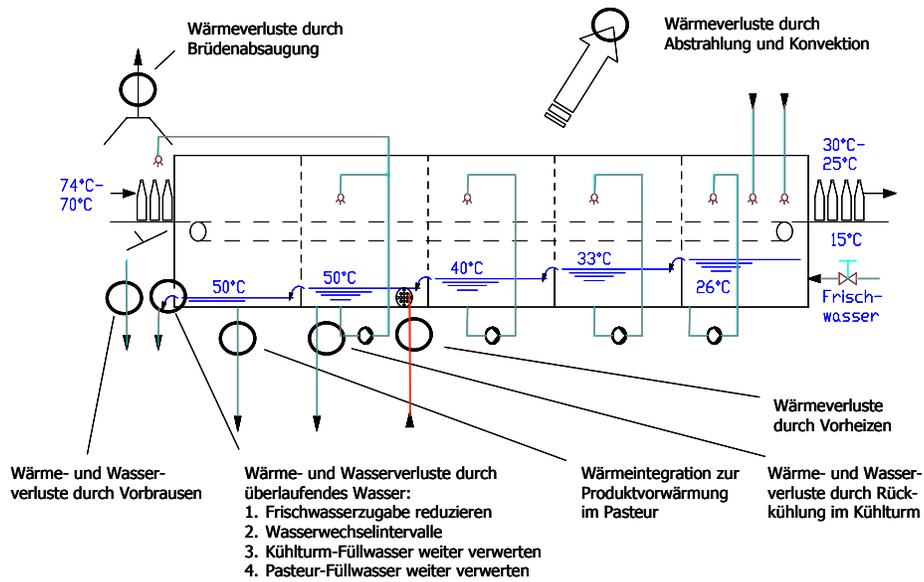


Abbildung 4-6: Wärme- und Wasserverluste am Kühltunnel (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Eine Pinch-Analyse für den Bereich Kühltunnel/Pasteur ergab, dass ein Großteil der Wärme, die dem Kühltunnel durch die heißen Flaschen zugeführt wird, im Pasteur eingesetzt werden kann (Abbildung 4-7). Bei einer Pinch-Analyse werden Wärmeströme verschiedener Prozesse unter Berücksichtigung einer minimalen Temperaturdifferenz für die Wärmeübertragung („Pinch“-Punkt) miteinander verglichen, sodass daraus das Abwärmeintegrationspotenzial bestimmt werden kann.

Im Pasteur wird der kalte Produktstrom in zwei Schritten von 15 °C auf 90 °C erwärmt. Zwischen den beiden Schritten kühlt der Produktstrom aufgrund mangelnder Isolation um 5 K ab (die Aufheizung ist durch die untere Linie in Abbildung 4-7 dargestellt). Anschließend wird der heiße Produktstrom noch im Pasteur um 5 K abgekühlt und in Flaschen abgefüllt. Mit ca. 80 °C treten die Flaschen in den Kühltunnel ein und werden auf 25 °C abgekühlt (die Abkühlung ist durch die obere Linie in Abbildung 4-7 dargestellt).

Die beiden Linien für die Erwärmung und Abkühlung werden im Temperatur-Enthalpie-Diagramm so aufgetragen, dass eine minimale Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{\min}$ ) von 10 K eingehalten wird (siehe Abbildung 4-7). Die Linien weisen die gleiche Steigung auf, da der Produktmassenstrom in Pasteur und Kühltunnel konstant ist. Auf der horizontalen Achse wird die Enthalpieänderung (nicht die tatsächlichen Enthalpiewerte) und auf der vertikalen Achse die Temperatur der betrachteten Massenströme dargestellt. Der Bereich, in dem die beiden Linien übereinander liegen, gibt das maximale Wärmeintegrationspotenzial an. Für das Kühltunnel-Pasteur-System ist dies  $\dot{Q}_{\text{Nutz}}$  mit 69 % der im Pasteur benötigten Wärme  $\dot{Q}_{\text{Heiz}}$ . Weitere 6 % können durch Gegenstromwärmeaustausch im Pasteur selbst genutzt werden, sodass theoretisch nur 25 % von  $\dot{Q}_{\text{Heiz}}$  zugeheizt werden müssen ( $\dot{Q}_{\text{zu}}$ ). Bisher wurden ca. 70 % der notwendigen Wärme über das Heizungssystem zugeführt.

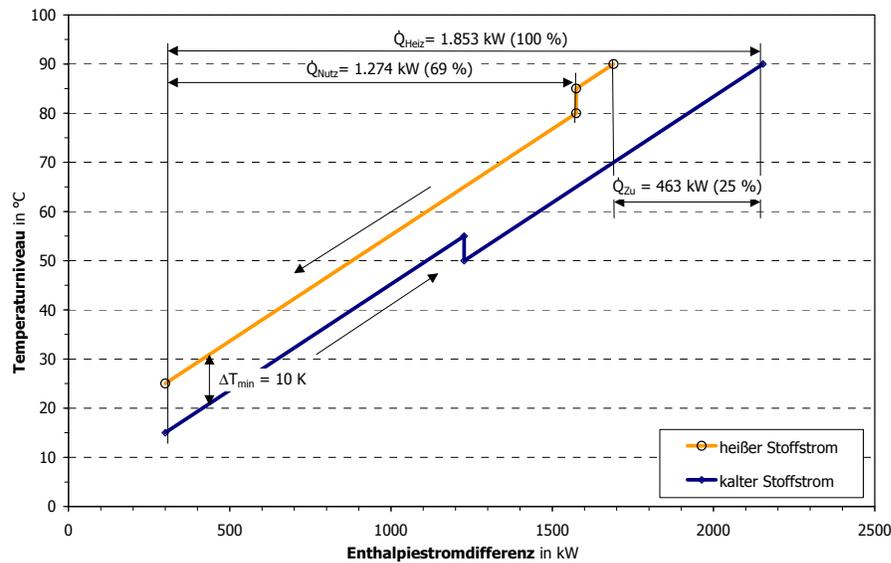


Abbildung 4-7: Vergleich der Wärmeströme im Pasteur und Kühltunnel (Pinch-Analyse) (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Durch entsprechende Änderung der Rohr- und Wärmeaustauscherverschaltung wurde eine Verlängerung der Produktvorheizung durch die Kühltunnelabwärme erreicht und der Wärmeeinsatz im Pasteur um 29 % reduziert. Insgesamt werden durch diese Maßnahme jährlich ca. 660 MWh Gas eingespart.

### Betrieb 2:

Durch eine umfassende Modernisierung schaffte es eine Brauerei, den Energiebedarf des gesamten Sudhauses um 35 % zu senken.

Die Bereiche mit dem größten Energieverbrauch in Brauereien sind das Sudhaus und die Abfüllanlagen. Da im Sudhaus überwiegend ältere Komponenten zum Einsatz kamen, entschloss sich eine Privatbrauerei zur Erneuerung der Anlagentechnik, wobei vor allem energetische Gesichtspunkte berücksichtigt werden sollten.

Der größte thermische Energiebedarf im Sudhaus entfällt auf den Maisch- und den Kochprozess. Diese wurden im Rahmen der Modernisierung auf energieeffiziente Anlagentechnik umgerüstet.

Dazu wird nach der Kochung der Würze am Würze-Kühler Energie auf hohem Temperaturniveau (ca. 96 °C) entzogen. Die Abwärme wird genutzt, um den Primärenergieeinsatz beim Aufheizen der Maische zu verringern. Vor der Nutzung erfolgt eine Zwischenspeicherung in einem Schichtladespeicher. In diesem stellt sich über die Höhe des zylindrischen Speichers durch den thermischen Auftrieb ein Temperaturverlauf von Warmwasser (unten) zu Heißwasser (oben) ein. Die Speisung des Maisch-Gefäßes erfolgt aus dem oberen Bereich des Speichers, wodurch sichergestellt ist, dass für das Aufheizen der Maische immer eine kontinuierlich hohe Temperatur vorliegt. Da die Erwärmung der Maische in der Regel bei Temperaturen zwischen 120 °C und 150 °C erfolgt, ist ein speziell konzeptioniertes Maisch-Gefäß

erforderlich. Dies ermöglicht durch vergrößerte und strömungsoptimierte Gegenstromheizflächen, sogenannte „Pillow Plates“ bei Heißwasser-Temperaturen unter 100 °C einen Wärmeübergang, der dem eines konventionellen Gefäßes entspricht. In Verbindung mit optimierten Wärmeverbrauchern können durch dieses System im Sudprozess mehr als 20 % Primärenergie eingespart werden.

Im Kochprozess wurde ein energieeffizienter Innenkocher nachgerüstet, der über einen Pumpenkreislauf verfügt, mit dem die nötigen Prozesse bei geringerer Heizleistung erfolgen können. Durch den Einsatz eines Brüden-Kondensators an der Whirlpool-Pfanne wird die Energie aus der mit Wasserdampf gesättigten Luft, welche beim Trocknen entsteht, durch Abkühlung und Kondensation zurückgewonnen und für die Vorheizung des Sudes (im Läuterwürze-Erhitzer) verwendet.

Darüber hinaus wurden durch die Modernisierung einige Potenziale zur Einsparung elektrischer Energie erschlossen. Alte, ineffiziente Förderantriebe und Pumpenantriebe wurden durch Antriebe der Energieeffizienzklassen IE2 und IE3 ersetzt, die einen höheren Wirkungsgrad aufweisen.

Da die im Würze-Kühler anfallende Abwärme nun zur Beheizung des Maisch-Gefäßes eingesetzt wird, entfällt der Stromverbrauch zum Betrieb der Rückkühler und Kältemaschinen.

Die neue Anlage reduziert den Energiebedarf des Sudhauses (Summe aus thermischer und elektrischer Energie) im Vergleich zur Altanlage um ca. 35 % (6.500 MWh/a).

#### **4.2.2 Stromeinsparung**

##### **Betrieb 1:**

Wesentlicher Ansatzpunkt zur Stromeinsparung in einem der untersuchten Betriebe ist die Verringerung von Leerlaufzeiten. Bei einer Störung im Produktionsablauf sollen mit einer Verzögerung von einigen Minuten alle nachgeschalteten Transportanlagen angehalten werden. Diese Schaltung ist an der Verschraubungsanlage und der Etikettieranlage installiert worden. Auch parallel laufende Fördereinheiten, z.B. zur Einbringung neuer Flaschen und zur Rückführung schmutziger bzw. defekter Flaschen sind so geschaltet worden, dass sie nur in Betrieb sind, wenn Flaschen transportiert werden.

Weitere Einsparungen können im Bereich der Druckluft und bei der Beleuchtung erzielt werden. Durch Abschalten des Kompressors außerhalb der Produktionszeiten sowie der Scheinwerfer zur Beleuchtung der Werbewand (insgesamt ca. 5 kW, in der Zeit von 0 bis 5 Uhr in einem abgelegenen Industriegebiet überflüssig) werden jährlich 190 MWh Strom eingespart (550 MWh Primärenergie).

### 4.2.3 Wassereinsparung

#### Betrieb 1:

Durch den Einbau zusätzlicher Wasseruhren konnte der Verbrauch einzelner Anlagen ermittelt werden. Dieser lag in einem der untersuchten Betriebe um die Hälfte höher als der Verbrauch in vergleichbaren Betrieben. Ursachen hierfür waren in erster Linie Druckschwankungen im Frischwassernetz, das Fehlen einer automatischen Wasserabschaltung am Flaschenwäscher sowie eine unzureichend geregelte Frischwasserzufuhr am Kühltunnel.

Der im Verlauf der Produktion stark variierende Gesamtwasserbedarf des Betriebes führt zu Druckschwankungen innerhalb des betrieblichen Wasserleitungsnetzes. Die einzelnen Verbraucher (Düsenquerschnitte etc.) sind so ausgelegt, dass auch bei niedrigem Wasserdruck die gewünschte Reinigungswirkung o.ä. erzielt wird. Bei zunehmendem Druck steigt auch der Wasserdurchsatz. Diese unnötige Verbrauchszunahme kann durch den Einbau einer Druckregelung bzw. Durchflussmengenbegrenzung vermieden werden.

Bei Stillstand des Flaschenwäschers wurde die Frischwasserabspritzung der gereinigten Flaschen nicht automatisch unterbrochen. Dieser Mangel wurde durch den Einbau eines Magnetventils behoben, das an den Antrieb des Flaschenwäschers gekoppelt ist. Die Einführung regelmäßiger Verbrauchskontrollen gewährleistet den sparsamen Betrieb der Anlage.

Die sehr träge, temperaturabhängige Regelung des Wasserzuflusses am Kühltunnel führte zu großen Wasserverlusten während des Betriebs (Überlaufen der Becken). Dieser Wasserverbrauch ist kühltechnisch betrachtet unnötig, da die Abwärme des Kühltunnels entweder im Pasteur oder im nachgeschalteten Kühlturm abgeführt werden kann. Der Kühlturm wurde jedoch temperaturunabhängig mit einem konstanten Wasserdurchsatz betrieben. Dies führte häufig zu einem Temperaturanstieg im Kühltunnel und infolgedessen zu den genannten Wasserverlusten. Durch eine Änderung der Kühlturmsteuerung – abhängig von der Temperatur im Kühltunnel – kann die Wasserzufuhr auf das Ausgleichen etwaiger Verluste durch Verdunstung und Verschleppung minimiert werden.

Insgesamt konnten im untersuchten Betrieb durch Umsetzung der genannten Maßnahmen ca. 36.000 m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr eingespart werden.

#### Betrieb 2:

Durch die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen in einer Hausbrauerei konnten die hohe Bierschwundquote und die organische Belastung der Abwässer durch Hefe- und Bierreste verringert werden. Auf Basis der Ergebnisse einer durchgeführten Detailanalyse wurde erstmals ein innovatives Konzept für ein integriertes Reinigungsverfahren mittels einer einzelnen CIP-Anlage in einer Hausbrauerei entwickelt und schließlich 2011 umgesetzt. Die neue CIP-Anlage ist an die beengten räumlichen Gegebenheiten der Hausbrauerei angepasst. Die einzelne Anlage kann

sowohl die Unfiltrat- als auch die Filtrat-Seite reinigen. Aufgrund der beengten Raumverhältnisse wurde eine externe Saugleitung entwickelt, sodass Stapelgefäße wie Retourwasserbehälter örtlich unabhängig zum Aufstellort der CIP-Anlage betrieben werden können. Mit einer induktiven Mengen- und Durchflussregelung werden alle Reinigungsfunktionen und -schritte wie z.B. die Dosierung der Reinigungsmittel automatisch gesteuert. Das System kontrolliert, ob die programmierten Mengen an Reinigungsmitteln mit dem erforderlichen Druck und der nötigen Fließgeschwindigkeit durch das System gepumpt werden. Dies bedeutet eine Abkehr von den üblichen zeit- und leitfähigkeitsgesteuerten CIP-Systemen. Geringere Mischphasen von Wasser und Bier führten zu einer eindeutigen Reduzierung der Abwasserfracht. Weiterhin konnte die Verschleppung von Laugen und Säuren bei der Phasentrennung verringert werden. Die Folge: Reinigungsmittel werden eingespart und das Abwasser weniger belastet. Insgesamt werden durch die neue Anlage pro Jahr ca. 2.700 m<sup>3</sup> Frisch-/ Abwasser, 7.200 kg Lauge, 4.500 kg Säure und 500 kg Desinfektionsmittel eingespart. Zudem konnte der Zeitaufwand für die Reinigung halbiert werden.

Die Brauerei setzte das Projekt gemeinsam mit der Effizienz-Agentur NRW um. Die Investition von insgesamt 150.000 € wurde zu 50 % aus dem „Investitionsprogramm Abwasser NRW“ der NRW-Bank finanziert.

#### **4.2.4 Ressourceneinsparung**

##### **Betrieb 1:**

Der Problematik hoher Abfüllverluste konnte in einer Privatbrauerei mit der Optimierung der Reinigung der Abfüllanlage entgegengewirkt werden.

Das Ausschleichen der Füllerleitungen bei Sortenwechsel oder bei Abfüllende vom Drucktankkeller zum Flaschen- und Kegfüller ist von Wasser auf CO<sub>2</sub> umgestellt worden. Dadurch kann das Bier jetzt bis in den Füller gedrückt und damit nahezu komplett abgefüllt werden. Bisher musste dieser Teil aufgrund der Vermischung von Wasser und Produkt verworfen werden. Es wurden neue Leitungen von der CO<sub>2</sub>-Versorgung zu den Füllleitungen gezogen, pneumatische Ventile eingebaut und automatisiert.

Durch die Umsetzung der Maßnahme lassen sich pro Jahr ca. 1.100 hl Bier einsparen. Zudem verringert sich der Energiebedarf der Abwasseraufbereitungsanlage durch das verringerte Abwasseraufkommen. Den Investitionskosten von etwa 6.000 € steht eine Ersparnis von etwa 60.000 € pro Jahr gegenüber.

Das Projekt wurde vom Betrieb in Zusammenarbeit mit der Effizienz-Agentur NRW umgesetzt.

### Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)

4.2	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung		
			MWh/a 1)	€/a 2)	tCO <sub>2</sub> /a 3)
1	Hohe Schmutzwassertemperatur am Flaschenwäscher	Wärmerückgewinnung	660	26.400	133
2	Unzureichende Nutzung der Kühltunnel-Abwärme im Pasteur	Änderung der Rohr- und Wärmetauscherverschaltung	660	26.400	133
3	Anlagentechnik im Sudhaus veraltet	Modernisierung der Anlagentechnik	6500	238.500	1.470
4	Nachlauf von Transportanlagen auch bei Stillstand der Produktionsanlage	Bedarfsgerechte Steuerung der nachgeschalteten Transportanlagen	540	24.570	114

1) Primärenergie, d.h. elektrische Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 35% für Umwandlung und Verteilung berücksichtigt, Wärme (Dampf etc.) mit 83 %.

2) Durchschnittspreise (gemittelt über alle Verbraucherklassen) 2012; siehe 3.1.3 Energiekosten

3) Emissionsfaktoren der Brennstoffe gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle; Emissionsfaktor Strom des deutschen Strommixes 2012

### 4.3 Milchverarbeitung

Im Jahr 2012 waren in NRW 402.952 Milchkühe registriert. Dies entspricht einem Anteil von 9,6 % am gesamten Milchkuhbestand in Deutschland. Die Milchkühe in NRW standen im Jahr 2012 in 7.652 Erzeugungsbetrieben und erzeugten ca. 2.995.155 t Milch. Die Milch wird derzeit in NRW von ca. 30 mittleren und großen Betrieben sowie weiteren, kleineren Betrieben weiterverarbeitet. Im Jahr 2011 erzeugten die Milch verarbeitenden Betriebe Angaben der „Landesvereinigung der Milchwirtschaft NRW e.V.“ zufolge ca. 77.468 t Konsummilch. Davon entfielen 50 % auf Vollmilch, 46 % auf teilentrahmte Milch und ca. 2 % auf entrahmte Milch. Im gleichen Jahr wurden in NRW ca. 59.587 t Milcherzeugnisse produziert. Nahezu die Hälfte davon entfällt auf Milchscherzeugnisse. Weitere größere Anteile entfallen auf die Sahnerzeugnisse (15 %), Joghurtherzeugnisse (10 %) und Molkenerzeugnisse (9 %). Die weiteren Anteile von 3-6 % entfallen auf Buttermilch-, Sauermilch- und Trockenmilcherzeugnisse (inkl. Magermilchpulver) sowie Käse.

In der Milch verarbeitenden Industrie werden große Mengen an thermischer Energie für Wärmebehandlungs- und Kühlprozesse benötigt, etwa für Eindampf- und Trocknungsprozesse sowie für die Rohstoff- und Produktlagerung. Die Wärme wird über Dampf oder Heißwasser bereitgestellt, die Prozesskälte überwiegend über Eiswasser. Zu den größten elektrischen Verbrauchern zählen Produktionsanlagen wie Separatoren, Homogenisatoren und Butterungsmaschinen, Gebläse von Trocknungsanlagen sowie die große Anzahl der Pumpen zur Wasser- und Produktförderung. Wesentliche Stromverbraucher bei den Querschnittstechniken sind Kältemittel-Verdichter und Druckluft-Kompressoren.

Bei der Milchverarbeitung entfallen ca. 50 % des Energiebedarfs auf die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas) zur Erzeugung von Dampf und Heißwasser für Verdampfungs- und Heizprozesse. Der restliche Anteil entfällt auf den Stromverbrauch für elektrische Antriebe, Kälteerzeugung und Beleuchtung. Der Energiebedarf hängt vom Alter und von der Zusammenstellung der Anlagen, dem Automatisierungsgrad und der Zusammensetzung der Produktpalette ab. Besonders energieintensiv ist die Erzeugung von Produkten, die eingedickt oder getrocknet werden (z.B. Milchpulver). Konsummilch hingegen, die lediglich einer Wärmebehandlung unterzogen und verpackt werden muss, weist einen wesentlich geringeren spezifischen Energieverbrauch auf.

Je nach Produktionsprozess und hergestelltem Produkt variiert der spezifische Gesamtenergieverbrauch zwischen 0,139 kWh und 0,333 kWh je verarbeitetem Kilogramm Milch. Im Jahr 2012 lag der Energieverbrauch der Betriebe zur Milchverarbeitung in Deutschland bei ca. 7.787 GWh. Dieser teilte sich wie folgt auf:

- 308 GWh Heizöl
- 4.853 GWh Gas
- 274 GWh sonstige
- 2.353 GWh Strom.

Das nachfolgend aufgeführte Diagramm zeigt die durchschnittliche Aufteilung des Stromverbrauchs der Molkereien in Deutschland (Jahr 2011).

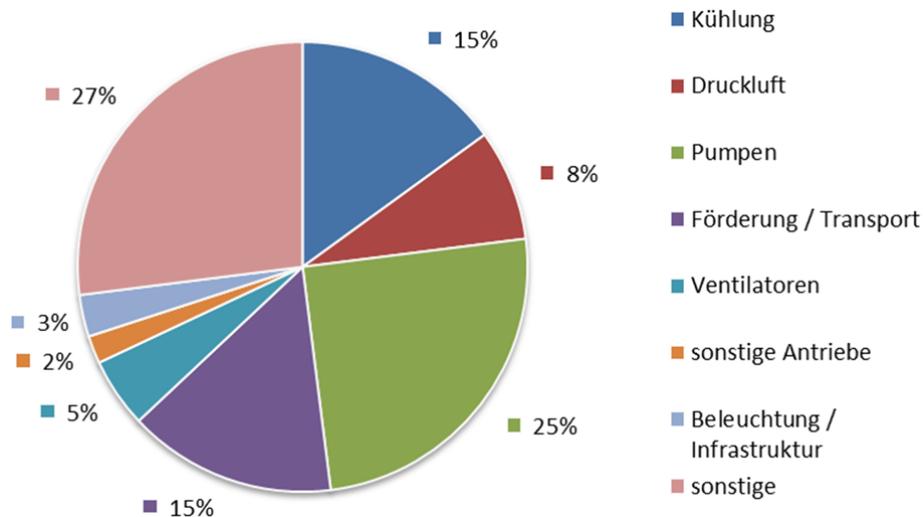


Abbildung 4-8: Aufteilung des Stromverbrauchs in deutschen Molkereien (Quelle: Milchindustrie-Verband, 2014)

#### 4.3.1 Übersicht möglicher Maßnahmen

Bevor in den nächsten Abschnitten umgesetzte Maßnahmen aus Unternehmen in NRW als Praxisbeispiele vorgestellt werden, soll an dieser Stelle ein Überblick über die typischen Maßnahmen zur Energieeinsparung in Molkereien gegeben werden.

#### 4.3.1.1 Trennen und Abscheiden

Betriebsweise:

- Optimierung der Auslastung (bei verringerter Auslastung steigt der spezifische Energiebedarf von Abscheidern übermäßig)
- Vermeidung des Leerlaufbetriebs / Abschaltung des Abscheiders im Leerlaufbetrieb (der Stromverbrauch im Leerlaufbetrieb entspricht bis zu 60 % des Verbrauchs bei normaler Betriebsauslastung)

Wasser:

- Recycling des Betriebs- und Sperrwassers der Vorreinigung
- Einsatz eines geschlossenen Kühlwasserkreises

Antriebe:

- Einsatz von Direktantrieben

Instandhaltung:

- Wartung der Lager (Abnutzung der Lager führt zu höheren Reibungsverlusten und somit zu steigendem Energiebedarf)
- Kontinuierliche Lager- und Vibrationsüberwachung zur vorbeugenden Instandhaltung.

#### 4.3.1.2 Homogenisieren

Partielle Homogenisierung:

- Partielle Homogenisierung kann bei der Frischmilch-Produktion angewendet werden und bedeutet, dass nur ca. 18-27 % der Milch homogenisiert werden. Dieser Teil wird anschließend mit entrahmter Milch vermischt. Im Vergleich zur kompletten Homogenisierung lassen sich durch dieses Verfahren bis zu 80 % Energie einsparen.

Reduzierung des Drucks:

- Eine Druckreduzierung beim Homogenisieren kann durch den Einsatz von Homogenisier-Ventilen mit Prallring erreicht werden. Moderne, hocheffiziente Homogenisier-Ventile erzielen im Vergleich zu konventionellen Ventilen Energieeinsparungen von bis zu 30 %.

Kühlwasser:

- Durch den Einbau von Thermostaten lässt sich in älteren Systemen die Betriebsweise des Kühlsystems energetisch optimieren.

Ultraschall-Technologie:

- Eine weitere Effizienzsteigerung bei der Homogenisierung lässt sich beim Homogenisieren mittels Ultraschall erzielen. Neben dem geringeren

Energiebedarf zeichnet sich dieses Verfahren auch durch einen verringerten Reinigungs- und Wartungsaufwand aus.

#### **4.3.1.3 Wärmeübertragung**

Wärmeübertrager:

- Austausch von Batch-Pasteuriser-Anlagen gegen Pasteuriser-Anlagen mit Plattenwärmetauscher (ermöglicht eine kontinuierliche Prozessführung mit höherer Energieeinsparung durch den Kreuzstrom-Wärmeaustausch)
- Neue Produktionsanlagen und kontinuierliche Produktionsprozesse weisen durch den geringeren Reinigungsaufwand geringere Produktverluste auf.

#### **4.3.1.4 Kühlung**

Instandhaltung:

- Reinigung der Oberflächen von Wärmeübertragern

Betriebsweise:

- Automatisiertes Abtauen von Raumkühlern

Isolierung:

- Isolieren von Armaturen etc. mit flexiblen Dämmmatten.

#### **4.3.1.5 Abfüllung und Verpackung**

Energieeffiziente Bauteile:

- Gemeinsame, energieoptimierte Automatisierung von Abfüll- und Verpackungslinie (Optimized Packaging Line)
- Einsatz hocheffizienter Antriebe

Betriebsweise:

- Automatische Überwachung und Regelung des Dampfeinsatzes, um Dampfverluste zu reduzieren / minimieren

Wärmerückgewinnung:

- Rückführung / Abwärmenutzung des Abdampfes
- Rückführung / Abwärmenutzung des Kondensates
- Aspiration durch Schwaden-Kondensation.

#### 4.3.1.6 Flaschen-, Glas- und Behälter-Waschmaschine

Wärmerückgewinnung:

- Das Einsparpotenzial durch eine interne Wärmerückgewinnung beträgt bis zu 30 % (im Vergleich zu einer Waschmaschine ohne interne WRG).
- Vorwäsche und damit Vorerwärmung mit aufbereitetem Prozesswasser

Wasser- und Aspirations-Management:

- Reduzierung des Wasserverbrauches durch Intervallspülen
- Reduzierung der Brüden-Verluste durch Regelung der Brüden-Absaugung
- Nutzung von warmem Abwasser der Flaschen- bzw. Glaswaschmaschine für die Kistenwäsche

Instandhaltung:

- Reinigung der Wärmeübertrager
- Regelmäßige Wartung der Kondensat-Abscheider

Wärmeversorgung:

- Reduzierung der Temperatur (Anpassung an minimalen Bedarf)
- Indirekte Nutzung von Dampf anstelle von direkter Dampf-Nutzung
- Nutzung von Heißwasser anstelle von Dampf
- Einsatz eines Schwaden-Kondensators zur Waschwasser-Vorwärmung

Betriebsweise:

- Anlage möglichst voll auslasten, um Verluste zu minimieren

Isolierung:

- Isolieren / Einhausen der Hochtemperaturzonen; Zuleitungen und Armaturen.

#### 4.3.2 Wärmeintegration

##### Betrieb 1:

Zur Abschätzung der Einsparpotenziale bei der Wärmebehandlung der Rohmilch im betrachteten Betrieb wurde eine Wärmeintegrationsanalyse für eine Prozesslinie durchgeführt und der Grad der Wärme-Rückgewinnung bestimmt. Die Milcherhitzung (Pasteurisation) ist in Abbildung 4-9 schematisch dargestellt. Nach einer Vorerhitzung werden im Separator Rahm und Magermilch getrennt. Die Magermilch wird im Milcherhitzer weiter erhitzt, heißgehalten und anschließend wieder auf ca. 4 °C heruntergekühlt.

Im Milcherhitzer wurde ein Wärmerückgewinnungsgrad von annähernd 95 % ermittelt – ein üblicher Wert, der auch von modernen Anlagen kaum übertroffen wird. Ein Verbesserungspotenzial lag in diesem Anlagenteil also zunächst nicht vor.

Die angeschlossene Rahmerhitzung (Abbildung 4-10) dagegen zeigte eine deutliche Schwachstelle in der Kühlsektion. Der mit einer Temperatur von etwa 53 °C vom Separator abgeführte Rahm konnte bei der bestehenden Prozessführung nicht im gleichen Umfang zur Kühlung des pasteurisierten Rahms herangezogen werden, wie dies mit der kalten Rohmilch im Milcherhitzer geschieht. Daher musste zur Rahmkühlung auf kostenintensive Eiswasserkühlung zurückgegriffen werden. Zudem wurde der Eiswasserstrom in der Kühlsektion aufgrund der hohen Rahmtemperaturen auf bis zu 30 °C erwärmt, wodurch die Effizienz der Kälteanlage wesentlich beeinträchtigt wurde.

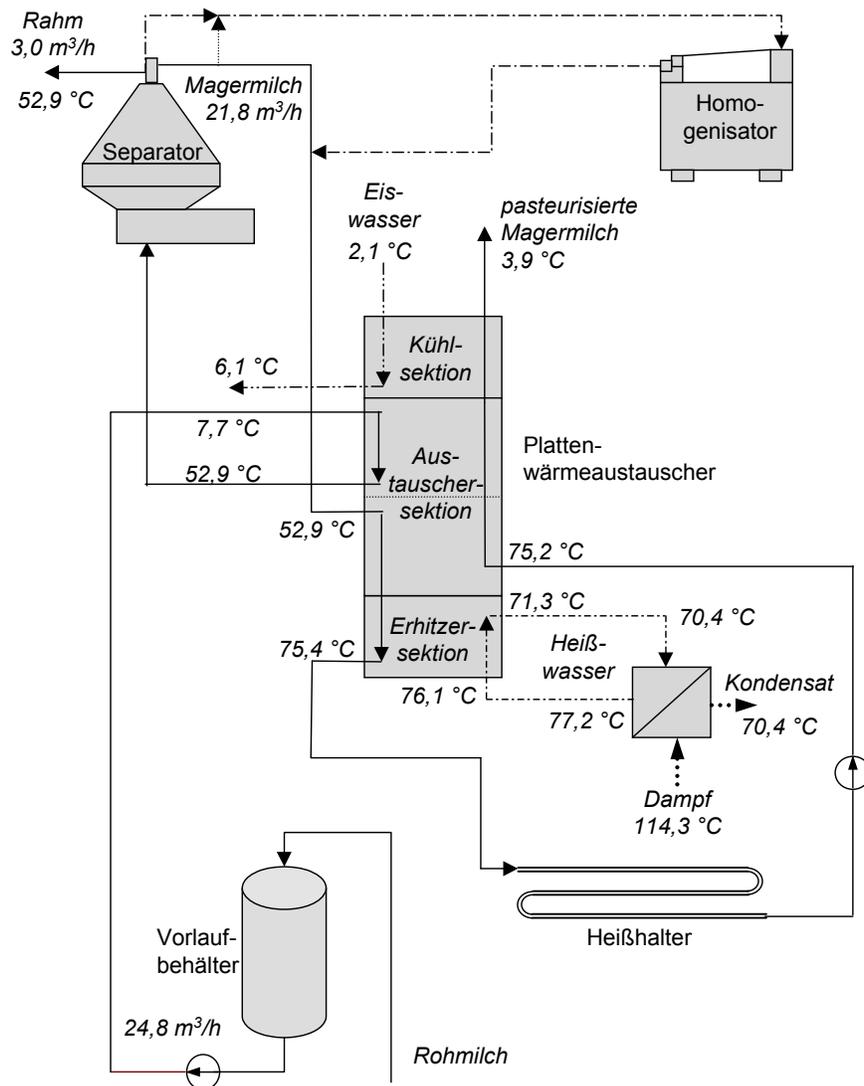


Abbildung 4-9: Komponenten bei der Milcherhitzung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

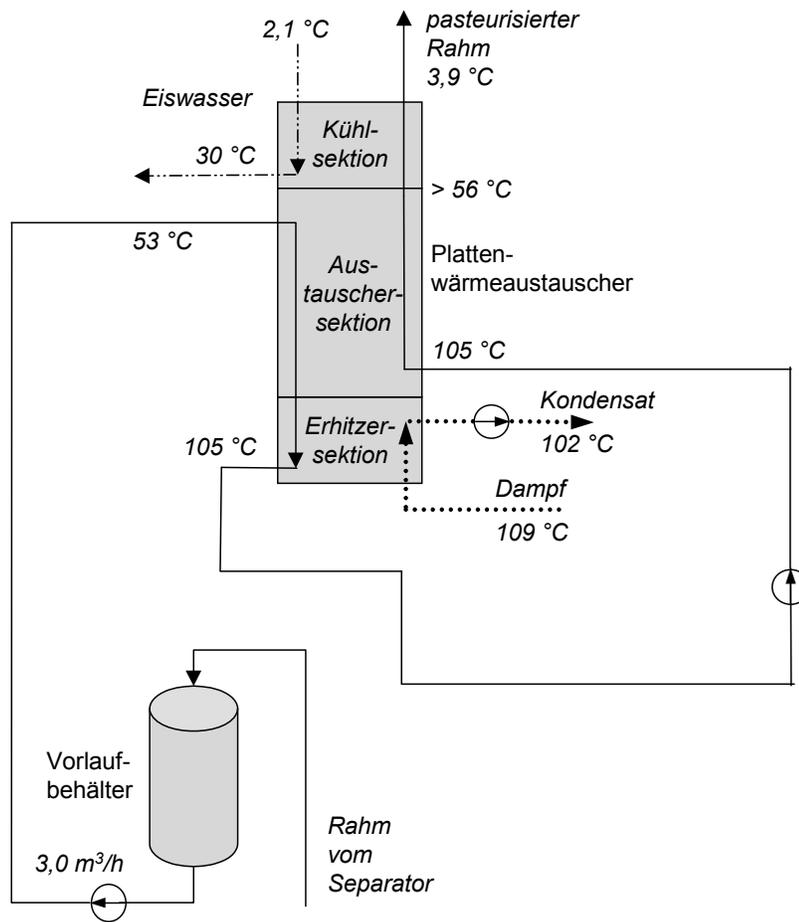


Abbildung 4-10: Komponenten bei der bestehenden Rahmerhitzung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Zur Verbesserung der Prozessführung wurde eine Erweiterung des Rahmerhitzers um eine von einem Rohmilchteilstrom durchflossene Vorkühlsektion empfohlen, wie sie in Abbildung 4-11 dargestellt ist. Der Rohmilchteilstrom wird vor dem Eintritt in den Milcherhitzer abgezweigt und unmittelbar vor der Separation wieder zugeführt. Diese Maßnahme reduziert sowohl den externen Kühlenergiebedarf am Rahmerhitzer als auch die zuzuführende Wärmeenergie am Milcherhitzer.

Die Ergebnisse der Wärmeintegrationsanalyse für den bestehenden Prozess und für die vorgeschlagene Prozessvariante sind als Temperatur-Wärmestrom-Diagramm in Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13 dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist jeweils der zu- bzw. abgeführte Wärmestrom aufgetragen, um den Milch- bzw. Rahmstrom aufzuheizen oder abzukühlen, auf der vertikalen Achse die jeweilige Temperaturänderung der Ströme. Die extern zu- bzw. abzuführenden Wärmemengen sind durch vertikale Pfeile gekennzeichnet.

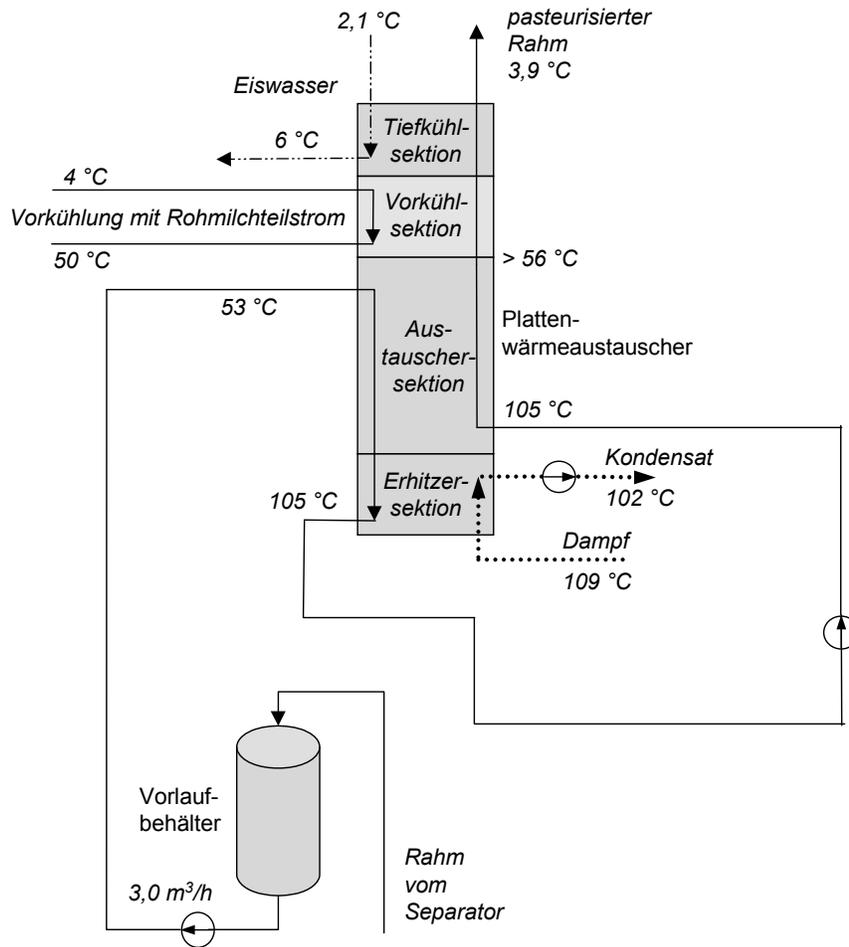


Abbildung 4-11: Empfohlene Modifizierung der Rahmerhitzung (Quelle: Meyer et. al., 2000)

In der Summe beider Anlagenteile (Milcherhitzung und angeschlossene Rahmerhitzung) lässt sich mit der dargestellten Modifizierung der Wärmebedarf um etwa 50 % und der Kühlbedarf um etwa 30 % verringern. Dies entspricht einer jährlichen Reduzierung des Brennstoffbedarfs von etwa 800 MWh sowie des Strombedarfs von 120 MWh (1.140 MWh Primärenergie).

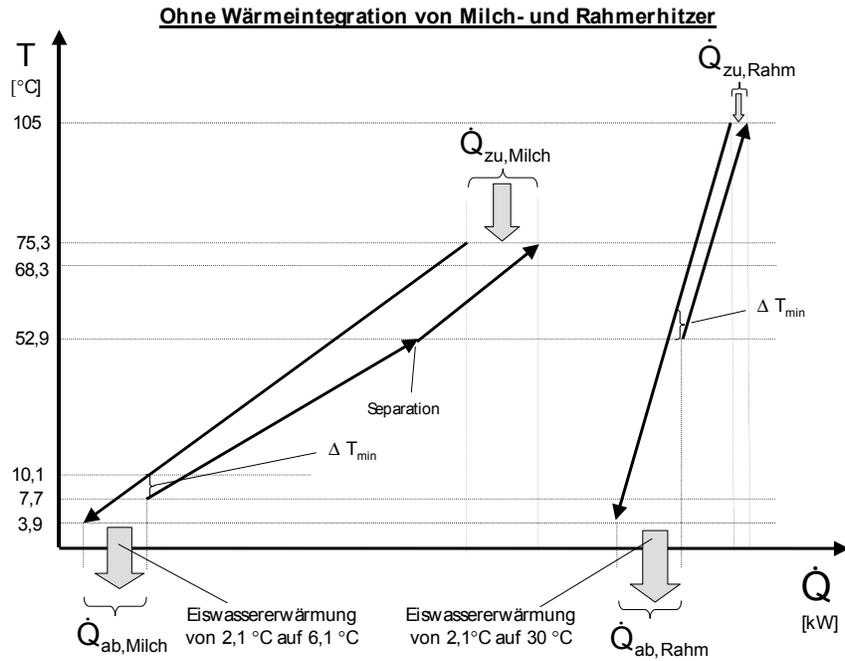


Abbildung 4-12: Zu- und abführende Wärmeströme am Milch- und Rahmerhitzer ohne Wärmeintegration (Quelle: Meyer et. al., 2000)

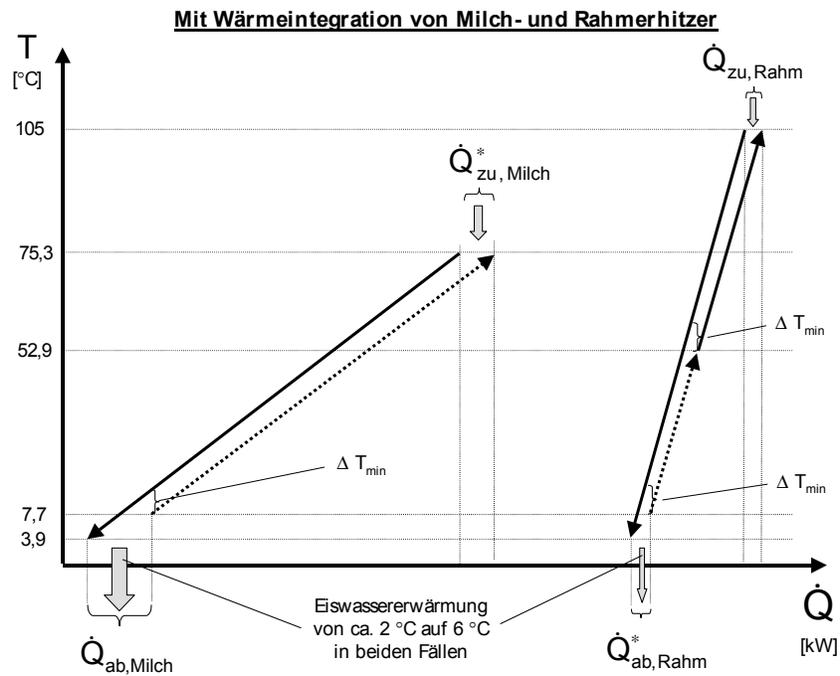


Abbildung 4-13: Zu- und abzuführende Wärmeströme der Milch- und Rahmerhitzer mit Wärmeintegration (Quelle: Meyer et. al., 2000)

### 4.3.3 Stromeinsparungen

#### Betrieb 1:

Bedeutende Möglichkeiten zur Stromeinsparung und Kostensenkung in dem untersuchten Betrieb fanden sich in den folgenden Bereichen:

- Senkung der Kondensationstemperatur der Kälteanlage
- Glättung des Stromlastprofils durch ein Lastmanagement
- Reduzierung der Leerlaufzeiten der Separatoren.

Die Prozesskälte wird in vier parallelgeschalteten Kältemittelverdichtern ( $\text{NH}_3$ ) erzeugt und in einem Eisspeicher gespeichert. Die Wärmeabgabe und Kondensation des Kältemittels erfolgt über Verdunstungsrückkühler.

Die Analyse der Kälteanlage ergab relativ hohe Verflüssigungstemperaturen von 38 bis 42 °C. Bei einer guten Auslegung und Wartung (regelmäßige Reinigung) dieser Komponenten ist die Kondensation des Kältemittels in der Regel ganzjährig bei Temperaturen unter 30 °C möglich, da in Mitteleuropa die Kühlgrenztemperatur kaum über 23 °C ansteigt (siehe hierzu auch Abschnitt 3.3.4).

Für eine  $\text{NH}_3$ -Kompressionskälteanlage bedeutet eine um 1 °C gesenkte Verflüssigungstemperatur eine durchschnittliche Energieeinsparung am Verdichter von 3 % (siehe Abbildung 4-14). Auf diese Weise kann der Energieeinsatz für die Kälteanlage in diesem Betrieb durch einen optimierten Betrieb der Rückkühler um mehr als 30 % reduziert werden. Dies entspricht einer Stromeinsparung von etwa 1.400 MWh pro Jahr (4.000 MWh Primärenergie).

Die Glättung und Vergleichmäßigung der elektrischen Leistungsaufnahme stellt auch im liberalisierten Strommarkt eine attraktive Möglichkeit zur Senkung der Stromkosten dar. Abbildung 4-15 zeigt das zeitliche Profil der elektrischen Leistungsaufnahme des Betriebes für einen Teil einer typischen Produktionswoche. Die kontinuierliche Auslastung der Anlagen im Dreischichtbetrieb führt zu einem vergleichsweise konstanten betrieblichen Strombedarf.

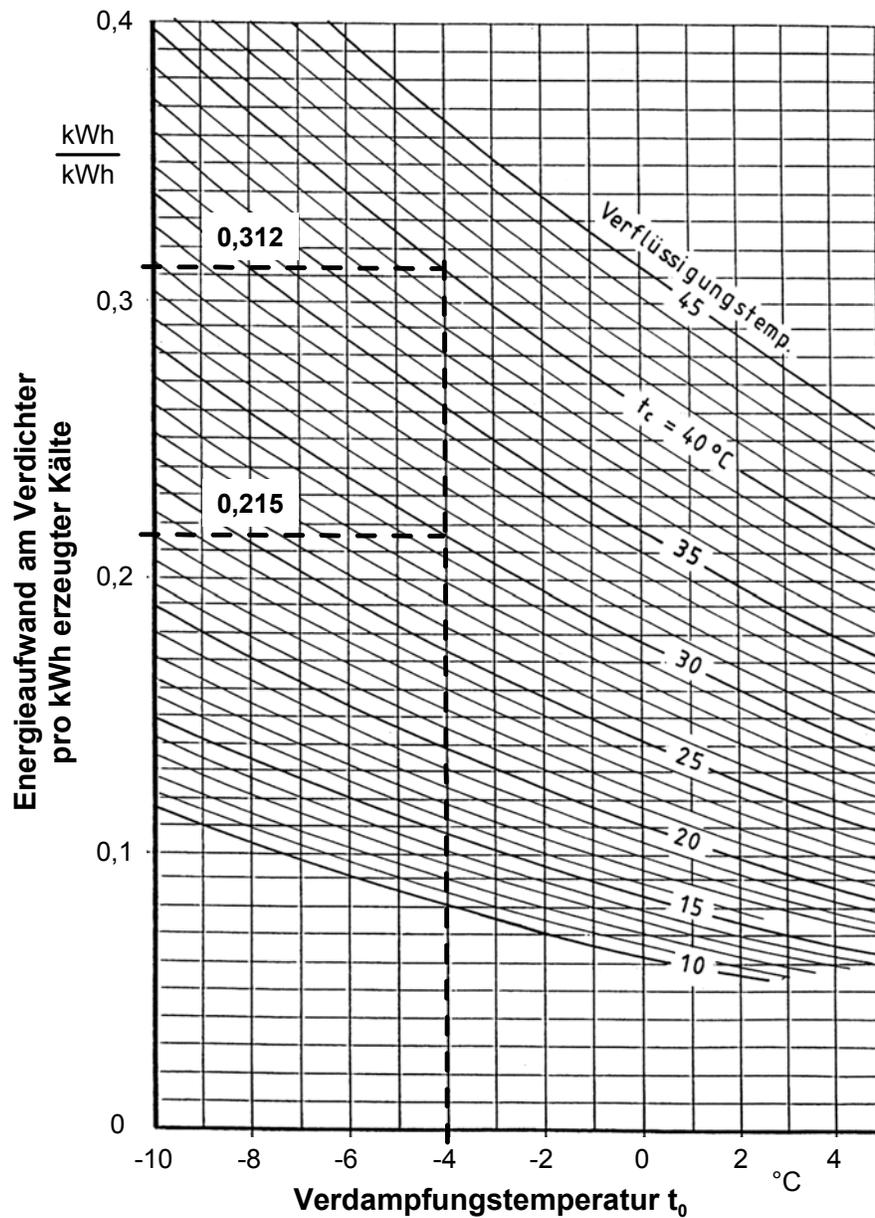


Abbildung 4-14: Energieaufwand am Verdichter (gemittelte Werte für  $\text{NH}_3$ -Kompressionskälteanlagen mit 100 bis 1.000 kW Kälteleistung), (Quelle: Witt Kältemaschinen GmbH, 2000)

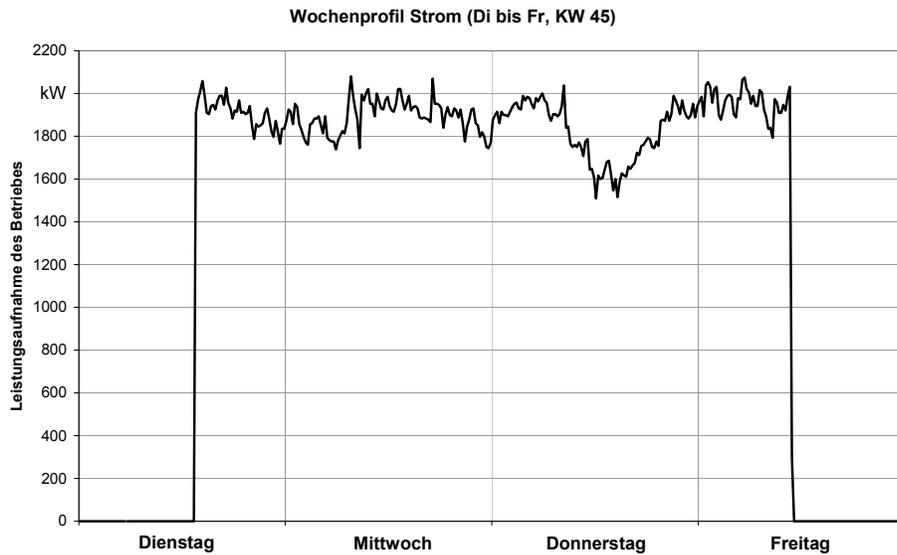


Abbildung 4-15: Messung der Stromaufnahme in einer repräsentativen Produktionswoche - 3 Schicht-Betrieb, kontinuierliche Produktion (Quelle: Meyer et. al., 2000)

Zur Glättung der verbleibenden Lastspitzen bietet sich die kurzfristige Abschaltung eines oder auch mehrerer Kältemittelverdichter an, insbesondere da die Kälteanlage mit einer Leistungsaufnahme von 510 bis 560 kW einen Anteil von über 25 % des betrieblichen Lastbedarfs verursacht.

Aus technischer Sicht ist die kurzfristige Abschaltung von Ammoniakverdichtern unbedenklich. Die Eisspeicheranlage ermöglicht die Pufferung der erforderlichen Kälteleistung, die in Zeiten geringerer betrieblicher Leistungsaufnahme mit einer erhöhten Leistung der Kältemittelverdichter angespeichert werden kann.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Stromeinsparung ist die Verkürzung der mehrmals täglich auftretenden Leerlaufzeiten. Abbildung 4-16 zeigt das Lastprofil eines Entkeimungsseparators, der im Produktionsbetrieb eine elektrische Leistungsaufnahme von 34 kW hat. Während der Leerlaufzeiten von einer Dauer bis zu 30 Minuten beträgt die Leistungsaufnahme etwa 20 kW (rund 60 %). Mit einer entsprechenden Steuerung können die Leerlaufzeiten verringert bzw. die entsprechenden Komponenten zeitweise abgeschaltet werden.

Da die Anlagen ohnehin zentral gesteuert werden, ist diese Modifizierung nur mit geringen Kosten verbunden. Es können Einsparungen von etwa 11 MWh Strom (31 MWh Primärenergie) pro Jahr erzielt werden.

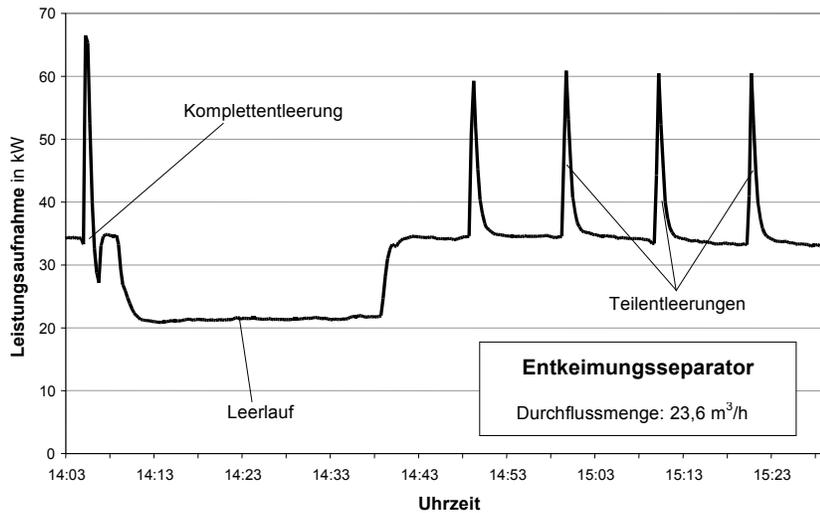


Abbildung 4-16: Leistungsaufnahme eines Separators beim Wechsel von Reinigungs- auf Produktionsbetrieb mit zwischenzeitlichem Leerlauf (Quelle: Meyer et. al., 2000)

#### 4.3.4 Wassereinsparung

Im untersuchten Betrieb sind Wassereinsparungen insbesondere innerhalb der Dampfversorgung möglich. Die unterdimensionierten Kondensatsammelbehälter können nach Stoßzeiten erhöhten Dampfbedarfs die zurückströmenden Kondensatmengen nicht vollständig aufnehmen. Überschussmengen müssen in die betriebs-eigene Kläranlage abgeleitet werden. Durch Erhöhung der Behälterkapazitäten können neben den Kosten für die Weichwasseraufbereitung auch die Frischwasserkosten sowie die thermische Energie zur Erwärmung des kalten Frischwassers auf Kondensattemperatur eingespart werden. Die erzielbaren Einsparungen wurden zu etwa 10 MWh Strom und 60 MWh Brennstoff (89 MWh Primärenergie) pro Jahr abgeschätzt.

#### Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)

4.3	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung		
			MWh/a 1)	€/a 2)	tCO <sub>2</sub> /a 3)
1	Fehlende Wärmeintegration von Milch- und Rahmerhitzer	Erweiterung des Rahmerhitzers und Nutzung eines Rohmilchteilstroms zur Rahmkühlung	1.140	47.600	233
2	Kondensationstemperaturen in der Prozesskälteanlage von 38 °C bis 42 °C	Reinigung und Erweiterung der Kondensatoren, Senkung der Kondensationstemperatur auf 30 °C	4.000	182.000	841
3	z.T. lange Leerlaufzeiten der Separatoren bei den Übergängen von Produktions- und Reinigungszyklen	Vermeidung von Leerlaufzeiten der vorhandenen Separatoren durch gezielte Prozesssteuerung, ggf. kurzfristiges Abschalten	31	1.411	7

1) Primärenergie, d.h. elektrische Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 35% für Umwandlung und Verteilung berücksichtigt, Wärme (Dampf etc.) mit 83 %.

2) Durchschnittspreise (gemittelt über alle Verbraucherklassen) 2012; siehe 3.1.3 Energiekosten

3) Emissionsfaktoren der Brennstoffe gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle; Emissionsfaktor Strom des deutschen Strommixes 2012

## 4.4 Mahl-, Schäl- und Ölmühlen

Unternehmen der Mühlenbranche haben in der Regel einen hohen, gleichmäßigen Strombedarf bei gleichzeitig hoher Produktionsauslastung. Die Produktionsschritte Reinigung, Vorbereitung (Netzung), Vermahlung, Sichtung und Einlagerung werden im Allgemeinen kontinuierlich betrieben. Bei der Haferverarbeitung kommen als vorbereitende Schritte noch das Schälen und Darren hinzu. Anstelle der Vermahlung tritt hier in der Regel die Flockierung mit vorgeschalteter Dämpfung und anschließender Trocknung. Hierfür wird Prozesswärme (z.B. Dampf) benötigt.

### 4.4.1 Wärmeintegration

#### Betrieb 1:

Eine Begehung des Dampf-Verteilsystems in einer Getreide-Mühle zeigte auf, dass ein Großteil der Armaturen (Absperrungen, Regler etc.) nicht isoliert wurde, um diese bei Wartungsarbeiten schnell ein- und ausbauen zu können. In der Regel erfolgt die Dämmung von Dampfleitungen mit alukaschierter Glaswolle, die in Blech eingehaust wird. Armaturen mit Glaswolle und Blech zu dämmen, ist häufig zeit- und kostenintensiv, weshalb gerne darauf verzichtet wird. Im untersuchten Betrieb konnten die Wärmeverluste durch das Dämmen der Armaturen mit flexiblen, schnell demontierbaren Dämmmatten um 63 MWh pro Jahr reduziert werden.

#### Betrieb 2:

In einem Weizenstärke herstellenden Betrieb wurden unterschiedliche Alternativen zur Verwertung der kohlehydratreichen Produktionsabwässer betrachtet. Am vorteilhaftesten gestaltete sich der Bau einer betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Biogaserzeugung. In der Abwasseraufbereitungsanlage mit einem nachgelagerten Fermenter können pro Jahr ca. 8.042 MWh Biogas erzeugt werden. Zur Verfeuerung des Biogases kann ein bestehender Dampfkessel genutzt werden, wobei der Brenner an die Brennstoffeigenschaften des neuen Brennstoffes angepasst werden muss. Neben einem geringen Anteil, der für die Beheizung des Fermenters aufgewendet wird, kann die Wärme vor allem zur Heiz- und Prozesswärmebereitstellung eingesetzt werden.

### 4.4.2 Stromeinsparung

Im Rahmen der Einführung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 werden in einer Mühle zur Herstellung von Mehlprodukten, Müsli und Tierfutter kontinuierlich Maßnahmen zur Energieeinsparung umgesetzt. Die Potenziale werden entweder vom Betrieb selbst oder durch Untersuchungen externer Berater aufgedeckt.

Durch den Einsatz neuer Schäler wurde die Leistung von zwei Schällinien optimiert. Durch den Austausch ergeben sich eine Steigerung der Produktionsausbeute sowie ein höherer Leistungsdurchsatz. Die installierte Leistung des Hauptmotors, der nun

über eine Drehzahlregelung verfügt, wurde durch den Austausch um ca. 27 % reduziert. Insgesamt wurde für die neuen Schälereine Energieeinsparung von jeweils 12,9 MWh nachgewiesen.

Neben der Einsparung elektrischer Energie bietet diese Maßnahme noch weitere Vorteile. Die Produktqualität konnte erhöht werden, sodass es seltener zu Reklamationen kommt. Neben der Produktqualität wurde ebenfalls die Produktionskapazität gesteigert. Die neuen Schälereine sind in der Lage, auch Rohware schlechterer Qualität zu verarbeiten und weisen einen geringeren Verschleiß auf.

Des Weiteren wurde das Aspirationssystem der Vorreinigung untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass zur Regelung der Absaugung bisher eine Drosselklappe hinter einem Filter zur druckabhängigen Volumenstrom-Regelung eingesetzt wurde. Durch den Einbau eines druckgeregelten Frequenzumrichters am Antrieb des Gebläses lässt sich der Druckverlust über die Drosselklappe vermeiden, was einer Einsparung von 30,1 MWh pro Jahr entspricht. Zusätzlich meldet die neue Druck-Sensorik, wenn der Filter einen bestimmten Druckverlust und damit Verschmutzungsgrad aufweist, sodass eine zeitnahe Filterreinigung erfolgen kann, was zu einer zusätzlichen Energieeinsparung führt. Um den optimalen Zeitpunkt für die Filterreinigung zu ermitteln, wurde der Energieverbrauch über einen längeren Zeitraum gemessen. Auf diese Weise ließ sich darstellen, welchen Einfluss der Filterwechsel auf den elektrischen Energiebedarf am Gebläse hat.

#### 4.4.3 Ressourceneinsparung

Durch die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen in einem Ölsaaten verarbeitenden Betrieb konnten die Ölausbeute gesteigert und die Hexan-Verluste verringert werden. Das Unternehmen verarbeitet ca. 500.000 t an Ölsaaten pro Jahr. Die Produktpalette reicht von Speiseöl, Schrot und Fettsäuren bis hin zur Herstellung von Lecithin.

Im ersten Kernprozess werden die Ölsaaten gesiebt, konditioniert, flockiert und dann in den Saatpressen verarbeitet. Die gepresste Saat mit Restölgehalten von ca. 20 % wird anschließend im zweiten Kernprozess, der Extraktionsanlage, bis auf Restölgehalte von 2 % weiter entölt.

Eine Analyse der Vorpressung ergab, dass Fremdstoffe in der Saat wie z.B. Getreidespelzen und Rapsstroh mehrfach pro Jahr zu teuren Stillständen der Pressen führten, wodurch auch die Ölausbeute sank. Eine effektivere Abtrennung der Fremdstoffe war durch die bestehende vorgeschaltete Siebung nicht möglich. Das Unternehmen installierte daraufhin eine neue Siebanlage und modifizierte den Förderweg des Saatguts. Durch die neue Siebanlage und eine verbesserte Ablauforganisation konnten die Stillstandzeiten verringert werden. Die ausgesiebten pflanzlichen Fremdstoffe werden anschließend dem Futterschrot zugemischt. Die Produktion ist somit sehr reststoffarm. Insgesamt steigerten die umgesetzten Maßnahmen die Ölausbeute um ca. 378 t pro Jahr – basierend auf der Massenbilanz der eingesparten Ölsaaten von ca. 945 t.

Im Bereich der Extraktion konnte die Ölmühle ihre Hexan-Verluste mit gezielten Maßnahmen im Kühlsystem und der Toaster-Anlage verringern. Der Betrieb modernisierte dafür u.a. die Steuerung, das Pumpsystem und die Wärmetauscher des vorhandenen Kühlturms. Durch diese Maßnahmen ließ sich die Kühlwassertemperatur im Prozess stabilisieren, sodass mehr Hexan aus den Emissionen zurückgewonnen werden kann. Darüber hinaus verbleiben nach dem Extraktionsprozess geringe Restmengen Hexan im Schrot. Dieser Austrag ließ sich an der Toaster-Anlage weiter verringern, indem die Verweilzeit des Schrots im Toaster bei höheren Temperaturen verlängert wurde. Erreicht wurde dies durch den Umbau der Prozesstechnik (Investition: 100.000 €) und eine verbesserte Instandhaltung. Beide Maßnahmen reduzierten den Hexan-Verbrauch insgesamt um ca. 77 t im Jahr.

Das Projekt wurde vom Betrieb in Zusammenarbeit mit der Effizienz-Agentur NRW umgesetzt.

#### Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)

4.4	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung		
			MWh/a 1)	€/a 2)	tCO <sub>2</sub> /a 3)
1	Freiliegende Armaturen im Dampfsystem	Isolieren der Schieber etc. mit flexiblen Dämm-Matten	76	3.036	15
2	Einsatz veralteter Schäl器	Austausch gegen hocheffiziente Schäl器 mit Drehzahlregelung	74	3.354	16
3	Volumenstromregelung in Aspirationssystem über Drosselklappe	Einbau eines druckgeregelten Frequenzumrichters	86	3.913	18
4	Keine Abwasserbehandlung / keine Nutzung der im Abwasser enthaltenen Biomasse	Bau einer Abwasseraufbereitungsanlage mit nachgelagertem Fermenter	8.042	321.680	1.621

1) Primärenergie, d.h. elektrische Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 35% für Umwandlung und Verteilung berücksichtigt, Wärme (Dampf etc.) mit 83 %.

2) Durchschnittspreise (gemittelt über alle Verbraucherklassen) 2012; siehe 3.1.3 Energiekosten

3) Emissionsfaktoren der Brennstoffe gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle; Emissionsfaktor Strom des deutschen Strommixes 2012

## 4.5 Herstellung von Backwaren und Dauerbackwaren

In der Backwarenbranche werden große Wärmemengen zum Backen verwendet. Die Wärme wird dabei hauptsächlich zum Verdampfen von Wasser benötigt. Große elektrische Verbraucher sind die Förder- und Verpackungsanlagen sowie die Druckluftanlagen. Bei der Herstellung von Tiefkühlprodukten kommt die Kälteerzeugung hinzu.

#### 4.5.1 Wärmeintegration

In einem Betrieb zur Herstellung von Backwaren wurden bestehende Backöfen mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet und somit die Effizienz der Brennstoffnutzung erhöht.

In der Bäckerei werden insgesamt vier gasbefeuerte Öfen eingesetzt. Vor dem Umbau ging ein Teil der den Öfen zugeführten Energie über das Rauchgas und den Schwaden verloren. Durch den Einbau von zwei Wärmetauschern kann ein Teil der Abwärme nun zur Warmwasserbereitung und zur Unterstützung der Heizungsanlage genutzt werden.

Während das Rauchgas einen hohen Energieinhalt aufgrund seiner hohen Temperatur hat, resultiert die im Schwaden nutzbare Wärmeenergie hauptsächlich aus der Kondensationswärme des in ihm enthaltenen Wasserdampfes. Das Rauchgas aus zwei der Backöfen strömt über einen gemeinsamen Abgaskanal in einen Wärmetauscher, der einen Pufferspeicher aufheizt. Dieser Pufferspeicher dient der Zwischenspeicherung der Wärme, da das Abwärme-Angebot und der Wärmebedarf zur Beheizung und Warmwasserbereitung nicht immer gleichzeitig auftreten. Der Abgas-Wärmetauscher speist den oberen, wärmeren Bereich des Pufferspeichers. Der Schwaden-Kondensator, der Wärme auf einem niedrigeren Temperaturniveau bereitstellt, speist den mittleren bzw. unteren Teil des Speichers, in dem durch die thermische Schichtung niedrigere Temperaturen vorherrschen. Durch die Maßnahme werden jährlich ca. 57 MWh Erdgas und 12 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart.

Die Investition zur Erschließung des Optimierungspotenzials lag bei ca. 33.000 €. Das Projekt wurde zu insgesamt 30 % mit Geldern aus dem „Programm zur Förderung der sparsamen und rationellen Energienutzung und -umwandlung in Industrie und Gewerbe“ und der Niederrheinischen Gas- und Wasserwerke GmbH unterstützt.

#### 4.5.2 Stromeinsparung

##### **Betrieb 1:**

In einem Betrieb zur Herstellung von Tiefkühl(TK)-Backwaren wurde das Brandschutzsystem eines TK-Hochregallagers optimiert.

Da im TK-Hochregallager kein Sprinklersystem zur Brandbekämpfung eingesetzt werden kann, setzte der Betrieb auf ein System zur Brandvermeidung. Durch Einleiten von Stickstoff wird die Sauerstoffkonzentration im Lager exakt auf den eingestellten Wert abgesenkt und dort gehalten. In dieser Atmosphäre kann die Entstehung eines offenen Brandes ausgeschlossen werden, da der vorhandene Sauerstoff nicht mehr ausreicht, um ein Feuer entstehen zu lassen und aufrecht zu erhalten.

Im ersten Schritt wurden gemeinsam mit dem Hersteller Brandversuche durchgeführt, um zu ermitteln, welche Sauerstoffkonzentration im Lager zur Brandvermeidung ausreicht. Dadurch konnte der Sauerstoffanteil in der Luft von

15 auf 17 % angehoben werden, woraus sich ein geringerer Stickstoffbedarf ergibt. Dies führt zu einer reduzierten Laufzeit und somit zu einem geringeren elektrischen Energiebedarf (ca. -35 %) der Druckwechsel-Adsorptionsanlage (PSA = Pressure Swing Adsorption), die den erforderlichen Stickstoff erzeugt. Die Stickstoffherzeugung erfolgte in der bestehenden Anlage über einen in die Druckwechsel-Adsorptionsanlage eingebauten Kompressor, der angesaugte Luft auf 10 bar verdichtet. Der Nachteil dieses Systems ist der niedrige Wirkungsgrad des Kompressors. Ein Großteil der zugeführten elektrischen Energie muss als Wärme abgeführt werden.

Aufgrund neuer Entwicklungen im Bereich der Brandvermeidungsanlagen entschied sich das Unternehmen dazu, die bestehende Druckwechsel-Adsorptionsanlage gegen eine moderne Vakuum-Druckwechsel-Adsorptionsanlage auszutauschen. Dieses System arbeitet mit Drücken zwischen 1,5 bar und 2 bar, was zu einer erheblichen Energieeinsparung führt.

Durch die getroffenen Maßnahmen konnte das Unternehmen den Stromverbrauch des Brandvermeidungssystems um mehr als 40 % reduzieren.

Als weitere Maßnahme wurde das Abluftsystem einer Vorteiganlage analysiert. Die Abreinigung der Taschenfilter erfolgte bisher mittels Druckluft bei 7,5 bar. Über einen Druckminderer wurde der Druck schrittweise abgesenkt und überprüft, bei welchem Minimaldruck eine ausreichende Filter-Abreinigung erzielt wird. Die Untersuchung ergab, dass ein Druck von 5 bar für das Abreinigen ausreicht. Daher wurde die Druckluft-Abreinigung durch ein dezentrales Gebläse ersetzt. Die Umsetzung der Maßnahme führt zu einer Energieeinsparung von mehr als 20 %.

### **Betrieb 2:**

Eine häufig unterschätzte Maßnahme zur Reduzierung des Energieverbrauchs ist die Mitarbeitermotivation. So wurde in einer Backwarenfabrik der Eintrag von Warmluft in gekühlte Produktionsbereiche reduziert, indem die Mitarbeiter sensibilisiert wurden, zum Betreten der kalten Bereiche die vorhandenen Schleusen, Türen und Falttüren anstelle der Gabelstapler-Durchfahrten zu benutzen. Trotz des Einsatzes von Schnelllauf-Toren ist der Wärmeeintrag aufgrund der größeren Öffnungsfläche höher. Durch den Eintrag von warmer, feuchter Luft in die gekühlten Bereiche kam es zur Kondensation des in der warmen Luft enthaltenen Wasserdampfes, was eine Tropfenbildung und dadurch eine höhere Ausschussmenge zur Folge hatte.

Zur weiteren Vermeidung von Quer-Durchströmung wurden die Lüftungssysteme sowohl in den kalten als auch in den warmen Bereichen optimiert. Die Zu- und Abluft-Volumenströme wurden für jeden Bereich aneinander angepasst, sodass zukünftig keine Unter- bzw. Überdrücke mehr auftreten und es somit nicht zu einem übermäßigen Wärmeaustausch kommt.

**Betrieb 3:**

Beim Neubau einer Fabrik zur Herstellung von TK- und Frisch-Backwaren wurde die Energieeffizienz bereits bei der Planung berücksichtigt. So wird die Abluft eines Umweltgebäudes als Belebungsluft in der angegliederten Werks-Kläranlage genutzt. Die warme Produktions-Abluft wird nachdem sie eine Wärmerückgewinnung zur Frischluft-Vorwärmung passiert hat, direkt in das Vorbelüftungsbecken eingeleitet. Dadurch wird ein bestehendes System genutzt und ein zusätzliches Gebläse zur Belüftung des Belebungsbeckens entfällt. Durch die Kombination der beiden Systeme lässt sich der Energiebedarf gegenüber getrennten Systemen um ca. 35 % reduzieren.

**Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)**

4.5	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung		
			MWh/a 1)	€/a 2)	tCO <sub>2</sub> /a 3)
1	Abwärme von Öfen geht über Rauchgas und Schwaden verloren	Einbau von Abgas- und Schwaden-Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung	57	2.289	12
2	Brandschutz / Brandvermeidung in Tiefkühl-Hochregallager durch Reduzierung des Sauerstoffanteils	Anhebung des Sauerstoffanteils; Austausch der bestehenden Anlage gegen eine Vakuum-Druckwechsel-Adsorptionsanlage	40 %	-	-
3	Abreinigung eines Taschenfilters im Abluftsystem einer Vorteiganlage über Druckluft	Einsatz eines dezentralen Gebläses	20 %	-	-
4	Vorklärung von Produktions-Abwasser	Nutzung warmer Produktions-Abluft (nach Wärmerückgewinnung) im Belebungsbecken anstelle eines separaten Gebläses mit Außenluft. Gemeinsames System anstelle von zwei getrennten Systemen	35 %	-	-

1) Primärenergie, d.h. elektrische Energie ist mit einem Wirkungsgrad von 35% für Umwandlung und Verteilung berücksichtigt, Wärme (Dampf etc.) mit 83 %.

2) Durchschnittspreise (gemittelt über alle Verbraucherklassen) 2012; siehe 3.1.3 Energiekosten

3) Emissionsfaktoren der Brennstoffe gemäß Deutscher Emissionshandelsstelle; Emissionsfaktor Strom des deutschen Strommixes 2012

**4.6 Herstellung von Süßwaren**

Die Süßwarenindustrie ist stark diversifiziert. Zu den drei großen Bereichen gehören die Verarbeitung von Speisegelatine (Gummibärchen, Kaubonbons, Marshmallows etc.), von Zucker (Karamell, Dragees, Krokant etc.) und von Schokolade (Tafeln, Figuren, Überzug etc.). Große Energiemengen werden dabei für die Prozesse Warmhalten und Kühlen benötigt. Weitere große Verbraucher sind im Bereich Formen, Pressen, Kochen und Backen sowie bei den Förder- und Verpackungsanlagen zu finden.

**4.6.1 Wärmeintegration**

Bei der Herstellung von Schokolade fällt an verschiedenen Anlagen Abwärme an. Darüber hinaus wird eine große Menge Prozesswärme benötigt, die in der Regel über eine konventionelle Heizanlage erzeugt wird. Aufgrund der erforderlichen

Prozesswärmemetemperaturen und der damit einhergehenden hohen Vor- und Rücklauftemperaturen war es dem Betrieb nur bedingt möglich, die Abwärmepotenziale umfänglich und wirtschaftlich auszunutzen. Daher wurde das gesamte Prozesswärmesystem untersucht. Darüber hinaus erzielten die installierten Gas-Brennwertkessel keine Brennwertnutzung, da die den Kesseln zugeführte Rücklauftemperatur über dem Abgastaupunkt lag. Dementsprechend kam es nicht zur Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes, weshalb die dadurch nutzbare Verdampfungsenthalpie nicht zur Verfügung stand.

Um zu ermitteln, welche Vorlauftemperatur an den einzelnen Prozessen ausreichend ist, ohne einen Qualitätsverlust hinnehmen zu müssen, wurden die Vorlauf-temperatur stufenweise abgesenkt, die Produktqualität überwacht und die gewonnenen Erkenntnisse entsprechend dokumentiert. Durch die dauerhafte Absenkung der Vorlauftemperatur ist es nun möglich, die Abwärme von Kompressoren und Kälteanlagen effizienter einzubinden. Die Rücklauftemperatur konnte durch die Maßnahme soweit reduziert werden, dass die Brennwertkessel zumindest eine Teilkondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes erzielen. Dadurch konnte der Abgasverlust um ca. 2 % verringert werden, was einer Erhöhung der Brennstoffausnutzung entspricht. Des Weiteren fallen die Stillstands- und Abstrahlverluste der Kessel durch die geringere Kesselwassertemperatur niedriger aus. Durch die Absenkung der Vorlauftemperatur konnte zusätzlich das Risiko verringert werden, dass die Schokolade im Falle einer Anlagenstörung (z.B. dem Versagen eines Mischventils) überhitzt.

Derzeit prüft das Unternehmen, ob die Temperaturen durch zusätzliche Maßnahmen weiter abgesenkt werden können. Die Überlegungen konzentrieren sich unter anderem auf die optimierte Regelung von Wärmeabnehmern und die Vergrößerung von Wärmeübertragungsflächen in Prozessanlagen, um einen gleichbleibenden Wärmeübergang bei geringerer Vorlauftemperatur gewährleisten zu können.

#### **4.6.2 Stromeinsparung**

Dass Optimierungen auch ohne großen technischen und finanziellen Aufwand möglich sind, zeigt ein Beispiel eines Herstellers von Schokoladenartikeln. Dieser hat zwei baugleiche Temperanlagen, in denen die gleichen Produkte hergestellt werden, im Rahmen eines Benchmarking bewertet und optimiert. Über Messungen mit mobilen Strom-Datenloggern, die über einen Zeitraum von mehreren Monaten vorgenommen wurden, ließ sich der spezifische Energiebedarf ( $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{kg}$  Produkt) der beiden Anlagen bestimmen. Die Gegenüberstellung ergab, dass der spezifische Strombedarf von Anlage 2 wesentlich höher war als der von Anlage 1. Im nächsten Schritt wurden die Stellschrauben an den Anlagen identifiziert und mit der Optimierung der Betriebsparameter begonnen. Es wurde festgestellt, dass die Luftumwälzung an den Kühltischen der beiden Temperanlagen bei der Inbetriebnahme durch den Hersteller unterschiedlich eingestellt und seitdem nie verändert wurde. Durch die Anpassung der Betriebsparameter zur Luftumwälzung von Anlage 2 konnte eine Energieeinsparung von ca. 35 % erzielt werden. Um

weitere Einsparungen zu erzielen, setzte sich das Energieteam, das in den letzten Jahren ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 eingeführt hat, mit den Kollegen aus der Produktion und dem Qualitätsmanagement zusammen. Unter ständiger Überwachung der Produktqualität wurde die Luftumwälzung nach und nach stufenweise reduziert. Letztendlich konnte die Luftumwälzung dauerhaft soweit reduziert werden, dass eine maximale Energieeinsparung bei gleichbleibend hoher Produktqualität erzielt werden konnte. Im Vergleich zur Ausgangssituation konnte der Energiebedarf von Anlage 1 um 25 %, der von Linie 2 insgesamt um 45 % reduziert werden. Darüber hinaus konnten neben der direkten Stromeinsparung an den Temperanlagen durch die Optimierung der Kältebedarf und somit der Stromeinsatz der zentralen Kälteanlage gesenkt werden.

Das Beispiel zeigt, dass sich nichtinvestive Maßnahmen an vergleichbaren Anlagen durch einfaches Benchmarking und eine Optimierung der Betriebsparameter in enger Zusammenarbeit von Qualitätsmanagement und Technik/Produktion erzielen lassen.

#### **4.6.3 Wassereinsparung**

Um seinen Frischwasserbedarf, die Abwassermenge und somit die Kosten zu senken, hat ein Unternehmen der fruchtverarbeitenden und Süßwarenindustrie eine energie- und ressourceneffiziente Abwasser-Aufbereitungsanlage installiert.

Bei der Herstellung von Brotaufstrichen, Süßwaren und Fruchtzubereitungen für die Back-, Milch- und Süßwarenindustrie werden höchste hygienische Anforderungen an die regelmäßige Reinigung der Produktionsanlagen und Transportbehälter gestellt. Häufige Produktwechsel und eine Erweiterung der Produktion ließen den Frischwasserverbrauch für die Reinigung im Unternehmen stetig steigen. Eine Wiederaufbereitung des Reinigungswassers war mit bestehenden Verfahren nicht möglich, da das Medium mit allergenen Rückständen von Nüssen, Gluten und Ei belastet war. Daher wurde vor der Installation der Neuanlage ein Großteil des Abwassers unbehandelt eingeleitet und nicht wiederverwendet.

Um einen Teil des Reinigungswassers aufzubereiten entwickelte der Betrieb zusammen mit einem Anlagenbauer ein innovatives Membranverfahren. Dieses Verfahren ermöglicht es, auch Allergien auslösende Eiweiße abzuscheiden. Bei der eingesetzten Ultrafiltration wird das wässrige Medium an Keramikmembranen vorbeigeleitet. Die hochporöse Keramikstruktur dient hierbei als Trägermaterial für eine sehr dünne Membran, welche sich durch eine hohe Wasserdurchlässigkeit auszeichnet. Dadurch können Allergene vollständig aus dem Prozesswasser gefiltert werden. Das dabei gewonnene hochqualitative Wasser (Permeat) wird wieder zur Vorreinigung genutzt.

Die Rückführung des aufbereiteten Prozesswassers in die Vorstufe des Reinigungsprozesses senkt den Frischwasserbedarf und die Abwassermenge um 52.000 m<sup>3</sup>/a. Darüber hinaus muss das gewonnene Prozesswasser im Gegensatz zu

Frischwasser für den Reinigungsprozess nicht mehr aufgeheizt werden, was eine Einsparung von Brennstoffenergie zur Folge hat.

Der Betrieb hat das Projekt in Zusammenarbeit mit der Effizienz-Agentur NRW umgesetzt. Dabei wurde aus dem „Investitionsprogramm Abwasser NRW“ ein Investitionszuschuss von 125.000 € gewährt.

#### Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)

4.6	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung
			%
1	Keine Brennwertnutzung aufgrund einer zu hohen Rücklauftemperatur	Absenkung der Vorlauftemperatur unter Berücksichtigung der Produktqualität	2 %
2	Betrieb der Temperanlagen gemäß Voreinstellung des Anlagenbauers	Optimierung der Betriebsparameter an 2 Temperanlagen (Einsparung je Anlage)	25 % 45 %

### 4.7 Herstellung von Teigwaren

Unter dem Begriff Teigwaren werden alle Produkte in verschiedenen Formen (Maccaroni, Spaghetti, Tortellini etc.) zusammengefasst, die aus Getreidemahl-erzeugnissen mit oder ohne Verwendung von Hühnereiern und/oder anderen Zutaten durch Einteigen, Formen und Trocknen ohne Anwendung eines Gährungs- oder Backverfahrens hergestellt werden. In Deutschland existieren derzeit ca. 50 Betriebe, in denen Teigwaren hergestellt werden, wovon ein Großteil auf kleinere und mittelständische Unternehmen entfällt. Die jährliche Produktionsmenge der Betriebe liegt bei insgesamt ca. 300.000 t.

Energieintensive Prozesse sind das Mischen / Kneten, das Pressen / Formen und vor allem das Trocknen. Manche Produkte, die keine reinen Teigwaren sind (z.B. Ravioli oder Tortellini), werden in der Regel in Kombination mit der Trocknung pasteurisiert.

#### 4.7.1 Wärmeintegration und Stromeinsparung

In einem Betrieb zur Herstellung von Trockenteigwaren wurde eine bestehende Anlage zur Herstellung von Langnudel-Ware gegen eine Neuanlage ausgetauscht.

In der bisher eingesetzten Anlage erfolgte die Trocknung über ein konventionelles System aus Vor- und Haupttrocknung. Das in den verschiedenen Trocknungsstufen aus dem Produkt aufgenommene und verdampfte Wasser wurde in Form von feuchter Luft über das Dach abgeführt. Die in der feuchten Abluft enthaltene Energie wurde nicht genutzt. Da insgesamt sechs Abluftströme auf unterschiedlichem Temperaturniveau anfielen, konnte eine Nutzung nicht wirtschaftlich realisiert werden.

Die Neuanlage verfügt über ein optimiertes Abluft-System, das aus der Vor- und Haupttrocknung insgesamt nur zwei Abluft-Ströme aufweist. Die optimierte Abluftführung ermöglicht eine Wärmerückgewinnung durch die Temperaturabsenkung der Abluft. Die Abwärme wird prozessintern zur Vortrocknung eingesetzt. Somit liegt eine dauerhafte Überschneidung zwischen Abwärme-Angebot und Nutzung vor. Die Einsparung an thermischer Energie liegt durch das optimierte System im Vergleich zur Altanlage bei mehr als 35 %.

Die neue Anlage ist mit Ventilator-Antrieben der Effizienzklasse IE3 ausgerüstet, wodurch sich gegenüber den alten Antrieben auch eine Einsparung an elektrischer Energie ergibt. Hochgerechnet auf den Jahresenergiebedarf resultiert aus der verringerten Leistungsaufnahme der hocheffizienten Antriebe gegenüber den alten Motoren eine Einsparung elektrischer Energie von ca. 10 %.

Darüber hinaus wird durch die Nutzung von Rücklaufströmen thermischer Verbraucher zur Kühlung der Feuchte-Konditionierungs-Zone und zur Rückkühlung der Stabilisationszone zusätzlich Kühlenergie bzw. elektrische Energie zur Bereitstellung der Kühlenergie eingespart. So lässt sich die für den Betrieb der Anlage erforderliche Kühlwassermenge um 20 % reduzieren.

#### **4.7.2 Studien zur Optimierung des thermischen Energiebedarfs**

Ein weiteres großes Potenzial zur Einsparung thermischer Energie bei der Trocknung ergibt sich einer Studie des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V. zufolge aus der Optimierung der Prozessführung bei Bestandsanlagen.

Wie bereits deutlich wurde, stellt die Trocknung einen energie- und kostenintensiven Schritt der Nudelherstellung dar. Beim Formen hat der Teig eine Feuchtigkeit von ca. 29 %. Gemäß der „Leitsätze für Teigwaren“ darf der Wassergehalt nach dem Trocknen höchstens 13 % betragen. Die häufig nicht vorhandene Prozess-Regelung anhand aktueller Messwerte zum Feuchtegehalt führt dazu, dass ein Sicherheitsaufschlag erfolgt und der Feuchtegehalt des Endproduktes somit wesentlich niedriger ausfällt.

Im Versuchsaufbau, der vorab mit Platten (Lasagne) und später zur Prüfung der Übertragbarkeit auf andere Geometrien mit Hohlformaten (Penne, Rigatoni) und Spiralen (Fusilli) durchgeführt wurde, erfolgte die Trocknung anhand von zwei unterschiedlichen Profilen. Diese unterschieden sich vor allem hinsichtlich der unterschiedlichen Temperaturen in den einzelnen Abschnitten. Die Versuche wurden zunächst im Labor, später auf einem Technikums-Trockner im Industrie-Maßstab realisiert. Bei den Untersuchungen erfolgte eine physikalische Charakterisierung der relevanten Stoffsysteme, um einerseits die Prozesse beurteilen zu können und andererseits die produktbezogenen Grundlagen der Regelung zu schaffen. Für den Nudelteig erfolgte eine Analyse des Wassergehaltes, der Wasserbindung/-immobilisierung sowie der Struktur. Das Endprodukt wurde hinsichtlich der Restfeuchte, der Farbe, der Oberflächenstrukturen, der Deformation und der Rissbildung untersucht. Darüber hinaus erfolgte eine Analyse der gekochten Nudeln,

wobei Feuchte, Proteinstruktur, Topographie der Querschnittsfläche, Farbe, Wasserbindung und Sensorik im Vordergrund standen. Die Feuchtebestimmung im Messaufbau erfolgte über ein Nahinfrarot-Thermometer. Des Weiteren wurden ein Farbsensor und ein Infrarot-Thermometer zur Oberflächentemperatur-Messung eingesetzt.

Über die mögliche Einsparung wurden bisher noch keine Daten veröffentlicht. Geht man jedoch davon aus, dass durch eine Erhöhung des Wassergehaltes entweder insgesamt weniger Warmluft zum Trocknen benötigt wird oder die Temperatur der Warmluft bei gleichbleibendem Volumenstrom gesenkt wird, so lässt sich die theoretische Energieeinsparung rechnerisch bestimmen. Die Berechnung erfolgte auf Basis eines in der Praxis üblichen Wassergehalts im Teig von ca. 260 kg Wasser pro t Fertigprodukt (1.260 kg Teigmasse). Liegt die Ausgangsfeuchte bei durchschnittlich 10 % und erreicht man durch eine kontinuierliche Prozesssteuerung dauerhaft einen Wassergehalt im Endprodukt von 13 %, so erzielt man eine Einsparung an thermischer Energie von ca. 13 %. Liegt der Wassergehalt im Durchschnitt bereits bei 12 %, so lässt sich durch eine Optimierung immerhin noch eine Einsparung thermischer Energie von ca. 4 % erreichen.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Trocknungsprozesses ist einer anderen Studie zufolge das Trocknen von feuchten Gütern mit Impuls-Infrarot auf Basis funktioneller Keramiken (IR.C). Im Unterschied zum klassischen marktüblichen Infrarot dringt IR.C dank seiner Eigenschaften mit Lichtgeschwindigkeit tief und schonend in das Gut ein und regt dort von innen heraus das Wasser zum Verdunsten an. Die Eindringtiefe kann sowohl mit unterschiedlichen Keramiken als auch mit unterschiedlicher Impulsstärke eingestellt werden. Eine Versuchsreihe mit Bandnudeln mit wellenförmigen Rändern, die konvektiv und über das IR.C-Verfahren getrocknet wurden, ergab, dass der Heiz-Energiebedarf um mehr als 90 % reduziert werden konnte.

**Übersicht der Maßnahmen (Strom- und Brennstoffeinsparung)**

4.7	Ist-Zustand	Maßnahme / Verbesserung	Einsparung
			%
1	Anlage zur Herstellung von Nudel-Langware weist Abwärme-Potenzial auf, welches jedoch schwierig zu erschließen ist.	Installation einer Neuanlage mit optimiertem Abluft-System	35 % 10 %
2	Feuchtegehalt bei der Nudelherstellung durch fehlende Erfassung und Regelung niedriger als erforderlich (Sicherheitsaufschlag)	Kontinuierliche Erfassung des Wassergehaltes im Endprodukt. Regelung der Trocknung anhand des erfassten Wassergehaltes.	4 % - 13 %
3	Trocknung feuchter Produktionsgüter über Infrarot-Verfahren	Trocknung durch Impuls-Infrarot auf Basis funktioneller Keramiken	bis zu 90 %

## 4.8 Nachhaltigkeitsbemühungen der Ernährungsindustrie in NRW

Nachhaltigkeit ist heute mit zunehmendem Bewusstsein für die Endlichkeit der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf der Erde ein aktuelleres Thema denn je. Auf internationaler Ebene wird versucht, einheitliche Umwelt- und Sozialstandards zu etablieren, doch immer wieder kollidieren ökonomische Interessen mit Bestrebungen zum Umweltschutz. Bei der Bewertung von wirtschaftlichen Aktivitäten sind auch ethische Fragestellungen relevant, da durch Emissionen wie Abgase oder Abwässer zwangsläufig die Lebensqualität beeinflusst wird. Der Import von Gütern aus dem Ausland in Folge der Globalisierung kann ebenfalls schwer kalkulierbare ökologische und soziale Auswirkungen haben. Hier steht in besonderem Maße die Lebensmittelindustrie in der Verantwortung. Regelmäßige negative Berichte in den Medien belasten das Vertrauen der Menschen, sodass die Ansprüche der Käufer an Lebensmittelprodukte zunehmend wachsen. Themen wie artgerechte Tierhaltung, gentechnisch veränderte Lebensmittel oder Recycling rücken in das öffentliche Bewusstsein.

Stellen sich Unternehmen neben ihrer ökonomischen auch ihrer ökologischen und sozialen Verantwortung, können Umweltberichte, Auszeichnungen oder Zertifikate zu einer direkten Kommunikation ihres Engagements mit Anspruchsgruppen verhelfen. Dazu zählen neben Kunden und der Öffentlichkeit u.a. Umweltschutzverbände oder andere NGOs. Kaufentscheidungen werden immer stärker in Abhängigkeit von der Umweltverträglichkeit der Produkte sowie der sozialen Verantwortung des Unternehmens getätigt. So kann die Kommunikation über Nachhaltigkeitsbestrebungen in direkte Wettbewerbsvorteile umgesetzt werden. Eine Studie des Zentrums für Nachhaltige Unternehmensführung (ZNU) zeigt auf, dass, unabhängig von direkten ökonomischen Vorteilen, in den meisten Unternehmen Nachhaltigkeit zur Grundlage des Unternehmensleitbildes wird. So kann sich eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Unternehmenskultur in allen Organisationsbereichen etablieren.

In der Ernährungsindustrie stehen viele verschiedene Labels zur Verfügung wie Bio-Siegel, Nachhaltigkeitslabels oder Fair-Trade Produkte. Auf internationaler Ebene weisen Zertifikate nach DIN EN ISO 14001 oder DIN EN ISO 26000 auf eine kontinuierliche Verbesserung von umwelt- und gesellschaftsbezogenen Aspekten der Unternehmenstätigkeiten. Instrumente wie die Sustainability Balanced Scorecard helfen dem Unternehmensmanagement, die Unternehmensziele weiter auf Nachhaltigkeit auszurichten und Konflikte zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Perspektiven systematisch zu behandeln. Die Studie des ZNU zeigt im Bereich Nachhaltigkeit einen besonderen Fokus der befragten Unternehmen auf ihr ökologisches Handeln. Gerade vor dem Hintergrund der europäischen Klimaziele zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen steht hier der Energieaspekt im Vordergrund. Zertifizierte Energiemanagementsysteme nach DIN EN ISO 50001 verhelfen Unternehmen systematisch zur Verbesserung ihrer Energieeffizienz und damit sowohl zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch zur Reduzierung ihrer Energiekosten.

Auch in NRW stellen sich die Unternehmen der Ernährungswirtschaft den aktuellen Herausforderungen. So wurde der Energieeffizienzpreis der IHK Mittlerer Niederrhein im Jahr 2014 drei Unternehmen der hiesigen Lebensmittelindustrie verliehen. Darüber hinaus werden vor Ort verschiedene Nachhaltigkeitskonzepte umgesetzt, die exemplarisch für das große Engagement der regionalen Unternehmen stehen. Zu diesen Konzepten gehören beispielsweise:

- Wettbewerb Ressource.NRW
- Ecocare
- Nachhaltigkeitszertifikat d. dt. Institute für Nachhaltigkeit und Ökonomie (DINÖ)
- ZNU-Standard "Nachhaltiger Wirtschaften Food"
- Energiemanagement nach DIN EN ISO 50001
- Energieaudit nach DIN EN 16247-1
- Umweltmanagement nach DIN EN ISO 14001
- Ökoprofit
- RSPO-Zertifizierung (Roundtable on Sustainable Palm Oil).

## 4.9 Literaturverzeichnis

- 1) Deutsche Energie-Agentur: Initiative EnergieEffizienz – Herausragende Beispiele für effiziente Energienutzung, URL: [http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/onlinehilfen/datenbank-referenzprojekte.html?tx\\_sbproref\\_pi1%5BshowUid%5D=221&tx\\_sbproref\\_pi1%5Bview%5D=pdf](http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/onlinehilfen/datenbank-referenzprojekte.html?tx_sbproref_pi1%5BshowUid%5D=221&tx_sbproref_pi1%5Bview%5D=pdf) (25.11.2014).
- 2) Effizienz-Agentur NRW: EFA PIUS-Check Lebensmittelindustrie, Duisburg.
- 3) EnergieAgentur.NRW: Referenzanlagen, URL: <http://www.energieagentur.nrw.de/kommunen/biobaekerei-schomaker-nutzt-abwaerme-der-backoefen-9237.asp> (14.11.2014).
- 4) Engel & Zimmermann AG, ZNU-Zentrum für nachhaltige Unternehmensführung: Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitskommunikation, Gauting/Witten 2013.
- 5) Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V.: Neuartige Prozessführung zum Trocknen von Teigwaren zur Steigerung der Prozesseffizienz und Produktqualität - AiF 284 ZN, Bonn 2010.
- 6) GEA Niro Soavi: Homogenizers & High Pressure Pumps, URL: <http://www.niro-soavi.com/home.html> (16.01.2014).
- 7) Landesvereinigung der Milchwirtschaft NRW e.V., URL: <http://www.milch-nrw.de/milchlandnrw/karte-nrw/> (25.11.2014).
- 8) LfU - Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung - Milchverarbeitender Betrieb, 2000.
- 9) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- 10) Milchindustrie-Verband e.V., URL: <http://www.milchindustrie.de/marktdaten/> (25.11.2014).
- 11) N.N.: Firmeninformationen der Witt Kältemaschinen GmbH, Aachen 2000.
- 12) PAC Global GmbH: Low-energy bottle washing machine/Niedrig-Energie-Flaschenreinigung, URL: <http://www.pacglobal.ch/en/products/bottle-washing/technology.html> (15.01.2014).
- 13) Rachimov, R. C.; Ermakov, V. P.; John, P.; Rachimov, M. R.: Anwendung funktioneller Keramiken für Technologien des Trocknens mit Impuls-Infrarot, Taschkent/Lichtenberg 2014.
- 14) Siemens AG Industry Sector: Optimized Packaging Line - Maschinentypen Molkereilinie, Siemens AG, Erlangen 2010.
- 15) Siemens AG Industrie Sektor, Potenzialanalyse Energieeffizienz- Teil II, Siemens AG, Aachen 2013.
- 16) Strohn, G.: Reduzierung des Energie-, Laugen- und Frischwasserverbrauchs bei der Flaschenreinigung, GETRÄNKEINDUSTRIE, S. 620-625, 1998.

## 5 Instrumente zur Unterstützung der rationellen Energienutzung

In den vorigen Kapiteln wurden zahlreiche Maßnahmen zur Energieeinsparung beschrieben. Es wurde aufgezeigt, dass gute Kenntnisse über die Hauptenergieverbraucher sowie ausreichende Transparenz hinsichtlich der betrieblichen Abläufe im eigenen Unternehmen wichtige Voraussetzungen für fundierte Entscheidungen im Bereich der Energieversorgung und Energienutzung sind. Der rationelle Umgang mit Energie – und damit die erfolgreiche Kostensenkung in diesem Bereich – erfordern in der Regel im ersten Schritt Verhaltensanpassungen, organisatorische Optimierung und kleinere investive Maßnahmen. Erst mittelfristig bis langfristig sind gegebenenfalls umfangreichere Investitionen in neue Technologien und Anlagen und/oder aufwendige Umstrukturierungen notwendig.

Für die Verantwortlichen in den Unternehmen stellt sich die Frage, welche Maßnahmen im eigenen Betrieb umgesetzt werden können und wie auf Dauer ein hohes Niveau bei der Energieeffizienz gehalten werden kann. Dazu müssen zunächst die Energiedaten erfasst und analysiert werden (siehe Abschnitt 5.1). Diese Schritte sind wichtige Bestandteile eines Energiemanagementsystems, das in Abschnitt 5.2 vorgestellt wird.



Abbildung 5-1: Die drei Schlüssel zum Erfolg: Bewusstsein erhöhen, Transparenz verbessern und Effizienz steigern (Quelle: Siemens AG)

### 5.1 Erfassung und Analyse der Energiedaten

Die Erfassung energierelevanter Daten liefert die Grundlage für Transparenzschaffung, die daraus folgende Festlegung der konkreten Energieziele des Unternehmens sowie für die Identifizierung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen zum Erreichen der festgelegten Ziele. Kurzgesagt sie schafft die Basis für das zielgerichtete Arbeiten im Energiemanagement(-system). Zunächst wird in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die wichtigsten Schritte einer strukturierten

Analyse der energietechnischen und energiewirtschaftlichen Bereiche in Industrie und Gewerbe gegeben. Ziel ist es, dass die für die Energietechnik verantwortlichen Personen eigenständig und systematisch die Energieeffizienz der Prozesse, Geräte und Anlagen ihres Betriebs bewerten können.

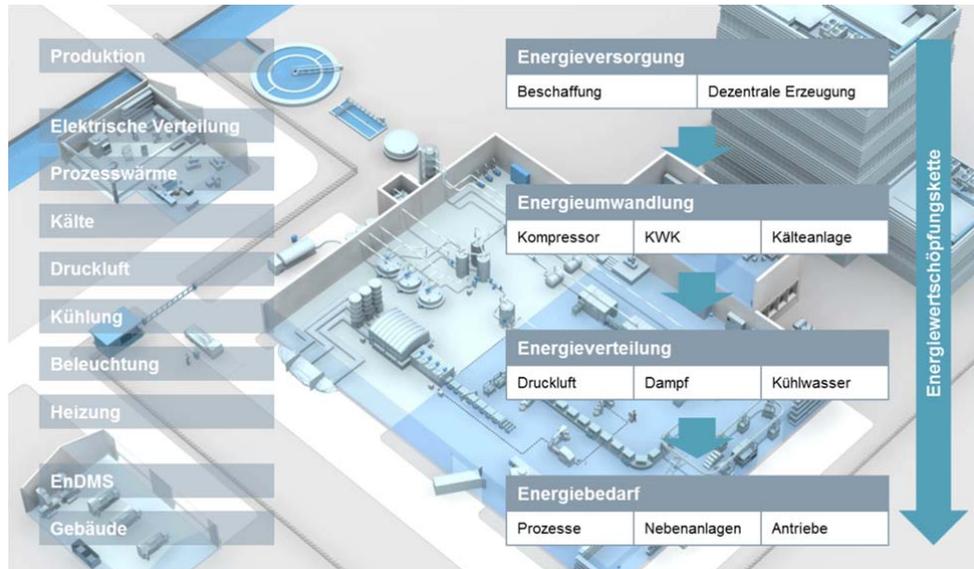


Abbildung 5-2: Eine ganzheitliche energetische Betrachtung des Unternehmens sollte entlang der Energiewertschöpfungskette erfolgen. (Quelle: Siemens AG)

### Ablauf

Um den Aufwand einer betrieblichen Energieanalyse überschaubar zu halten, können nicht alle Unternehmensbereiche, Verbraucher oder Geräte mit derselben Detaillierungstiefe untersucht werden. Für eine begründete Priorisierung wird die betriebliche Energieanalyse in der Regel in drei Schritte unterteilt: 1) Auswertung vorhandener Energiedaten (Grobanalyse), 2) Aufnahme zusätzlicher relevanter Energiedaten (Feinanalyse), 3) Auswertung und Plausibilisierung der aufgenommenen Daten, Identifizierung von Energieeinsparpotenzialen und Ableitung von entsprechenden Energieeffizienzmaßnahmen (Datenauswertung).

#### 1. Schritt:

- Bestandsaufnahme der vorhandenen Daten (zum Beispiel anhand von Rechnungen der Energieversorgungsunternehmen für Strom, Gas und Fernwärme oder der Brennstofflieferanten, Aufstellung und Priorisierung der betrieblichen Energieverbraucher anhand der Anlagendaten und Betriebsstunden etc.)
- Regelmäßiges Ablesen der Energiebezüge an bestehenden Messpunkten und Verbrauchszählern (z.B. monatlich, wöchentlich)

2. Schritt:

- Messung des Energieverbrauchs und Aufnahme energierelevanter Daten, die den Messwerten zugeordnet werden (Gebäudebelegung, Produktionsmengen und -arten, Umgebungstemperatur, Luftfeuchte etc.). Die Messungen können mithilfe mobiler Geräte bzw. durch Nachrüstung zusätzlicher fester Zähler erfolgen.

3. Schritt:

- Auswertung/Bewertung dieser Daten zwecks Kennzahlenbildung und zur Entwicklung von Maßnahmen.



Hinweis: Im Anhang unter Checklisten finden Sie einen „Fragebogen erste Betriebsdatenerfassung“.

### Strukturierte Datenerfassung

Damit nur wirklich benötigte Daten erhoben, aber auch keine relevanten Daten übersehen werden, wird bei der Analysevorbereitung zunächst bestimmt, zu welchen Unternehmensbereichen, Technologien, Systemen, Anlagen oder Maschinen Ergebnisse erzielt werden sollen (beispielsweise die Effizienz eines Druckluftkompressors, Kessels, Produktionsanlage etc.). Davon ausgehend werden die durchzuführenden Vergleiche und Auswertungen sowie die aufzustellenden Kennzahlen und Verhältniswerte festgelegt. Anschließend werden die zu erhebenden Daten definiert. Dies ist in Abbildung 5-3 durch den Pfeil „Definition der erforderlichen Daten“ dargestellt.

Die Datenaufnahme und -auswertung selbst läuft umgekehrt ab – ausgehend von den zuvor definierten und erhobenen „Rohdaten“ werden Kennzahlen und Verhältniswerte ermittelt. Über Vergleiche und Auswertungen werden anschließend unternehmensspezifische Ergebnisse und Aussagen erarbeitet. Ist zum Beispiel der ermittelte Stromverbrauch pro Produktionsmenge für ein Unternehmen höher als im Jahr davor, werden die Ursachen dafür näher untersucht.

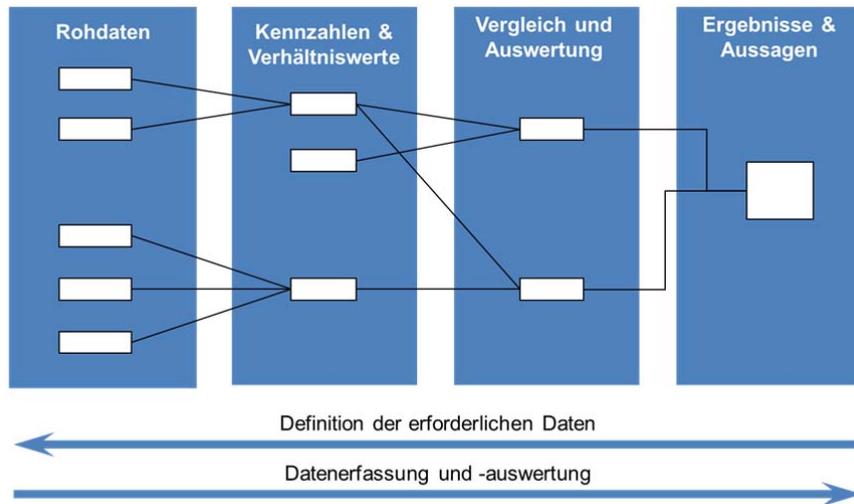


Abbildung 5-3: Vorgehensweise bei der Festlegung zu erhebender Daten (von rechts nach links) und bei der Analyse (von links nach rechts) (Quelle: Siemens AG)

### Typische Messgrößen für die Energieanalyse

- Aufzeichnung des elektrischen Lastgangs des Gesamtbetriebs oder einzelner Verbraucher beziehungsweise Verbrauchsgruppen
- Messung des Temperaturverlaufs an Anlagen zur Heizenergie- und Prozesswärmeerzeugung
- Messung von Wärmeverlusten: Wärmebildaufnahmen von Anlagen und Gebäuden können erste Hinweise zur Beurteilung des energetischen Zustands geben.

Stromeinsatz	Brennstoffeinsatz
(Strombezug)	(Brennstoffbezug)
Stromumwandlung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Druckluft</li> <li>▪ Kälte</li> <li>▪ Vakuum</li> <li>▪ Wärme</li> </ul>	Brennstoffumwandlung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dampf</li> <li>▪ Heißwasser</li> <li>▪ Thermoöl</li> <li>▪ Strom</li> </ul>
Stromeinsatz in Prozesse <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schmelzen</li> <li>▪ Elektrolyse</li> <li>▪ Umformen</li> <li>▪ Zerkleinern</li> <li>▪ Transportieren</li> </ul>	Wärmeeinsatz in der Produktion <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erhitzen, Heizen</li> <li>▪ Schmelzen</li> <li>▪ Kochen</li> <li>▪ Braten</li> <li>▪ Trocknen</li> </ul>

Abbildung 5-4: Ziel der Energieanalyse ist es, alle relevanten, Energiekosten verursachenden Bereiche zu identifizieren. (Quelle: Siemens AG)

### 5.1.1 1. Schritt: Grobanalyse

Die Grobanalyse umfasst eine erste Bestandsaufnahme des Betriebs unter energetischen Gesichtspunkten. Zunächst werden die Untersuchungspunkte ausgewählt. Dies sind in der Regel Bereiche, Anlagen und Geräte, bei denen man den höchsten Energieverbrauch vermutet oder welche die größten und schnellsten Einsparungen versprechen. Daneben werden auch betriebswirtschaftliche Größen wie Anzahl der Mitarbeiter und die Energiekosten etc. erfasst.

Notwendige Informationen:

- Die Ermittlung des jährlichen Verbrauchs und der Kosten erfolgt anhand der Erdgas-, Heizöl-, Fernwärme- und/oder Stromabrechnungen.
- Energiebedarfsprofil (Energieverbrauch von Erdgas, Heizöl, Strom etc.) und dessen Entwicklung über die letzten zwei bis drei Jahre
- Bezugsverträge und Tarife aller Energiearten (wie Strom, Erdgas, Fernwärme, Heizöl). Es ist sinnvoll, diese Daten für Wasser und Abwasser gleichfalls zu erheben.
- Kenntnis über die Situation der (Energie -)Datenerfassung im Betrieb (Standorte der Zähler für Strom, Erdgas, ggf. Wärme, Wasser)
- Anschluss- und Leistungsdaten (Nennleistungen, Höchstleistungen, Blindleistungen etc.)
- Transparenz über die „Energiepfade“ durch den Betrieb, d.h. welche Anlagen werden mit Strom, Wärme, Erdgas etc. versorgt und wie viel verbrauchen sie
- Ermittlung der Hauptverbraucher, z.B. durch ABC-Analyse (Heizungs- und Lüftungsanlagen, Beleuchtung, Produktionsanlagen, Druckluftherzeugung u.a.)
- Wartungsdaten (Intervalle, letzte Wartung, Unternehmen etc.)
- Detaillierte Pläne des Gebäudes und der Maschinenaufstellung sowie der Ver- und Entsorgungsleitungen
- Betrachtung der Gebäudesubstanz: Art und Dicke der Wärmedämmung, Zustand von Türen, Toren und Fenstern.

Diese Informationen liegen in der Regel im Betrieb vor – leider jedoch in den wenigsten Fällen strukturiert erfasst und dokumentiert. Die Aufgabe besteht also auch darin, vorhandene Informationen systematisch aufzubereiten.

Die Bezugsbedingungen für Strom und Erdgas sind den Lieferverträgen zu entnehmen, ebenso die Kosten für eine Kilowattstunde oder Megawattstunde Energie. Die Kosten für Transformatornutzung, Leistungsspitzen, Anschlussleistungen etc. sind ebenfalls im Vertrag festgelegt. Wichtig ist ferner, dass die Regelungen zu Vertragslaufzeit und Fristen für Vertragskündigung zusammengestellt werden.

Die Durchführung dieser Schritte – Datenerfassung und deren Auswertung – liefert bereits einen guten Überblick über die Energieversorgungs- und Energieverbrauchs-situation. Folgende Ergebnisse liegen am Ende in einer strukturierten Form vor:

- Verbrauchs- und Kostendaten
- Vertragliche Vereinbarungen für die Kostenkalkulation
- Energiesparmöglichkeiten, Aufdeckung erster Verbesserungspotenziale und Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung
- Priorität der erforderlichen Maßnahmen
- Festlegung der näher zu untersuchenden Energieverbraucher (wie Heizkessel, Beleuchtung, Lüftungsanlage) oder Bereiche (wie Gebäude, Produktionslinien) für die Feinanalyse.

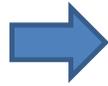
### 5.1.2 2. Schritt: Feinanalyse

Hat die Grobanalyse Einsparpotenziale aufgezeigt, so werden im nächsten Schritt die relevanten Energieverbraucher oder Prozesse detaillierter untersucht. Diese Untersuchungen können von Betrieb zu Betrieb variieren, da die Hauptverbraucher unterschiedlich sein können. So spielt beispielsweise Wärmeerzeugung in einer Rösterei eine größere Rolle als in einem Tiefkühlager, wo die Kälteanlage im Mittelpunkt steht. Gegebenenfalls können die spezifischen Kosten pro Produkt mit Branchen- oder Literaturwerten verglichen werden. Neben den technischen Bewertungen sind auch ökonomische Aspekte zu beachten, um für den Betrieb das betriebliche Optimum auszuarbeiten. Im Rahmen der Feinanalyse können Einzelmessungen (Lastgang, Lüftungsanlage, Heizkessel, Heizungssystem, Druckluftnetz u.a.) erforderlich sein.

Häufig gibt es vor allem in kleineren Betrieben nur jeweils einen Zähler für den Erdgas- und Stromverbrauch. Empfehlenswert ist der Einbau weiterer Zähler für Strom in den Bereichen Druckluft, Kälte sowie für die wichtigsten Lüftungsanlagen. Je nach Aufbau der Produktion empfiehlt sich auch die Installation von Zählern für einzelne Produktionsbereiche. Für die Heiz- und Prozesswärmeerzeugung und direkt beheizte Produktionsanlagen sollten separate Erdgaszähler bzw. Wärmezähler für die eingesetzten Wärmeträgermedien (Wasser, Dampf etc.) eingebaut werden.

Die Ergebnisse der Feinanalyse sind zusammengefasst:

- Ergänzung der Datenlage aus der Grobanalyse über die Energieversorgungs- und Energieverbrauchsstrukturen einzelner Geräte bzw. Anlagen
- Kenntnis der Energieverbräuche der wichtigsten energietechnischen Systeme (Heizungsanlage, Lüftungsanlage, Kälteanlage)
- Aufdeckung, Quantifizierung und Bewertung von Verbesserungsmöglichkeiten
- Ausarbeitung von konkreten Verbesserungsmaßnahmen im Bereich Energie.



Hinweis: Im Anhang unter Checklisten finden Sie die Erfassungsbögen „Energieträger“, „Energieabnehmer thermisch“ und „Energieabnehmer elektrisch“.

### 5.1.3 3. Schritt: Auswertung

Bei der Auswertung der ermittelten Daten können zum Beispiel die Hauptenergieverbraucher bestimmt oder Energieverluste erkannt werden. So können die vorhandenen Energieeinspar- und Optimierungspotenziale von Anlagen, Technologien, Systemen oder Maschinen festgestellt und Ansatzpunkte für Energieeffizienzmaßnahmen aufgezeigt werden.

Verfahren	Beschreibung
Zeitreihen	Vergleich mit Werten aus vorherigen Tagen / Wochen / Monaten / Jahren
Lastgänge	Vergleich des zeitlichen Verlauf des Energieverbrauchs – Gesamtbetrieb, einzelne Bereiche, einzelne Anlagen
Dauerlinie	Aggregation von zeitlichen Profilen – Wochen, Monate, Jahre
ABC-Analyse	Vergleich bzw. Sortierung einzelner Anlagen bzgl. jeweiligem Verbrauch oder installierter Leistung
Kuchendiagramme	Verteilung von Medien oder Kosten im Betrieb oder von einzelnen Anlagen
Energieflussbilder	Verteilung von Medien oder Kosten im Betrieb oder von einzelnen Anlagen
Energiebilanzen	Berechnung der Verlustströme und der theoretischen Einsparungen
Kennzahlen	Vergleich von Kosten oder Verbrauch mit anderen Betrieben, Anlagen und/oder Schichten
Detailanalyse	Quantitative Bewertung der Einsparmöglichkeiten

Tabelle 5-1: Mögliche Verfahren der Auswertung im Überblick (Quelle: Siemens AG)

Häufig ist die Bildung von Energiekennzahlen sinnvoll. Diese können dazu dienen, den Einfluss der Produktionsmenge auf den Energieverbrauch zu relativieren,

einzelne Standorte bzw. Betriebsteile untereinander oder das eigene Unternehmen mit anderen der gleichen Branche zu vergleichen. Diese Kennzahlen können bezogen werden z.B. auf Produktionszahlen, Umsatz, Heizgradtage, Flächen oder Personen-zahlen. Ein Beispiel zur Anwendung von Kennzahlen bei der Bewertung eines Trockners in Verbindung mit dem in Abbildung 5-3 dargestellten Schema ist in Abbildung 5-5 zu sehen.

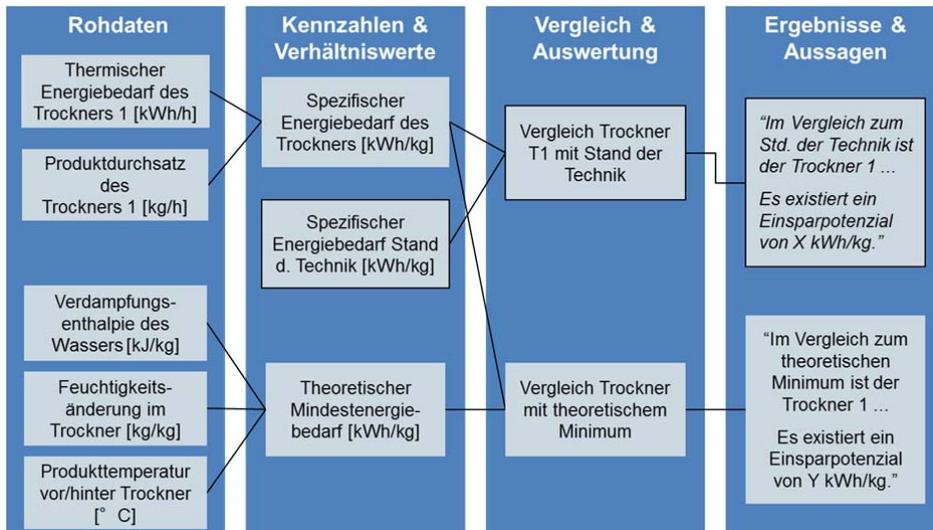


Abbildung 5-5: Beispielhafte Bewertung eines Trockners mittels spezifischer Kennzahlen (Quelle: Siemens AG)

Mittels Kennzahlen lässt sich ferner die Effektivität der ergriffenen Effizienzmaßnahmen nachverfolgen, wie das Beispiel in Abbildung 5-6 zeigt. In den dargestellten Zeitreihen des spezifischen Strombedarfs ist deutlich die Senkung der Energieintensität und die zunehmende Harmonisierung über mehrere Jahre hinweg zu erkennen.

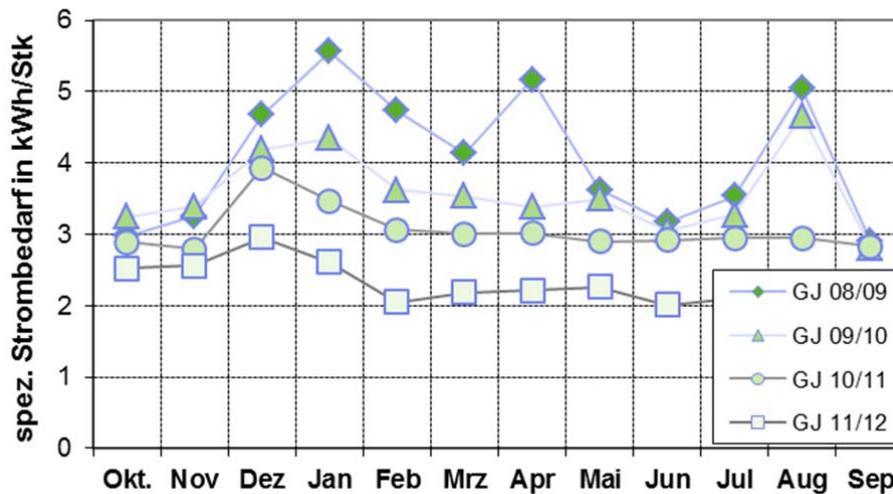


Abbildung 5-6: Beispiel einer Auswertung mittels Kennzahlen-Zeitreihen mit deutlich erkennbarem Erfolg der ergriffenen Maßnahmen (Quelle: Siemens AG)

### Energiedatenmanagementsysteme

Die Auswertung der erfassten Daten kann in Tabellen und/oder Grafiken erfolgen. Häufig anzutreffen ist, dass Daten partiell erfasst werden, diese aber dezentral verwaltet werden, oft nicht vollständig sind und in großen Intervallen manuell bestimmt werden. Die Auswertung erfolgt ferner bei Bedarf und nicht kontinuierlich. Um kontinuierlich Verbrauchsdaten auswerten zu können, ist als nächster Schritt die Einführung eines Energiedatenmanagementsystems zu empfehlen.

Energiedatenmanagementsysteme bieten den Vorteil einer strukturierten und automatisierten Erhebung sowie Auswertung energierelevanter Daten. Die Grundlage jedes erfolgreichen EDMS ist eine geeignete Zählerstruktur, die notwendige Daten für das Monitoring bereitstellt.

Die Zählerstruktur unterscheidet sich je nach Unternehmensgröße, nach der Art der Energieverteilung (Maschenstrukturen, Abzweigungen etc.) und der Anzahl der Energieverbraucher. Der Aufbau einer Zählerstruktur sollte jedoch stets so erfolgen, dass ausgehend von der versorgereitigen Energieübergabestation (z.B. Trafo, Erdgasübergabestation etc.) die verteilten Energieströme einzelnen Unternehmensbereichen, Anlagen und Verbrauchern mit zunehmender Detaillierung zugeordnet werden können und die Verluste in der Energieverteilung ermittelt werden können (Top-Down-Ansatz). Hierzu ist zunächst die Erstellung eines Messkonzeptes erforderlich, in dem festgelegt wird, auf welche Weise die jeweiligen Energiedaten erhoben werden, an welchen Stellen die Installation von Energiezählern erforderlich ist und für welche Anlagen die Energiedaten ggf. auf Basis von Berechnungen und temporären Messungen hinreichend genau ermittelt werden können. Eine Hilfestellung geben hierbei die Ergebnisse der Grob- und Feinanalyse.

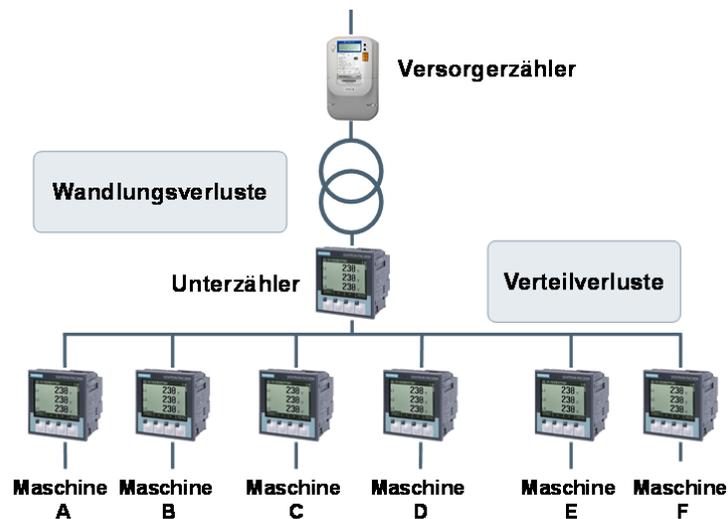


Abbildung 5-7: Optimales Energieerfassungssystem (neben klarer Verbraucherzuordnung werden auch Wandlungs- und Verteilverluste bestimmt) (Quelle: Siemens AG)

Neben den physisch z.B. über Zähler erhobenen Energiedaten werden ebenfalls Energierechnungen und Energielieferverträge mit im EDMS erfasst, um neben Energiemengen auch Energiekosten abzubilden.

Die Auswertung der erhobenen Energiedaten erfolgt in einem automatisierten EDMS in einer Software. Die EDMS-Software sollte folgende Minimalanforderungen hinsichtlich Datenerfassung und -darstellung erfüllen:

- Automatische Zählerdifferenzrechnung: Tages-, Wochen-, Monats- und Jahreswerte
- Virtuelle Zähler: mit Hilfe von mathematischen Operationen gewonnene Zählerstände, z.B. die Differenz einzelner Zählerstände von einem Gesamtzähler, um nicht einzeln gemessene Verbrauchswerte in einer Abteilung zu ermitteln
- Zählerüberlauf-, Zählerwechsellerkennung
- Kurvengruppen: Darstellung mehrerer Zählerdaten übereinander für Vergleichszwecke
- Berichtswesen: die Möglichkeit, selbst das Aussehen von Berichten zu bestimmen, die dann automatisch – am besten via E-Mail – verschickt werden können.

An dieser Stelle beginnt der Übergang von der Energieanalyse ins Energiemanagement, wenn mit den Daten kontinuierliche Verbesserungsprozesse initiiert, mit Maßnahmenplänen, Terminen und Verantwortlichkeiten hinterlegt und bezüglich deren Effizienz kontrolliert werden.

In vielen Betrieben werden die vom EDMS bereitgestellten Energiedaten von den Energiemanagementbeauftragten und/oder vom Controlling aufbereitet und bewertet. Mit der zunehmenden Datenmenge steigt der hierfür benötigte Aufwand.

Aus diesem Grund übernehmen immer mehr Dienstleister diese grundlegenden Aufgaben für die Betriebe. Dabei werden die in den Betrieben erfassten Energiedaten verschlüsselt an die Dienstleister übermittelt und dort in der EDMS-Software entsprechend den Vorgaben der Unternehmen aufbereitet und überwacht. Die aufbereiteten Daten können i.d.R. von den Betrieben online auf gesicherten Plattformen eingesehen und in geeigneter Form (z.B. Energieberichte, Tabellen, Graphen, Trendkurven etc.) ausgegeben werden. Dieser Service entbindet zwar die Unternehmen nicht von der Aufgabe der kontinuierlichen Energieeffizienzverbesserung, entlastet jedoch die zuständigen Mitarbeiter bei der Erfüllung ihrer Aufgaben und bietet somit eine interessante Alternative zum Betrieb eigener EDMS-Software.

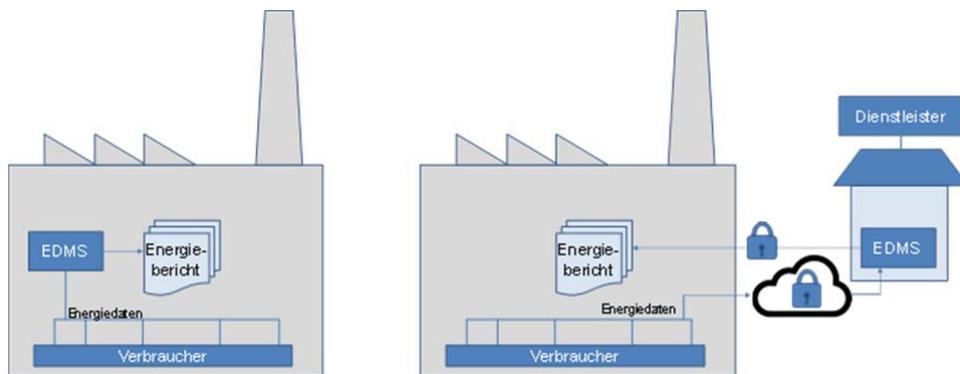


Abbildung 5-8: Alternative EDMS-Typen (links: interne Datenverwaltung, rechts: Datenverwaltung durch Dienstleister) (Quelle: Siemens AG)

### Sankey-Diagramm

Eine weitere Möglichkeit zur Datenauswertung besteht darin, Energieströme im Unternehmen zu visualisieren. Dafür eignen sich zum Beispiel Sankey-Diagramme. Ein Sankey-Diagramm ist eine graphische Darstellungsform von Mengenflüssen. Anders als beim Flussdiagramm werden die Mengen durch mengenproportional dicke Pfeile dargestellt. Sankey-Diagramme sind wichtige Hilfsmittel zur Visualisierung von Energie- und Materialflüssen sowie von Ineffizienzen und Einsparpotenzialen im Umgang mit Ressourcen. Abbildung 5-9 zeigt am Beispiel der Stromverteilung ein solches Diagramm. In diesem Beispiel bietet es sich an, die Anlage mit dem größten Stromverbrauch (Anlage 1) näher zu untersuchen bzw. zu optimieren.

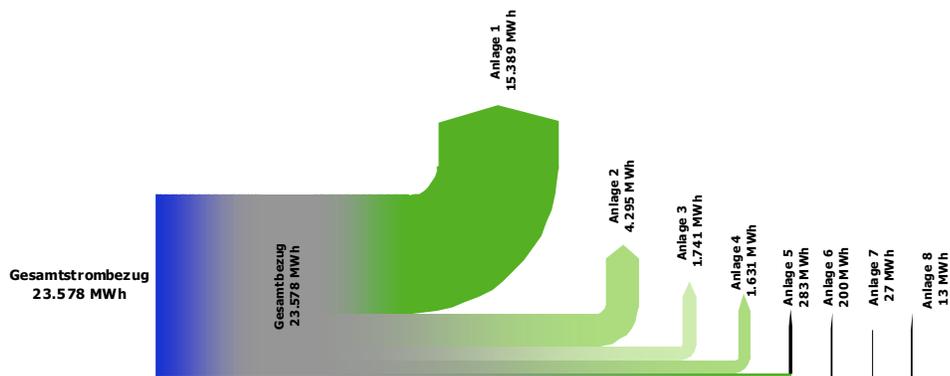


Abbildung 5-9: Sankey-Diagramm zur Stromverteilung (Quelle: Siemens AG)

### Lastganganalyse

Die grafische Auflistung der Messergebnisse der Zähler führt zu einem Lastgang, der je nach Detaillierungsgrad bis in den Minutenbereich hinein aufgeschlüsselt sein kann.

Die Optimierung des Lastprofils bewirkt zwar keine Energieeinsparung, führt aber je nach Stromvertrag unmittelbar zur Kostensenkung. Bei einem hohen Stromverbrauch fallen neben den Arbeitskosten – für die Menge an bezogenem Netzstrom – auch die Stromleistungskosten – für die maximal in einem Monat oder Jahr bezogene Netzleistung – an. Durch die Einführung eines Spitzenlastmanagements lassen sich die Stromlastspitzen deutlich reduzieren. Bei einem Spitzenlastmanagementsystem wird der Energiebezug von den Spitzenlastzeiten zu den Niedriglastzeiten verschoben oder entsprechend vermindert.

In der Regel liegt während der Arbeitszeit eine Grundlast im Stromleistungsbezug durch verschiedene Anlagen und Geräte wie z.B. Lüfter, Beleuchtung, Pumpen etc. vor. Durch das Zu- und wieder Abschalten von Geräten im Laufe des Tages entstehen jedoch Spitzen im Leistungsbezug. In der Abbildung 5-10 sind die Leistungsspitzen zwischen 8:00 Uhr und etwa 14:00 Uhr erkennbar. Diese Spitzen werden zur Berechnung der Leistungskosten herangezogen, die ein Unternehmen für den Strombezug bezahlen muss. Durch ein Stromlastmanagement werden Hauptverbraucher zeitlich versetzt betrieben, sodass die Stromleistung sinkt. Lastmanagementsysteme verringern also nicht zwangsläufig den Gesamtenergiebezug, aber die Addition einzelner Verbrauchspitzen wird vermieden. Somit können über die Senkung der Leistungsspitzen die Leistungskosten reduziert werden.

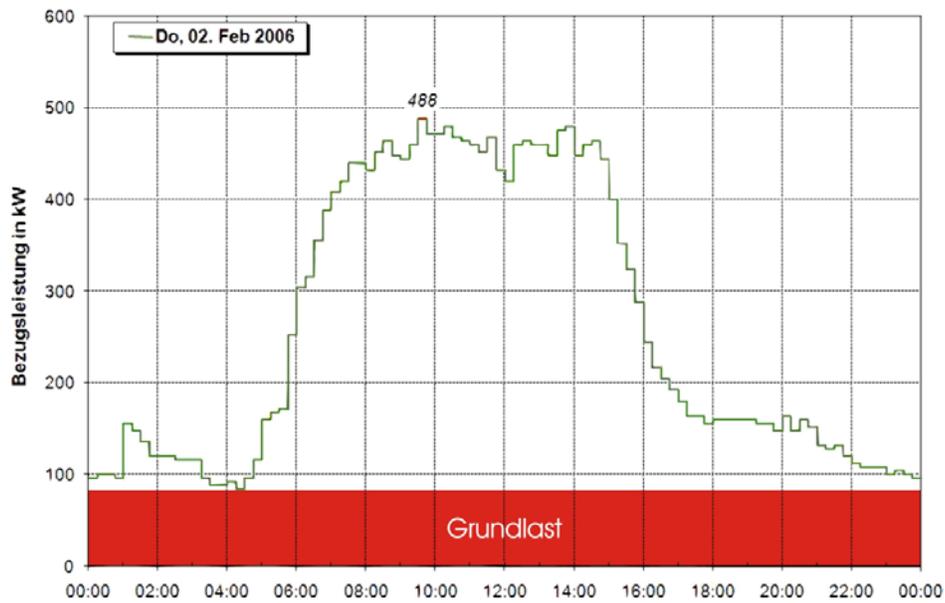


Abbildung 5-10: Beispielhafter Tageslastgang in einem Unternehmen (Quelle: Siemens AG)

Eine Möglichkeit, den Strombedarf hinsichtlich der Lastschwankungen zu vergleichmäßigen, besteht in dem Umorganisieren der Arbeiten. Da viele Maschinen gerade im Anlauf die höchste Leistung benötigen, kann schon durch das zeitversetzte Anfahren großer Maschinen eine Reduzierung der Lastspitzen ermöglicht werden.

Eine technisch aufwendigere Methode zur Reduzierung der Leistungsspitzen ist der Einbau eines Lastmanagementsystems. Dafür wird ein Datenlogger installiert, der ständig die abgerufene Leistung ermittelt und auf einen viertelstündlichen Wert hochrechnet. Überschreitet der prognostizierte Wert einen vorgegebenen Wert, können Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs ergriffen werden. Dies kann recht einfach durch ein akustisches oder ein Lichtsignal geschehen, welches dem Personal signalisiert, einen vorher festgelegten Verbraucher abzuschalten. Intelligenter Systeme steuern mehrere Verbraucher automatisch und können je nach Art des Lastprofils eine sehr lohnende Investition sein. Lastmanagementsysteme amortisieren sich, je nachdem wie viele Geräte und welche angeschlossen werden, nach etwa 1-2 Jahren. Bei Einführung von Spitzenlastmanagementsystemen sollte mit den Energieversorgern eine monatliche Abrechnung der Spitzenleistung vereinbart werden. Dies ist wichtig, falls in der Einführungsphase des Lastmanagementsystems noch Spitzen auftreten oder das System noch nicht einwandfrei arbeitet. Nur eine einzige Leistungsspitze könnte ansonsten den Leistungspreis eines ganzen Jahres unnötig erhöhen.

- Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung von Lastspitzen stellt der Einsatz von Geräten mit geringerer elektrischer Leistung oder der Austausch von elektrischen Geräten durch gasbetriebene Geräte dar.

- Typische Verbesserungsmöglichkeiten, die zu einer Reduzierung der Stromlastkosten führen, sind demnach:
  - Umorganisieren der Arbeiten: große Verbraucher nicht gleichzeitig verwenden.
  - Einbau eines technischen Lastmanagements: akustische oder optische Signale, automatisches Wegschalten von Geräten/Anlagen.
  - Verwendung von Geräten/Anlagen mit geringerer elektrischer Leistung.
  - Austausch von elektrischen Geräten/Anlagen durch gasbetriebene Geräte/Anlagen.
  - Einrichtung von Pufferspeichern (Druckluft- und Kältenutzung).

### **Planung von Energieeffizienzmaßnahmen**

Die Ergebnisse der Energieanalyse fließen in die Planung von Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Energiekosten ein. Dies können sowohl technische Maßnahmen sein, für die Investitionen notwendig sind, als auch organisatorische Maßnahmen, die eine effiziente Energienutzung in den alltäglichen Abläufen verankern. Dabei kann es um feste Aufgaben für einzelne Mitarbeiter (beispielsweise regelmäßige Prüfung des Druckluftnetzes auf Undichtigkeiten durch Mitarbeiter XY), um generelle Verhaltensänderungen (beispielsweise Licht in nicht genutzten Räumen und nicht genutzte Maschinen ausschalten), notwendige Fortbildungen und vieles andere gehen. Sinnvoll ist die Erstellung von Plänen zur Umsetzung und Priorisierung der Energieeinsparmaßnahmen sowie die detaillierte Planung und Vorbereitung. Zu berücksichtigen ist, dass einzelne Optimierungsschritte sich gegenseitig beeinflussen können und somit aufeinander abzustimmen sind. Bei der energetischen Planung und Optimierung jedes einzelnen Prozesses oder jeder einzelnen Anlage – wie beispielsweise einer Druckluftanlage – genügt es ebenfalls nicht, die einzelnen Komponenten einer Anlage getrennt zu betrachten. Vielmehr ist sie als Gesamtsystem zu verstehen, in dem alle Komponenten ein funktionierendes Ganzes ergeben. Die Dimensionierung der jeweiligen Systemkomponenten wird am jeweiligen Bedarf ausgerichtet (zum Beispiel am benötigten Volumenstrom). Schrittweise werden dann die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt. So wird sukzessive die Energienutzung des gesamten Unternehmens optimiert.



Hinweis: Im Anhang unter Checklisten finden Sie einen „Maßnahmenkatalog“.

## 5.2 Aufbau eines Energiemanagementsystems

Anhand von Grob- und Feinanalysen können Energieeinsparpotenziale identifiziert und durch konkrete Maßnahmen erschlossen werden. Um die erzielten Energiekosteneinsparungen nachhaltig zu sichern und neue Einsparpotenziale kontinuierlich und systematisch aufzudecken, ist ein strukturierter, geleiteter Umgang mit der energiebezogenen Leistung des Unternehmens erforderlich. Aus diesem Grund wird das Management des Energieeinsatzes für Unternehmen immer wichtiger. Betriebliches Energiemanagement hat sich dabei in vielen Unternehmen als ein wirksames Instrument zur Senkung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bewährt.

### 5.2.1 Einführung

Mit der DIN EN ISO 50001 (2011) werden die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem beschrieben, das ein Unternehmen in die Lage versetzt, seine energetische Leistung (Energieeffizienz, Energieeinsatz, Energiebedarf) durch einen systematischen Ansatz kontinuierlich zu verbessern und dabei gesetzliche Anforderungen an die Organisation zu berücksichtigen sowie Kosteneinsparungen (z.B. Reduzierung der EEG-Umlage) zu realisieren. Bestehen bereits Managementsysteme, ist eine Integration denkbar einfach, da die einzelnen Elemente des Systems bekannten Managementstrukturelementen angepasst werden.

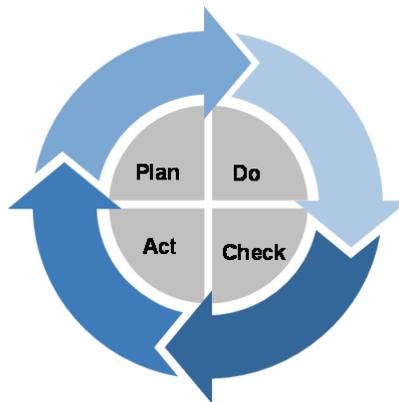


Abbildung 5-11: PDCA-Zyklus (Quelle: Siemens AG)

Alle Managementsysteme sind systematisch im sogenannten PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) aufgebaut. Bezogen auf das Energiemanagement bedeutet das, dass ein Unternehmen zu einem bestimmten Zeitpunkt seine Energieflüsse aufzeigt, die relevanten Energieaspekte herausarbeitet und daraus Maßnahmen ableitet sowie deren Umsetzung systematisch begleitet und kontrolliert. Es handelt sich um ein dynamisches Modell – die Ergebnisse eines Durchlaufs bilden die Ausgangsbasis für den nächsten Durchlauf. Diese Struktur ermöglicht es, den aktuellen Energieeinsatz immer wieder neu zu bewerten, zu optimieren und schrittweise die Kosten zu senken:

Planen („Plan“): Aufstellung von Energieeinsparzielen zur Umsetzung der Energiestrategie und der wesentlichen Energieaspekte, Festlegung von Maßnahmen im Rahmen eines Programms mit Festlegung der Verantwortlichkeiten und Bereitstellung der erforderlichen Mittel.

Umsetzen („Do“): Schaffung/Erhaltung von Managementstrukturen zur Kontrolle und Aufrechterhaltung eines kontinuierlichen Prozesses, Durchführung von Verbesserungen, Schulung von Personal, Kommunikation und Dokumentation.

Kontrollieren („Check“): Überprüfung des Zielerreichungsgrades und der Effektivität des Energiemanagementsystems, Sammlung neuer Ideen via Energieaudit, ggf. Einbeziehung eines externen Experten.

Handeln („Act“): Zusammenfassung der aktuellen Energiedaten, der Auditergebnisse und neuerer Erkenntnisse (neue Methoden und Anlagen), Bewertung des Standes bzw. Fortschritts anhand aktueller Energiemarktdaten, Anpassung der Energiestrategie (der Politik /Leitsätze), Ableitung/Festlegung neuer Ziele.

Wie der PDCA-Zyklus für ein typisches EnMS aussieht, zeigt Abbildung 5-12.



Abbildung 5-12: Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 (Quelle: Siemens AG)

## 5.2.2 Umsetzung in drei Stufen

Ein funktionierendes Energiemanagementsystem folgt der Systematik des PDCA-Zyklus, idealerweise unter Einbeziehung aller relevanten Handlungsebenen. Der Einstieg in ein solches System kann in der Praxis am besten über drei Stufen erfolgen:

1. Analyse des Ist-Zustandes
2. Aufbau wichtiger Managementstrukturen
3. Einstieg in einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Für eine sorgfältig geplante und gut durchgeführte Einführung des Energiemanagements ist die Ernennung eines Projektleiters unerlässlich. Diese Aufgabe sollte ein Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin übernehmen, der oder die über das notwendige Fachwissen verfügt und ausreichend Befugnis zur Erfassung der Daten besitzt. Er sollte mit den erforderlichen Mitteln (z.B. Zeit, EDV, Budget) ausgestattet und von einer Arbeitsgruppe unterstützt werden. Idealerweise ist diese Person auch der zukünftige Energiemanagementbeauftragte.

Um die Verfolgung der nächsten Schritte sicherzustellen, ist zu empfehlen, mindestens einen einfachen Projektplan zu erstellen. Dieser soll helfen, die nötigen Aktivitäten und Ressourcen zu planen und zu koordinieren. Hieraus lässt sich bereits ein Zeitrahmen ableiten, der zur Einführung eines EnMS benötigt wird oder zur Verfügung gestellt werden sollte. Eine Projektplanung führt erfahrungsgemäß zu einer stärkeren Konzentration auf die zu erreichenden Ziele und gewährleistet durch Setzung von Terminen eine bessere Planbarkeit für alle Beteiligten.

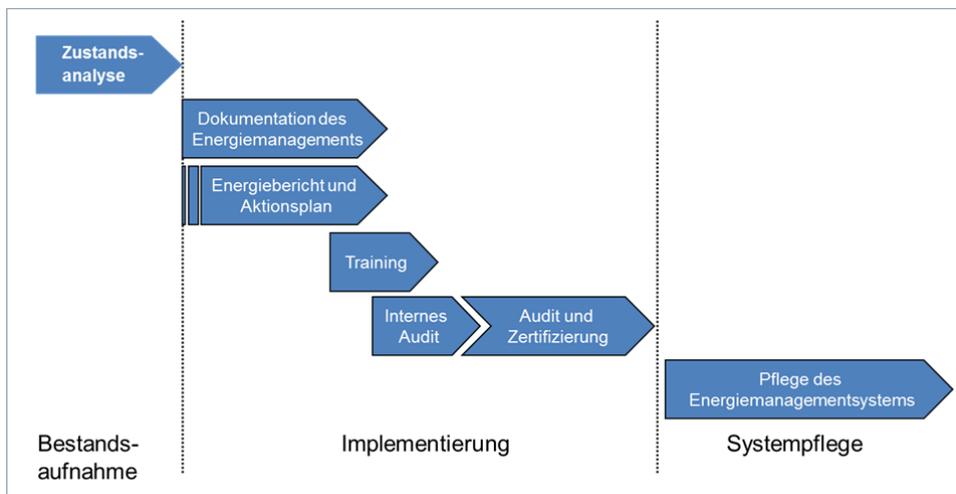


Abbildung 5-13: Übersicht der Arbeitspakete bei Zertifizierungsverfahren nach DIN EN ISO 50001 (Quelle: Siemens AG)

### Stufe 1: Analyse des Ist-Zustandes

Zunächst sollte eine Festlegung des Geltungsbereichs und der Bilanzgrenzen des Energiemanagementsystems erfolgen. Meistens werden Produktion, Lager und Verwaltung eines Unternehmens betrachtet. Es können aber auch z.B. der Verkehrs-

bereich oder die externe Produktion von Bauteilen mit einbezogen werden. Die Bilanzgrenzen ermöglichen eine genaue Zuordnung des Energieeinsatzes zur Summe der Energieverbräuche<sup>5</sup>.

Für die Ist-Analyse müssen alle betrieblichen Energiedaten berücksichtigt werden (zur detaillierten Vorgehensweise „betriebliche Energieanalyse“ lesen Sie bitte den Abschnitt 5.1). Für die Bestandsaufnahme werden sowohl die Leistungs- und Verbrauchsdaten aller Produktionsanlagen als auch die Daten aller Heizungs-, Kälte-, Klima- und Druckluftanlagen benötigt. Natürlich fließen auch Daten wie Strom- und Wasserverbrauch mit ein. Erst nachdem der Energiemanagementbeauftragte sich ein genaues Bild über den innerbetrieblichen Energiefluss und den Gebäudezustand gemacht hat, kann er die Effizienz der bisherigen Energieverwendung angemessen bewerten. Es empfiehlt sich, alle Zahlenwerte und Faktoren der betrieblichen Energiebilanz zur besseren Anschaulichkeit graphisch darzustellen.

Neben den Energiedaten müssen auch alle bestehenden organisatorischen Regelungen und Verfahren erfasst werden, um sie ggf. für das spätere Energiemanagement nutzbar zu machen. Hierbei handelt es sich meistens um eingeführte und wirksame Verfahren, die seit Jahren gelebt werden und deshalb in Neuregelungen aufgenommen werden sollten. Das können z.B. Ablesung von Zählern oder die Prüfung von Energierechnungen sein.

Bestandteil eines jeden guten Managements ist ebenfalls die Einhaltung von Gesetzen und Richtlinien, aber auch von Selbstverpflichtungen, die eine Organisation eingegangen ist. So ist auch der Abgleich der für dieses Gebiet geltenden Gesetze und Selbstverpflichtungen mit der momentanen Praxis eine wesentliche Aufgabe der Erhebung der Grundlagendaten.

Checkliste für die energetische Betriebsanalyse (zusätzlich zu den in Abschnitt 5.1 zur Grobanalyse aufgeführten Punkten):

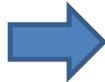
- Festlegung des Geltungsbereichs und der Bilanzgrenzen
- Übersicht über die Firma mit Angaben zum Produktionsprogramm, zu den Verfahren und zur geplanten Firmenentwicklung
- Auflistung der produzierten Mengen, aufgeschlüsselt nach Produkten und differenziert nach Monaten
- Erfassung der vorhanden organisatorischen Regelungen
- Abgleich der geltenden Gesetze mit der Praxis im Betrieb.

---

<sup>5</sup> Wird über die Einführung des EnMS nach DIN EN ISO 50001 ein Nachweis im Rahmen der Spitzenausgleichregelung bzw. der Besonderen Ausgleichsregelung angestrebt, werden die Anforderungen an den Geltungsbereich des EnMS durch den Gesetzgeber definiert.

Bereits bei der Erhebung der wichtigen Grundlagen zum aktuellen Energiestatus (Zahlen, Organisation, rechtliches Umfeld) erfassen die Bearbeiter üblicherweise ständig Verbesserungspotenziale. Diese sollten begleitend notiert werden und daraus eine Liste möglicher Energieeinsparungen und Verbesserungen erstellt werden. In dieser finden sich alle (sinnvollen) Potenziale, gleich ob sie derzeit umsetzbar erscheinen oder nicht. Aus den Potenzialen dieser Liste können erste konkrete Energieeinsparziele definiert und dazu Energieeinsparmaßnahmen festgelegt werden.

Diese lassen sich zu einem ersten Energieeinsparprogramm zusammenfassen. Dazu sollten die Ideen, die im Verlauf der ersten Datenerhebung entstanden sind, der Priorität nach geordnet werden. Die Priorität kann sich beispielsweise daraus ableiten, ob rechtliche Belange berührt sind (höchste Priorität), eine schnelle, preiswerte Umsetzung möglich ist oder das Einsparvolumen besonders hoch ist, d.h. es ist erstmals eine Bewertung der wesentlichen Energieaspekte durchzuführen. Sollte diese Grundlagenerhebung zu einem kontinuierlichen EnMS ausgebaut werden, ist diese Bewertung jährlich zu aktualisieren.



Hinweis: Im Anhang unter Checklisten finden Sie einen „Plan zur Priorisierung von Maßnahmen“.

Ein endgültiges Energieeinsparprogramm sollte folgende Punkte enthalten:

- Maßnahmen, z.B. Reduzierung der Laufzeiten der Lüftungsanlage um 50 %
- Einsparziele, z.B. Verringerung des Erdgasverbrauches um 400 MWh
- voraussichtliche Kosten
- erwartete Kosteneinsparung
- Kapitalrentabilität (ROI)
- Festlegung der Verantwortlichkeiten
- Fristen für die Umsetzung der Maßnahmen.

Dieses Programm muss nach Fertigstellung mit der Geschäftsleitung diskutiert und von dieser bestätigt werden. Dabei ist auch eine geeignete Organisationsstruktur zur Bearbeitung der Energieziele, Erfassung der Daten, regelmäßigen Kommunikation und Weiterentwicklung des Energiemanagementsystems festzulegen und bestenfalls in Aktionsplänen festzuhalten.

Spätestens in dieser Phase sollten die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Betriebes einbezogen und über die Absicht einer energetischen Optimierung informiert werden. Es ist wichtig, sie über die Möglichkeiten zur Mitwirkung aufzuklären, in ihrem Tätigkeitsbereich sparsamer mit Energie umzugehen. Denn ein bewussteres Nutzerverhalten trägt erheblich zum Erfolg von Energiesparmaßnahmen bei. Es lohnt sich, die Belegschaft zu motivieren, die betrieblichen Anstrengungen durch Eigeninitiative, Anregungen und Lösungsvorschläge zu unterstützen.

### **Stufe 2: Aufbau wichtiger Managementstrukturen**

Nachdem nun die Grundlagen zur Einführung eines Energiemanagementsystems vorhanden sind, können im zweiten Schritt wesentliche Managementstrukturen aufgebaut werden. Dabei sollen die vorhandenen Strukturen durch neue Regelungen ergänzt werden.

Zunächst sollte durch die Geschäftsleitung die Energiepolitik des Unternehmens definiert werden. Damit legt diese fest, welchen Stellenwert das Thema Energie im Unternehmen besitzt und definiert die Rahmenbedingungen für die Energienutzung des Unternehmens. Existiert bereits eine Unternehmenspolitik, muss diese nur um Energieaspekte ergänzt werden.

Dabei sollte mindestens auf folgende Punkte eingegangen werden:

- Verpflichtung zum kontinuierlichen Verbesserungsprozess (PDCA-Zyklus) sowie zum sorgsamem Umgang mit Energie
- Verpflichtung zur Einhaltung der zutreffenden Gesetze
- Festlegung des Geltungsbereichs und der Bilanzgrenzen des Energiemanagementsystems
- Verpflichtung der Geschäftsleitung zur „Verfügbarkeit von Informationen sowie aller zur Erreichung der Ziele notwendigen Ressourcen“

- Benennung von Verantwortlichen
- Schwerpunkte der Energieeinsparung.

Die Energiepolitik muss mindestens jährlich bestätigt und aktualisiert werden. Das Unternehmen hat sicherzustellen, dass sie allen Mitarbeitern, ggf. auch von Fremdfirmen, bekannt ist. Das offene Kommunizieren der Energiepolitik ist ein wichtiger Aspekt des Energiemanagementsystems und verbessert zudem das Firmenimage. Zur Regelung des weiteren Prozesses ist ein Energiemanagementbeauftragter zu ernennen, der in vielen Fällen der bisherige Projektleiter sein wird. Es kann sich jedoch auch z.B. um einen externen Berater handeln bzw. einen Mitarbeiter aus der Unternehmenszentrale etc. In größeren Unternehmen sollte der Energiemanagementbeauftragte durch ein Energieteam unterstützt werden, das aus verantwortlichen Mitarbeitern einzelner Unternehmensbereiche besteht. Der Energiemanagementbeauftragte benötigt ferner ein Budget an Arbeitszeit, Finanzmitteln und Mitarbeitern.

Wichtig ist ebenfalls eine umfassende Dokumentation des Managementprozesses. Sie ermöglicht eine transparente Information aller Mitarbeiter und verhindert Missverständnisse und Fehler, die bei mündlichen Absprachen entstehen können.

In der Dokumentation sollte auch die Durchführung von Tätigkeiten, die wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch besitzen, festgehalten werden (z.B. die Fahrweise von Maschinen und Anlagen oder das Gebäudemanagement). Weiterhin ist die Festlegung von energetischen Mindeststandards für die Planung und den Bau neuer Gebäude, die Auswahl und den Einkauf energieeffizienter Anlagen und den Kauf von Materialien, die mit geringem Energieaufwand produziert wurden, notwendig.

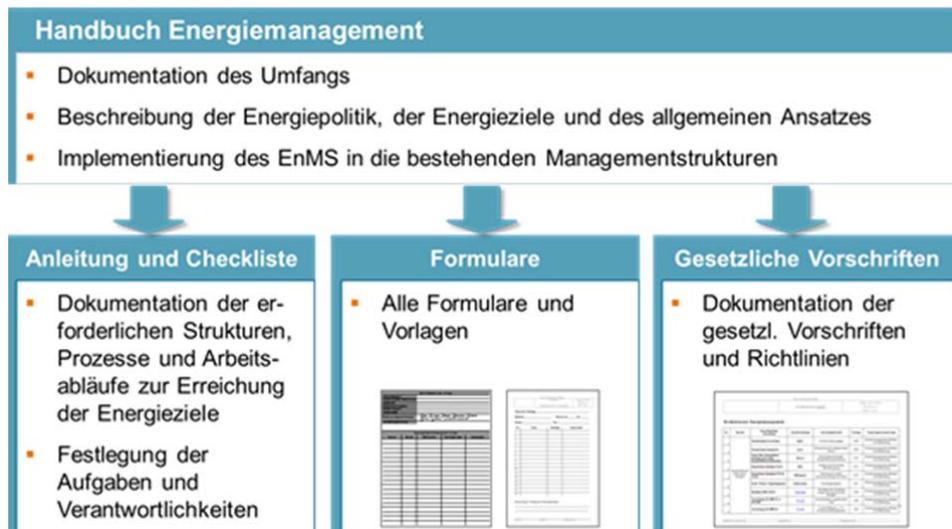


Abbildung 5-14: Dokumentation des Energiemanagements (Quelle: Siemens AG)

In einem Unternehmen ergeben sich ständig neue Möglichkeiten für Verbesserungsmaßnahmen, sei es durch Betriebsrundgänge, Besprechungen, Audits

oder Vorschläge der Mitarbeiter. Es ist wichtig, dass diese in einem Verbesserungsmaßnahmenplan systematisch erfasst und abgearbeitet werden. Sehr übersichtlich kann dies in Form einer Liste mit bspw. folgenden Spalten dargestellt werden:

- laufende Nummer mit Quelle des Vorschlages (z.B. Hinweis eines Mitarbeiters)
- Verbesserungsvorschlag (z.B. Abschaltung der fensternahen Beleuchtung bei ausreichender Helligkeit)
- Maßnahme (z.B. Prüfung, ob fensternahe Lampen separat geschaltet werden können)
- Verantwortlichkeit (z.B. Elektromeister)
- Termin
- Status (noch nicht bearbeitet, in Bearbeitung, Bearbeitung abgeschlossen; ggf. über Symbole wie Ampel)
- Bemerkung (z.B. nur in Hallen 1, 3 ,5 möglich).

Ein erfolgreiches Energiemanagementsystem kann nur unter aktiver Leitung der Geschäftsführung und unter Einbeziehung der Mitarbeiter realisiert werden. Insbesondere kommt es dabei auf eine Änderung ihres Bewusstseins an, was mittelfristig zu einem energiesparenden Verhalten führt. Daher sollten in regelmäßigen Abständen Schulungen der Mitarbeiter erfolgen. In diesen Schulungen wird das Energiemanagementsystem erläutert und über aktuelle Entwicklungen informiert. Wichtig ist aber auch die aktive Einbindung der Mitarbeiter, indem diese zu Energiesparvorschlägen aus ihrem Arbeitsbereich aufgefordert werden, ggf. mit dem Anreiz einer Beteiligung an den Einsparungen. Persönliche Vorteile zieht der Arbeitnehmer ferner aus allgemeinen Tipps zum Energiesparen, die sich auch privat nutzen lassen.

### **Stufe 3: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess**

In der ersten Stufe konnten viele Potenziale im Bereich der Energieeinsparung aufgedeckt und umgesetzt werden. In der zweiten Stufe wurden dann die notwendigen Managementstrukturen geschaffen, sodass nun alle Elemente eines Energiemanagementsystems vorhanden sind. Jetzt kann in der dritten Stufe der Prozess der kontinuierlichen Verbesserung nach dem PDCA-Zyklus (s.o.) beginnen.

Periodisch werden nun die Regelungen zur Ablauforganisation mit regelmäßiger Kontrolle der Umsetzung der Ziele, Wirksamkeit der Maßnahmen, Austausch mit allen Bereichen und der Leitung, Schulung der Mitarbeiter etc. umgesetzt und einmal im Jahr alle Daten (in Form eines Energieberichts) aktualisiert. Ferner dienen interne Audits der Wirksamkeitskontrolle des EnMS und sollen zu dessen Weiterentwicklung beitragen. Schließlich wird auf der Basis der Ergebnisse des letzten Jahres mit der Geschäftsführung über die weitere Strategie und die zu erreichenden Ziele entschieden, bevor es wieder an die Routinen zur Umsetzung der Ziele und Verbesserungen geht.

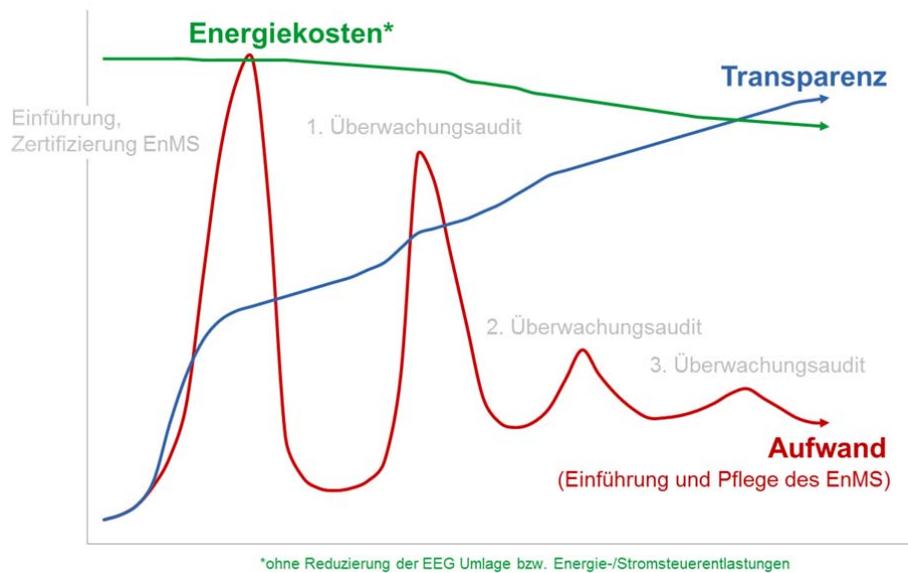


Abbildung 5-15: Langfristige Senkung der Energiekosten und Erhöhung der Transparenz durch sich periodisch wiederholende EnMS-Abläufe (Quelle: Siemens AG)

Ist ein erster interner Auditzyklus abgeschlossen, kann eine externe Auditierung und Zertifizierung nach DIN EN ISO 50001 erfolgen. Hierzu sind Zertifizierungsstellen für EnMS, die über eine gültige Akkreditierung der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) oder einer anderen nationalen Akkreditierungsstelle gemäß EU (VO) 765/2008 verfügen, befugt.

### 5.3 Weiterführende Handbücher und Leitfäden

Energiemanagementsysteme in der Praxis

Hrsg.	Umweltbundesamt, 2012
Preis	kostenlos
Link	<a href="http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energiemanagementsysteme-in-praxis">http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energiemanagementsysteme-in-praxis</a>

Leitfaden zum effizienten Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001

Hrsg.	GUTcert, 2014
Preis	kostenlos
Link	<a href="http://www.gut-cert.de/info-energiemanagement0.html?&amp;lang=dr">http://www.gut-cert.de/info-energiemanagement0.html?&amp;lang=dr</a>

#### Energiemanagement-Handbuch – Systematisch Energiekosten senken

Hrsg.	dena, 2012
Preis	23,20 €
Link	<a href="http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/ich-moechte/publikationen-finden/detailansicht.html?tx_zrwshop_pi1[pid]=100">http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/ich-moechte/publikationen-finden/detailansicht.html?tx_zrwshop_pi1[pid]=100</a>

#### Erfüllung der Anforderungen der DIN EN ISO 50001 „Energiemanagementsysteme“ durch EMAS

Hrsg.	Umweltgutachterausschuss, 2012
Preis	kostenlos
Link	<a href="http://www.uga.de/allgemeines/aktuelle-themen/2012/abgleich-der-anforderungen-der-energiemanagementnorm-din-en-iso-50001-mit-emas/">http://www.uga.de/allgemeines/aktuelle-themen/2012/abgleich-der-anforderungen-der-energiemanagementnorm-din-en-iso-50001-mit-emas/</a>

#### Praxis Energiemanagement

Hrsg.	Ludger Pautmeier, 2013
Preis	249 €
Link	<a href="http://www.tuev-media.de/produkte/91695-praxis-energiemanagement.php#no">http://www.tuev-media.de/produkte/91695-praxis-energiemanagement.php#no</a>

## 5.4 Literaturverzeichnis

- 1) DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme. Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung, Berlin 2011.
- 2) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- 3) VDI-Richtlinie 4602, Blatt 1: Energiemanagement. Begriffe, Definitionen, Düsseldorf 2007.
- 4) VDI-Richtlinie 4602, Blatt 2: Energiemanagement. Beispiele 2013.
- 5) Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Energieanalyse in kleinen und mittleren Unternehmen, 4. überarbeitete Auflage, Stuttgart 2005.

## 6 Förderung und Finanzierung

Umfangreiche Maßnahmen zur Energieeinsparung, die mittel- und langfristig zu Kosteneinsparungen führen, sind häufig mit erheblichem Kapitalaufwand verbunden. Ihre Umsetzung scheitert in der Regel nicht an ihrer schlechten Wirtschaftlichkeit, sondern vielmehr an der Kapital- und Liquiditätsbelastung. Förderprogramme sowie intelligente Finanzierungsinstrumente können helfen, diese Projekte dennoch umzusetzen.

In diesem Kapitel wird eine Auswahl verschiedener aktueller Förderprogramme gegeben sowie auf das Finanzierungsinstrument Contracting eingegangen.

### 6.1 Darstellung aktueller Förderprogramme

Viele Maßnahmen zur Energieeinsparung oder zur Anwendung Erneuerbarer Energien werden vom Land oder vom Bund gefördert. Im Folgenden werden einige Fördermöglichkeiten dargestellt. Es ist zu beachten, dass die aufgeführten Förderprogramme eine Auswahl darstellen und nicht alle Fördermöglichkeiten abdecken. Da sich die Förderkonditionen häufig ändern, werden diese nicht aufgeführt, sondern es wird auf die Homepage des entsprechenden Fördermittelgebers verwiesen. Viele Förderprogramme gelten nur für KMU.

#### EU Definition KMU

Unternehmen, die weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen und die entweder einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. € erzielen oder deren Jahresbilanzsumme sich auf höchstens 43 Mio. € beläuft. Weitere Informationen zur Einstufung als KMU findet man bei der KfW unter

[http://www.kfw.de/kfw/de/I/II/Download\\_Center/Foerderprogramme/versteckter\\_Ordner\\_fuer\\_PDF/142291\\_M\\_KMU-Definition.pdf](http://www.kfw.de/kfw/de/I/II/Download_Center/Foerderprogramme/versteckter_Ordner_fuer_PDF/142291_M_KMU-Definition.pdf)

#### Programmübersicht

Folgende Internetseiten können als Förderlotsen verwendet werden, da sie einen Überblick über verschiedene Programme und Antragsstellen bieten:

- Eine Übersicht über die zuständigen Landesförderbanken ist hier zu finden (ggf. nur temporär verfügbar):

[www.impulse.de/foerderbanken](http://www.impulse.de/foerderbanken)

- Der BINE Informationsdienst bietet online einen Wegweiser durch die Vielzahl der Förderprogramme in Deutschland:

<http://www.energiefoerderung.info/>

- Der sogenannte Förder.Navi der EnergieAgentur.NRW stellt aktuelle Informationen zu Förderprogrammen in Deutschland und in NRW zur Verfügung:

<http://www.foerder-navi.de>

Eine weitere Informationsquelle sind die Internetseiten der zuständigen Ministerien.

### 6.1.1 Antragsstellen und Zuschussprogramme

Auf den folgenden Seiten sind einige ausgewählte Institutionen dargestellt, die Förderprogramme verwalten und bei denen die Fördermittel beantragt werden können.

#### Bezirksregierung Arnsberg

[http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/f/foerderpro\\_progres\\_nrw/index.php](http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/f/foerderpro_progres_nrw/index.php)

Titel:	<b>progres.nrw – Programmbereich Markteinführung</b>
Antragsberechtigt:	u.a. KMU (bei Fernwärme auch größere Unternehmen)
Förderbereiche:	Wärmerückgewinnung, Optimierung der Regelungstechnik, thermische Solaranlagen, Biomasse-BHKWs, Wärmepumpen als Pilotanlagen, Anlagen zur Auskopplung und Verteilung von Fernwärme
Titel:	<b>progres.nrw – Programmbereich Innovation</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Brennstoffzelle und Wasserstoff, Kraftwerke und Netze, Biomasse, Kraftstoffe und Antriebe der Zukunft, Solarenergie, Geothermie, Bauen
Titel:	<b>progres.nrw – Programmbereich KWK</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Hocheffiziente dezentrale/stromgeführte KWK-Anlagen bis 50 kW <sub>el</sub>  Verbesserung vorhandener dezentraler KWK-Anlagen zu hocheffizienten KWK-Anlagen bis 50 kW <sub>el</sub>

**Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)**

<http://www.bafa.de/bafa/de/energie/index.html>

Titel:	<b>Marktanreizprogramm erneuerbare Energien</b>
Antragsberechtigt:	u.a. KMU
Förderbereiche:	thermische Solaranlagen zur kombinierten Raumwärme- und Warmwassererzeugung bis 40 m <sup>2</sup> , Biomasse-Heizkessel bis 100 kW, effiziente Wärmepumpen
Titel:	<b>Förderung von Energiemanagementsystemen</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen, nicht möglich bei Inanspruchnahme des Spitzenausgleichs
Förderbereiche:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Erstzertifizierung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001</li><li>2. Erstzertifizierung eines Energiecontrollings</li><li>3. Erwerb von Messtechnik für Energiemanagementsysteme</li><li>4. Erwerb von Software für EnMS</li></ol>
Titel:	<b>Förderung von Maßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Beratungs- und Emissionsminderungsmaßnahmen bei <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kompressionskälteanlagen von 5 bis 150 kW</li><li>▪ Kompressionsklimaanlagen von 10 bis 150 kW</li><li>▪ Sorptionsanlagen von 5 bis 500 kW</li></ul>
Titel:	<b>Hocheffiziente Querschnittstechnologien im Mittelstand</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Elektrische Motoren und Antriebe, Pumpen, Raumlufttechnische Anlagen, Druckluftsysteme, Wärmerückgewinnung in raumlufttechnischen Anlagen und Druckluftsystemen, Beleuchtungsanlagen basierend auf LED-Technik sowie deren tageslichtabhängige Steuerung und Regelung (begrenzt auf das Jahr 2014)

Titel:	<b>Klimaschutzinitiative – Mini-KWK-Anlagen</b>
Antrags- berechtigt:	KMU
Förder- bereiche:	Gefördert wird die Neuerrichtung von Mini-Kraft- Wärme-Kopplungs-Anlagen (Mini-KWK-Anlagen) im Leistungsbereich bis einschließlich 20 kW <sub>el</sub>

### **BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/industrie-und-umwelt.html>

Titel:	<b>Förderung von energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen</b>
Antrags- berechtigt:	Unternehmen
Förder- bereiche:	Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung in gewerblichen und industriellen Produktionsprozessen <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Produktionsprozess- und Produktionsverfahrensumstellungen auf energieeffiziente Technologien,</li><li>▪ Maßnahmen zur effizienten Nutzung von Energie aus Produktionsprozessen oder Anlagen im Unternehmen und</li><li>▪ sonstige energetische Optimierung von Produktionsprozessen</li></ul>

### **KfW - Kreditanstalt für Wiederaufbau**

Titel:	<b>Energieberatung Mittelstand</b>
Antrags- berechtigt:	KMU
Förder- bereiche:	Zuschüsse für qualifizierte und unabhängige Energie- effizienzberatungen in Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und für Freiberufler

Hinweis: Das Programm wird am 31.12.2014 geschlossen. Für Anfang  
2015 ist beim BAFA ein Nachfolgeprogramm geplant.  
Informationen können dann unter folgendem Link abgerufen  
werden: [www.bafa.de](http://www.bafa.de)

## DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

Antrags- stelle:	Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
Antrags- berechtigt:	bevorzugt KMU, aber auch Institutionen und Verbände
Förder- bereiche:	u.a. Klimaschutz und Energie: z.B. Einsatz kohlenstoffarmer Kraft- und Brennstoffe, energieeffiziente industrielle oder gewerbliche Verfahren, energieeffiziente Querschnittstechnologien, Energiesparende Produkte

### 6.1.2 Antragsstellen und Kreditprogramme

#### KfW

Alle hier vorgestellten Kreditprogramme werden von der bundeseigenen KfW-Mittelstandsbank verwaltet und werden in der Regel über die Hausbank des Antragstellers beantragt. Nur für das BMU-Innovationsprogramm sind die Anträge direkt an die KfW zu stellen.

<http://www.nrwbank.de/de/foerderlotse/produksuche/index.html>

Titel:	<b>KfW-Programm Erneuerbare Energien</b>
Antrags- berechtigt:	u.a. Unternehmen
Förder- bereiche:	Holzheizkessel > 100 kW, BHKW für feste Biomasse, Tiefengeothermie, Nahwärmenetze mit Erneuerbaren Energien, thermische Solaranlagen > 40 m <sup>2</sup> , Wärmespeicher > 20 m <sup>3</sup> , Anlagen zur Aufbereitung von Biogas, Biogasleitungen für unaufbereitetes Biogas, Batteriespeicher für Solaranlagen
Titel:	<b>KfW-Finanzierungsinitiative Energiewende</b>
Antrags- berechtigt:	Unternehmen
Förder- bereiche:	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Maßnahmen zur Steigerung der betrieblichen Energieeffizienz</li><li>▪ Innovationsvorhaben (FuE) in den Bereichen Energieeinsparung, -erzeugung, -speicherung und -übertragung</li><li>▪ Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien</li></ul>

Titel:	<b>KfW-Energieeffizienzprogramm</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen deren Gruppenumsatz bis zu 2,0 Mrd. € beträgt
Förderbereiche:	alle Investitionsmaßnahmen, die wesentliche Energieeinspareffekte erzielen, z.B.: Anlagentechnik inklusive Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Lüftung, Warmwasserbereitung, effiziente Energieerzeugung, insbesondere KWK-Anlagen, Gebäudehülle, Maschinenpark inklusive Querschnittstechnologien, Prozesskälte und Prozesswärme, Wärmerückgewinnung / Abwärmenutzung, Mess-, Regel- und Steuerungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnik.
Titel:	<b>BMU-Umweltinnovationsprogramm</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen, bevorzugt KMU
Förderbereiche:	u.a. Energieeinsparung, Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien, umweltfreundliche Energieversorgung und -verteilung

#### **NRW.BANK**

<http://www.nrwbank.de/de/index.html>

Titel:	<b>NRW.BANK.Effizienz kredit</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Ersatzinvestitionen, die zur dauerhaften Steigerung der Energie- oder Ressourceneffizienz führen
Titel:	<b>NRW.BANK.Energieinfrastruktur</b>
Antragsberechtigt:	Unternehmen
Förderbereiche:	Gefördert werden Investitionen in Anlagen zur Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Erwerb von Grundstücken und Gebäuden</li><li>▪ gewerbliche Baukosten</li></ul>

- Anschaffung von Einrichtungen und Maschinen
- Betriebs- und Geschäftsausstattung.

**Titel:** **NRW.KWK-Investitionskredit**

**Antrags-  
berechtigt:** Unternehmen

- Förder-  
bereiche:**
- Neubau von KWK-Anlagen inkl. Wärmespeicher und Regelungsvorrichtung mit einer Leistung von mehr als 50 kW<sub>el</sub>
  - Umrüstung und Erweiterung bestehender Anlagen zur Nutzung für KWK mit einer Leistung von mehr als 50 kW<sub>el</sub>

#### **Landwirtschaftliche Rentenbank**

<http://www.rentenbank.de/cms/beitrag/10012007/277651>

**Titel:** **Umwelt- und Verbraucherschutz**

**Antrags-  
berechtigt:** KMU der Agrar- und Ernährungswirtschaft

**Förder-  
bereiche:** Umstellung der Produktionsprozesse, Steuerungstechnologie, Druckluft-, Kälte-, Wärmetechnologie auch Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung, Beleuchtung sowie Gebäudedämmung

**Titel:** **Energie vom Land**

**Antrags-  
berechtigt:** KMU der Agrar- und Ernährungswirtschaft

**Förder-  
bereiche:** Investitionen in die Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energien:

- Energetische Verwertung nachwachsender Rohstoffe
- Fotovoltaik-, Wind- und Wasserkraftanlagen
- Bürger- und Bauernwindparks

## 6.2 Finanzierung

Jede Investitionsentscheidung ist untrennbar mit einer Finanzierungsentscheidung verbunden. Im Idealfall erfolgt diese Verbindung auf der Basis eines auf das Unternehmen zugeschnittenen Zahlungsplans, der verschiedene Rahmenbedingungen des Unternehmens berücksichtigt, u.a.:

- die steuerliche und rechtliche Situation
- die Eigenkapitalquote und damit die Kreditwürdigkeit bzw. das Rating
- die Gestaltung des Cashflows
- und die bestehenden Kreditlinien.

Im Rahmen des sog. Green Financing erfolgt die Finanzierung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch Einsparungen bei den Energie- und Betriebskosten, sodass keine Eigenmittel angegriffen werden und damit Finanzierungsspielräume erhalten bleiben. Die in diesem Zusammenhang von einem externen Dienstleister für einen festgelegten Zeitraum bereitgestellten, vorab definierten Dienstleistungen für einen Kunden werden als Managed Services bezeichnet. Sie werden aufgrund ihrer Komplexität sowie der erforderlichen technischen Kenntnisse in der Regel von Banken unabhängigen Dienstleistern und herstellernahen Finanzierungsdienstleistern angeboten.

Im Hinblick auf die verschiedenen Arten von Energiedienstleistungen liegt der Fokus der Managed Services auf dem **Energie-Contracting**, bei dem die Energie- und Medienversorgung, ganze Anlagen oder Einzelkomponenten wie z.B. Antriebe oder Pumpen einem Energiedienstleister (Contractor) übertragen werden. Ziele des Energie-Contractings sind eine Kostenreduzierung und eine effizientere Energienutzung für den Kunden (Contractingnehmer) – oft verbunden mit einer Modernisierung der bestehenden Anlagen. Ein Contractor bündelt die Teilleistungen Planung, Finanzierung, Bau, Bedienung und Instandhaltung zu einem attraktiven Gesamtpaket – die Zahl der Schnittstellen und Ansprechpartner werden für den Gebäudeeigentümer auf diese Weise erheblich reduziert. Der Contractor übernimmt zudem - ganz oder teilweise - die Verantwortung und die damit verbundenen Risiken für den beauftragten Teil der Energiebewirtschaftung des Objektes.

Weil in der Regel neueste Energieeffizienztechnologien eingesetzt werden, fallen die Betriebskosten geringer aus als bei den vorhandenen älteren Anlagen. Im Idealfall lassen sich aus dieser Kosteneinsparung nicht nur die Aufwendungen des

Contractors decken. Vielmehr profitiert auch der Kunde direkt von dauerhaft geringeren Neben- bzw. Energiekosten.

Eine kostenlose Erstberatung zum Thema Contracting bietet u.a. die EnergieAgentur.NRW<sup>6</sup> an.

Ein Energie-Contracting kann mit verschiedenen Finanzierungslösungen hinterlegt werden, die den Zahlungsstrom passend zu den Kosteneinsparungen abbilden. Sie unterscheiden sich grundsätzlich hinsichtlich ihrer Bilanzwirksamkeit sowie der Eigentumsverhältnisse. Zu den wichtigsten Finanzierungslösungen gehören:

a. **Leasing:** Leasingverträge haben einen ähnlichen Charakter wie Mietverträge. Eigentümer des Assets ist der Leasinggeber, die vertraglich vereinbarten Leasingraten amortisieren sich aus den Einsparungen. Von der Miete unterscheidet sich Leasing durch die Tatsache, dass die mietvertraglich geschuldete Wartungs- und Instandsetzungsleistung bzw. der Gewährleistungsanspruch auf den Leasingnehmer umgewälzt wird. Dies geschieht im Austausch gegen die Abtretung der Kaufrechte seitens des Leasinggebers und die Finanzierungsfunktion beim Leasing.

b. **Mietkauf:** Es handelt sich um einen Mietvertrag, bei welchem dem Mieter vom Vermieter das Recht eingeräumt wird, innerhalb einer bestimmten Frist durch einseitige Erklärung die gemietete Sache käuflich zu erwerben. Mietkäufer sind von Anfang an wirtschaftliche Eigentümer der Investitionsgüter und können ggf. sämtliche Steuervergünstigungen, Abschreibungen und Förderprogramme nutzen.

c. **Herstellernahe Finanzierung:** Finanzierungen durch herstellernahe Dienstleister werden i.d.R. für die gesamte Vertragslaufzeit festgeschrieben und garantieren so eine zuverlässige Nutzung der Technologie – unabhängig von kurzfristigen Schwankungen wirtschaftlicher Faktoren (z.B. Zinsen, Inflationsraten und Kreditkonditionen) oder Marktbedingungen. Die vorhandene technische Expertise gewährleistet eine bessere Einschätzung der Bedeutung der energieeffizienten Anlagen für das Geschäft des Kunden sowie die Qualität der Geschäftspläne, Amortisationsmodelle etc.

Im Folgenden werden die verschiedenen Contracting-Modelle erläutert.

---

<sup>6</sup> [www.energieagentur.nrw.de](http://www.energieagentur.nrw.de)

### 6.2.1 Energieliefer-Contracting

Energieliefer-Contracting – häufig auch Anlagen-Contracting genannt – ist die am Markt verbreitetste Variante. Anwendungsschwerpunkt ist die Erneuerung bzw. Erstinstallation von Anlagen im Bereich der Energiezentralen. Der Contractor übernimmt – je nach gewünschtem Leistungsumfang – Planung, Finanzierung, Bau, Instandhaltung und Bedienung sowie zumeist auch den Brennstoffbezug. Übliche Vertragslaufzeiten umfassen 10-20 Jahre.

Als fertiges Produkt liefert der Contractor dem Kunden die letztendlich benötigte Nutzenergieform in Form von Wärme, Dampf, Kälte, Strom oder Druckluft in definierter Menge und Qualität.

Die Vergütung erfolgt auf Basis eines mehrgliedrigen Preissystems bestehend aus:

- Grundpreis [in €/a]
- Arbeitspreis [in €/Einheit Nutzenergie] und ggf.
- Messpreis [in €/Zähler].

Die Preise unterliegen fest vereinbarten Preisgleitklauseln, um Änderungen der Brennstoffpreise und Lohn- und Materialkosten an den Kunden weitergeben zu können. Energieliefer-Contracting eignet sich für bestehende Gebäude und Neubauten.

### 6.2.2 Einspar-Contracting

Beim Einspar-Contracting - auch als Performance-Contracting oder Energiespar-Contracting bekannt - verkauft der Contractor im Unterschied zum Energieliefer-Contracting keine effizient erzeugte Nutzenergie, sondern eine Energieeinsparung für die benötigten Bezugsenergien wie Strom, Gas, Heizöl, Fernwärme oder auch Wasser bzw. Abwasser.

Einspargarantien in Höhe von 20 % der bisherigen Energiekosten können als durchschnittlich angesehen werden. Wird die Einsparquote am Jahresende nicht erreicht, so geht der Minderbetrag zu finanziellen Lasten des Contractors. Wird das Einsparziel überschritten, teilen sich Kunde und Contractor den zusätzlichen Erfolg im Regelfall nach vereinbarten Verteilungsschlüsseln auf.

Häufig findet bei dieser Variante eine Gewerke übergreifende Optimierung der vorhandenen Gebäude- bzw. Anlagentechnik statt. Leitgedanke ist eine durch den Contractor garantierte Energiekostensenkung, die ausreicht, erkannte Optimierungs- und Modernisierungsinvestitionen über die Vertragslaufzeit zu refinanzieren. Übliche Vertragslaufzeiten für dieses Modell betragen 6-15 Jahre.

## Energiespar-Contracting: Refinanzierung durch Effizienz

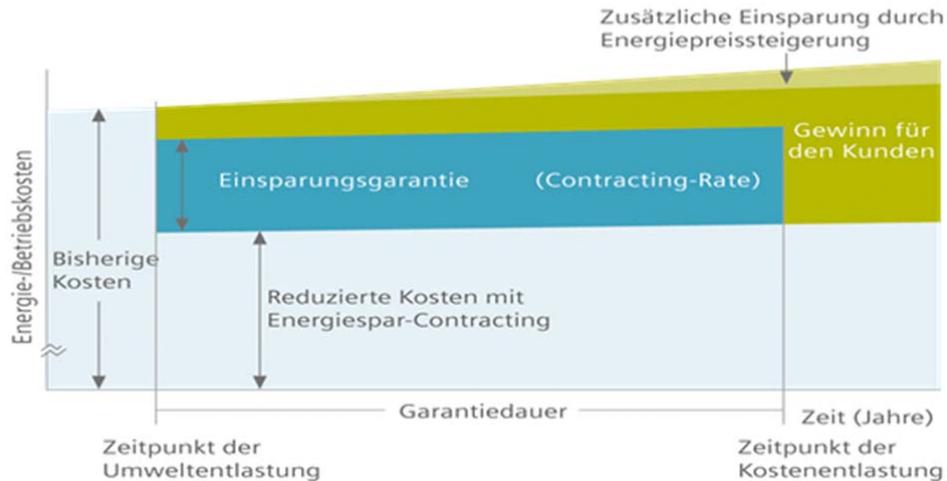


Abbildung 6-1: Energiespar-Contracting (Quelle: Siemens AG)

Die Vergütung des Contractors ist im Regelfall erfolgsabhängig oder erfolgt auf Grundlage nachgewiesener oder zumindest rechnerisch ermittelbarer Energieeinsparungen. Typische Entgeltregelungen:

### **Contractingrate [in €/a]**

Berechnung aus erreichter Energieeinsparung bewertet mit Referenzenergiepreisen vor Umsetzung der Contracting-Maßnahmen und ggf. zusätzlicher

### **Grundpreis [in €/a]**

Feste Rate für Investitionsanteile, die sich nicht wirtschaftlich aus erzielbaren Einsparungen über die Dauer der Vertragslaufzeit refinanzieren lassen.

### **6.2.3 Finanzierungs-Contracting**

Das bislang wenig verbreitete Finanzierungs-Contracting - auch Anlagenbau-Leasing genannt - belässt im Unterschied zu anderen Contracting-Modellen den Anlagenbetrieb beim Contractingnehmer. Das Dienstleistungspaket beinhaltet im Wesentlichen die Leistungen Planung, Finanzierung und Bau zumeist gut abgrenzbarer Anlagentechniken, wie z.B. Beleuchtungs- oder Wärmerückgewinnungsanlagen. Die Höhe der üblicherweise festen Entgelte an den Contractor hängt – wie beim Leasing – von der Vertragslaufzeit und der Höhe der Investitionen ab.

### **6.2.4 Technisches Anlagenmanagement**

Beim Technischen Anlagenmanagement – auch als Betriebsführungs-Contracting geläufig – bildet der optimierte Betrieb bestehender oder auch neuer energietechnischer Anlagen den Schwerpunkt der Dienstleistung. Während bei marktüblichen Wartungs- und Serviceverträgen der Anlagenbetrieb in der Verantwortung

des Kunden bleibt, übernimmt bei diesem Modell der Contractor auch die Betriebsführung. Die Form der Leistungsvergütung an den Contractor kann bei diesem Modell sehr unterschiedlich sein und reicht von fixen Entgelten bis zur Vergütung nach nachweisbarem Aufwand. Vertragslaufzeiten können mit ein bis zwei Jahren sehr kurz, aber auch längerfristig sein. Nicht selten geht eine Vereinbarung über Technisches Anlagenmanagement bei Notwendigkeit einer umfangreicheren Anlagenmodernisierung in ein Energieliefer-Contracting über.

### **6.3 Literaturverzeichnis**

- 1) Contracting Portal der EnergieAgentur.NRW, URL: [www.contracting.nrw](http://www.contracting.nrw) (28.11.2014), einschließlich Literaturliste zum Thema Contracting.
- 2) EnergieAgentur.NRW: Leitfaden Contracting, 2. überarbeitete Auflage, Wuppertal 2007.
- 3) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.

## 7 Abwasser und Abfall

Bei der Herstellung von Lebensmitteln entstehen in den meisten Unterbranchen der Ernährungsindustrie neben dem Produkt Lebensmittel sehr hohe Abwassermengen. Durch erhöhte Anforderungen an die Lebensmittelsicherheit kann es auch zu einem höheren Verbrauch an Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie Wasser kommen.

Des Weiteren fallen bei der Herstellung von Produkten in der Ernährungsindustrie Reststoffe an, die entsorgt oder verwertet werden müssen. Die Entsorgung ist mit Kosten verbunden, die durch eine Verwertung dieser Reststoffe reduziert werden können.

Zudem stellt der auf den Umweltschutz ausgerichtete Ansatz zum Ressourcenschutz die Ernährungsindustrie vor eine große Herausforderung. Denn gleichzeitig soll im Hinblick auf die Verringerung des Wasserverbrauchs und der Abfallverminderung auch der Hygienestandard aufrecht erhalten bleiben.

In den folgenden Abschnitten wird daher auf die zentralen Themenbereiche Abwasser und Abfall näher eingegangen. Es wird aufgezeigt, welche Effizienzmaßnahmen hinsichtlich des Abwassers ergriffen werden können und inwieweit eine Verwertung der Abfälle Ressourcen einspart.

### 7.1 Ressourceneffizienz des Wassers in der Ernährungsindustrie

Die Ernährungsindustrie ist ein Großverbraucher an Wasser und im Vergleich zu vielen anderen Industriezweigen eine sehr abwasserintensive Industrie. Das liegt daran, dass das Wasser als Zusatzstoff, als Reinigungsmittel, als Transportmittel und als Betriebsstoff für Hilfssysteme eingesetzt wird. Etwa 66 % des gesamten eingesetzten Süßwassers erfordern Trinkwasserqualität. In einigen Bereichen, z.B. Molkereien und Getränkeindustrie, werden bis zu 98 % des verwendeten Wassers in Trinkwasserqualität benötigt.

Allerdings gelangt ein Großteil des Wassers am Ende ins Abwasser. Unbehandeltes Abwasser aus der Nahrungsmittelbranche weist typischerweise hohe Gehalte an organischen Verunreinigungen (erfasst als CSB- und BSB-Werte = chemischer und biologischer Sauerstoffbedarf) auf. Die Konzentrationen können um das 10- bis 100-fache höher sein als im häuslichen Abwasser. Die Schwebstoff-Konzentrationen reichen von vernachlässigbaren Werten bis zu 120.000 mg/l. Unbehandeltes Abwasser aus einigen Branchen wie z.B. der Fleisch-, Fisch- und Milchverarbeitung sowie der Herstellung pflanzlicher Öle weist hohe Konzentrationen an lipophilen Stoffen auf. Es können auch hohe Phosphorwerte auftreten, vor allem wenn im Prozess große Mengen Phosphorsäure verwendet werden, wie beispielsweise zur Entschleimung von Pflanzenöl oder zur Reinigung. Feste Stoffe (Abfälle und Nebenprodukte) entstehen hauptsächlich durch Verschütten, Leckagen, Überlaufen, nicht qualitätsgerecht erzeugte/zurückgerufene Produkte, Schwund, Rückstände, die nicht in den nächsten Verfahrensschritt eingesetzt werden können, und durch Ablagerungen, die beim Erhitzen entstehen.

Durch die vorwiegend organischen und biologischen Verunreinigungen neigt das Abwasser aus der Ernährungsindustrie zur Versäuerung und schnellen Gärung vor allem auch, weil der Stickstoffgehalt oft mangelhaft ist. In den einzelnen Unterbranchen der Ernährungsindustrie sind die Abwässer jedoch hinsichtlich ihrer Entstehung und Eigenschaften sehr unterschiedlich. Außerdem fällt das Abwasser oft diskontinuierlich an, und es treten große Schwankungen der Abwassermengen und der Konzentrationen von Inhaltsstoffen auf.

Da global betrachtet die Wasservorräte nicht unbegrenzt sind, ist eine Kontrolle des Wasserverbrauchs erforderlich. Dies stellt einen wichtigen Aspekt der Erhaltung natürlicher Ressourcen dar. Gleichzeitig müssen in der Nahrungsmittelproduktion die vorgeschriebenen Standards für Lebensmittelsicherheit und Hygiene erreicht werden. Das bedeutet, dass ein wesentlicher Teil des Wasserverbrauchs in diesem Sektor auf die Reinigung von Geräten und Anlagen entfällt. Durch einen systematischen Ansatz bei der Organisation der Wassernutzung lässt sich der Wasserverbrauch möglicherweise senken. Ein geringerer Wasserverbrauch bedeutet auch, dass weniger Abwasser behandelt werden muss. Die Wasserverschmutzung lässt sich grundsätzlich durch die folgenden Maßnahmen einschränken:

- Verringerung des erzeugten Abwasservolumens
- Verringerung der Belastung des erzeugten Abwassers
- Vermeidung oder Verringerung der Konzentration bestimmter Schadstoffe, insbesondere der prioritären Schadstoffe
- Kreislaufführung oder Wiederverwendung von Wasser
- Abwasserbehandlung.

Aufgrund von ständig steigenden Abwassergebühren überprüfen viele Betriebe der Ernährungsindustrie, ob es möglich ist, durch Installierung einer Anlage zur Abwasserreinigung Kosten zu sparen. Neben einer Vollbehandlung des Abwassers, durch die eine Wasserqualität erreicht werden soll, die eine direkte Einleitung in ein Gewässer erlaubt, besteht auch die Möglichkeit einer Teil- oder Vorbehandlung. Bevor eine Anlage zur Vorbehandlung installiert wird, sollten allerdings die Möglichkeiten von integrierten bzw. betrieblichen Maßnahmen zur Abwasservermeidung optimal genutzt werden. Die Optimierungen der Prozesswassernutzung sowie der Abwasserbehandlung können darüber hinaus erhebliche Beiträge zur Verbesserung des betrieblichen Kostenmanagements leisten.

Daher wird zunächst im Abschnitt 7.1.1 auf betriebliche Maßnahmen zur Abwasser-  
vermeidung eingegangen und daraufhin im Abschnitt 7.1.2 die Abwasserbehandlung  
beschrieben. Erfahrungen aus der Praxis werden im Abschnitt 7.3 dargestellt.

### 7.1.1 Betriebliche Maßnahmen zur Abwasservermeidung

Durch produktionsintegrierte Maßnahmen können Abwassermengen und Schadstofffrachten reduziert werden. Auch Auswahl und Anwendung von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln lassen sich optimieren. Zum Beispiel kann die Verwendung von phosphathaltigen Reinigungsmitteln in Brauereien und Fruchtsaftbetrieben sinnvoll sein, um ein Phosphatdefizit in einer späteren biologischen Behandlung auszugleichen.

Eine einfache betriebliche Maßnahme ist der trockene Transport von festen Rohstoffen, Produkten und Nebenprodukten. Dies reduziert den Wasserverbrauch und dadurch fällt weniger und geringer belastetes Abwasser an. Ebenfalls können Stoff- und Abwasserströme getrennt werden, sodass dies zur Minimierung der Abwasserbelastung führt.

Der aktuelle Stand der Technik steht im Mittelpunkt der sog. „Besten Verfügbaren Techniken“ (BVT). Einige betreffen den Einsatz und die Nutzung einer Prozesssteuerung, wie z.B. die Verwendung von analytischen Mess- und Kontrollverfahren zur Verringerung von festen Abfällen und Abwasser sowie zur Verringerung der Abwassermenge bei der Verarbeitung und der Reinigung. Ein Beispiel dafür ist die Trübungsmessung zur Überwachung der Qualität des Prozesswassers und zur Optimierung sowohl der Rückgewinnung von Stoffen bzw. Produkten aus dem Wasser als auch der Wiederverwendung von Reinigungswasser.

Die Anwendung der besten verfügbaren Techniken zur Reinigung führt zu einer Minimierung des Wasserverbrauchs und der Wasserverschmutzung, des Abfalls, des Abfallanfalls, des Energieverbrauchs und der Menge und Schädlichkeit der benutzten Reinigungsmittel. Die BVT für die Reinigung in den Anlagen und Einrichtungen sorgen dafür, dass Nahrungsmittel weniger mit Wasser in Kontakt kommen, indem beispielsweise überall dort, wo dies möglich ist, die trockene Reinigung zuerst angewandt wird. Die Anwendung der verschiedenen Trockenreinigungstechniken eröffnet mehr Möglichkeiten zur Rückgewinnung und Wiederverwertung von im Prozess erzeugten Stoffen. Sie verringern auch den Energiebedarf zur Erwärmung von Wasser für Reinigungszwecke und den Einsatz von Reinigungsmitteln.

Nicht zuletzt sind natürlich auch die steigenden Frischwasserpreise ein weiterer Grund für produktionsintegrierte Maßnahmen. Zu diesen zählt die Rückführung von Prozesswasser. Es gibt zwar sehr hohe Anforderungen an die Qualität des eingesetzten Frischwassers, aber die Anwendungsfälle zum Recycling von Prozesswasser nehmen in der Praxis stetig zu. Häufig werden dazu Membranverfahren eingesetzt. Zum Teil werden auch verschiedene Verfahrenstechniken miteinander kombiniert (aerobe/anaerobe biologische Verfahren, Membranverfahren) mit einer abschließenden Oxidationsstufe (Ozon, UV oder  $H_2O_2$ ) zur sicheren Entkeimung. In diesem Zusammenhang kommt der Auslagerung des Wasser- und Reststoffmanagements im Rahmen eines Contractings mit einem externen Partner eine größere Bedeutung zu.

Weitere innerbetriebliche Maßnahmen in Kurzform:

- Anwendung innerbetrieblicher Techniken mit keinem oder geringem Abwasseranfall (Trockenreinigung, schonende Rohwarenbehandlung, kurze Lagerzeiten, Trockentransporte, Einsatz von CO<sub>2</sub> statt Wasser)
- Wertstoffrückgewinnung aus Produktresten, Abfällen und Abwässern (z.B. Wein, Most und Saft durch Filtration und Zentrifugation, Pellets aus Zuckerindustrie)
- Produktionswasserkreisläufe und Mehrfachverwendung sowie Änderung der Transport-, Reinigungs- und Kühlverfahren (z.B. Gegenstromwäsche, Laugenkreisläufe, CIP-Anlage, Kühlkreisläufe)
- Hinweise zum allgemeinen Betrieb (Personalschulung zum sparsamen Gebrauch mit Wasser, Leckagenkontrolle, Wassersparventile oder Kugelhähne etc.)
- Abwasserbehandlung (mechanisch, chemisch, biologisch).

### 7.1.2 Betriebliche Maßnahmen zur Abwasserbehandlung

Aufgrund steigender Abwasser- und Deponiekosten bietet sich die betriebliche Abwasservorreinigung oder Abwasservorbehandlung an. Zur Vorbehandlung wird die Neutralisation oder der Mengenausgleich (Speicherung, Konzentrationsausgleich) durchgeführt, zur Vorreinigung wird auf die mechanisch-physikalische, chemisch-physikalische oder biologische Reinigung zurückgegriffen.

Ein weiterer Grund zur Abwasservorbehandlung ist, dass die Abwässer der Ernährungsindustrie aufgrund ihrer organischen Belastung problematisch bezüglich ihrer Einleitung in kommunale Kläranlagen sind. Sie enthalten zahlreiche energiereiche Verbindungen, wie Eiweißstoffe, Peptide, Aminosäuren, Zucker, Kohlenhydrate, Fette, Alkohole etc. Die Beschaffenheit und die Menge der Abwässer sind außerdem je nach Fabrikationszweig, Produktionsverfahren und Natur des Rohmaterials verschieden. Hier erweist sich eine Abwasservorbehandlung in modernen, kleinräumigen und hochbelastbaren Anaerobanlagen als sinnvoll, auch unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten. In der Anlage erfolgt nach einer mechanischen Klärung und Belüftung der Substanzen eine anaerobe Ausfäulung des Klärschlammes in Faultürmen mit Hilfe von Bakterien. Dies setzt voraus, dass der Klärschlamm frei von chemischen Inhaltsstoffen ist, die eine solche Ausfäulung behindern. Es entsteht ein Biogas (Klärgas), das rund 60 bis 70 % brennbares Methan (CH<sub>4</sub>) sowie unbrennbares Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) enthält. Das Klärgas kann entweder zur Wärmeerzeugung direkt verfeuert oder zur Stromerzeugung in Gasmotoren oder Gasturbinenanlagen eingesetzt werden.

In vielen Unterbranchen der Ernährungsindustrie kommen hohe Abwasserverschmutzungen durch vermeidbare Produktverluste zu Stande. Wenn die Rückhaltung der festen und flüssigen Stoffe verbessert wird, steigt somit die Produktivität und gleichzeitig sinken die Kosten für die Abwasserreinigung. Abfall- und Abwasserproblematik können deshalb nicht getrennt voneinander betrachtet werden (siehe

auch Abschnitt 7.2). Möglichkeiten zur Verwertung von Rest- und Abfallstoffen sind z.B. die Energiegewinnung (Verbrennung), die anaerobe Feststoffbehandlung oder die Kompostierung von Abfällen sowie die Stoffrückgewinnung. Die wirtschaftliche Wertstoffrückgewinnung wird heute jedoch durch die übliche Praxis der Erfassung und Entsorgung von Gesamtemissionen (end-of-pipe-Betrachtung) erschwert. Durch die Zusammenführung aller Teilströme im Abwasserkanal und die Durchführung von Gesamtabwasser-Reinigungsmaßnahmen wird die gezielte Entsorgung/Verwertung vorhandener Reststoffe verhindert. Werden Teilabwässer nach Möglichkeit in unmittelbarer Nähe ihrer Entstehung einzeln erfasst, so kann dagegen die Rückgewinnung von Wertstoffen oder eine Umwandlung von Inhaltsstoffen in Wertstoffe erfolgen.

Zusammenfassend kann für die Abwasserbehandlung festgehalten werden, dass diese durch nachsorgende Verfahren zur Vermeidung und Minderung der Verunreinigung des Wassers erfolgt. Abwasser entsteht bei verschiedenen Vorgängen sowohl durch den Wasserverbrauch bei Produktion und Reinigung als auch bei der Trocknung von Produkten der Nahrungsmittelindustrie. Es sollten vorrangig prozessintegrierte BVT eingesetzt werden, die sowohl den Verbrauch als auch die Verunreinigung des Wassers reduzieren. Erst danach kann die Auswahl der Abwasserbehandlungsverfahren getroffen werden, wobei im Einzelfall zu prüfen ist, ob es besser ist, das Abwasser aus Anlagen der Nahrungsmittelindustrie auf dem Betriebsgelände oder außerhalb zu behandeln, mit Ausnahme einiger Abwasservorbehandlungsverfahren. Für die Behandlung der Abwässer aus Anlagen der Ernährungsindustrie umfassen die BVT eine geeignete Kombination der folgenden Punkte:

- Entfernen der groben Feststoffe mittels Rechen/Sieben am Anfallort
- Fettentfernung mittels Fettabscheider in der Anlage der Nahrungsmittelindustrie, sofern das Abwasser tierische oder pflanzliche lipophile Stoffe enthält
- Vergleichmäßigung (Misch- und Ausgleichsbecken) von Abwasserabfluss und -belastung
- Einsatz eines Neutralisationsverfahrens bei stark alkalischem oder saurem Abwasser
- Einsatz von Sedimentationsverfahren bei Abwasser, das suspendierte Feststoffe enthält
- Einsatz von Entspannungsflotationsverfahren, falls geeignet
- Einsatz von biologischen Behandlungsverfahren. Aerobe und anaerobe Verfahren, die im Bereich der Nahrungsmittelproduktion eingesetzt werden
- Nutzung von  $\text{CH}_4$ -Gas, das während der anaeroben Behandlung entsteht, zur Gewinnung von Wärme und/oder Energie.

## 7.2 Verwertung von Bioabfall und Abfallrecycling in der Ernährungsindustrie

Die wiederholte und effiziente Nutzung von Rohstoffen ist sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll und wird von der Ernährungsindustrie befürwortet. Beispielsweise hat die maximale Materialausnutzung in der Vergangenheit zu einer Verringerung des Abfallaufkommens geführt. Ansatzpunkte bestehen für die Ernährungsindustrie insbesondere im Recycling von gebrauchten Lebensmittelverpackungen sowie der stofflichen und energetischen Nutzung von Rohstoffen und Koppelprodukten aus der Lebensmittelproduktion.

In vielen Fällen können zum Beispiel Stoffe, die im Prozess anfallen, rückgewonnen und wiederverwertet werden, indem sie als Tierfutter verkauft werden können. Das hat sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile.

Die energetische Verwertung der organischen Reststoffe in der Ernährungsindustrie vereint zwei Vorteile: Auf der einen Seite können die Entsorgungskosten erheblich reduziert werden, auf der anderen Seite kann mit der Verfeuerung von Biomasse oder Biogas ein wesentlicher Beitrag zur Energieversorgung des Betriebes geleistet werden.

Biomasse kann in Form fester Reststoffe, als Biogas aus fermentierter organischer Masse oder als Klärgas aus der Schmutzwasseraufbereitung genutzt werden.

Feste Reststoffe wie Reis-, Nuss- oder Sonnenblumenkernschalen, Rapsschrot, Zuckerrübenschnitzel, Fruchtschalen etc. können in Kesselanlagen verfeuert und zur Warmwasser- oder Dampferzeugung genutzt werden. Um beispielsweise den Wärmebedarf eines Rapsöl herstellenden Betriebes zu decken, reicht im Allgemeinen die Verfeuerung von etwa 50 % des anfallenden Rapschrotes aus. Alternativ kann der Dampf zunächst zur Stromerzeugung in einer Dampfturbine eingesetzt werden und anschließend zur Deckung des Wärmebedarfs dienen.

Organische Reststoffe, die nicht direkt verfeuert werden können, sind in der Regel gut zur Biogaserzeugung geeignet. Das feuchte organische Material wird in einem Reaktor durch Mikroorganismen und anaerobe Fermentation biochemisch abgebaut, und es entsteht ein Gemisch aus Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) und Stickstoff ( $\text{N}_2$ ). Das erzeugte Biogas weist einen Methangehalt von 50 bis 60 % auf und einen Heizwert von etwa  $21,6 \text{ MJ/m}^3$ . Es ist flexibel zur Wärmeerzeugung in Kesseln sowie als Treibstoff für Verbrennungsmotoren oder Gasturbinenanlagen einsetzbar.

Auch wenn Biogasanlagen in der Ernährungsindustrie heute noch verhältnismäßig selten anzutreffen sind, so ist doch eine große Vielfalt von Reststoffen aus der Ernährungsindustrie als Einsatzstoff für die Biogaserzeugung geeignet, z.B.

- Obst-, Getreide-, Kartoffelschlempen
- Malztreber, Malzkeime und Hopfentreber
- Trester, Trub, Schlamm aus Brauereien, Weinherstellung, Brennereien

- Teigabfälle, Hefe und hefeähnliche Rückstände
- Melasserückstände
- Molke
- Ölsaatenrückstände, Pflanzenöle und Fettabfälle sowie Schlämme aus der Speisefett- und Speiseölproduktion
- Rückstände aus der Mais-, Weizen- und Kartoffelstärkeproduktion
- tierische Reststoffe wie Pansen-, Magen-, Darminhalte, Innereien, Geflügel- und Fischabfälle, Blut.

Der Einsatz dieser Technik in der Ernährungsindustrie ist daher prinzipiell vielfältig, so z.B. in Brauereien und Brennereien, in Kartoffeln verarbeitenden Betrieben, in Zucker-, Tiermehl- oder Hefefabriken, in der Milchverarbeitenden Industrie, bei der Stärkeherstellung etc.

### 7.3 Praxisbeispiele

Folgendes Praxisbeispiel eines Unternehmens aus der Süßwarenindustrie verdeutlicht, welche Einsparungen durch ressourcenschonende Wasserverwendung erreicht werden können. Das Unternehmen hatte durch häufige Produktwechsel und eine Erweiterung der Produktion ein Ansteigen des Frischwasserverbrauchs für die Reinigung festgestellt. Eine Wiederaufbereitung des Reinigungswassers war mit bestehenden Verfahren nicht möglich, da das Medium mit allergenen Rückständen von Nüssen, Gluten und Ei belastet war. Ein Großteil des Abwassers musste unbehandelt in das Abwassernetz eingespeist werden. Durch ein innovatives Membranverfahren konnte ein Teil des Reinigungswassers wieder aufbereitet werden. Die Rückführung des aufbereiteten Prozesswassers in die Vorstufe des Reinigungsprozesses senkt den Frischwasserbedarf und die Abwassermenge um 52.000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Darüber hinaus muss das gewonnene Prozesswasser im Gegensatz zu Frischwasser für den Reinigungsprozess nicht mehr aufgeheizt werden. Weitere Maßnahmen in diesem Unternehmen:

Maßnahme	Investition	Einsparung in €/Jahr
Reduzierung des Einsatzes von Einwegholzpaletten	keine	20.000 € und Abfallvermeidung von 350 t Holz
Anschluss weiterer Produktionsanlagen an die zentrale Reinigungsanlage mit der Benutzung von Sekundärwasser	20.000 €	22.500 €
Verbesserung der Nutzung von Sekundärwasser in der Containerwaschanlage	20.000 €	45.000 € und Wassersparnis von 15.000 m <sup>3</sup> /a

Tabelle 7-1: Beispielmaßnahmen eines Unternehmens aus der Süßwarenindustrie

Ein weiteres Praxisbeispiel betrifft die Errichtung einer standortangepassten Reststoffnutzungsanlage zur Biogasgewinnung aus Produktionsabwässern. Ein mittelständischer Lebensmittelbetrieb plant die Errichtung einer Behandlungsanlage für Produktionsabwasser. Die im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe sollen durch anaerobe Prozesse zur Biogasherstellung und damit als Ersatz von Erdgas zur Energiegewinnung genutzt werden. Bisher wird das Produktionsabwasser mechanisch bzw. physikalisch über ein Bogensieb und einen Schrägklärer vorgereinigt und im Anschluss über die Kanalisation in die kommunale Kläranlage geleitet.

Mit einer neuen Anlage, einem sogenannten „DANA“ Reaktor („dynamisches anaerob aerob System“), soll das vorgereinigte Abwasser weiter behandelt werden. Im „DANA“ Reaktor wird eine anaerobe Behandlung mit einem aeroben Schwebbettverfahren zur Nachbelüftung in einem Tank realisiert. Als anaerobes Teilverfahren kommt ein „downflow anaerobic carrier system“ (DACs) zum Einsatz. Diese Verfahrensweise mit einem biobewachsenen Trägermaterial soll ein Verfahren ohne aufwendige Abscheider für die Trennung von Biogas, gereinigtem Wasser und Biomasse ermöglichen.

Im von oben nach unten durchströmten Anaerobreaktor sollen 80 % der organischen Belastung abgebaut werden und dabei etwa 90 m<sup>3</sup>/h Biogas mit einem Methangehalt von 80 % entstehen. Anschließend erfolgt im baulich darüber befindlichen Reaktorteil eine Belüftung in Form eines aeroben Schwebbettverfahrens. Dabei werden geruchsintensive Verbindungen abgebaut. Um Erdgasqualität zu erzielen, wird das erzeugte Biogas anschließend getrocknet und entschwefelt. Das Biogas soll rund 600.000 m<sup>3</sup> Erdgas pro Jahr ersetzen. Dadurch können etwa 1.100 t CO<sub>2</sub> pro Jahr vermieden werden.

Die Biogasnutzung lässt sich für fast alle Unterbranchen der Ernährungsindustrie anwenden. Auch für einen Weizenstärke herstellenden Betrieb wurden beispielsweise unterschiedliche Alternativen zur Verwertung der kohlehydratreichen Produktionsabwässer in Erwägung gezogen. Der energie- und kostenintensiven Eindampfung wurde die Errichtung einer betriebseigenen Abwasserbehandlung vorgezogen. Aus dem kohlenhydratreichen Abwasser werden im Fermenter jährlich bis zu 1.500.000 m<sup>3</sup> Biogas mit einem Heizwert von etwa 19,3 MJ/m<sup>3</sup> erzeugt. Das Biogas wird zu einem geringen Anteil zur Beheizung des Fermenters eingesetzt. Der Rest wird in einem Dreizugkessel üblicher Bauart für die Dampferzeugung verwendet, lediglich der Brenner musste angepasst werden. Der Kessel gibt eine thermische Nettoleistung von bis zu 1 MW ab.

#### 7.4 Literaturverzeichnis

- 1) Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung: Technische Trends der industriellen Wassernutzung, Karlsruhe 2008.
- 2) Meyer, J.; Kruska, M.; Kuhn, H.-G.; Sieberger, B.-U.; Bonczek, P.: Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie. Leitfaden für die betriebliche Praxis, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- 3) Rosenwinkel, K.-H.; Brinkmeyer, J.: Wasserrecycling in der Lebensmittelindustrie. In: 73. Darmstädter Seminar „Wasserwiederverwendung - Eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?“, Schriftenreihe WAR, TU Darmstadt, Band 159, S. 75ff, 2004.
- 4) Umweltbundesamt: Stand der Abwassertechnik in verschiedenen Branchen, Berlin 1995.
- 5) Umweltbundesamt: Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie, Dessau 2005.

## 8 Anhang

### 8.1 Glossar

#### **Abwärmenutzung**

Die bei einem Prozess anfallende Abwärme wird in anderen Prozessen verwendet. Hierdurch ist eine erhebliche Energieeinsparung möglich. Die Möglichkeit der Abwärmenutzung ist von der Wärmeleistung und den Temperaturen des wärmeabgebenden und des wärmeaufnehmenden Prozesses abhängig. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Gleichzeitigkeit zwischen den Prozessen.

#### **Amortisationszeit**

→ Kapitalrückflusszeit

#### **Arbeitspreis**

Der Arbeitspreis ist der Preis für den verbrauchten Strom in Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh). Unterschieden wird zwischen → Hochtarif und dem deutlich günstigeren Niedrigtarif.

#### **Beleuchtungsstärke**

Quotient aus dem auf einer Fläche auftreffenden Lichtstrom und der beleuchteten Fläche. Die Einheit ist Lux (lx). Bei der Planung von lichttechnischen Anlagen wird die Beleuchtungsstärke als Basis zugrunde gelegt.

#### **BHKW**

Blockheizkraftwerk zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung, → „Kraft-Wärme-Kopplung“.

#### **Brennstoffe**

Brennstoffe sind aufbereitete Primärenergieträger. Die Energie ist chemisch gebunden und wird mit einem Verbrennungsprozess in Wärme umgewandelt, die für nachfolgende Umwandlungsschritte verwendet wird. Beispiele für Brennstoffe sind Erdgas, Kohle, Heizöle, Holz, Papier oder Abfälle.

#### **Brennwertkessel**

Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen in erster Linie CO<sub>2</sub> und Wasserdampf. Im Brennwertkessel, auch als Kondensationskessel bezeichnet, werden die Abgase mit Hilfe des Heizungsrücklaufes abgekühlt, sodass der darin enthaltene Wasserdampf kondensiert. Die freiwerdende Verdampfungswärme wird im Heizungssystem genutzt.

Brennwertkessel haben daher gegenüber herkömmlichen Kesseln eine höhere Brennstoffausnutzung; bei Erdgas sind es bis zu 10 % mehr, bei Heizöl bis zu 5 %.

### **Bruttoproduktionswert**

Gesamtleistung des Unternehmens.

### **Endenergie**

Ist der Energieinhalt aller gehandelten primär und sekundären Energieträger, die das Unternehmen (Endverbraucher) bezieht (Bezugsenergie), vermindert um den des nichtenergetischen Verbrauchs und den Energieeinsatz bei der Eigenerzeugung von Strom und Gas beim Endverbraucher (nach VDI-Richtlinie VDI 4661).

### **Energieumwandlung**

Unter Energieumwandlung wird die Umwandlung von einer Energieart in eine andere verstanden. Die Verbrennung von Kohle ist zum Beispiel die Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie, eine Solarzelle wandelt die Strahlungsenergie des Lichtes in elektrische Energie um, in einer wieder aufladbaren Batterie wird beim Laden elektrische in chemische Energie umgewandelt, bei der Entladung derselben chemische in elektrische Energie.

### **Energieverbrauch**

Der Begriff „Energieverbrauch“ wird umgangssprachlich verwendet. Korrekter Weise sollten die Begriffe Energienutzung, Energieeinsatz oder Energiebedarf benutzt werden, da Energie aufgrund des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik weder erzeugt noch verbraucht werden kann, sondern immer nur in eine andere Energieform überführt wird.

### **Fernwärme**

Transport von thermischer Energie in einem wärmegeämmten, überwiegend erdverlegten Rohrsystem vom Erzeuger oder der Sammelstelle der Abwärme zur Zentralheizung der Verbraucher, meist zur Heizung von Gebäuden. Unter Fernheizung wird die Erschließung ganzer Städte oder ganzer Stadtteile verstanden. Bei der örtlichen Erschließung einzelner Gebäude, Gebäudeteile oder kleiner Wohnsiedlungen mit eigener Wärmeerzeugung spricht man auch von → Nahwärme.

### **Grundlast**

Die ständig benötigte Leistung in einem Unternehmen (einem Energiesystem). Der Begriff wird hauptsächlich für den Energieträger Strom verwendet. Die Grundlast kann zum Beispiel durch folgende Anlagen verursacht werden: Kühlaggregate, Geräte in Stand-By-Betrieb, Haus- und Versorgungstechnik (Umwälzpumpen, etc.), Telekommunikations- und EDV-Anlagen im Dauerbetrieb, Klimatisierung, Beleuchtung.

### **Heizwert**

Der Heizwert ist der Messwert für die Wärme (Energie), die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes pro Volumen oder Masse freigesetzt werden kann. Beim Heizwert wird unterschieden zwischen dem oberen Heizwert und dem unteren Heizwert. Der obere Heizwert, auch als Brennwert bezeichnet, schließt die Energie, die bei der Kondensation des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs freigesetzt wird, mit ein und ist deshalb höher als der untere Heizwert. Der untere Heizwert errechnet sich aus dem oberen Heizwert abzüglich der Verdampfungswärme des Wassers.

### **Hilfsenergie**

Zumeist elektrische Energie, die zum Beispiel für Pumpenantriebe und Schalteinrichtungen genutzt wird.

### **Hochtarif**

In der Hochtarifzeit (tagsüber) ist der Strom teurer als in der Niedertarifzeit. Zwischen 22 Uhr und 6 Uhr gilt der → Niedertarif, während der restlichen Zeit der Hochtarif. Da in der Nacht der allgemeine Strombedarf geringer ist, ist der Niedertarif im Preis deutlich günstiger. Die Netzlast und somit die Ausnutzung der Kraftwerke ist tagsüber höher.

### **Jahresnutzungsgrad einer Wärmeerzeugungsanlage**

Quotient aus der von einer Heizungsanlage abgegebenen Nutzwärme und der eingesetzten Brennstoffenergie.

### **Jahreswärmeverbrauch**

Die gesamte jährliche Wärmeenergie, die benötigt wird, d.h. auch die Wärmemenge außerhalb der Heizperiode.

### **Kapitalrückflusszeit**

Zeitraum, bis die Summe der Einzahlungsüberschüsse eines Investitionsobjektes (statische Amortisationsrechnung) oder deren Kapitalwert (dynamische Amortisationsrechnung) die Anschaffungsausgaben übersteigt. Kann zur Beurteilung des Risikos einer Investition verwendet werden. Mit der Kapitalrückflusszeit kann aber keine Aussage über die Rentabilität einer Investition getroffen werden.

### **Kilowatt (kW)**

Maßeinheit für die Leistung(-sfähigkeit) von Energie.

### **Kilowattstunde (kWh)**

Maßeinheit für die Energie:  $\text{Arbeit} = \text{Leistung} \times \text{Zeit}$

### **Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)**

Gasförmige, farb- und geruchlose, nicht brennbare Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff. CO<sub>2</sub> entsteht bei allen Zersetzungs- und Verbrennungsprozessen organischer Materie und bei allen Verbrennungs- und Atmungsvorgängen. Es ist einer der Hauptverursacher des Treibhauseffekts.

### **Kraft-Wärme-Kopplung**

Gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in einer Anlage. Dieses Prinzip erhöht die Ausnutzung der in Brennstoffen gespeicherten Energie. Ein konventionelles Kraftwerk hat eine „Abwärmtemperatur“ von etwa 50 bis 80 °C, für eine effiziente Wärmenutzung ist jedoch eine höhere Temperatur erforderlich, etwa 100 bis 130 °C. Dies führt zu einem etwas geringeren Verstromungswirkungsgrad bei gleichzeitig deutlich verbesserter Abwärmennutzung (Steigerung des Gesamtwirkungsgrades).

### **Lastmanagement**

Das Lastmanagement dient der Kontrolle der elektrischen Spitzenleistung.

### **Lastmanagementsystem**

Durch den gleichzeitigen Betrieb von Verbrauchern kann es zu erhöhten Lastspitzen und damit zu unnötig hohen Energiekosten kommen. Das Lastmanagementsystem greift hier aktiv ein und senkt selbstständig Leistungsspitzen, indem Verbraucher gezielt, das heißt unter Beachtung definierter Vorgaben, abgeschaltet werden.

### **Lastspitze**

Die Lastspitze ist der Ausdruck für die Maximalleistung. Der Begriff wird hauptsächlich für den Energieträger Strom verwendet. Je mehr Verbraucher in einem Unternehmen innerhalb eines Bemessungszeitraums aktiv sind, umso höher ist die Maximalleistung. Lastspitzen lassen sich vermeiden und kappen, wenn die Aktivität einzelner und energieintensiver Verbraucher gezielt in Zeiten mit niedriger Leistungsabnahme verschoben wird.

### **Leistungspreis**

Der Leistungspreis ist der Grundpreis für den Stromanschluss. Die Höhe des Leistungspreises richtet sich jedoch nach der maximalen elektrischen Leistung, die bezogen wird. Werden bei einem Unternehmen z.B. morgens alle Anlagen gleichzeitig eingeschaltet, ergibt sich kurzzeitig eine Leistungsspitze, die einen hohen Leistungspreis nach sich zieht. Werden die Anlagen dagegen zeitlich versetzt in Betrieb genommen, lassen sich diese Spitze und damit auch der Leistungspreis deutlich senken. Der Stromverbrauch wird separat als → Arbeitspreis berechnet.

### **Nahwärme**

Als Nahwärme wird die Übertragung von Wärme zwischen Gebäuden zu Heizzwecken umschrieben, wenn die Wärmeübertragung im Vergleich zur → Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken erfolgt.

### **Niedertarif**

Zu Zeiten niedrigen Stromverbrauchs (22:00 bis 6:00 Uhr) bieten die Stromversorger günstige Tarife an. Vergleiche auch → Hochtarif.

### **Nutzungsgrad**

Im Gegensatz zum → Wirkungsgrad wird beim Nutzungsgrad das Verhältnis von gewonnener zu aufgewendeter Energie über einen bestimmten Zeitraum (z.B. ein Jahr) betrachtet.

### **Primärenergie**

Unter dem Begriff „Primärenergie“ beziehungsweise „Primärenergieträger“ werden die Energieträger zusammengefasst, die in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden, zum Beispiel fossile Brennstoffe (wie Kohle, Erdöl, Erdgas), eingestrahlte Sonnenenergie, Biomasse oder Natururan.

### **Stromlastspitze**

→ Lastspitze

### **Wärmerückgewinnung**

Wärmerückgewinnung ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur Wiedernutzbarmachung der thermischen Energie eines den Prozess verlassenden Massenstromes.

### **Wärmeübertrager – Wärmeaustauscher**

Wärmeübertrager – auch Wärmetauscher genannt – sind Apparate, in denen Wärme von einem Medium auf ein anderes übertragen wird. Verschiedene Bauarten von Wärmeaustauschern werden unterschieden: Kriterien sind die Strömungsrichtung der wärmeübertragenden Medien (Gegen-, Gleich- und Kreuzstrom) zueinander und die Bauform der Wärmeübertragungsflächen (Platten, Röhren). Zusätzlich gibt es noch einige Sonderformen wie zum Beispiel Rekuperatoren.

### **Wirkungsgrad**

Verhältnis von abgegebener und aufgenommener Leistung bei Energieumwandlungen.

## 8.2 Umrechnungsfaktoren

### Energie

	J	kcal	kWh
J	-	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$
kcal	4.187	-	$1,16 \cdot 10^{-3}$
kWh	$3,6 \cdot 10^6$	860	-

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2 = 1 \text{ Ws}$$

$$1.000 \text{ kWh} = 1 \text{ MWh}$$

$$1.000 \text{ MWh} = 1 \text{ GWh}$$

$$1.000 \text{ GWh} = 1 \text{ TWh}$$

### Druck

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^3 \text{ hPa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ kg/(ms}^2)$$

### Temperatur

$$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \Rightarrow x \text{ }^\circ\text{C} = (x + 273,15) \text{ K}$$

### Primärenergiefaktoren

Folgende Faktoren dienen zur Umrechnung von Endenergie in Primärenergie. Bei den fossilen Energieträgern sind vereinfachend die Umwandlungs- und Transportverluste nicht berücksichtigt.

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 0,37 \text{ kWh}_{\text{el}} \text{ bzw. } 1 \text{ kWh}_{\text{el}} = 2,70 \text{ kWh}_{\text{PE}}$$

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 0,85 \text{ kWh}_{\text{th}} \text{ bzw. } 1 \text{ kWh}_{\text{th}} = 1,18 \text{ kWh}_{\text{PE}}$$

$$1 \text{ kWh}_{\text{PE}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Erdgas}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Heizöl}} = 1,00 \text{ kWh}_{\text{Kohle}}$$

### Heizwerte und Stoffdaten

Energieträger <sup>1)</sup>	Heizwert H <sub>u</sub>				Dichte <sup>2)</sup> kg/m <sup>3</sup>
	kWh/kg	MJ/kg	kWh/m <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup>	
Steinkohle	8,178	29,441	-	-	-
Braunkohle	2,444	8,798	-	-	-
Heizöl EL	11,844	42,638	9.830,5	35.389,5	830
Heizöl S (1 % S)	11,217	40,381	10.656,2	38.362,0	950
Flüssiggas	12,775	45,990	7.409,5	26.674,2	580
Erdgas L	12,492	44,971	9,369	33,728	0,75 <sup>3)</sup>
Erdgas H	13,044	46,958	10,044	36,158	0,77 <sup>3)</sup>
Holz	3,611	13,000	-	-	-

<sup>1)</sup> Werte nach GEMIS; Ökoinstitut e.V., Freiburg

<sup>2)</sup> bei 15 °C

<sup>3)</sup> Normdichte

### Emissionsfaktoren

Energieträger <sup>1)</sup>	spezifische CO <sub>2</sub> -Emission		
	(Vorkette)	(Brennstoff)	(Summe)
	kg/MWh <sub>End</sub>	kg/MWh <sub>End</sub>	kg/MWh <sub>End</sub>
Steinkohle	27,95	336,0	364,0
Braunkohle	13,73	416,9	430,6
Heizöl EL	36,61	268,1	304,7
Heizöl S (1 % S)	45,53	283,6	329,1
Flüssiggas	64,08	229,5	293,6
Erdgas L	18,32	198,5	216,9
Erdgas H	18,32	206,0	224,3
Holz	1,49	365,0	366,5

1) Werte nach GEMIS; Ökoinstitut e.V., Freiburg

### 8.3 Abkürzungen

AKM	Absorptionskältemaschine
ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BSB	biologischer Sauerstoffbedarf
BVT	Beste Verfügbare Technik
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO	Kohlenmonoxid
CIP	Cleaning in place
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
DAkKS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DACS	downflow anaerobic carrier system
DANA	dynamisches anaerob aerob System
Dena	Deutsche Energie-Agentur
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DINÖ	Nachhaltigkeitszertifikat der deutschen Institute für Nachhaltigkeit und Ökonomie
EDMS	Energiedaten-Management-System
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EKZ	Energiekennzahl/Energiekostenkennzahl
el./elektr.	elektrisch
EM	Energiemanagement
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EN	Europäische Norm
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz

EnEV	Energieeinsparverordnung
EnMS	Energiemanagementsystem
EVG	elektronische Vorschaltgeräte
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FU	Frequenzumrichter
FuE	Forschung und Entwicklung
Gt	Gradtagszahl
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
HD-Dampf	Hochdruckdampf
HEL	leichtes Heizöl
HT-Motor	High-Torque-Motor
IE	International Efficiency, Effizienzklassen für Asynchronmotoren nach der IEC 60034-30, IE1 - Standard E., IE2 - High E., IE3 - Premium Efficiency
IR.C	Impuls-Infrarot auf Basis funktioneller Keramiken
IHK	Industrie- und Handelskammer
ISO	Internationale Organisation für Normung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KKM	Kompressionskältemaschinen
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KVG	konventionelle Vorschaltgeräte
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LED	Light Emitting Diode (Leuchtdiode)
LNG	Liquefied Natural Gas
MBHKW	Motorblockheizkraftwerke
mech.	mechanisch

Mio.	Millionen ( $10^6$ )
Mrd.	Milliarden ( $10^9$ )
N <sub>2</sub>	Stickstoff
ND-Dampf	Niederdruckdampf
NGF	Nettogrundfläche
NGO	Nichtregierungsorganisation
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NRW	Nordrhein-Westfalen
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
PDCA-Zyklus	Plan-Do-Check-Act-Zyklus
PIUS-Check	Check für produktionsintegrierten Umweltschutz
PSA	Pressure Swing Adsorption (Druckwechsel-Adsorptionsanlage)
PV	Photovoltaik
RLT-Anlagen	Raumluftechnische Anlagen
ROI	Return on Investment (Kapitalrentabilität)
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
SpaEfV	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
StromStG	Stromsteuergesetz
TH	Technische Hochschule
THG	Treibhausgase
th./therm.	thermisch
TK	Tiefkühl
TNV	Thermische Nachverbrennung
TS	Trockensubstanz
TWD	transparente Wärmedämmung
Ü	Überdruck
UF	Ultrafiltration
UV	Ultraviolett
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient

UHT	Ultrahocherhitzung (ultra high temperature)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VVG	verlustarme Vorschaltgeräte
WRG	Wärmerückgewinnung
WT	Wärmetauscher
WZ 2003	Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2003
WZ 2008	Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2008
ZNU	Zentrum für Nachhaltige Unternehmensführung

## 8.4 Einheiten

$\mu\text{m}$	Mikrometer
$\eta$	Lichtausbeute
$\vartheta$	Temperatur
$\Delta T$	Temperaturdifferenz
a	Jahr
bar	bar
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
cm	Zentimeter
ct	Cent
d	Tag
E	Beleuchtungsstärke
€	Euro
GHz	Gigahertz
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde
$H_o$	oberer Heizwert
$H_u$	unterer Heizwert
Hz	Hertz
J	Joule
K	Kelvin
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
lx	Lux
ml	Milliliter
mm	Millimeter

m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MHz	Megahertz
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
$\dot{Q}$	Wärmestrom
R <sub>a</sub>	Farbwiedergabe
s	Sekunde
t	Tonne
t	Zeit
TWh	Terrawattstunde
V	Volt
$\dot{V}$	Volumenstrom
W	Watt

## 8.5 Checklisten

Checkliste 1: Fragebogen erste Betriebsdatenerfassung

### Fragebogen erste Betriebsdatenerfassung

#### Erläuterungen zum Ausfüllen

---

Bitte zurücksenden an:

**Siemens AG**  
Sustainability & Energy Management  
Neuenhofstr. 194  
D-52078 Aachen

Rückfragen bitte an:

Herrn / Frau.....  
Tel.: +49 241 / 451-  
Fax: +49 241 / 451-

---

**1. Um die Fragen zu beantworten ist es von Vorteil, wenn Sie folgende Dokumente bereithalten**

- ◆ Stromrechnungen
- ◆ Erdgasrechnungen
- ◆ Lieferscheine und Rechnungen für Heizöl, Flüssiggas, Kälte etc.
- ◆ Wasser/Abwasserrechnungen
- ◆ Gebührenbescheid für Schmutzwassereinleitung

**2. Füllen Sie bitte nur die Felder aus, für die Sie Informationen griffbereit haben**

**3. Bei Fragen rufen Sie uns bitte an**

**Das Ausfüllen des Fragebogens sollte nicht mehr als  
1 bis 3 Stunden dauern**

## Energieaudit / Grobanalyse

### Betriebserfassung

Bitte zurücksenden an:

**Siemens AG**  
Sustainability & Energy Management  
Neuenhofstr. 194  
D-52078 Aachen

Rückfragen bitte an:

Herrn / Frau.....  
Tel.: +49 241 / 451-  
Fax: +49 241 / 451-

<b>Daten für das Jahr</b>	2009	<b>Datum</b>	11.07.2010
1.1 Name des Betriebs	Musterbetrieb GmbH		
1.1 Anschrift des Betriebs	Straße,Nr.	PLZ, Ort	
	Irgendwoallee 25-27	52072 Aachen	
1.2 Ansprechpartner	Herr/Frau	Funktion	
	Herr Mustermann	Betriebsleiter	
1.2 Telefon, Fax	Tel.	Fax	
	0241 - 1234567	0241 - 1234568	
1.3 Branche	Schlüssel (WZ93/GP95) 17 303	Betriebsart Textilveredelung	
1.4 Produktion	Produktbezeichnung		Produktionsmenge
	Bedruckter Stoff		1.500.000 m <sup>2</sup>
	Gefärbter Stoff		150.000 m <sup>2</sup>
1.5 Umsatz	1.200.000 €		

Mehrere Gebäude und Produktionslinien bitte separat beschreiben. Dazu kopieren Sie bitte die Fragen 1.6 - 1.9. Wenn möglich fügen Sie bitte einen Gebäudeplan zu.

<b>ID des Gebäudes</b>		1
1.6 Flächen und Nutzung	Gebäudenutzfläche*	20.000 m <sup>2</sup>
	Wärmeschutz	gut <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/>
	Produktion	60 % Lagerung 20 %
	Verwaltung	10 % Andere 10 %

\* Bei mehreren Etagen bitte die Nutzflächen addieren. Mehrere Gebäude bitte separat auführen.

<b>ID Produktionslinie</b>		1
1.7 Anzahl der Mitarbeiter	Gesamt	150
	Produktion	120
1.8 Arbeitszeit	Schichten pro Tag	Tage pro Woche
	1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	5 <input checked="" type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/>
	Wochenarbeitsstunden	Jahresarbeitsstunden
80	4500	
1.9 Produktionsstillstand (z.B. Betriebsferien)	von 24. Dez bis 02. Jan	von bis

## Energieaudit / Grobanalyse

### Bezugsmengen und -kosten

Abrechnungsjahr	2009
-----------------	------

<b>Strombezug</b>		Gesamtkosten
2.1	Stromversorger: <input type="text" value="Stadtwerke Aachen"/> Vertrag vom: <input type="text" value="Mai '08"/>	417.000 €
2.2	Arbeit-gesamt	4.365.000 kWh
	Arbeit-HT	3.615.000 kWh
2.3	Blindarbeit	120.000 kvarh   cos f *
2.4	Jahresverrechnungsleistung	1.028 kW
2.5	Spannungsebene der Anschlussstelle	NS <input type="checkbox"/> (400V-10kV) MS <input checked="" type="checkbox"/> (10-100kV) HS <input type="checkbox"/> (>100kV)
2.6	Eigenstromerzeugung	nein <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> Jahresstromproduktion <input type="text" value="305.600"/> MWh
	Notstromaggregat <input type="checkbox"/>	BHKW <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="text" value="Windkraftanlage"/>
2.7	USV/Batterien <input type="checkbox"/>	mit <input type="text"/> kW <sub>el</sub>
2.8	Spitzenlastmanagement	nein <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> abschaltbare Leistung <input type="text"/> kW <sub>el</sub>

\*bitte streichen Sie die nicht zutreffende Einheit

<b>Erdgasbezug</b>		Gesamtkosten
2.9	Gasversorger: <input type="text" value="Stadtwerke Aachen"/> vollversorgt <input type="checkbox"/> abschaltbar <input checked="" type="checkbox"/>	132.700 €
2.10	Bezugsmenge	7.963.700 kWh
	Leistung	Vertragsleistung: 12.000 kWh/d Tageshöchstleistung: 9.700 kWh/d
	Grundpreis, Gebühren o.ä.	Beschreibung

<b>Heizölbezug</b>		Gesamtkosten
2.11	leichtes Heizöl <input checked="" type="checkbox"/> schweres Heizöl <input type="checkbox"/>	
	Bezugsmenge	195.000 Liter
	Grundpreis, Gebühren o.ä.	Beschreibung

<b>Weitere Energieträger*</b>		Bezeichnung des Energieträgers	Gesamtkosten
2.12	z.B. Dampf, Fernwärme, Kohle, Druckluft, Kälte, Flüssiggas, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	
	Bezugsmenge	68.300 kg	14.800 €
	Grundpreis, Gebühren o.ä.	Beschreibung: Tankmiete	3000 €

<b>Wasserbezug</b>		Wasserversorger: <input type="text" value="Stadtwerke Aachen"/>	Gesamtkosten
2.13	Stadtwasser	11.200 m <sup>3</sup>	11.300 €
	Brunnen- und Flußwasser	m <sup>3</sup>	€
	Sonstiges (Weichwasser, etc.)	m <sup>3</sup>	€

<b>Abwasser</b>		Werte aus Gebührenbescheid für das Jahr <input type="text" value="2008"/>	Gesamtkosten
2.14		16.700 m <sup>3</sup>	21.900 €

\*Falls weitere Energieträger existieren, kopieren Sie bitte Frage 2.11

Alle Kosten bitte ohne MwSt angeben

## Energieaudit / Grobanalyse

### Umwandlungsanlagen/Verbrauchsmedien

3.1	Umwandlungsanlage	Technische Angaben		Energieeinsatz*				
	Bezeichnung	Anzahl	Installierte Leistung (kW <sub>el</sub> , kW <sub>th</sub> , t <sub>Dampf</sub> /h, kW <sub>Kälte</sub> )	Dampf	Strom	Erdgas	Heizöl	Sonstiges:
	Heizkesselanlage		1.000 kW			x	x	
	Dampfkesselanlage		500 kW, Dampf			x	x	
	Thermoölanlage							
	Schnelldampferzeuger							
	Kälteanlage, elektrisch		15 kW		x			
	Vakuumerzeugung							
	Absorptionskälteanlage							
	Druckluftkompressor		11 + 11 + 25 kW		x			
	Lüftungs- / Klimaanlage							
	Kraft-Wärme-Kopplung							
	<input type="text"/>							

\*Bitte ankreuzen

3.2	Wärme	Menge	Einheit	Druckniveau (bar <sub>a</sub> )
	erzeugt mittels:			
	Dampf	700	kW	20
	Heißwasser			
	Thermoöl			
	<input type="text"/>			

3.3	Wasser	Menge (m <sup>3</sup> )	aus/von (siehe 2.13)
	Kühlwasser	5000	Flusswasser
	Trinkwasser		
	Betriebswasser		
	<input type="text"/>		

3.4	Lüftung/Klima	Menge	Einheit	Einsatzbereich	Klasse
	temperiert	100.000	m <sup>3</sup>	Raumluft	6
	konditioniert				
	Bereiche mit besonderen Anforderungen (z.B. Reinräume, Rechenzentren o.ä.)				

## Energieaudit / Grobanalyse

### Verbrauchsmedien/Hauptverbraucher

3.5	Kälte	Menge	Einheit	Kühlmittel	Einsatzbereich
		5000	kW	R 407 C	Produktion

3.6	Druckluft	Menge (m <sup>3</sup> /a)	Druck (bar <sub>a</sub> )	Qualität (z.B. ölfrei)	Einsatzbereich
		50.000	5	2	Produktion

3.7	Vakuum	Menge (m <sup>3</sup> /a)	Druck (bar <sub>a</sub> )	Einsatzbereich
		40.000	0,3	Produktion

3.8 Produktionsanlagen - Hauptenergieverbraucher										
Bezeichnung	Anzahl	Installierte Leistung kW <sub>el</sub> , kW <sub>th</sub> , t <sub>Dampf</sub> /h, kW <sub>Kälte</sub>	Dampf	Strom	Erdgas	Heizöl	Sonstiges:			
Spannrahmen	2	350kW <sub>th</sub> , 40kW <sub>el</sub>			x					
Dämpfer	1	1,5 t/h Dampf	x							
Waschmaschine	1	0,5 t/h Dampf	x							
Webmaschine	4	55kW		x						
Färbemaschine	2	30kW		x						
Spulmaschine	4	12kW		x						

Für weitere Hauptverbraucher kopieren Sie bitte die Seite

3.9 Wird in Ihrem Betrieb Abwärme genutzt      nein     ja       kWh/a  
Wenn ja, wo:    Wärmerückgewinnung am Spannrahmen

3.10 Bitte beschreiben Sie die verwendeten Materialien sowie wesentliche Produktionsschritte und -techniken.

Materialien (Rohstoffe, Zwischen- und Endprodukte) \_\_\_\_\_  
Fasern, Garne -> textile Flächengebilde -> nasse und trockene Veredlung

Produktionsschritte (Vorbereitung, Fertigung, Nachbehandlung) \_\_\_\_\_  
Umspulen der Garne, Webvorbereitung, Weben, Waschen, Färben / Bedrucken

Produktionstechniken (Maschinen und Verfahren) \_\_\_\_\_  
Trogwaschmaschine / -färber, pneumatische Webstühle

Falls Sie mehr Platz benötigen, benutzen Sie bitte Blatt 6.

## Energieaudit / Grobanalyse

### Datenerfassung und Energie-Einsparpotenziale

**4.1 Welche Daten werden regelmäßig erfasst?**

Bitte tragen Sie folgende Buchstaben für die verschiedenen Intervalle ein:

T: täglich W: wöchentl. M: monatl. Q: quartalsweise H: halbjährl. J: jährlich

	Strom	Gas	Wasser	Heizöl	Kompressor	
Zählerablesung	M	J	Q	M	M	
Verbrauchs- auswertung	M	-	Q	-	-	
Rechnungs- prüfung	M	J	J	-	-	

**4.2 Das Unternehmen ist zertifiziert nach**

ISO 14.000 ff.  ISO 9.001 ff.  EU-Öko-Audit  Sonstiges: \_\_\_\_\_

**4.3 Gibt es im Unternehmen**

Produktionsplanungssystem

Enterprise Resource Planning

Betriebsdatenerfassungssysteme

**4.4 Wurde bereits eine Energieanalyse o.ä. durchgeführt**

nein  ja  Wann? \_\_\_\_\_

**4.5 Welche Verbesserungspotenziale (technisch, wirtschaftlich, ökologisch) sind Ihnen bekannt, welche Maßnahme zur Energieeinsparung sind in letzter Zeit durchgeführt worden, wo sehen Sie weiterhin Handlungsbedarf?**

Druckluftversorgung ist sehr wartungsintensiv.

Verwendung von Frischwasser zur Kühlung.

Die erneuerten Spannrahmen wurden mit einer Direktfeuerung und integrierter

Abgaswärmenutzung ausgestattet.

**4.6 Haben Sie eine Auslagerung von Technischen Diensten (Contracting) zur betrieblichen Energieversorgung vorgenommen oder ist in näherer Zukunft daran gedacht?**

Es wurden Angebote für ein Wärmecontracting eingeholt.

Wieviel Zeit haben Sie zum Ausfüllen des Fragebogens ungefähr benötigt?

\_\_\_\_\_ 1,5 h

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit**

## Energieaudit / Grobanalyse

### Produktion

---

- Z0** Bitte beschreiben Sie die verwendeten Materialien sowie wesentliche Produktionsschritte und -techniken.

Materialien (Rohstoffe, Zwischen- und Endprodukte)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Produktionsschritte (Vorbereitung, Fertigung, Nachbehandlung)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Produktionstechniken (Maschinen und Verfahren)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Checkliste 2: Erfassungsbogen Energieträger

ENERGIETRÄGER					
Für das Jahr:		Erstellt am:		Erstellt von:	
Energieträger	Menge	Energieinhalt	Energiemenge	Energiepreis	Energiekosten
Einheit	[kWh/a; Nm <sup>3</sup> /a]	Umrechnung <sup>1)</sup>	[kWh/a]	[€/kWh]	[€/a]
Strom	1790	1	1790	0,18	322,2
Gas	1200	10,145	12174	0,06	730,44
andere:					

<sup>1)</sup>Der Gaszähler zeigt den Verbrauch von Erdgas in Kubikmeter (Nm<sup>3</sup>) an. Auf der Jahresrechnung des Energieversorgers aber wird die verbrauchte Erdgasmenge in Kilowattstunden (kWh) abgerechnet. Der am Zähler abgelesene Verbrauch in Kubikmeter muss daher mit einem speziellen Gasumrechnungsfaktor multipliziert werden. Der Gasumrechnungsfaktor variiert je nach Abnahmestelle und wird vom Energieversorger für den jeweiligen Abrechnungszeitraum ermittelt.

### Checkliste 3: Erfassungsbogen Energieabnehmer thermisch

ENERGIEABNEHMER, thermisch						
Für das Jahr:		Erstellt am:		Erstellt von:		
Verbraucher	Nennanschlusswert	Verbrauch	Betriebsstunden	Hersteller/Typ	Alternativenergieträger	Anmerkung
Einheit	[Nm <sup>3</sup> /h]	[Nm <sup>3</sup> /a; kg/a]	[h/d (h/a)]		[-]	
Kessel	45	3600	12	Loos	keine	Baujahr 1998
andere:						

### Checkliste 4: Erfassungsbogen Energieabnehmer elektrisch

ENERGIEABNEHMER; elektrisch						
Für das Jahr:		Erstellt am:		Erstellt von:		
Verbraucher und Verbrauchergruppen	Leistung	Verbrauch	Betriebsstunden	Hersteller/Typ	wegschaltbar	Anmerkung
Einheit	[kW]	[kWh/a]	[h/d (h/a)]		[-]	
Beleuchtung Sommer	50	175000	3500	meist Osram	ja	vorwiegend Leuchtstoffröhren
elektrische Antriebe	100	200000	2000	Wilo	ja	Kühlmittelpumpe Halle 1
andere:						

Checkliste 5: Maßnahmenkatalog

	Ist-Zustand/Maßnahme	Einsparpotenzial			Investition	♻ +/- <sup>1)</sup>
		€/a	MWh/a	t CO <sub>2</sub> /a	€	
1	Max. Druck am Kompressor 9,8 bar/Senkung des Max.Drucks um 1,5 bar	1.500	125	27	--	+
2						
3						
4						
5						
6						
7						

<sup>1)</sup> In dieser Spalte wird eine Bewertung mit Hilfe der Symbole +/- vorgenommen. Die Bewertung erfolgt auf Basis der praktischen Umsetzbarkeit, der Höhe der nötigen Investitionskosten sowie der statischen Amortisationszeit. Bei dieser Bewertung ist es zu empfehlen, auf die Erfahrungswerte von Energiedienstleistern zurückzugreifen.

Checkliste 6: Plan zur Priorisierung von Maßnahmen

Plan zur Priorisierung von Maßnahmen							
Maßnahme	Für das Jahr:		Erstellt am:		Erstellt von:		
	techn./orga. Umsetzbarkeit	Bewertung der Amortisationszeit	Bewertung insgesamt	verantwortlich	Umsetzung	Monat/Jahr	Anmerkung
	+/-	+/-	+/-				
Wärmerückgewinnung	+	0	+	Fr.Mustermann	Hr.Mustermann	Okt 2010	

Diese Studie unterstützt Unternehmen der Ernährungsindustrie bei der Bewertung der Energieeffizienz von Prozessen und Anlagen und bei der Aufdeckung vorhandener Potenziale zur Kostensenkung. Sie ist eine Aktualisierung und Weiterentwicklung des im Jahr 2000 veröffentlichten Leitfadens „Rationelle Energienutzung in der Ernährungsindustrie“. In allgemeingültiger Form werden branchentypische und übertragbare Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung aufgezeigt, die für die Mehrzahl der Unternehmen innerhalb der einzelnen Branchen der Ernährungsindustrie anwendbar sind. Dabei wird zugrunde gelegt, dass Unternehmen mit vergleichbaren Produktionsprozessen ähnliche technische Strukturen und damit auch ähnliche Anforderungen im Energie- und Umweltbereich aufweisen.

### **Die Autoren**

Dr. Jörg Meyer, Dr. Katja Barzantny, Peter Bonczek, Edwin König, Rebecca Meißner, Christoph Niesen, Angela Schäfer, Astrid Schubert-Dahmen, Alexandra Simon-Tönges, Andreas Trautmann, Mikel Werner, Frederic Wienecke

**Siemens AG, Building Technologies Division, Sustainability & Energy Management** unterstützt erfolgreich Industrieunternehmen, Energieversorger, Banken und andere Dienstleister sowie öffentliche Auftraggeber bei technischen, wirtschaftlichen, politischen und strategischen Fragestellungen im Energie- und Umweltbereich. Zum Service-Portfolio gehören die Erarbeitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Energie- und Klimaschutzkosten, die Optimierung von Prozessen, Maschinen und Anlagen, die Einführung und Pflege von Energie- und Emissionsmanagementsystemen, die Erstellung von Studien und Gutachten sowie die Durchführung von Seminaren und Konferenzen.

Zum Team der Abteilung Sustainability & Energy Management gehören 20 erfahrene Energieberater mit umfangreichen Fach- und Marktkenntnissen über moderne Verfahren, Prozesse und Anlagen sowie einem umfangreichen Know-how über nationale und internationale energie- und klimapolitische Zusammenhänge.

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### **Fachredaktion**

Referat II A 6 - Agrarmarkt, Ernährungswirtschaft

### **Text**

Dr. Jörg Meyer, Dr. Katja Barzantny, Peter Bonczek, Edwin König, Rebecca Meißner, Christoph Niesen, Angela Schäfer, Astrid Schubert-Dahmen, Alexandra Simon-Tönges, Andreas Trautmann, Mikel Werner, Frederic Wienecke  
(alle Siemens AG, Building Technologies, Sustainability & Energy Management, Aachen)

### **Gestaltung**

Siemens AG, Building Technologies, Sustainability & Energy Management, Aachen,  
[www.siemens.de/buildingtechnologies](http://www.siemens.de/buildingtechnologies)

### **Bildnachweis**

Siemens AG (Titel, S. 75, 76, 91, 93, 95, 98, 109, 110, Rückseite), Wetzel GmbH (S. 63)

### **Stand**

Dezember 2014

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucher-  
schutz des Landes Nordrhein-Westfalen  
40190 Düsseldorf  
Telefon 0211 4566-666  
Telefax 0211 4566-388  
infoservice@mkulnv.nrw.de  
[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)

