



# CO<sub>2</sub>-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Kunststoff- verarbeitenden Industrie



---

# CO<sub>2</sub>-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Kunststoff- verarbeitenden Industrie

---

Bayerisches Landesamt  
für Umweltschutz



**Augsburg, 2002 – ISBN 3-936385-10-6**

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 – 0  
Fax: (0821) 90 71 – 55 56  
E-mail: poststelle:@lfu.bayern.de  
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Auftragnehmer: Energieconsulting Heidelberg GmbH  
Im Breitspiel 7, 69126 Heidelberg

Forschungsstelle für Energiewirtschaft  
Am Blütenanger 71, 80995 München

Partnerbetrieb: Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG  
Hellinger Str. 1, 97486 Königsberg/Bayern

Layout: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Titelbild: Fränkische Rohrwerke

Druck: Schoder Druck GmbH & Co. KG, Gersthofen

Zitervorschlag: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch rationale Energienutzung in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie“. Augsburg, 2002

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 11/2002

Gedruckt auf Recyclingpapier

## Vorwort

Angesichts der sich abzeichnenden weltweiten Klimaveränderungen durch den Treibhaus-Effekt kamen die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention 1997 überein, dass die Industriestaaten den Ausstoß klimarelevanter Gase bis zum Jahr 2008/2012 auf der Basis des Jahres 1990 um durchschnittlich 5% senken sollen. Die Bundesregierung will zudem als nationales Klimaschutzziel den jährlichen Ausstoß des relevantesten Klimagases Kohlendioxid bis 2005 (Basis 1990) um 25% senken. Die deutsche Industrie hat sich in einer freiwilligen Selbstverpflichtung zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 28% bis 2005 und aller sechs „Kyoto-Gase“ um 35% bis 2012 bereiterklärt.

Da der weit überwiegende Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bei der Bereitstellung von Energie entsteht, ergeben sich besonders große CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale durch eine rationellere Nutzung der vorhandenen Energieressourcen. Am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz wurde daher das Projekt „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ initiiert, das aus Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziert wird. Gerade in der Industrie bestehen oft erhebliche Energiesparpotenziale, die gleichzeitig mit deutlichen Kosteneinsparungen für die Betriebe verbunden sind.

In der vorliegenden Studie werden am Beispiel eines Betriebes der Kunststoff-verarbeitenden Industrie die branchenspezifischen Energiesparpotenziale dargestellt. Die Kunststoff-verarbeitende Industrie in Bayern ist eine mittelständisch geprägte Branche mit hohen Wachstumsraten. Trotz eines hohen Anteils der Energiekosten an den Produktionskosten fehlen den Betrieben oft umfassende Kenntnisse über die technisch machbaren und wirtschaftlich rentablen Energiesparmöglichkeiten. Dieser Bericht soll interessierten Betrieben die Möglichkeit eröffnen, Erkenntnisse aus dem Projektbetrieb auf den eigenen Betrieb zu übertragen. Gerade in Zeiten hoher Energiepreise und internationalen Wettbewerbs ist es existenziell wichtig, sich durch technologischen Vorsprung und Energieeffizienz auszuzeichnen.

In dieser Arbeit wurden die energierelevanten Anlagenbereiche des Partnerunternehmens beschrieben, hinsichtlich ihrer Energiebedarfsstruktur vermessen und die technisch möglichen Energiesparpotenziale ermittelt. Anhand von Amortisationsrechnungen wurde die Wirtschaftlichkeit verschiedener Maßnahmen ermittelt. Für die verschiedenen energierelevanten Bereiche in Unternehmen der Kunststoff-verarbeitenden Industrie werden allgemein die Ansatzpunkte für rationelle Energienutzung dargestellt.

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

Augsburg, im November 2002

# Inhalt

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung                           | 10 |
| 1.1   | Motivation, Ziele                    | 10 |
| 1.2   | Untersuchungsobjekt                  | 10 |
| 1.3   | Vorgehensweise                       | 10 |
| 2     | Prämissen und Randbedingungen        | 11 |
| 2.1   | Betriebswirtschaftliche Ansätze      | 11 |
| 2.1.1 | Betriebswirtschaftliche Ansatzwerte  | 11 |
| 2.2   | Emissionen                           | 12 |
| 3     | Datenermittlung und Messungen        | 13 |
| 3.1   | Vorhandene Dokumentation             | 13 |
| 3.2   | Technische Betriebsanalyse           | 13 |
| 3.3   | Messungen                            | 13 |
| 3.3.1 | Druckluftherzeugung                  | 14 |
| 3.3.2 | Produktionslinie Dränrohr            | 14 |
| 3.3.3 | Produktionslinie Heizungsrohr        | 14 |
| 3.3.4 | Produktionslinie Verbundrohr         | 14 |
| 3.3.5 | Produktionslinie Elektrorohr         | 14 |
| 3.3.6 | Produktionslinie Spritzguss          | 14 |
| 4     | Ist-Analyse                          | 15 |
| 4.1   | Betriebliche Daten                   | 15 |
| 4.2   | Prozesse                             | 16 |
| 4.3   | Energiebezug                         | 16 |
| 4.3.1 | Stromversorgung                      | 16 |
| 4.3.2 | Erdgasversorgung                     | 18 |
| 4.3.3 | Heizölversorgung                     | 19 |
| 4.3.4 | Wasserversorgung                     | 19 |
| 5     | Technische Bestandsaufnahme          | 20 |
| 5.1   | Gebäudebestand                       | 20 |
| 5.2   | Wärmeanwendung                       | 20 |
| 5.2.1 | Raumheizung                          | 20 |
| 5.2.2 | Trinkwassererwärmung                 | 21 |
| 5.2.3 | Prozesswärme                         | 21 |
| 5.3   | Wärmeerzeugung                       | 21 |
| 5.3.1 | Raumheizung und Trinkwassererwärmung | 21 |
| 5.3.2 | Prozesswärme                         | 22 |
| 5.3.3 | Übersicht Wärmeverwendung            | 23 |
| 5.4   | Elektrische Energieversorgung        | 24 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.4.1  | Gesamt-Stromverbrauch   | 24 |
| 5.4.2  | Elektrische Versorgungseinrichtungen                                      | 24 |
| 5.5    | Stromanwendungen  | 25 |
| 5.5.1  | Produktionsanlagen  | 25 |
| 5.5.2  | Technische Dienste: Kälteversorgung                                       | 32 |
| 5.5.3  | Technische Dienste: Druckluftversorgung                                   | 36 |
| 5.5.4  | Weitere Verbraucher im Bereich Technische Dienste                         | 39 |
| 5.5.5  | Allgemeine Verbrauchsstellen  | 39 |
| 5.5.6  | Lüftungstechnik   | 40 |
| 5.5.7  | Beleuchtung   | 40 |
| 5.5.8  | Übersicht elektrischer Energieverbrauch                                   | 41 |
| 5.6    | Wasserverbrauch   | 42 |
| 6      | Spezifische Kennzahlen  | 43 |
| 7      | Bewertung und Maßnahmen im Betrieb Fränkische Rohrwerke                   | 44 |
| 7.1    | Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlagen                                 | 44 |
| 7.2    | Druckluft-Leckageverluste vermindern                                      | 46 |
| 7.3    | Optimierung der Abwärmenutzung aus den Druckluftkompressoren              | 48 |
| 7.4    | Wärmedämmung der Extruder   | 49 |
| 7.5    | Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers der Produktionsmaschinen | 50 |
| 7.6    | Abwärmenutzung bei der Rohrbedampfung                                     | 52 |
| 7.7    | Kesselverluste in Heizzentrale Halle 2 reduzieren                         | 54 |
| 7.8    | Maßnahmen-Überblick   | 55 |
| 8      | Energiesparpotenziale in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie          | 56 |
| 8.1    | Energieeffiziente Elektromotoren  | 57 |
| 8.2    | Anlagenauslastung   | 58 |
| 8.3    | Kältebereitstellung   | 58 |
| 8.4    | Druckluft   | 59 |
| 8.4.1  | Netzdruck auf das geringste erforderliche Niveau reduzieren               | 59 |
| 8.4.2  | Luftaufbereitung dem tatsächlichen Bedarf anpassen                        | 60 |
| 8.4.3  | Leckagen ermitteln und abdichten  | 60 |
| 8.4.4  | Lange Rohrleitungen / Engstellen im Rohrnetz vermeiden                    | 62 |
| 8.4.5  | Nicht benötigte Leitungsteile absperren                                   | 62 |
| 8.4.6  | Druckluft(Puffer)speicher richtig dimensionieren                          | 62 |
| 8.4.7  | Druckverlust im Anschluss reduzieren                                      | 62 |
| 8.4.8  | Unnötigen Druckluftverbrauch vermeiden                                    | 62 |
| 8.4.9  | Kompressorsteuerung / Verbundregelung                                     | 62 |
| 8.4.10 | Überdimensionierte Kompressoren ersetzen                                  | 63 |
| 8.4.11 | Leistungseinbußen wegen Kompressorverschleiß vermeiden                    | 63 |
| 8.4.12 | Ansaugbedingungen optimieren  | 63 |
| 8.4.13 | Abwärme der Druckluftkompressoren nutzen                                  | 64 |
| 8.4.14 | Alternativen zur Druckluftanwendung                                       | 64 |
| 8.5    | Prozessspezifische Ansatzpunkte   | 65 |

---

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 8.6    | Wärmenutzung   | 66 |
| 8.6.1  | Richtige Auslegung der Heizkessel  | 66 |
| 8.6.2  | Nutzung von Abwärmeströmen   | 66 |
| 8.6.3  | Vorwärmung der Verbrennungsluft  | 66 |
| 8.6.4  | Wärmedämmung   | 67 |
| 8.6.5  | Deckenventilatoren zur Auflösung der Wärmeschichtung in hohen Hallen                     | 67 |
| 8.7    | Elektrische Energieversorgung  | 68 |
| 8.7.1  | Transformatorenverluste  | 68 |
| 8.7.2  | Spitzenlastmanagement  | 68 |
| 8.7.3  | Blindstromkompensation   | 68 |
| 8.8    | Beleuchtung  | 68 |
| 8.8.1  | Leuchtmittel und Leuchten  | 68 |
| 8.8.2  | Lichtsteuerung und –Regelung   | 69 |
| 8.9    | Kraft-Wärme-Kopplung   | 69 |
| 8.10   | Energiemanagement-System   | 71 |
| 8.11   | Energiecontracting   | 73 |
| 8.12   | Wirtschaftliche Bewertung  | 74 |
| 9      | Checkliste: Effiziente Energieverwendung in der Industrie                                | 75 |
| 9.1    | Maschinen / Anlagen / Antriebe   | 75 |
| 9.2    | Druckluftnutzung   | 75 |
| 9.3    | Raumheizung / Prozesswärme / Warmwasser  | 75 |
| 9.4    | Lüftung / Klimatisierung / Kühlung   | 76 |
| 9.5    | Trocknungsprozesse   | 77 |
| 9.6    | Beleuchtung  | 77 |
| 9.7    | Energiemanagement  | 77 |
| 10     | Zusammenfassung  | 78 |
| 10.1   | Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung                                       | 78 |
| 10.2   | Situation und Verbesserungsmöglichkeiten im untersuchten Betrieb                         | 78 |
| 10.2.1 | Energie- und CO <sub>2</sub> - Bilanzen  | 78 |
| 10.2.2 | Übersicht der vorgeschlagenen Maßnahmen bei der Firma Fränkische Rohrwerke in Königsberg | 79 |
| 10.3   | Erwartete Einsparungen   | 80 |
| 10.4   | Allgemeine Empfehlungen für die Kunststoff-verarbeitende Industrie                       | 80 |
| 11     | Literaturverzeichnis   | 82 |
| 12     | Anhang   | 82 |

## Glossar

**Abwärme** : Abwärme umfasst sowohl den von den festen Oberflächen einer Anlage über Konvektion und Leitung abgegebenen Wärmestrom als auch alle ein System verlassenden Enthalpieströme

**Amortisationszeit**: rechnerische Zeitdauer, bis die aus einer Maßnahme resultierenden kumulierten Einnahmen (hier meist: Energiekosten-Einsparungen) die dazu erforderlichen Investitionskosten übersteigen. Die statische Amortisationszeit errechnet sich durch Division der jährlichen Einnahmen durch die Investitionssumme; bei der dynamischen Rechnung werden zusätzliche Effekte durch Verzinsung berücksichtigt.

**Corrugator** : Maschine zur (meist wellenförmigen) Profilierung von Kunststoffrohr durch (gekühlte) Metall-Profilbacken; dieser Schritt erfolgt unmittelbar nach der Extrusion, bevor das Rohr vollständig abgekühlt ist.

**Emission** : Durch Menschen (anthropogen) verursachte Abgabe von (Schad)stoffen in Rauchgasen, Abluft, Abwasser sowie festen und flüssigen Abfällen. Zu den Emissionen aus natürlichen Quellen gehören der Ausstoß von Luftschadstoffen durch Vulkane sowie die Abgabe von chemischen Stoffen in die Umwelt durch Pflanzen und Tiere

**Endenergie** : Die dem Endverbraucher (Industrie, Gewerbebetrieb, Haushalt usw.) z.B. über die Steckdose, nach Anlieferung im Heizöltank oder durch Fernwärme zur Verfügung stehende Energie wird Endenergie genannt. Sie wird vom Verbraucher mit Hilfe von Apparaten, Maschinen, Öfen usw. in Nutzenergie umgewandelt

**Endenergieträger** : Energieträger, die dem Energienutzer zur Verfügung stehen, z.B. Heizöl, Holz, Gase, Elektrizität

**Energie** : Energie ist die Fähigkeit eines Systems, äußere Wirkungen (Arbeit) hervorzubringen. Einheit: Joule,  $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$

**Energieträger** : Stoffe mit nutzbarer gespeicherter Energie z.B. Kohle, Heizöl, Uran, Stauseewasser

**Energieverbrauch** : Gebräuchliche (allerdings aus physikalischer Sicht falsche) Bezeichnung für Energieeinsatz, Energienutzung, Energiegebrauch, Energieanwendung

**Enthalpie** : Enthalpie und innere Energie sind energetische Eigenschaften eines Systems. Enthalpie ist ein Maß für den inneren Energieinhalt eines Stoffstromes, z.B. eines heißen Abgas-, Abwasser- oder Ölstromes, der einem Brenner zugeführt wird. Die innere Energie ist ein Maß für den inneren Energieinhalt eines ruhenden, geschlossenen Systems, z.B. eines Haufens heißer Schlacke oder eines Behälters mit Erdgas. Die innere Energie und die Enthalpie bestehen aus einem fühlbaren und einem latenten Anteil

**Exergie** : Der wertvolle Anteil einer Energieform (2. Hauptsatz der Thermodynamik) im Gegensatz dazu Anergie. Exergie läßt sich unbeschränkt in jede andere Energieform umwandeln und wird auch als technische Arbeitsfähigkeit bezeichnet

**Extruder** : Maschine, die feste bis flüssige Formmasse aufnimmt und durch eine formgebende Düse (Mundstück) presst. Dabei kann die Formmasse verdichtet, gemischt, plastifiziert, homogenisiert, chemisch umgewandelt, entgast oder begast werden. Die wichtigste Bauart ist der Schneckenextruder, andere sind z.B. Kolben- und Drehscheibenextruder. Bei der anschließende Abkühlung erstarrt das Material wieder.

**Fortwärme** : Sammelbegriff für alle an die Umgebung abgegebenen Wärme- und Enthalpieströme aus anthropogenen Prozessen, die mit Energieumsatz verbunden sind. Nach Übergang an die Umgebung verliert die Fortwärme ihre Identität

**Brennwertnutzung, Brennwertgerät** : Nutzung der gesamten Wärmeenergie, die in einem Brennstoff enthalten ist: Heizwert + Wärme aus der Wasserdampfkondensation. Wenn die Abgase bis unter eine bestimmte Temperatur (den sogenannten Taupunkt) abgekühlt werden, kondensiert der mitgeführte Wasserdampf teilweise und setzt dabei Wärme frei. Brennwertgeräte können diese Wärme für das Heizsystem (über entsprechende Wärmetauscher) nutzbar machen. Dadurch arbeiten sie besonders energiesparend und entlasten die Umwelt. Bei Erdgas liegt der Brennwert – wegen des hohen Wasserstoffanteils – rund 11% über dem Heizwert (bei leichtem Heizöl nur etwa 6%). Mit einem Gas-Brennwertgerät können bei neuen Anlagen im Vergleich zu Niedertemperaturkesseln bis zu 15% Energie eingespart werden.

**Heizwert, oberer**: (auch: Brennwert, Verbrennungswärme) Unter der Verbrennungswärme  $H_O$  eines Brennstoffes versteht man die Wärmemenge, die bei einer vollständigen und vollkommenen Verbrennung einer Masseneinheit Brennstoff frei wird, wenn die Temperatur des Brennstoffes vor der Verbrennung und seiner Verbrennungserzeugnisse  $25 \text{ °C}$  beträgt, wenn sich das im Brennstoff vorhandene sowie das bei der Verbrennung zusätzlich gebildete Wasser nach der Verbrennung in flüssigem Zustand befindet und schließlich wenn die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel restlos als  $\text{CO}_2$  bzw.  $\text{SO}_2$  in gasförmigem Zustand vorliegen und Oxidation des Stickstoffes nicht stattfindet. Der wesentliche Unterschied zum unteren Heizwert ist also der Zusatzbeitrag der Kondensationsenergie des Wasserdampfs im Abgas

**Heizwert, unterer** : Unter dem („unteren“) Heizwert  $H_U$  versteht man die auf die Brennstoffmenge bezogene Energie, die bei vollständiger Verbrennung frei wird, (wenn das Abgas auf Bezugstemperatur [ $25 \text{ °C}$ ] zurückgekühlt wird) und der Wasserdampf im Abgas aber dampfförmig bleibt

**Kesselwirkungsgrad** : Verhältnis des an das Kesselwasser übertragenen Wärmestroms zur eingesetzten Brennstoffenergie

- Kaltwassersatz:** Anlage zur Kühlung von Wasser, bestehend aus Kältemaschine, Verflüssiger, dem eigentlichen Wasserkühler und Rückkühlwerk mit Ventilator
- Kraft-Wärme-Kopplung :** gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in einer Anlage, in der Regel in Heizkraftwerken. Die Wärme, die aus Heizkraftwerken der öffentlichen Elektrizitätsversorgung ausgekoppelt wird, wird für die Fernwärmeversorgung (überwiegend zur Raumheizung) genutzt. Die Wärme aus Heizkraftwerken der Industrie wird vor allem als Prozeßwärme (für industrielle Fertigungsprozesse) eingesetzt.
- Lastmanagement :** Senken der Spitzenlast ohne gleichzeitige Zunahme der Nachfrage in Schwachlastzeiten, bzw. das Auffüllen von Lasttälern, die Verlagerung von Spitzenlast in Schwachlastzeiten
- Leuchte :** Beleuchtungseinrichtung (umgangssprachlich „Lampe“) zur Aufnahme und Schutz eines oder mehrerer Leuchtmittel wie z.B. Leuchtstofflampen oder Glühlampen, dient auch zur Lichtverteilung und –Lenkung (z.B. durch Streuscheiben, Reflektoren etc.)
- Nutzenergie :** Als Nutzenergie werden die für die verschiedenen Bedarfszwecke verwendeten Energieformen wie Wärme, Kraft (mechanische Energie) und Licht bezeichnet. Sie werden aus Sekundärenergie vom Verbraucher gewonnen
- Nutzungsgrad :** Verhältnis des energetischen Nutzens zum energetischen Aufwand; z.B. entsteht bei einem mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizkraftwerk als energetischer Nutzen elektrische Leistung und ein Fernwärmestrom
- Primärenergie :** Als Primärenergie wird die am Anfang der Energieumwandlungskette in den Energieträgern enthaltene Energie bezeichnet, die noch keiner vom Menschen verursachten und beabsichtigter Umwandlung unterworfen wurde, z.B. Sonnenenergie, chemische Energie von Kohle etc.
- Primärenergieträger :** Energieträger, die keiner vom Menschen verursachten und beabsichtigten Umwandlung unterworfen wurden. Umwandlung bedeutet dabei eine Änderung der Energieform und der chemischen Zusammensetzung oder des nuklearen Aufbaues des Energieträgers
- Rückwärme :** Rückwärme ist der aus der Abwärmenutzung bzw. der Nutzung von Umweltwärme resultierende Wärme bzw. Enthalpieströme der einem Anwender zugeführt wird
- Spritzgussverfahren :** Verfahren zum Formen von Objekten aus körnigen oder pulverisierten Kunststoffen (meist Thermoplaste), bei dem die Materialien zur Erweichung in eine geheizte Kammer eingespeist und danach mit einem Kolben oder einer Schnecke in eine Form gezwungen werden. Der Druck in der Form wird gehalten, bis die Masse ausreichend gehärtet ist, um aus der Form entfernt zu werden.
- Sekundärenergie :** Energie, die durch eine vom Menschen verursachte und beabsichtigte Umwandlung bereitgestellt wurde, z.B. Fernwärme, elektrische Energie, Energiealkohole
- Umwandlungswirkungsgrad :** Verhältnis des energetischen Nutzens zum energetischen Aufwand bei der Energieumwandlung
- Wärme :** Wärme ist eine Prozessgröße, die bei Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umgebung auftritt, bei denen zwischen dem System und seiner Umgebung ein Temperaturunterschied besteht
- Wärmerückgewinnung :** Nutzung von Abwärme unter Einsatz von Wärmeübertragern, Wärmespeichern und Hilfsenergie zum Fördern von Wärmeträgermedien

## Abkürzungsverzeichnis

|                       |  |
|-----------------------|--|
| a                     | Jahr   |
| BHKW                  | Blockheizkraftwerk   |
| d                     | Tag  |
| ECH                   | Energieconsulting Heidelberg GmbH  |
| Erdgas H,<br>Erdgas L | Erdgasqualitäten mit unterschiedlichem Heiz- bzw. Brennwert (H=High, mit $H_o$ um 11 kWh/m <sup>3</sup> ; bzw. L=Low, $H_o$ um 10 kWh/m <sup>3</sup> ) |
| EVU                   | Energieversorgungsunternehmen  |
| GB                    | Geschäftsbereich   |
| GLT                   | Gebäudeleittechnik   |
| GWh                   | Gigawatt-Stunden   |
| $H_o$                 | Brennwert / oberer Heizwert  |
| HT                    | Hochtarif  |
| $H_u$                 | Heizwert / unterer Heizwert  |
| KWK                   | Kraft-Wärme-Kopplung   |
| HZ                    | Heizzentrale   |
| MWh                   | Megawatt-Stunden   |
| NT                    | Niedertarif  |
| PE                    | Polyethylen  |
| PE-X                  | vernetztes Polyethylen   |
| PVC                   | Polyvinylchlorid   |
| RLT                   | Raumluftechnik   |
| t                     | Tonnen   |
| WRG                   | Wärmerückgewinnung   |
| ZLT                   | Zentrale Leittechnik   |

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation, Ziele

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, beispielhaft für die Branche der Kunststoff-verarbeitenden Industrie Potenziale zur Energieeinsparung und Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus industriellen Anlagen aufzudecken und daraus Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes zu erarbeiten. Diese Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen zu bewerten.

In dem ausgewählten Kunststoff-verarbeitenden Betrieb sollte dabei als exemplarischer Standort die Möglichkeiten untersucht werden, die zur CO<sub>2</sub> - Minderung in dieser Branche geeignet erscheinen. Zur Bewertung werden produktbezogene spezifische Kennzahlen gebildet, die einen branchenbezogenen (bzw. bei Querschnittstechnologien auch branchenübergreifenden) Vergleich ermöglichen.

## 1.2 Untersuchungsobjekt

Untersucht wurde der Produktionsbetrieb der Firma Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. in Königsberg/Bayern.

## 1.3 Vorgehensweise

### Energie-Nutzungs-Analyse

Es wurde zunächst in einer Energie-Nutzungs-Analyse, auf Hauptabnehmergruppen bezogen, der derzeitige Energieverbrauch ermittelt und beurteilt. Dabei wurden auch bereits erkennbare Ansatzpunkte für Verbesserungen identifiziert und bewertet. Die Bestandsaufnahme beinhaltet

- ⇒ die Auswertung vorhandener Dokumentation zu Energiebezug, -umwandlung und -verwendung
- ⇒ die Erfassung der wesentlichen Energieumwandlungsanlagen und Energieverbraucher, deren Leistungsaufnahme und Betriebsdauer
- ⇒ Messungen der Leistungsaufnahme von wesentlichen Verbrauchern / Verbrauchergruppen sowie weiteren energierelevanten Größen, die zur Bewertung des Energieeinsatzes dienen.

### Energie-Einspar-Analyse

Nach Festlegung der Einzelmaßnahmen zur Energieeinsparung werden diese in der Energie-Einspar-Analyse technisch ausgearbeitet und energetisch, betriebswirtschaftlich und hinsichtlich der CO<sub>2</sub> - Emissionen bewertet.

### Energiekonzept

Aufbauend auf Maßnahmenbündeln wird im dritten Schritt ein Energiekonzept erarbeitet, das konkrete Schritte zur Umsetzung der Maßnahmen vorschlägt.

### Empfehlungen für die Branche

Aus den Erkenntnissen des Projektes werden allgemeine Empfehlungen zur Energieeffizienz in der Branche gegeben.

## 2 Prämissen und Randbedingungen

Basis der Untersuchung sind die Verträge und Verbrauchsabrechnungen mit den Vorlieferanten für Strom und Erdgas.

Alle Preise sind ohne Mehrwertsteuer angegeben.

### 2.1 Betriebswirtschaftliche Ansätze

Aus Datenschutzgründen unterliegen die wirtschaftlichen Eckdaten des Betriebes (Energiekosten etc.) der Geheimhaltung. Die hier dargestellten Daten sind realitätsnahe, aber fiktive Ansatzwerte, die sich aus den Marktpreisen der vergangenen Jahre ergeben. Sie wurden im Rahmen des Gesamtprojektes abgestimmt und dienen als rechnerische Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Maßnahmen im Kapitel 7.

| Elektrische Energie | Ansatzwert |
|---------------------|------------|
| Mischpreis Strom    | 7,0 ct/kWh |

| Erdgas            | Ansatzwert                    |
|-------------------|-------------------------------|
| Mischpreis Erdgas | 3,5 ct/kWh (H <sub>o</sub> )  |
| entspricht        | 3,85 ct/kWh (H <sub>u</sub> ) |

| Heizöl EL             | Ansatzwert                    |
|-----------------------|-------------------------------|
| Lieferpreis Heizöl EL | 35 ct/Liter                   |
| entspricht            | 3,85 ct/kWh (H <sub>u</sub> ) |

| Wasser / Abwasser | Ansatzwert              |
|-------------------|-------------------------|
| Wasserbezug       | 1,30 € / m <sup>3</sup> |
| Abwassergebühr    | 1,50 € / m <sup>3</sup> |

#### 2.1.1 Betriebswirtschaftliche Ansatzwerte

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| ⇒ Versicherung / Verwaltung | 1,5 % der Investition   |
| ⇒ Personalkosten            | 50.000 € / (Person · a) |
| ⇒ Kalkulatorischer Zinssatz | 7,5 %                   |

## 2.2 Emissionen

Neben den betriebswirtschaftlichen Ansätzen wird die Bewertung des Energieverbrauchs mit Emissionen erforderlich. Hierzu werden folgende Daten für die einzelnen Energieträger im Betrieb Königsberg angesetzt.

| Energieträger               | spez. Emissionsfaktor CO <sub>2</sub><br>(kg/MWh) | Daten-<br>quelle |
|-----------------------------|---|------------------|
| Erdgas H (H <sub>u</sub> )  | 199   | [1]              |
| Heizöl EL (H <sub>u</sub> ) | 276   | [1]              |
| Strom (Bundesmix)           | 667   | [1]              |

## 3 Datenermittlung und Messungen

Als Ausgangspunkt für die Analyse wird die Ermittlung der erforderlichen Daten durchgeführt, um damit folgenden Ziele zu erreichen:

1. Die Schwerpunkte des Energieverbrauchs werden ermittelt
2. Die produktspezifischen Anteile des Energieverbrauchs werden erfasst und den Produktarten und Produktionsmengen zugeordnet
3. Die allgemeinen Verbraucher werden erfasst, die nicht einzelnen Produkten oder Einzelanlagen zuzuordnen sind. Dazu gehören hier vor allem die Kälteerzeugung, die Lüftungsanlagen sowie die Druckluftkompressoren
4. Gezielte Einzelanalysen werden durchgeführt, die dem Aufzeigen und der Bewertung von Verbesserungspotenzialen dienen

Die Datenermittlung wurde durch Sichtung vorhandener Dokumentation, Analyse des Anlagenbestands sowie Messungen durchgeführt. Dieses Vorgehen wird nachfolgend genauer beschrieben.

### 3.1 Vorhandene Dokumentation

Die Bestandsaufnahme zum Energiebezug (Mengen und Konditionen) erfolgte aus den vom Betrieb zur Verfügung gestellten Energie-Lieferverträgen und Verbrauchsabrechnungen.

Der Betrieb verfügt über ein Leittechnik-System, mit dessen Hilfe die Ablesedaten der im Betrieb vorhandenen Energie- und Medienzähler (für Strom, Gas, Wasser, Wärme, Betriebsstunden usw.) aufgezeichnet werden; diese Aufzeichnungen wurden ebenfalls zur Ermittlung von Leistungs- und Verbrauchsbilanzen herangezogen.

Schließlich wurden insbesondere zur Kennzahlenbildung auch vom Betrieb zur Verfügung gestellte Produktionsdaten (wie Produktmengen, Verfahrensparameter, Temperaturen etc.) verwendet.

### 3.2 Technische Betriebsanalyse

Eine bereits im Betrieb vorhandene Maschinenliste wurde aktualisiert und vervollständigt, um Betriebsdauern, Leistungs- und Verbrauchswerte ergänzt und zu Verbrauchergruppen zusammengefasst. Die erforderlichen Werte wurden aus den technischen Unterlagen, Typenschildern usw. und durch Auskünfte des technischen Betriebspersonals ermittelt.

### 3.3 Messungen

Darüber hinaus wurden weitere zur Bewertung des Energieeinsatzes im Betrieb erforderliche Daten durch Messungen und Auswertung der betrieblichen Datenerfassung ermittelt.

Die Messungen wurden größtenteils kontinuierlich über bestimmte Betriebszyklen (Tages- oder Wochengang) durchgeführt. Bei bekannter Betriebsdauer und konstanten Betriebsbedingungen der Anlage waren auch teilweise die gemessenen Momentanwerte ausreichend.

Schließlich wurden bei einigen Produktionsanlagen Messungen über abgeschlossene Produktionszyklen mit den jeweils bearbeiteten Produktarten und –mengen verknüpft, um daraus spezifische Verbrauchswerte zu ermitteln.

Im Einzelnen wurden folgende Messungen durchgeführt:

### **3.3.1 Druckluftherzeugung**

Messung von Liefermenge und –druck; elektrische Leistungsmessung der Kompressoren 3 und 4 sowie des drehzahlgeregelten Kompressors VSD; Messung der Leckageluftmengen in unterschiedlichen Bereichen

### **3.3.2 Produktionslinie Dränrohr**

Messung der elektrischen Heizleistung sowie der Gesamtleistung der Anlage

### **3.3.3 Produktionslinie Heizungsrohr**

Messung der elektrischen Leistung der gesamten Produktionslinie

### **3.3.4 Produktionslinie Verbundrohr**

Messung der elektrischen Leistung der gesamten Produktionslinie sowie des Leistungsfaktors (Cosinus Phi)

### **3.3.5 Produktionslinie Elektrorohr**

Detaillierte elektrische Leistungsmessung der Einzelkomponenten Extruder (Heizung und Antriebsmotor), Corrugator, Sprühbad, sowie der Kühlwassertemperaturen (Vor/Rücklauf) und Durchflussmengen, daraus Bestimmung der Kühlleistungen

### **3.3.6 Produktionslinie Spritzguss**

Elektrische Leistungsmessung der Gesamtanlage

## 4 Ist-Analyse

### 4.1 Betriebliche Daten

Der untersuchte Kunststoff-verarbeitende Betrieb ist das Werk Königsberg der Fränkischen Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co.

#### Produktion: Kunststoffrohre

Die Aktivitäten im Werk Königsberg umfassen die Entwicklung und Produktion einer breiten Palette von Kunststoffrohren und Zubehör unterschiedlicher Materialien und Anwendungsbereiche (siehe unten). Darüber hinaus werden in einer eigenen Abteilung Produktionsmaschinen, Werkzeuge und Formen entwickelt und hergestellt.

Das Werk lässt sich in die folgenden Geschäftsbereiche (GB) aufgliedern:

| Geschäftsbereich          | Ausstoßmengen<br>[t Kunststoff] | Mitarbeiterzahl |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Dränrohr                  | 13.277                          | 175             |
| Elektrohr <sup>1)</sup>   | 10.917                          | 124             |
| Heizungs- und Sanitärrohr | 5.641                           | 128             |
| Flexible Industrierohre   | 2.035                           | 162             |
| Maschinenbau              | -                               | 123             |
| Allgemein/Verwaltung      | -                               | 229             |
| Technische Dienste        | -                               | 61              |
| Logistik                  | -                               | 129             |
| <b>Gesamt</b>             | <b>31.870</b>                   | <b>1.131</b>    |

<sup>1)</sup> die dem GB Elektrohr zugeordnete Stahlrohrproduktion wird hier aus der Betrachtung ausgenommen.

#### Jahresausstoß: ca. 32.000 t Kunststoff

Es werden jährlich rund 32.000 t Kunststoff (Rohre, Spritzgussteile, Dränplatten, inkl. Ausschussmengen) produziert.

#### ca. 1.100 Mitarbeiter

Im Betrieb Königsberg sind über 1.100 Mitarbeiter beschäftigt.

An den Produktionslinien wird größtenteils im Dreischichtbetrieb gearbeitet, in den übrigen Bereichen in einem Einschichtmodell mit Gleitzeitregelung. Samstags werden teilweise noch Restarbeiten durchgeführt, der Sonntag ist arbeitsfrei.

#### Werksgelände ca. 24 Hektar

Der Standort in Königsberg besteht seit 1912. Auf dem Werksgelände (mit einer Ausdehnung von rund 24 ha) befinden sich rund 20 Gebäude, die den oben genannten Geschäftsbereichen zuzuordnen sind.

Ein Übersichtsplan des Betriebes ist im Anhang 1 dargestellt.

## 4.2 Prozesse

In den o.g. Produktionsbereichen wird eine Vielzahl von Bearbeitungsprozessen eingesetzt. Die vielfältigen unterschiedlichen Rohrproduktionslinien umfassen je nach Produktart mehrere der unten dargestellten Einzelprozesse:

- ⇒ Extrusion (Erhitzen und Plastifizieren des Kunststoffgranulats, Vorformung des Rohrs)
- ⇒ Kalibrierung (Durchmesser-Formgebung)
- ⇒ Wellen-Profilierung durch gekühlte Metall-Profilbacken durch den sogenannten Corrugator
- ⇒ Beispritzextrusion (zusätzliche Schichten bei mehrlagigen Rohren)
- ⇒ Salzbadhärtung (zur Vernetzung von Polyethylen PE-X)
- ⇒ Hilfsprozesse (Mischen, Kühlen, Fördern, Trennen, Aufwickeln, Verpacken)
- ⇒ Lochung (Perforieren von Dränagerohren)

In der Spritzgussherstellung wird der Kunststoff vom Extruder direkt in Metallbacken der gewünschten Form gespritzt und abgekühlt.

Im GB Maschinenbau werden in der Metallverarbeitung typische Prozesse (Drehen, Fräsen, CNC-Bearbeitung, Bohren, Schleifen, Gravieren) eingesetzt.

Daneben gibt es eine Reihe von Lager- und Fördertechnik-Einrichtungen für die unterschiedlichen Materialien (z. B. Kunststoffgranulate, Fertigprodukte, Rohre und Profile) und Komponenten.

## 4.3 Energiebezug

### 4.3.1 Stromversorgung

#### Strom: Versorgungsbedingungen

Die Versorgung mit elektrischer Energie erfolgt mit der unten dargestellten Charakteristik. In der Analyse des Istzustandes wurden die Verbrauchsdaten des Bezugsjahres 2000 verwendet; für die weitere Betrachtung, insbesondere bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen, kommen die in Kapitel 2.1 angenommenen, branchenüblichen Werte zur Anwendung.

#### Strom: Bezugscharakteristik

Die Strom-Bezugscharakteristik stellt sich im Jahr 2000 wie folgt dar:

| Bezugsjahr               | 2000         |
|--------------------------|--------------|
| Jahreshöchstleistung     | 5.488 kW     |
| Jahresarbeit Hochtarif   | 14.654 MWh/a |
| Jahresarbeit Niedertarif | 10.259 MWh/a |
| Jahresarbeit gesamt      | 24.913 MWh/a |
| Benutzungsdauer          | 4.540 h/a    |

Der Jahresverlauf des Strombezugs ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Es ist keine ausgeprägte Jahreszeit-Abhängigkeit zu erkennen. Die Monate mit geringerem Stromverbrauch fallen auch mit einer geringeren Produktionsmenge zusammen.

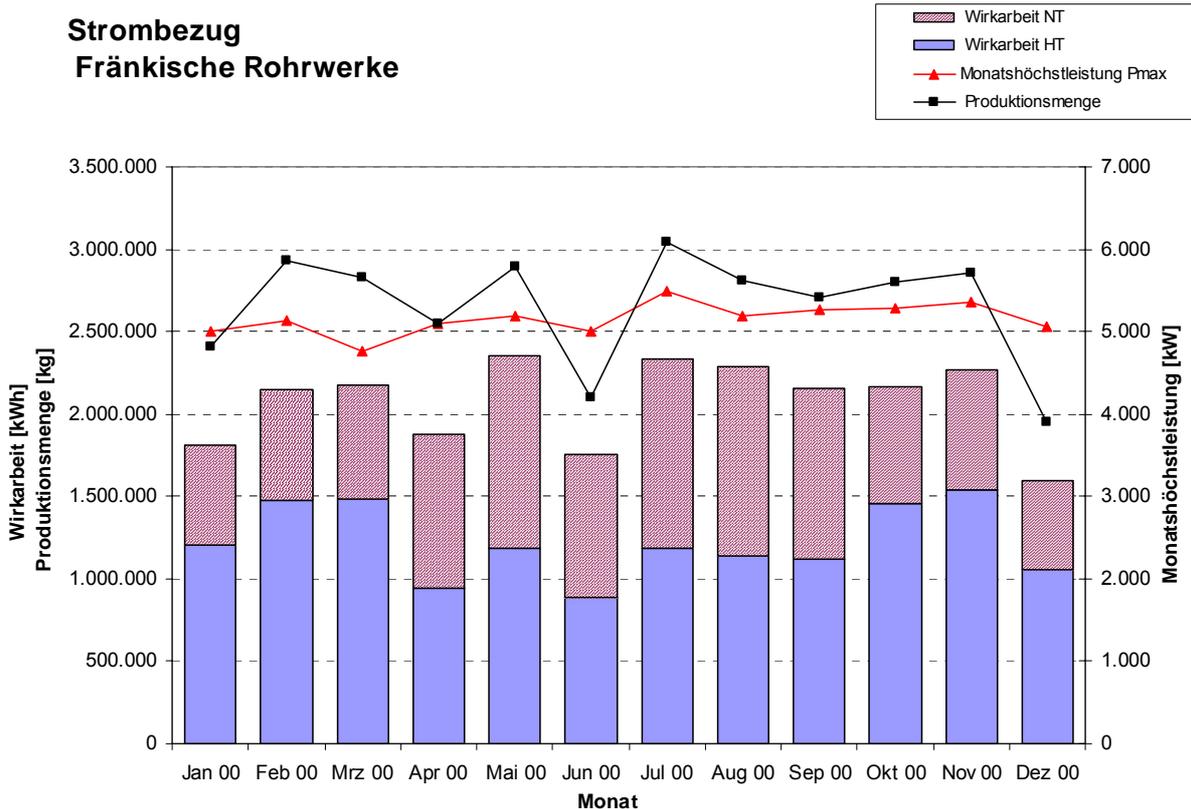


Abbildung 4-1: Strombezugscharakteristik, Bezugsjahr 2000

Abbildung 4-2 zeigt den Wochenlastgang des Strombezugs für eine typische Produktionswoche.

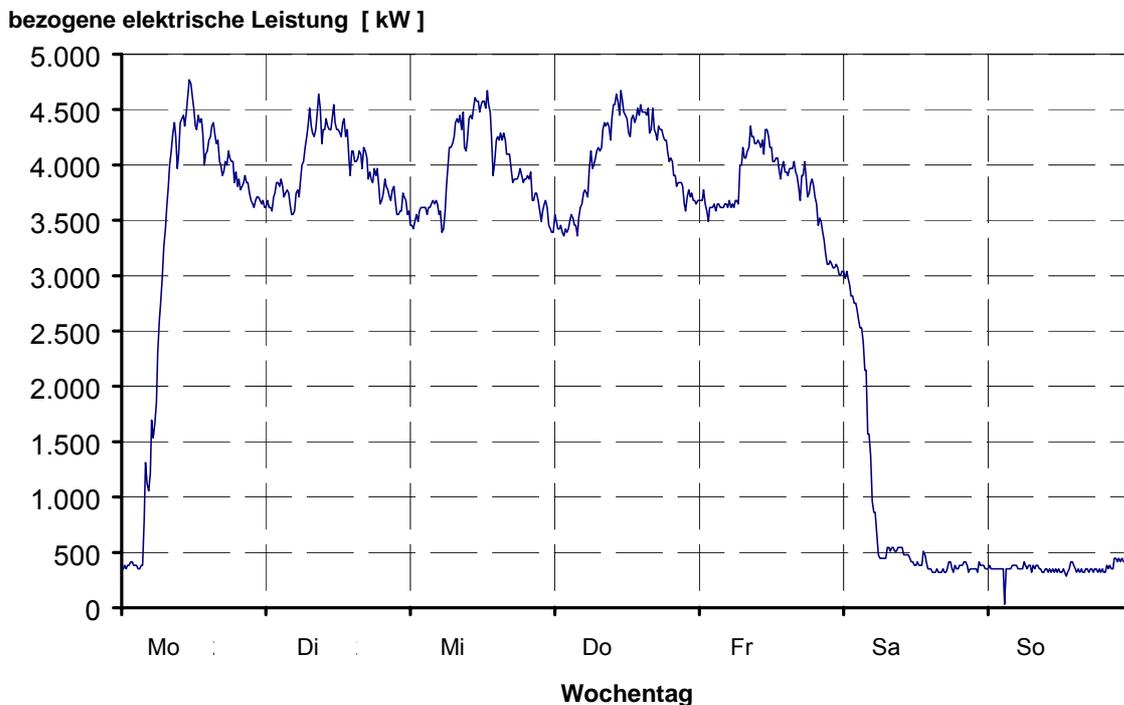


Abbildung 4-2: typischer Wochenlastgang elektrische Energie (Viertelstunden-Mittelwerte)

An den Wochentagen Montag bis Freitag zeigt der Lastgang jeweils einen ähnlichen Verlauf mit einem relativ breiten Maximum von rund 5.000 kW am späten Vormittag, einem Absinken am Nachmittag und Abend (bis auf unter 4.000 kWh) und einem Wiederanstieg in den Morgenstunden.

Am Samstag sinkt der Leistungsbedarf zunächst auf ein Niveau von rund 1.500 kW am Vormittag und fällt gegen Mittag auf den Grundlastbedarf von rund 400 kW ab, der über das restliche Wochenende konstant bestehen bleibt.

### 4.3.2 Erdgasversorgung

Im Betrieb wird Erdgas H als Brennstoff für mehrere Heizkessel in den Heizzentralen sowie für den Luftherhitzer der Lackieranlage in Halle 22 eingesetzt (siehe Kapitel 5.3).

#### Versorgungsbedingungen Erdgas

Der Erdgasbezug (von der Gasversorgung Unterfranken) ist für das Bezugsjahr 2000 wie folgt charakterisiert:

| Bezugsjahr                | 2000                       |
|---------------------------|----------------------------|
| Gasversorgungsunternehmen | Gasversorgung Unterfranken |
| oberer Heizwert $H_o$     | 11,072 kWh/m <sup>3</sup>  |
| unterer Heizwert $H_u$    | 9,97 kWh/m <sup>3</sup>    |
| Verbrauch $H_o$           | 4.491 MWh/a                |
| Verbrauch $H_u$           | 4.045 MWh/a                |

#### Jahresverlauf des Erdgasbezugs

Der Jahresverlauf des Erdgasbezugs ist in Abbildung 4-3 dargestellt. Hier ist im Gegensatz zum Strombezug eine ausgeprägte Winterspitze zu erkennen, die auf die Erdgasverwendung zur Bereitstellung von Raumwärme zurückzuführen ist.

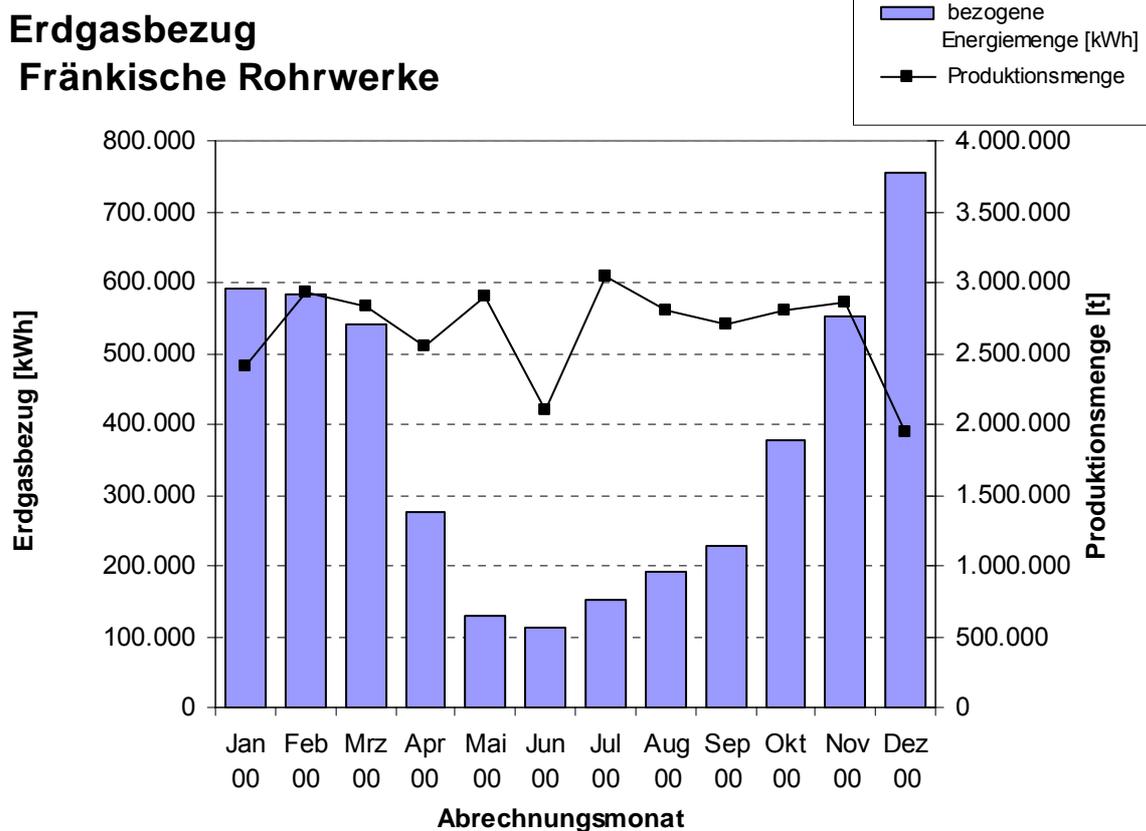


Abbildung 4-3: Erdgasbezug 2000

#### 4.3.3 Heizölversorgung

Neben Erdgas wird in vielen Feuerungsstellen auch Heizöl EL verwendet (siehe Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2). Der Gesamtverbrauch betrug im Bezugsjahr 2000 301.322 Liter, entsprechend einer Brennstoffenergie von 2.983 MWh<sub>HU</sub>/a.

#### 4.3.4 Wasserversorgung

Die Versorgung mit Trinkwasser erfolgt durch die Stadt Königsberg. Im Bezugsjahr 2000 betrug die Jahresbezugsmenge 24.044 m<sup>3</sup>/a.

## 5 Technische Bestandsaufnahme

In der Bestandsaufnahme wurden die Abnehmeranlagen hinsichtlich

- ⇒ Stromverbrauch
- ⇒ Brennstoffverbrauch
- ⇒ Wärme / Dampfverbrauch
- ⇒ Druckluftverbrauch
- ⇒ Bauphysik

begutachtet. Darüber hinaus wurden relevante Verteilnetze für die oben genannten Medien betrachtet. Ebenso wurde die Dampf- bzw. Wärmeerzeugung analysiert.

Die Analyse des Energieverbrauchs basiert auf den Daten, die nach den im Kapitel 3 beschriebenen Methoden ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme sind im Detail in den einzelnen Abschnitten dokumentiert.

### 5.1 Gebäudebestand

#### Gebäudegrundfläche ca. 48.000 m<sup>2</sup>

Auf dem Werksgelände befinden sich rund 20 Gebäude bzw. Gebäudeteile mit einer Gebäudegrundfläche von 48.000 m<sup>2</sup> und einem Rauminhalt von ca. 417.000 m<sup>3</sup>. Davon ist ein Gebäude rund 100 Jahre alt (Geb. 1), drei weitere ca. 30 Jahre (Geb. 5,6 und 14). Die übrigen Gebäude stammen aus den letzten 15 Jahren. Die Gebäude 13 und 16 wurden nachträglich mit wärmegeämmt.

#### Heizwärmeversorgung

Die Wärmebereitstellung für Raumheizung und Trinkwassererwärmung geschieht durch drei Heizzentralen (in den Gebäuden 2, 18 und 23), die jeweils mehrere umliegende Gebäude versorgen, sowie mehrere gebäudebezogene Wärmeerzeuger. Details zur Wärmeerzeugung siehe Kapitel 5.3.

### 5.2 Wärmeanwendung

#### 5.2.1 Raumheizung

Der Raumwärmebedarf ist über den Gesamtbetrieb sehr inhomogen, da in vielen Produktionsbereichen große Abwärmemengen von den Produktionsanlagen anfallen, so dass hier viel weniger zugeheizt werden muss als z. B. in den Verwaltungsbereichen. Die Beheizung der Räume erfolgt teilweise über Luftheizgeräte und Heizregister in RLT-Anlagen, teilweise über Radiator-Heizkörper (vor allem im Bürobereich).

Der Wärmebedarf für die Raumheizung lässt sich überschlägig aus dem Jahresverlauf des Wärmeverbrauchs der oben aufgeführten Wärmeerzeuger ermitteln. Der Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung ist über das Jahr hinweg konstant und kann bestimmt werden aus den monatlichen Verbrauchswerten in den Sommermonaten, wenn kein Heizbedarf besteht. (Die Verbrauchswerte für Prozesswärme liegen getrennt vor, siehe unten).

Die Differenz aus dem jährlichen Brennstoff-Gesamtverbrauch und dem auf das Jahr hochgerechneten Verbrauch in den Sommermonaten (dies ist der Verbrauchsanteil für Prozesswärme sowie Trinkwassererwärmung) ist demnach der Gasbedarf für die Raumheizung.

### **Brennstoffbedarf für Raumheizung: 4.500 MWh/a**

Auf diese Weise lässt sich aus den Verbrauchsmengen ein Brennstoffverbrauch für Raumheizung von 4.500 MWh/a ermitteln, der durch die unten genannten Wärmeerzeuger gedeckt werden muss.

### **5.2.2 Trinkwassererwärmung**

#### **Brennstoffbedarf für Warmwasserbereitung: 554 MWh/a**

Der Brennstoffbedarf für Wassererwärmung (ohne Prozesswärmeanlagen) in den Sommermonaten beträgt durchschnittlich 46 MWh pro Monat. Auf ein Jahr hochgerechnet, entspricht dies einem Verbrauch von rund 554 MWh/a. Mit einem mittleren Nutzungsgrad der Wärmeerzeuger von 85% ergibt sich daraus eine Wärmemenge von 471 MWh/a, womit etwa 10.100 m<sup>3</sup> Warmwasser erwärmt werden können (von 10°C auf 50°C).

### **5.2.3 Prozesswärme**

Neben dem Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung wird im Betrieb auch Prozesswärme in Form von Dampf eingesetzt

- ⇒ bei der Herstellung von Dränplatten
- ⇒ zur Rohrspülung (Sterilisation von Sanitär-Rohren)

Darüber hinaus wird für die Lackieranlage in der Elektrorohrproduktion Heißluft benötigt.

Die Erzeugung von Dampf bzw. Heißluft erfolgt in eigens dafür vorgesehenen Dampfkesseln bzw. Luftherhitzern (siehe Kapitel 5.3).

Die Wärmeerzeugung in den Kunststoffproduktionsmaschinen (Extrudern) erfolgt durch elektrische Heizwicklungen und Heiz- Manschetten bzw. Reibungswärme durch die ebenfalls elektrisch angetriebenen Extruderschnecken. Diese Wärmebeiträge werden daher getrennt in Kapitel 5.5.1 beschrieben.

## **5.3 Wärmeerzeugung**

Die Wärmeversorgung des Betriebes erfolgt aus rund 15 unterschiedlichen Wärmeerzeugern, siehe Tabelle 5-1.

### **5.3.1 Raumheizung und Trinkwassererwärmung**

Die Kessel in den Heizzentralen Gebäude 2 und 23 werden sowohl mit Heizöl EL (HEL) als auch mit Erdgas befeuert, die übrigen Heizkessel nur mit Heizöl.

Darüber hinaus ist in der Druckluftzentrale eine Anlage zur Abwärmenutzung mit einer Gesamtwärmeleistung von 504 kW installiert. Die hier aus den fünf Druckluftkompressoren zurückgewonnene Wärme wird vorlaufseitig in den Heizkreislauf der Heizzentrale Gebäude 2 eingespeist.

In folgender Tabelle 5-1 ist ein Überblick über die eingesetzten Techniken zur Heizwärmeversorgung in den einzelnen Gebäuden dargestellt.

Tabelle 5-1: Übersicht Wärmeerzeugung

| Standort                | versorgte Gebäude                   | Energie-Träger | installierte Heizleistung [kW] | Verbrauch <sup>1)</sup> pro Jahr [MWh <sub>HU</sub> /a] |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|---|
| Heizzentrale H.2        | 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 16 | Gas & Öl       | 3.852                          | 3.102   |
| Heizzentrale H.18       | 15, 18, 19, 20, 21                  | Öl             | 901                            | 0   |
| Heizzentrale H.23       | 22, 22/2, 22/3, 23, 24              | Gas & Öl       | 1950                           | 426   |
| PE-Abteilung, H.6       | 6                                   | Öl             | 26                             | 43  |
| Dränrohr-Abteilung, H.8 | 8                                   | Öl             | 262                            | 394   |
| Maschinenbau H.14       | 14                                  | Öl             | 246                            | 250   |
| Kfz-Werkstatt H.9       | 9                                   | Öl             | 208                            | 187   |
| Messebau H.17           | 17                                  | Öl             | 151                            | 296   |
| Mobile Heizgeräte       | nach Bedarf                         | Öl             | 158                            | 70  |
|                         | <b>Summe</b>                        |                | <b>7.754</b>                   | <b>4.768</b>  |
| Druckluftzentrale       | wie HZ2                             | Abwärme        | 504                            | 502   |

<sup>1)</sup> jährlicher Brennstoffverbrauch (Erdgas + Heizöl) im Bezugsjahr 2000

Die beiden Heizzentralen in Halle 2 und Halle 18 werden unabhängig voneinander betrieben. Zwischen den beiden Leitungsnetzen bestehen Verbindungsleitungen (Vor- und Rücklaufleitungen), die im Normalfall durch Absperrventile geschlossen sind, die jedoch im Bedarfsfall geöffnet werden können.

### 5.3.2 Prozesswärme

Neben den oben beschriebenen Heizkesseln werden im Betrieb die in Tabelle 5-2 aufgeführten separaten Wärmeerzeuger für Prozesswärme eingesetzt:

Tabelle 5-2: Übersicht Prozesswärmeversorgung

| Standort | Verwendung                   | Kessel-Daten               | Brennstoff | Verbrauch <sup>1)</sup><br>[MWh <sub>HU</sub> /a] |
|----------|------------------------------|----------------------------|------------|---|
| Halle 15 | Dampf Dränplattenherstellung | 2.000 kg/h Dampf           | Öl         | 870   |
| Halle 18 | Dampf Rohrspülung            | 350 kg/h Dampf             | Öl         | 609   |
| Halle 23 | Dampf Rohrspülung            | 640 kg/h Dampf             | Gas & Öl   | 764   |
| Halle 23 | Bedampfung Stangen           | 126 kW                     | Gas & Öl   | 19  |
| Halle 22 | Heißluft Lackieranlage       | 500 m <sup>3</sup> /h Luft | Gas        | 149   |
|          | <b>Summe</b>                 |                            |            | <b>2.411</b>                                      |

<sup>1)</sup> jährlicher Brennstoffverbrauch (Erdgas + Heizöl) im Bezugsjahr 2000

### 5.3.3 Übersicht Wärmeverwendung

#### Brennstoffverbrauch: ca. 7.200 MWh/a

Der jährliche Brennstoffeinsatz in den oben genannten Wärmeerzeugern betrug (nach der Messdatenerfassung im hauseigenen Leittechniksystem) insgesamt 7.179 MWh<sub>HU</sub>/a, der sich zusammensetzt aus 4.198 MWh/a Erdgas<sup>1</sup> und 2.983 MWh/a Heizöl EL.

Davon wurden 4.768 MWh<sub>HU</sub>/a (rund 66,42 %) für Heizung und Trinkwassererwärmung und 2.411 MWh<sub>HU</sub>/a (33,58 %) für Prozesswärme verbraucht.

Diese Gesamtverbrauchsmenge verteilt sich wie folgt auf die einzelnen Bereiche der Wärmeabnahme (Bezugsjahr 2000):

Tabelle 5-3: Brennstoffeinsatzmengen und Verwendungszweck

| Verwendung           | Brennstoffverbrauch [MWh/a] |              |              |
|----------------------|-----------------------------|--------------|--------------|
|                      | Erdgas H                    | Heizöl EL    | Summe        |
| Trinkwassererwärmung | 380                         | 174          | 554          |
| Raumwärme            | 2.894                       | 1.322        | 4.216        |
| Prozesswärme         | 923                         | 1.487        | 2.410        |
| <b>Summe</b>         | <b>4.197</b>                | <b>2.983</b> | <b>7.180</b> |

In Abbildung 5-1 ist diese Aufteilung der Verbrauchswerte grafisch dargestellt.

<sup>1</sup> Hier besteht beim Gasverbrauch eine Diskrepanz zu den Bezugsabrechnungen des Gasversorgungsunternehmens, wonach sich ein Verbrauchswert von 4.045 MWh/a (Hu) ergibt. Dieser Unterschied von rund 3,8% ist auf die Differenzen zwischen Bezugszähler einerseits und der Summe der Leittechnik-Unterzähler andererseits zurückzuführen. Für die Emissionsberechnungen werden die Werte des Bezugszählers verwendet.

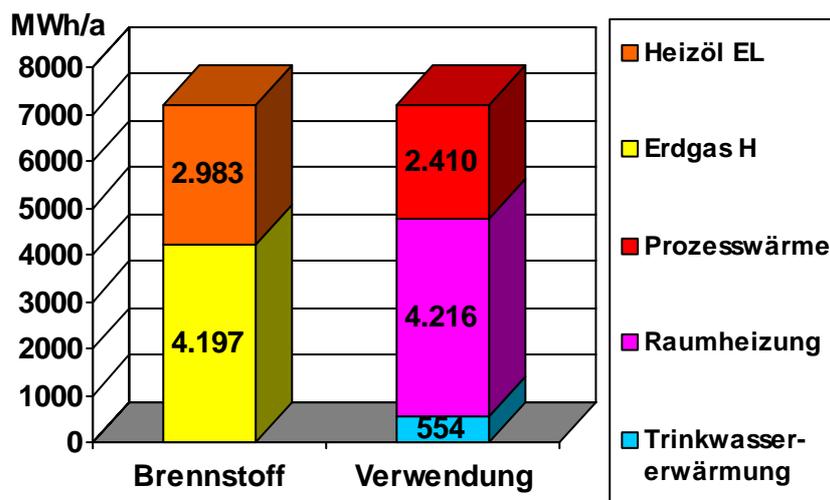


Abbildung 5-1: Brennstoffaufkommen und -verwendung

Die Anlage zur Abwärmenutzung aus den Druckluftkompressoren ist in dieser Wärmebilanz nicht mit berücksichtigt; aus der betrieblichen Datenaufzeichnung geht eine tatsächlich zurückgewonnene Wärmemenge von ca. 502 MWh<sub>th</sub> hervor, die für Raumheizung und Trinkwassererwärmung verwendet wird. Dies entspricht bei einem angesetzten Nutzungsgrad der Heizkessel von 85% einem Brennstoffverbrauch von ca. 590 MWh<sub>HU</sub>/a.

## 5.4 Elektrische Energieversorgung

### 5.4.1 Gesamt-Stromverbrauch

**Strom-Bezug 24.913 MWh/a**

Im Bezugsjahr 2000 wurden 24.913 MWh Strom vom Energieversorgungsunternehmen (Überlandwerke Unterfranken, ÜWU) bei einer Jahreshöchstleistung von 5.488 kW bezogen (siehe auch Abschnitt 4.3.1).

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden die wesentlichen Stromanwendungen aufgenommen und deren Verbrauch gemessen bzw. hochgerechnet, siehe auch Kapitel 3.

### 5.4.2 Elektrische Versorgungseinrichtungen

#### 5.4.2.1 Transformatoren

Die elektrische Energie wird in der Übergabestation auf Mittelspannungsniveau 20 kV bezogen, in 11 Mittelspannungsstationen verteilt und durch insgesamt 14 Transformatoren (zusammen 18.300 kVA) auf Niederspannungsniveau 400 V transformiert.

Die Auslastung der Transformatoren liegt somit im Jahresmittel bei rund 15,5%. Die mittlere Verlustleistung der Transformatoren beträgt zusammen etwa 59 kW; dies entspricht bei einem ganzjährigen Betrieb der Transformatoren rund 520 MWh/a (2,1% der bezogenen Strommenge). Auf Grund der geringen Belastung der Transformatoren machen die Leerlaufverluste den weitaus größten Verlustanteil (ca. 22 kW) aus; die Kurzschlussverluste spielen kaum eine Rolle.

### 5.4.2.2 Blindleistungskompensation

Zur Blindleistungskompensation verfügt der Betrieb über Blindleistungskompensationsanlagen in den jeweiligen Transformatorstationen, die den Leistungsfaktor automatisch auf  $\cos \varphi = 0,9$  einregeln.

## 5.5 Stromanwendungen

### 5.5.1 Produktionsanlagen

Die Produktionslinien in den einzelnen Geschäftsbereichen stellen mit Abstand die größte Verbrauchergruppe für Elektroenergie dar. Aus den internen Zähleraufzeichnungen ist ein Verbrauchsanteil der Produktionsbereiche von über 60% des Gesamtstromverbrauchs zu erkennen (siehe auch Abschnitt 5.5.8).

Daher wurden in den einzelnen Bereichen Messungen an typischen Anlagen durchgeführt, um detailliertere Aussagen zu den einzelnen Anlagenkomponenten zu erhalten.

#### 5.5.1.1 Elektrorohr-Fertigung

Untersucht wurde eine der Fertigungslinien zur Herstellung von Elektrorohr aus Polyethylen (PE), das als Leerrohr in der Elektroinstallation verwendet wird (siehe Abbildung 5-2). Dieser Typ von Produktionsanlagen verursacht rund 10 % des gesamten Stromverbrauchs bei den Fränkischen Rohrwerken.



Abbildung 5-2: Produktionslinie Elektrorohr

Bei dieser Produktionslinie wurden die elektrischen Leistungsaufnahmen von

- ⇒ Extruder-Heizung,
- ⇒ Extruder-Antriebe,
- ⇒ Corrugator (vor allem Antrieb) und
- ⇒ Sprühbad (vor allem Ventilator)

sowie (über die Kühlwassertemperaturen und Durchflussmengen) die Kühlleistungen von

- ⇒ Extruder,
- ⇒ Corrugator und
- ⇒ Sprühbad

bestimmt. Die sich daraus ergebenden Energieströme sind in Abbildung 5-3 in Form eines Energieflussbildes (Sankey-Diagramm) dargestellt.

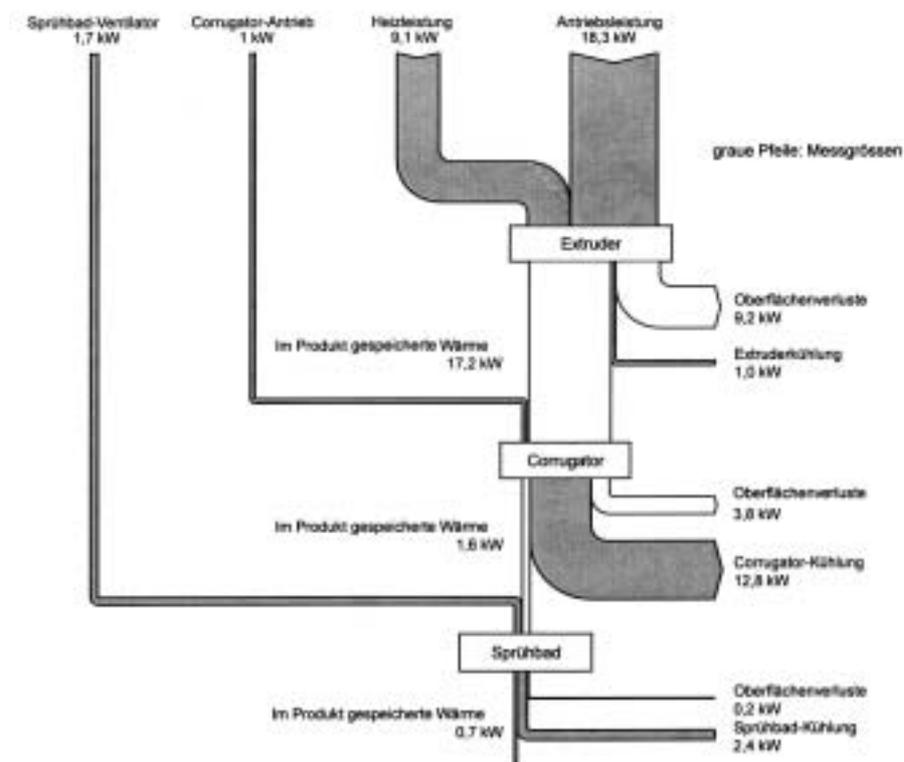


Abbildung 5-3 :Energiebilanz Extruder-Herstellung

Von der gesamten elektrischen Leistung (30,1 kW) werden rund 60 % für den Antrieb des Extruders eingesetzt, der zur Aufheizung des Granulates durch Reibungswärme dient. 30 % werden zur direkten elektrischen Beheizung des Extruders eingesetzt, rund 4 % werden für den Antrieb des Corrugators benötigt und die verbleibenden 6 % speisen ein Niederdruck-Gebläse, mit dem das am Produkt nach der Sprühkühlung anhaftende Wasser abgeblasen wird.

Der Verlauf der Kühlwassertemperaturen ist in Abbildung 5-4 dargestellt.

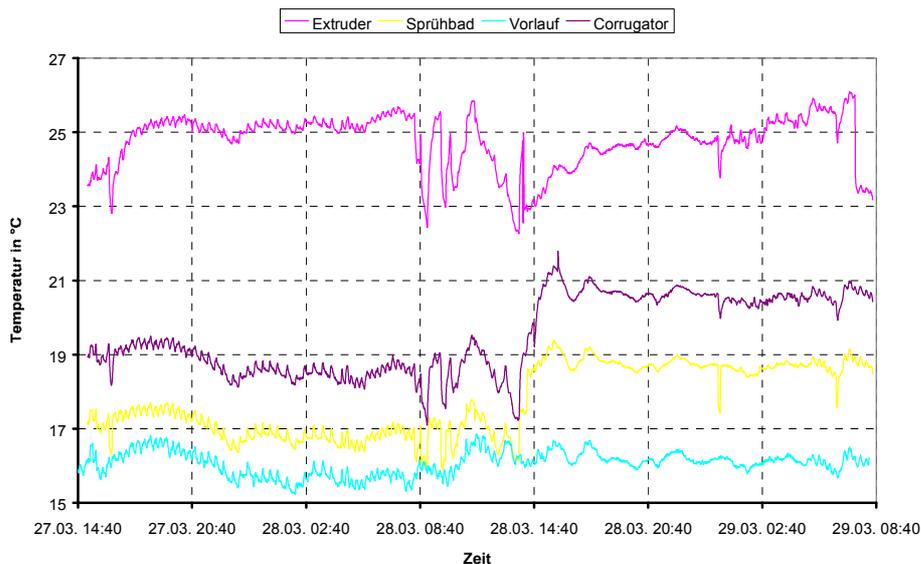


Abbildung 5-4: Kühlwasser-Temperaturen bei der Elektrorohr-Herstellung

Die Kühlung der Anlagen bzw. des Produkts erfolgt mit Hilfe von Kaltwasser (Vorlauftemperatur ca. 16 °C). Die gesamte Kühlleistung beträgt ca. 16 kW, wobei ein Großteil für die Kühlung der Formbacken im Corrugator aufgewendet wird. Berücksichtigt man, dass auch die im Produkt beim Verlassen der Anlage gespeicherte Wärme an die Umgebung abgegeben wird, so werden (zusammen mit den Wärmeströmen durch Abstrahlung und Konvektion von den Fertigungsmaschinen) insgesamt 13,9 kW und damit rund 46 % der benötigten elektrischen Leistung in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben.

In Verbindung mit den Produktionsdaten lässt sich für diese Anlage ein spezifischer Verbrauch von rund 0,348 kWh an elektrischer Energie und 0,19 kWh an Kälte pro Kilogramm PE-Rohr ermitteln.

Da während des Messzeitraums zeitweise auch mit geringerer Geschwindigkeit produziert wurde, konnte die Abhängigkeit des spezifischen Energieverbrauchs von der Produktionsgeschwindigkeit ermittelt werden (siehe Abbildung 5-5).

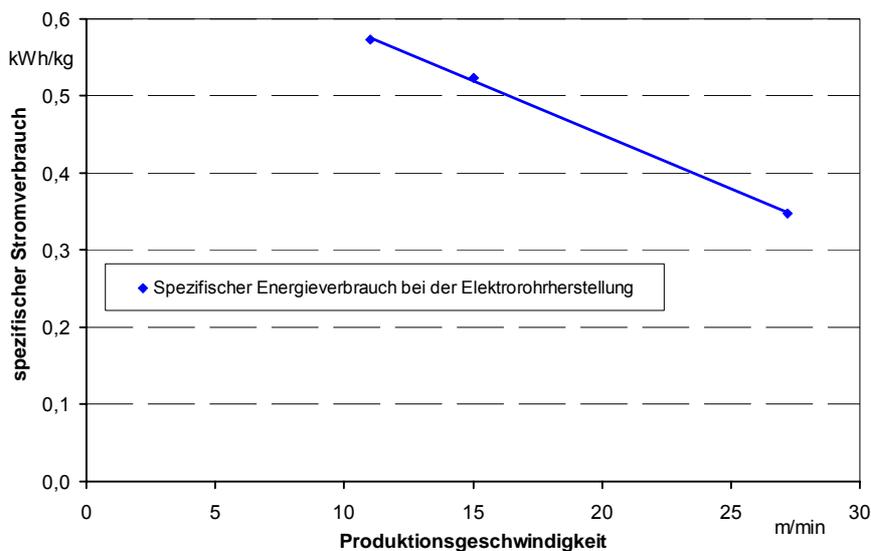


Abbildung 5-5: Abhängigkeit des spezifischen Energieverbrauchs von der Produktionsgeschwindigkeit

In dem erfassten Bereich der Produktionsgeschwindigkeit zeigt sich ein annähernd linearer Zusammenhang. Unterhalb von 10 m/min ist wegen der von der Produktionsgeschwindigkeit unabhängigen Grundlastanteile mit einem noch stärkeren Anstieg des spezifischen Verbrauchs zu rechnen. Generell wirkt sich jedoch wie bei nahezu allen Produktionsanlagen eine hohe Auslastung positiv auf den spezifischen Energieverbrauch aus.

### 5.5.1.2 Dränrohr

Ein weiteres Standardprodukt der *Fränkischen Rohrwerke*, für das rund 22 % der gesamten elektrischen Energie verbraucht werden, sind Drainagerohre (teilweise gelochte Rohre, die zur Entwässerung eingesetzt werden). In der untersuchten Anlage wurden Standardrohre aus PVC hergestellt.

Messtechnisch erfasst wurde an der Produktionslinie 406 in Halle 8 die Gesamtleistung der Anlage. Darin enthalten sind die Antriebe von Extruder und Corrugator sowie die Heizleistung für den Extruder. In Abbildung 5-6 sind die Messwerte dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei Absinken der Gesamtleistung (z. B. durch Verringerung der Produktionsgeschwindigkeit) die Heizleistung ansteigt. Dies belegt, dass ein Großteil der für die Erwärmung des Kunststoffes benötigten Energie im Extruder durch Reibung entsteht. Im untersuchten Fall werden für die Aufheizung des Kunststoffes auf 200 °C rund 25 kW benötigt, die mittlere Heizleistung liegt jedoch unter 10 kW. Bei sinkender Antriebsleistung und damit verringerter Reibungswärme muss daher die Heizleistung angehoben werden.

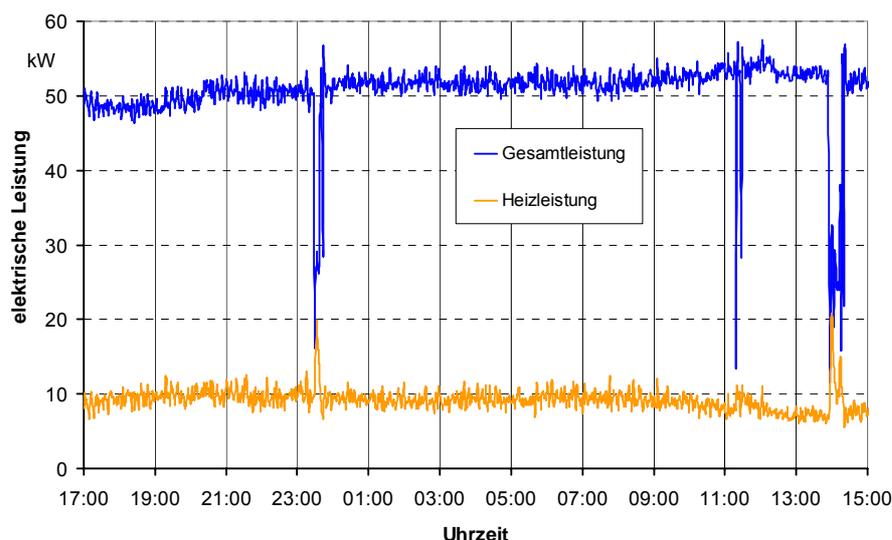


Abbildung 5-6: Elektrische Gesamtleistung und die darin enthaltene Heizleistung einer Produktionslinie für Dränrohre

In Verbindung mit den Produktionsdaten lässt sich für die Dränrohranlage ein spezifischer Verbrauch von rund 0,178 kWh pro Kilogramm (bzw. 0,07 kWh pro Meter) PVC-Rohr ermitteln. Damit fallen bei PVC-Rohren massenspezifisch nur rund 50 % des Energieverbrauchs von PE-Rohren an. Im Wesentlichen ist dies darauf zurückzuführen, dass die für die Erwärmung von PVC auf Umformtemperatur notwendige Wärmemenge deutlich niedriger liegt als bei PE. So werden für die Erwärmung von PVC auf 200 °C mit 0,08 kWh/kg nur rund 40 % der Energie benötigt, die für die Erwärmung von PE auf 250 °C (Umformtemperatur von PE) notwendig ist (0,2 kWh/kg).

### 5.5.1.3 Verbundrohr-Fertigung

Verbundrohre sind doppelwandig ausgeführte Rohre, wobei die innere Wand glatt ausgeführt ist, um einem Medienstrom möglichst geringen Widerstand zu bieten. Die äußere Wand dagegen ist aus Stabilitätsgründen strukturiert. In der entsprechenden Produktionsanlage werden die beiden Schichten simultan erzeugt und dauerhaft miteinander verbunden.

Messtechnisch erfasst wurde bei der hier untersuchten Anlage sowohl die elektrische Gesamtleistung als auch der Leistungsfaktor (Cosinus phi), also das Verhältnis zwischen Wirk- und Scheinleistung (aus dieser Messung lassen sich Aussagen über die Auslastung des Antriebsmotors gewinnen). In Abbildung 5-7 sind die entsprechenden Messdaten dargestellt.

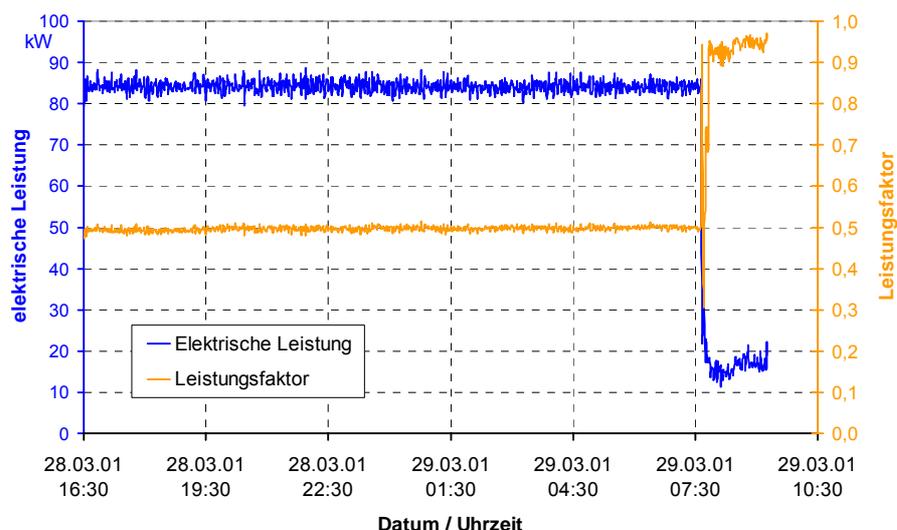


Abbildung 5-7: Gesamte elektrische Leistungsaufnahme und Leistungsfaktor der untersuchten Verbundrohr-Anlage

Während der Produktionszeit liegt die aufgenommene Leistung bei rund 85 kW, der Leistungsfaktor bei 0,5. Dies deutet - für die während des Messzeitraums produzierte Rohrart - auf eine sehr geringe Auslastung bzw. Überdimensionierung des Antriebs hin. (Eine Aussage, ob dies bei den anderen Produkten ähnlich ist, kann hier nicht getroffen werden).

Grundsätzlich ergibt sich bei den in der Anlage eingesetzten Stromrichterantrieben bei geringer Auslastung ein sehr niedriger Leistungsfaktor. Um 7:30 Uhr wurde die Produktion der Anlage unterbrochen, wodurch der verbleibende Leistungsbedarf auf rund 15 kW absank; gleichzeitig stieg der Leistungsfaktor auf knapp unter 1 an. Daraus ist zu schließen, dass es sich bei dieser Restleistung um eine reine Heizleistung handelt, die ein Auskühlen des Extruders verhindern soll.

In Verbindung mit den Fertigungsdaten des während der Messung produzierten Rohrtyps lässt sich für die Verbundrohranlage ein spezifischer Verbrauch von rund 0,335 kWh pro Kilogramm PE-Verbundrohr ermitteln. Demnach liegt der spezifische Energieverbrauch für die Herstellung von Verbundrohr nahe bei dem der Elektrorohrfertigung aus dem gleichen Material.

### 5.5.1.4 Heizungsrohr-Fertigung

Ein Spezialprodukt der *Fränkischen Rohrwerke* sind flexible Kunststoffrohre für Heizung und Warmwasser. Diese werden in mehreren Arbeitsgängen an einer Produktionslinie gefertigt. In Abbildung 5-8 ist die elektrische Leistung für die Produktionsschritte Extrudierung, Salzbadhärtung, Kalibrierung und

Abzug des Rohrs dargestellt. Nach diesen Arbeitsschritten liegt ein glattes Rohr aus vernetztem Polyethylen (PE-X) vor.

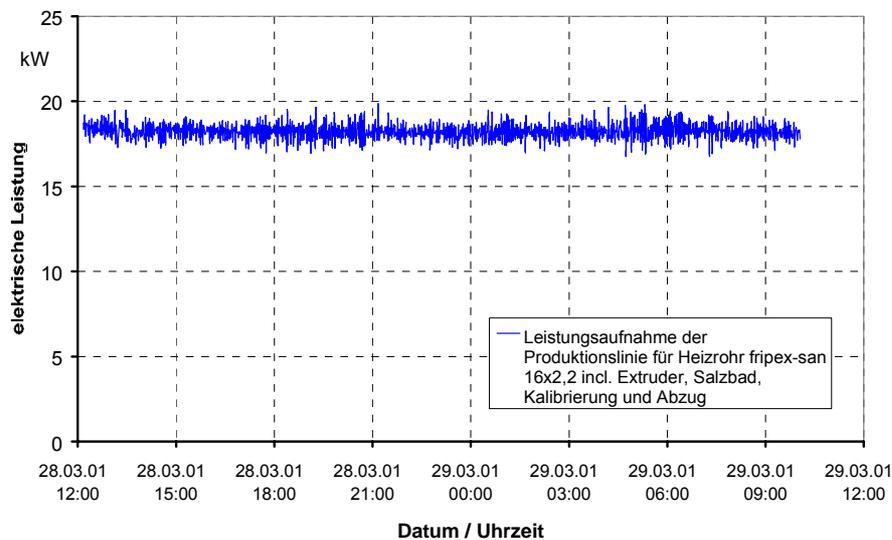


Abbildung 5-8: Elektrische Leistungsaufnahme der untersuchten Heizrohr-Anlage

In Verbindung mit den Produktionsdaten lässt sich für die untersuchten Prozessschritte ein spezifischer Verbrauch von rund 0,47 kWh pro Kilogramm bzw. 0,05 kWh pro Meter Rohr (des bei der Messung hergestellten Rohrtyps/Durchmessers) ermitteln. Dieser Wert liegt deutlich höher als der der anderen Materialien (PE und PVC), was im Wesentlichen auf den zusätzlichen Energieverbrauch für das Salzbad zurückzuführen ist. (Das Bad aus flüssigem Salz befindet sich in einer ca. 10m langen, abgedeckten und wärmegeprägten Stahlwanne, durch die das Kunststoffrohr läuft. Die Temperatur des flüssigen Salzes zum Messzeitpunkt betrug 267°C)

#### 5.5.1.5 Spritzguss

Spritzgießen als eines der typischen Fertigungsverfahren in der Kunststoffindustrie spielt bei den *Fränkischen Rohrwerke* eine untergeordnete Rolle. Um den spezifischen Energieaufwand zu ermitteln, wurde eine Messung an einer Spritzgussmaschine für PVC durchgeführt, deren Ergebnisse in Abbildung 5-9 und Abbildung 5-10 dargestellt sind.

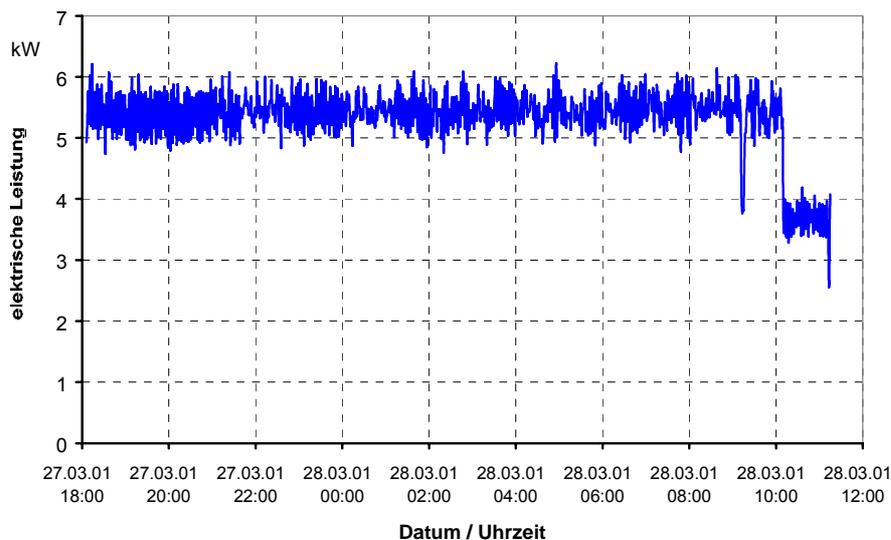


Abbildung 5-9: Elektrische Leistungsaufnahme einer Spritzgussmaschine (Minuten-Mittelwerte)

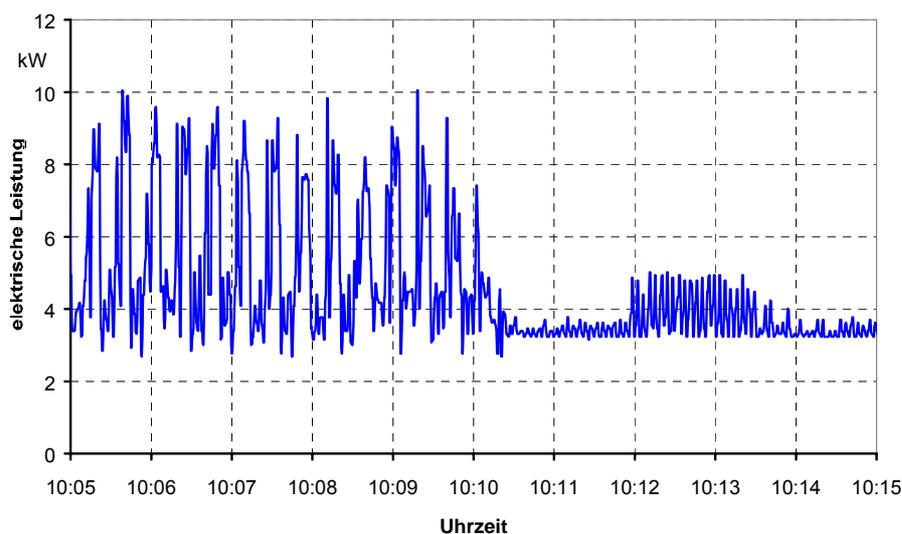


Abbildung 5-10: Elektrische Leistungsaufnahme einer Spritzgussmaschine (hochauflösende Messung)

Um ca. 10:10 Uhr wurde die Produktion beendet, die mittlere Leistung nach Abbildung 5-9 sinkt von 5,5 auf 3,8 kW. Dieser Wert entspricht somit der Leerlaufleistung (Heizung und Antriebe im Leerlauf). In Abbildung 5-10 sind bis 10:10 Uhr die einzelnen Takte (ca. 2,5 pro Minute) der Spritzgussmaschine deutlich zu erkennen.

In Verbindung mit den Produktionsdaten lässt sich für die untersuchten Produkte ein spezifischer Verbrauch von rund 0,824 kWh pro Kilogramm (bzw. 8 Wh pro PVC-Spritzgussteil) ermitteln. Dieser Wert liegt rund 4,5 mal höher als der des PVC-Rohrs. Zurückzuführen ist dieser deutliche Unterschied auf die diskontinuierliche Betriebsweise beim Spritzgießen, die neben den eigentlichen Produktionszeiten erhebliche Leerlaufzeiten mit den entsprechenden Wärmeverlusten (z. B: Zeiten für Ausstoßen des Gutes oder Positionieren des Werkzeugs) bedingt.

### 5.5.1.6 Zusammenstellung Produktionslinien

Typische Prozessparameter und Energieverbrauchswerte, die durch die oben beschriebenen Einzelmessungen an repräsentativ ausgewählten Einzelanlagen gewonnen wurden, sind für die verschiedenen Produktparten in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

Tabelle 5-4: Prozess- und Leistungsdaten für unterschiedliche einzelne, repräsentativ ausgewählte Produktionsanlagen und Produktarten

| Produktgruppe                         | Material | Produktionsleistung | Temperatur am Extruder-ausgang | Mittlere Leistungsaufnahme | spezifischer Stromverbrauch |
|---------------------------------------|----------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                                       |          | kg/min              | °C                             | kW                         | kWh/kg                      |
| Elektrohr                             | PE       | 1,44                | 245                            | 20,1                       | 0,348                       |
| Dränrohr                              | PVC      | 4,85                | 200                            | 51,7                       | 0,178                       |
| Heizungsrohr                          | PE-Xa    | 0,64                | 267 <sup>(1)</sup>             | 18,2                       | 0,474                       |
| Verbundrohr                           | PE       | 4,2                 | 250                            | 84,3                       | 0,335                       |
| Spritzguss                            | PVC-U    | 0,109               | 200                            | 5,4                        | 0,823                       |
| <sup>(1)</sup> Temperatur des Salzbad |          |                     |                                |                            |                             |

Im Vergleich dazu ergeben sich aus den jährlichen Stromverbrauchswerten der Unterverteilungen in den einzelnen Produktionsbereichen die folgenden spezifischen Werte:

Tabelle 5-5: jährliche Gesamt-Stromverbrauchs- und Produktionsdaten für verschiedene Fertigungsbereiche

| Bereich                      | Jahresstromverbrauch | Jährliche Produktionsmengen | spezifischer Verbrauch |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|
|                              | kWh/a                | kg/a                        | kWh/kg                 |
| Prod. Elektrohr              | 4.945.147            | 10.917.231                  | 0,453                  |
| Prod. Dränrohr               | 5.208.336            | 13.277.066                  | 0,392                  |
| Prod. Heizungs-/ Sanitärrohr | 2.751.198            | 5.640.850                   | 0,488                  |
| Prod. Industrieprodukte      | 2.121.975            | 2.035.480                   | 1,042                  |
| <b>Gesamtbetrieb</b>         | <b>15.026.656</b>    | <b>31.870.627</b>           | <b>0,471</b>           |

Diese Werte liegen alle über den aus den Prozessmessungen gewonnenen Werte, was einerseits auf Unterschiede in den spezifischen Verbrauchswerten der einzelnen Anlagen der Gesamtgruppe zurückführbar ist. Andererseits sind bei den in Tabelle 5-5 dargestellten spezifischen Werten nicht nur der Verbrauch der Produktionsanlagen selbst, sondern auch der Stromverbrauch von weiteren Stromverbrauchern wie Beleuchtung und unterstützende Maschinen enthalten, die über die genannten Unterverteilungen ebenfalls versorgt werden.

### 5.5.2 Technische Dienste: Kälteversorgung

Der Bereich Technische Dienste umfasst bei den Fränkischen Rohrwerken Anlagen und Versorgungseinrichtungen, die allgemeine technische Dienstleistungen für den Gesamtbetrieb oder Teilbereiche zur Verfügung stellen. Dazu gehören

- ⇒ Anlagen zur Kälteversorgung bzw. Wasserrückkühlung
- ⇒ die Druckluftherzeugung
- ⇒ Werkstätten
- ⇒ Heizzentralen
- ⇒ Wasserversorgung
- ⇒ Sprinkleranlage.

Die beiden größten Verbrauchergruppen hiervon, nämlich die Kälte- und die Druckluftversorgung, werden gesondert betrachtet; die anderen Verbraucher werden zusammengefasst (siehe Abschnitt 5.5.4)

Die zur Extrusion erforderliche Wärme im Kunststoffmaterial muss nach bzw. während der Formgebung des Produkts wieder abgeführt werden, um den Kunststoff formbeständig zu verfestigen. Dies wird durch eine Wasserkühlung der Formbacken der Corrugatoren (bei Rohrfertigung) bzw. der Spritzgussformen bewirkt.

Die Produktionslinien in den Gebäude 2, 5, 6, 7 und 8 (Kühlkreis 2) sowie 15, 18 und 21 (Kühlkreis 1) werden von einer zentralen Wasserkühlanlage im Keller Gebäude 18 versorgt, die aus mehreren Kaltwassersätzen unterschiedlicher Bauart und Kälteleistungen zwischen 100 und 250 kW besteht (siehe Tabelle 5-6).

Tabelle 5-6: Anlagen zur Kälteerzeugung in Kältezentrale Halle 18

|    | KM-Art: | Kältemaschine Typ                               | Bj. | Wärmetauscher | Kälteleistung: |
|----|---------|---|-----|---------------|----------------|
| 1  | K       | D8SJ1-6000-BWM/D                                | 95  | Rohrbündel    | 130 kW         |
| 2  | S       | HSKC 7471 - 90 (Y)                              | 98  | Rohrbündel    | 180 kW         |
| 3  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM                              | 84  | Rohrbündel    | 130 kW         |
| 4  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM/D                            | 93  | Rohrbündel    | 125 kW         |
| 5  | K       | D8 RJ1 – 6000 - AWM                             | 84  | Koaxial       | 110 kW         |
| 6  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM/D                            | 91  | Platten       | 120 kW         |
| 7  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM/D                            | 88  | Koaxial       | 100 kW         |
| 8  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM/D                            | 88  | Koaxial       | 100 kW         |
| 9  | K       | D8 RJ1- 6000 - AWM/D                            | 88  | Koaxial       | 100 kW         |
| 10 | S       | Dunham-Bush 1215<br>NHF 6x6JBJO PCWX<br>120 (Q) | 92  | Rohrbündel    | 250 kW         |

Die in Halle 18 installierte Kälteleistung beträgt also rund 1.400 kW.

In Abbildung 5-11 ist der Stromverbrauch einzelner Komponenten / Gruppen im Jahresverlauf dargestellt.

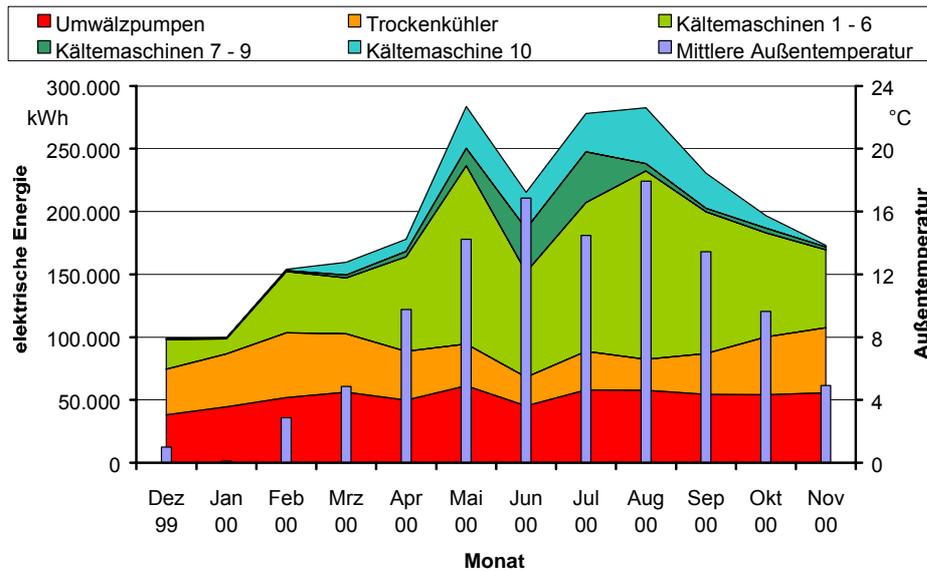


Abbildung 5-11: Elektrischer Energieverbrauch einzelner Komponenten der Kältebereitstellung im Jahresverlauf

Der vergleichsweise geringe Verbrauch im Juni ist durch die in diesem Monat geringere Produktionsmenge erklärbar.

Deutlich zu erkennen ist der starke Anstieg des Stromverbrauchs in den Sommermonaten. Dies ist nicht durch einen erhöhten Kältebedarf zu erklären (z. B. Klimakälte), da die Kälte praktisch ausschließlich zu Produktionszwecken verwendet wird. Der Grund für den höheren Stromverbrauch bei höheren Temperaturen liegt vielmehr in der Art der Kältebereitstellung, die im Sommer verstärkt durch Kältemaschinen erbracht werden muss. Bei geringeren Außentemperaturen dagegen kann ein Großteil der Wärme durch Trockenkühler (Freikühler) abgeführt werden, die einen viel geringeren spezifischen Strombedarf im Vergleich zu Kältemaschinen haben.

Aus den durch die Betriebsdatenerfassung aufgezeichneten Werten der bereitgestellten Kälteleistung und des dazugehörigen Stromverbrauchs kann der spezifische Energieverbrauch der Kältebereitstellung berechnet werden. Dieser spezifische Verbrauch ist in Abbildung 5-12 in Abhängigkeit von der Außentemperatur dargestellt. Zu erkennen ist sowohl der Grundbedarf bei maximalem Trockenkühlerbetrieb ( $0,18 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{Kälte}}$  unter  $0 \text{ °C}$ ) als auch der deutliche Anstieg des Verbrauchs mit steigender Außentemperatur (bis  $0,35 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{Kälte}}$  bei  $10 \text{ °C}$ ). Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei entsprechender Auslegung selbst bei  $10 \text{ °C}$  ein Großteil der Kälteleistung von den Trockenkühlern erbracht werden kann.

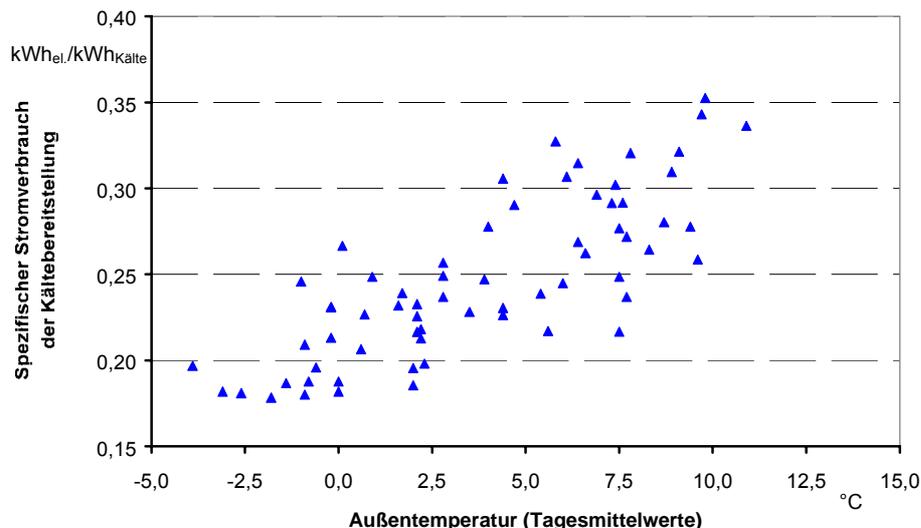


Abbildung 5-12: Spezifischer Stromverbrauch der Kältebereitstellung für Gebäude 24 über der Außentemperatur (Tageswerte zwischen 01.02.01 und 30.04.01)

In Abbildung 5-13 ist die Jahresdauerlinie der Kälteabgabeleistung dargestellt, die das Abnahmeverhalten der Verbraucher widerspiegelt. Durch Wärmeeinträge (Pumpenverluste, Rohrnetzverluste) stehen den Abnehmern in der Produktion noch ca. 1.200 bis 1.300 kW zur Verfügung.

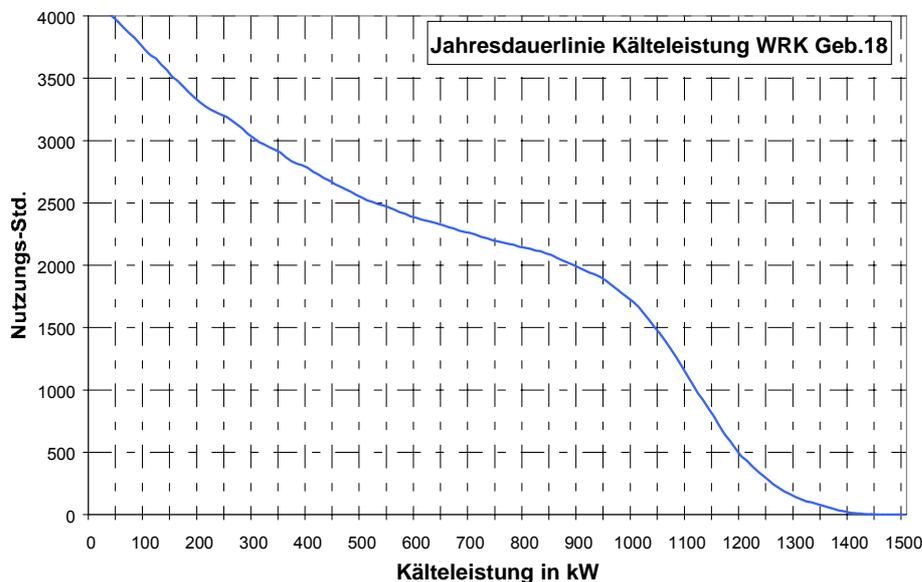


Abbildung 5-13: Jahresdauerlinie der Kälteabgabe Halle 18

Wie die Abbildung zeigt, entspricht die maximale Kälte-Abnahme der Produktionsanlage der installierten Kälteleistung, d.h. mit den vorhandenen Kältemaschinen kann der Kältebedarf in den Sommermonaten gerade abgedeckt werden. Deshalb wird im Betrieb aus Gründen der Ausfallsicherheit und der Kapazitätsreserven neben einer Effizienzverbesserung auch die Erweiterung der Kälteanlage erwogen.

Der separat erfasste jährliche Verbrauch der Kältezentrale Halle 18 (einschließlich Pumpen) beträgt ca. 2.356 MWh/a (rund 10 % des gesamten Stromverbrauchs).

Die Kälteabnehmer in Halle 24 werden durch eine gebäudezugeordnete Kälteanlage unabhängig von der Kältezentrale Halle 18 versorgt. Die maximale Kälteabgabe beträgt hier ca. 150 kW, der jährliche Stromverbrauch rund 221 MWh/a.

Damit ergibt sich ein jährlicher Gesamtstromverbrauch von 2.577 MWh/a für die Kälteanlagen, die mit 10,3% Anteil am Gesamtstrombezug nach den einzelnen Produktionsbereichen die größte elektrische Verbrauchergruppe des Betriebes darstellen.

### 5.5.3 Technische Dienste: Druckluftversorgung

Die Druckluft wird in einer Druckluftstation in Halle 7 zentral erzeugt und aufbereitet. Es sind vier Schrauben-Kompressoren Atlas Copco GA 160 (Antriebsleistung je 162 kW, Liefermenge je 1.620 m<sup>3</sup>/h) sowie ein drehzahlvariabler Schraubenkompressor Atlas Copco GA 90 VSD (25 bis 108 kW, 144 bis 900m<sup>3</sup>/h) installiert, die von einer Verbundregelung gesteuert werden. Die Luft wird getrocknet durch zwei Druckluft-Kältetrockner mit einer Leistungsaufnahme von je 12,5 kW. Als Kurzzeit-Puffer dient ein 10 m<sup>3</sup> fassender Druckluftspeicher. Jährlich werden etwa 11,75 Mio. Norm-Kubikmeter (m<sup>3</sup><sub>N</sub>) auf einen Netzdruck von 7 bar verdichtet.

Der Anteil der Kompressoren am Gesamtstromverbrauch beträgt mit 1.292 MWh/a rund 7%.

Hauptabnahmestellen für Druckluft sind:

- ⇒ Produktionsmaschinen
- ⇒ pneumatische Antriebe
- ⇒ Kleinverbraucher in Produktion und Werkstatt.
- ⇒ Granulatförderung.

In Abbildung 5-14 sind beispielhaft der Tagesverlauf für die elektrische Leistungsaufnahme der Kompressoren sowie die erzeugte Druckluftmenge dargestellt. Die Kompressorenregelung erfolgt durch eine übergeordnete Regelung, die die Druckluftherzeugung optimiert.

Der Bedarf an Druckluft ist während des ganzen Tages so hoch, dass zwei Kompressoren in Betrieb sind. Die elektrische Leistungsaufnahme der Kompressoren liegt zwischen 14 und 7 Uhr im Mittel bei etwa 210 kW. Der größte Druckluftbedarf tritt zwischen 7 und 14 Uhr auf. In diesem Zeitraum liegt der maximale elektrische Leistungsbedarf der Kompressoren bei rund 425 kW. Im Diagramm in Abbildung 5-14 sind die Betriebspausen gegen 8 bzw. 12 Uhr zu erkennen, in denen der Druckluftbedarf deutlich zurückgeht.

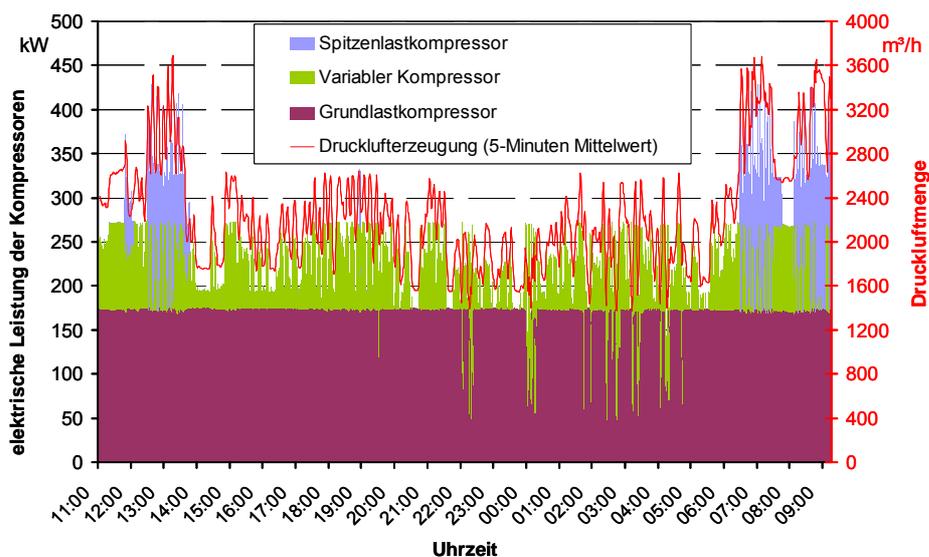


Abbildung 5-14: Typischer Tagesverlauf für die elektrische Leistungsaufnahme der Kompressoren und die erzeugte Druckluftmenge

In Abbildung 5-15 ist der spezifische Stromverbrauch der Drucklufterzeugung dargestellt. Der spezifische Stromverbrauch der gesamten Drucklufterzeugung liegt im Regelbereich des drehzahlgeregelten Kompressors bei rund 110 Wh/m<sup>3</sup>. Abweichungen nach oben ergeben sich immer dann, wenn der Spitzenlastkompressor in Betrieb geht (130 Wh/m<sup>3</sup>) und wenn der Grundlastkompressor in den Leerlaufbetrieb wechselt (bis 170 Wh/m<sup>3</sup>). Diese Betriebsweisen sollten daher so weit als möglich vermieden werden.

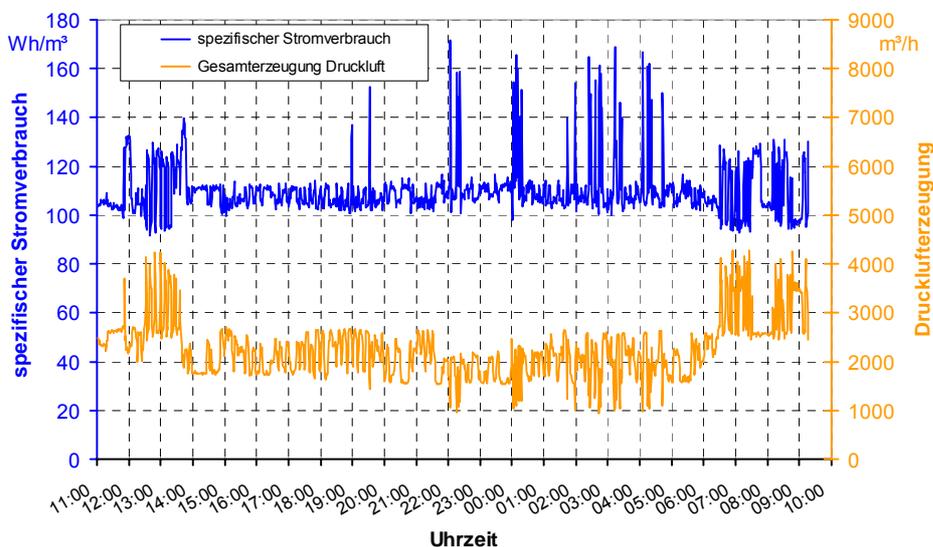


Abbildung 5-15: Spezifischer Stromverbrauch der Drucklufterzeugung

In Abbildung 5-16 ist die Dauerlinie des Druckluftbedarfs für einen Tag dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Erzeugungsmenge nur während rund 10 % des Messzeitraums über 2.600 m<sup>3</sup>/h liegt. Dies entspricht der maximalen Erzeugungsmenge eines Kompressors mit konstanter Liefermenge und des Kompressors mit variabler Liefermenge. Darüber hinaus wird bei Inbetriebnahme des Spitzenlastkompressors die Erzeugung des drehzahlvariablen Kompressors zurückgeregelt, und der Spitzenlastkom-

pressor hebt (wegen der zu hohen Erzeugungsmenge) das Druckniveau im Netz an. Daraus ergibt sich, dass die zusätzlich gelieferte Druckluftmenge bei Inbetriebnahme des Spitzenlastkompressors sehr gering ist.

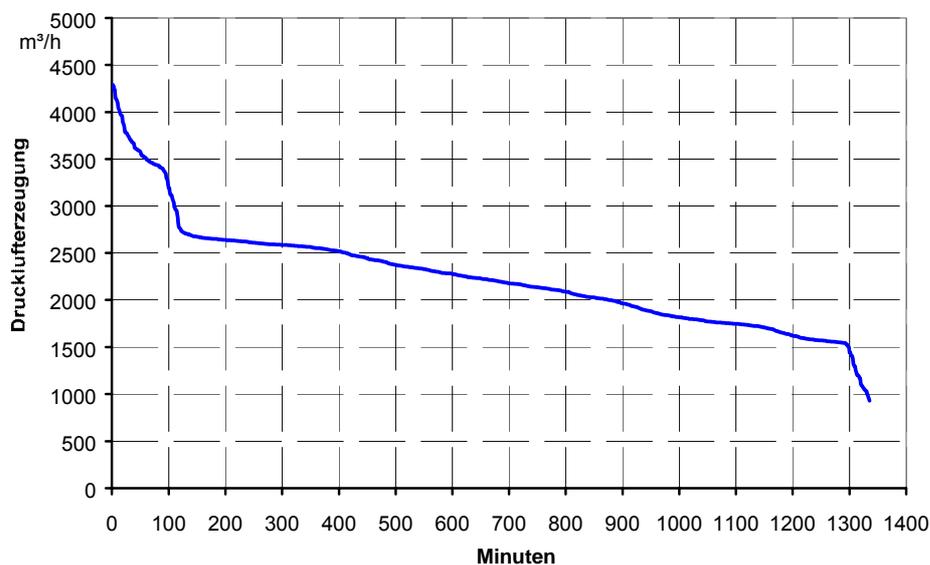


Abbildung 5-16: Dauerlinie des Druckluftbedarfs für den Messzeitraum

Die Auslegung der Druckluftproduktion ist für die vorliegenden Verhältnisse optimal. Der drehzahlregelbare Atlas Copco-Kompressor übernimmt einen großen Teil der Druckluftproduktion und verhindert das unnötige Takten eines Kompressors mit konstanter Erzeugungsmenge. Das z. T. unnötig lange Zuschalten des Spitzenlastkompressors könnte durch einen zusätzlichen Druckluftspeicher bzw. durch eine Absenkung der unteren Grenze für den Soll-Druck größtenteils vermieden werden. Da die vorhandene Speicherkapazität ( $10 \text{ m}^3$ ) bei einem Spitzenverbrauch von mehr als  $4.000 \text{ m}^3/\text{h}$  gering ist, wäre eine sinnvolle Lösung die Installation eines zusätzlichen, eventuell dezentral bei einem größeren Verbraucher angeordneten Speichers.

Bevor weitere Maßnahmen an der Druckluftversorgung ergriffen werden, ist generell die Ermittlung und Beseitigung von Druckluft-Leckagen und sonstigen Verlustmengen (z. B. bei Stillstand nicht abgesperrte Abnahmestellen) notwendig. Daher wurden die Verlustmengen in den einzelnen Teilbereichen quantifiziert, indem mittels eines in die jeweilige Zuleitung eingebauten Luftmengen-Messgeräts die entsprechende Abnahmemenge bei ruhender Produktion gemessen wurde. In Tabelle 5-7 sind diese Messungen zusammengefasst.

Tabelle 5-7: Druckluft-Abnahmemengen bei ruhender Produktion (Leckagen und Leerlaufverluste)

| Betriebsbereich                       | Abnahmemengen bei ruhender Produktion |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| FPKu, FFKuS, Mischer, Silos           | 80 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 5 (Neubau)                    | 0 m <sup>3</sup> /h                   |
| Gebäude 7                             | 0 m <sup>3</sup> /h                   |
| Gebäude 8 (einschl. Mischer + Silos)  | 60 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 14                            | 10 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 15                            | 0 m <sup>3</sup> /h                   |
| Gebäude 18 (einschl. Mischer + Silos) | 80 m <sup>3</sup> /h                  |
| Zubehör-Abt. (Gebäude 21)             | 35 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 22                            | 50 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 23                            | 26 m <sup>3</sup> /h                  |
| Gebäude 24                            | 20 m <sup>3</sup> /h                  |
| <b>Summe:</b>                         | <b>361 m<sup>3</sup>/h</b>            |

Es ergibt sich rechnerisch eine gesamte Verlustmenge von rund 361 m<sup>3</sup>/h oder, auf ein Jahr hochgerechnet, rund 3,16 Mio. m<sup>3</sup>/a. Bezogen auf die Gesamtliefermenge entspricht dies einer Verlustrate von rund 26,9%. Ein Teil dieser Verluste wurde im Anschluss an die Messungen bereits durch Lokalisierung und Reparatur von Leckagen beseitigt.

#### 5.5.4 Weitere Verbraucher im Bereich Technische Dienste

In dieser Gruppe sind Anlagen und Versorgungseinrichtungen zusammengefasst, die allgemeine technische Dienstleistungen für den Gesamtbetrieb oder Teilbereiche zur Verfügung stellen und deren Stromverbrauch separat erfasst wird. Dazu gehören:

Tabelle 5-8: weitere Verbraucher im Bereich Technische Dienste

| Verbrauchergruppe (weitere Technische Dienste) | Verbrauch MWh/a |
|--|-----------------|
| Werkstätten                                    | 78,3            |
| Heizzentralen                                  | 77,5            |
| Wasserversorgung                               | 3,6             |
| Sprinkleranlage                                | 2,9             |
| <b>Summe</b>                                   | <b>162,3</b>    |

In diesen Bereichen werden zusammen rund 162 MWh/a verbraucht (ca. 0,7% des gesamten Stromverbrauchs)

#### 5.5.5 Allgemeine Verbrauchsstellen

In dieser Gruppe sind die Betriebsbereiche zusammengefasst, in denen keine Produktionsanlagen betrieben werden. Dazu gehören folgende Bereiche:

Tabelle 5-9: allgemeine Verbrauchsstellen

| Verbrauchergruppe (allgemeine Verbrauchsstellen) | Verbrauch MWh/a |
|--|-----------------|
| Büro / Verwaltung / EDV                          | 475,1           |
| Qualitätssicherung                               | 282,2           |
| Labors (Forschung/Entwicklung)                   | 74,2            |
| Messebau   | 30,3            |
| Allg. Lager- und Werkstattbereiche               | 50,6            |
| Kantine  | 216,3           |
| <b>Summe</b>                                     | <b>1.128,7</b>  |

In diesen Bereichen werden zusammen rund 1.130 MWh/a verbraucht (ca. 4,5% des gesamten Stromverbrauchs).

### 5.5.6 Lüftungstechnik

In dem Betrieb in Königsberg sind ca. 25 Luftabsauganlagen unterschiedlicher Größe in Betrieb.

Sie dienen vor allem der Abführung schadstoff- und wärmebelasteter Luft aus den Produktionsräumen. Diese Anlagen sind als reine Abluftanlagen ausgeführt, die Zuluft gelangt durch Nachströmung aus benachbarten Bereichen in die Räume.

Der Stromverbrauch dieser Anlagen ist jedoch schon durch die Energiezähler der einzelnen Produktionsbereiche erfasst und wird in untenstehender Zusammenstellung daher nicht mehr separat aufgeführt, um doppelte Erfassung bei der Bilanzierung zu vermeiden. Die jährlichen Verbrauchswerte werden hier der Vollständigkeit halber dargestellt.

Die gesamte installierte Ventilatorleistung beträgt rund 155 kW<sub>el</sub>.

Aus den Leistungswerten und Betriebsdauern der Lüftungsanlagen errechnet sich ein jährlicher Stromverbrauch von rund 692 MWh/a ( 2,8% des Gesamtverbrauchs) für die Antriebe dieser Anlagen.

### 5.5.7 Beleuchtung

Die Beleuchtung in den Produktionsbereichen erfolgt überwiegend durch Kunstlicht in Form von Leuchtstofflampen, die in Prismen- / Wannenleuchten installiert sind, in Verwaltungsbereichen auch mit Spiegelreflektoren. Die Beleuchtung wird ergänzt durch Tageslicht aus Oberlichtern in den Hallendächern.

Die Leuchtstoffröhren sind überwiegend mit elektronischen Vorschaltgeräten ausgestattet. Eine automatische Beleuchtungsanpassung existiert nur in den Hallen 8 und 22/3.

Insgesamt ist in den Produktionsbereichen eine Beleuchtungsleistung von ca. 407 kW installiert. Bezogen auf die entsprechende Bruttogeschossfläche entspricht dies einer mittleren installierten Beleuchtungsleistung von rund 7,9 W/m<sup>2</sup>. Dabei traten für die unterschiedlichen Gebäude Einzelwerte von knapp 5 W/m<sup>2</sup> (Lagerbereiche) bis über 15 W/m<sup>2</sup> auf (Maschinenbau), während in den eigentlichen Kunststoffproduktionsbereichen die flächenspezifischen Beleuchtungsleistungen um 10W/m<sup>2</sup> liegen.

Die Produktionsräume werden durchgängig während der Arbeitszeit beleuchtet, je nach Bereich zwischen 1-Schicht- und 3-Schicht-Betrieb. Daraus ergibt sich ein Verbrauchsanteil der Beleuchtungsanlagen von rund 2.006 MWh (ca. 8,1% Verbrauchsanteil).

Wie bei den Lüftungsanlagen ist auch der Verbrauch der Beleuchtungsanlagen bereits durch die Unterzähler der einzelnen Produktionsbereiche erfasst und wird in untenstehender Zusammenstellung daher nicht mehr separat aufgeführt, um doppelte Erfassung bei der Bilanzierung zu vermeiden. Die jährlichen Verbrauchswerte werden auch hier ergänzend dargestellt.

Die Messungen der Beleuchtungsstärken ergaben ein recht unterschiedliches Bild der Hallen. Die Beleuchtungsstärke schwankt zwischen 300 lx (Dränrohrfertigung) und 2.000 lx, liegt aber generell relativ hoch. In DIN 5035 Teil 2 sind für Produktionsstätten in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie Mindestwerte zwischen 300 und 500 lx empfohlen, die immer erreicht, oft überschritten werden. Eine detaillierte Überprüfung und ggf. Absenkung der Beleuchtungsleistung auf den tatsächlich benötigten Wert ist daher hier ratsam.

### 5.5.8 Übersicht elektrischer Energieverbrauch

In Tabelle 5-10 sind die oben im Einzelnen beschriebenen Stromverbraucher zusammenfassend dargestellt.

Die Summe der durch die einzelnen Unterzähler erfassten Verbrauchswerte ist etwas kleiner als der in den Strombezugsabrechnungen enthaltene Wert. Dies ist einerseits durch die Messgenauigkeit bei den Unterzählern zu erklären; andererseits sind in der Differenz auch die Verluste im Verteilnetz enthalten (Transformatoren- und Leitungsverluste), da der Bezugszähler mittelspannungsseitig installiert ist.

Tabelle 5-10: Zusammenstellung der Stromverbrauchergruppen

| Sparte   | Jährlicher Stromverbrauch (MWh/a) | Anteil am Gesamtverbrauch |
|--|-----------------------------------|---------------------------|
| Prod. Dränrohr   | 5.904                             | 23,70%                    |
| Prod. Elektrorohr  | 4.982                             | 20,00%                    |
| Prod. Heizungs/Sanitärrohr   | 4.731                             | 18,99%                    |
| Prod. Industrieprodukte  | 2.154                             | 8,65%                     |
| Maschinenbau   | 697                               | 2,80%                     |
| allgemein (Verwaltung etc.)  | 1.129                             | 4,53%                     |
| Logistik   | 594                               | 2,38%                     |
| Technische Dienste: Kälte  | 2.577                             | 10,34%                    |
| Technische Dienste: Druckluft  | 1.720                             | 6,90%                     |
| Technische Dienste: weitere  | 162                               | 0,65%                     |
| <b>Summe Unterzähler (Niederspannung)</b>                              | <b>24.650</b>                     | <b>98,94%</b>             |
| Differenz zum Bezugszähler Mittelspannung (Trafo- und Verteilverluste) | <b>263</b>                        | 1,06%                     |
| <b>Bezugsmenge lt. Abrechnung</b>                                      | <b>24.913</b>                     | <b>100,00%</b>            |

In Abbildung 5-17 ist diese Aufteilung der Verbrauchswerte grafisch dargestellt.

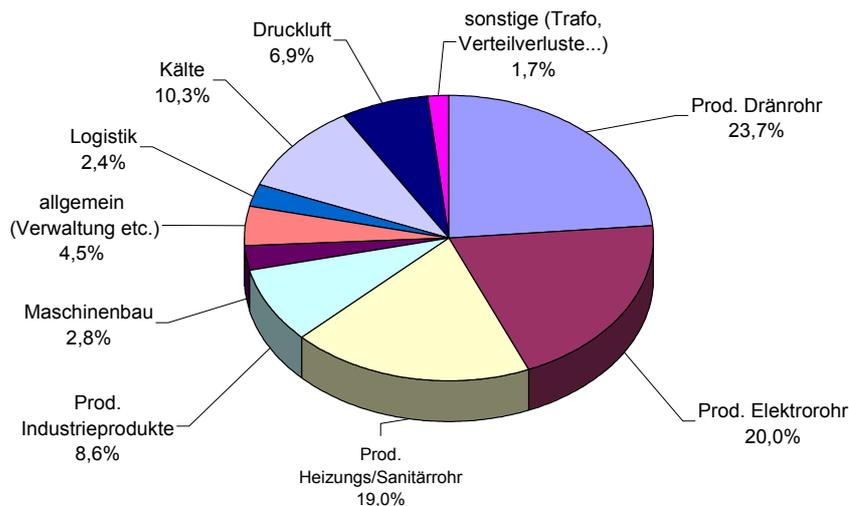


Abbildung 5-17: Strom-Verbrauchergruppen

## 5.6 Wasserverbrauch

Im Jahr 2000 wurden 24.044 m<sup>3</sup> Trinkwasser aus dem öffentlichen Versorgungsnetz bezogen.

Wesentliche Wasserverbraucher sind

- ⇒ Wasseraufbereitung für die Dampfkessel
- ⇒ Wasseraufbereitung für die Kühlwasserversorgung
- ⇒ Handwaschbecken, Duschen und andere Zapfstellen im Betrieb

Bis vor wenigen Jahren wurde im Betrieb zusätzlich zum Trinkwasserbezug auch Brunnenwasser zur Rückkühlung der Kälteanlagen verwendet. Die Brunnenwasserkühlung wurde jedoch wegen Problemen mit der hohen Wasserhärte außer Betrieb gesetzt.

## 6 Spezifische Kennzahlen

Bei der Bildung von Energiekennzahlen wird der betriebliche Energieaufwand innerhalb eines bestimmten Zeitraums ins Verhältnis zu einer Bezugsgröße wie z.B. der in dieser Zeit gefertigten Produktionsmenge gesetzt. Als Energieverbrauchswerte kommen z. B. der Strom- oder Brennstoffverbrauch zum Ansatz; als Bezugsgrößen eignen sich insbesondere Produktmengen (Stückzahlen, Tonnen), aber auch Rohstoffeinsatzmengen, Betriebsflächen oder Mitarbeiterzahlen. Dabei kommt der Auswahl der „richtigen“ Bezugsgröße eine hohe Bedeutung zu, insbesondere wenn eine Vergleichbarkeit mit externen Daten angestrebt wird.

In der Kunststoffverarbeitung gibt es große Unterschiede zwischen den Betrieben hinsichtlich Produktspektrum, Fertigungstiefe, Prozessen; daher ist hier eine entsprechende Differenzierung beim Kennzahlvergleich mit anderen Betrieben erforderlich. Bei prozessspezifischen Kennzahlen ist eine Vergleichbarkeit leichter zu erzielen; allerdings ist auch hier auf vergleichbare Randbedingungen zu achten (Produktionsprozess und –parameter, verarbeitetes Material).

In dieser Hinsicht am wenigsten problematisch ist der Zeitreihenvergleich immer der selben Kennzahl des selben Standorts, der Aufschluss über die zeitliche Entwicklung der Energienutzung gibt. Auf Basis der Erhebung können folgende betriebsweite Kennwerte (bezogen auf die Kunststoff-Produktionsmenge) gebildet werden:

Tabelle 6-1: Spezifische Verbrauchswerte (Energiebezug im Verhältnis zu Produktionsmengen)

|                                | Energiebezugsmenge |  |
|--------------------------------|--------------------|--|
|                                | absolut            | bezogen auf Produktionsmenge<br>31.871 t/a |
| Brennstoffbezug H <sub>u</sub> | 7.028 MWh/a        | 0,23 MWh/t                                 |
| Strombezug                     | 24.913 MWh/a       | 0,78 MWh/t                                 |

Diese Kennzahlen beziehen sich auf den jährlichen Energiebezug bei den einzelnen Energieträgern. Auf diese Weise wird ein einfacher Kennzahlenvergleich ermöglicht, vor allem in der zeitlichen Entwicklung des Betriebs. Produktionsspezifische Kennzahlen wurden bereits in Kapitel 5.5.1.6 diskutiert und sind hier nochmals aufgeführt.

Tabelle 6-2: spezifischer Stromverbrauch einzelner, repräsentativ ausgewählter Fertigungsanlagen aus verschiedenen Produktionsbereiche (aus Messungen gewonnen)

| Produktgruppe | Material | spezifischer Stromverbrauch<br>[kWh/kg] |
|---------------|----------|---|
| Elektrohr     | PE       | 0,348                                   |
| Dränrohr      | PVC      | 0,178                                   |
| Heizungsrohr  | PE-Xa    | 0,474                                   |
| Verbundrohr   | PE       | 0,335                                   |
| Spritzguss    | PVC-U    | 0,823                                   |

Im Internet werden heute Programme angeboten, mit deren Hilfe ein Betrieb basierend auf branchenüblichen Energiekennwerten seinen Energieverbrauch beurteilen lassen kann. Eine Musterdiagnose auch für andere Branchen ist z.B. unter <http://www.masterlux.de> zum Preis von derzeit 105 € erhältlich. Die Musterdiagnose ist für Mitgliedsunternehmen des VDMA kostenlos.

## 7 Bewertung und Maßnahmen im Betrieb Fränkische Rohrwerke

Bei den Untersuchungen fielen keine schwerwiegenden energietechnischen Mängel auf. Die Anlagen entsprechen in energietechnischer Hinsicht in vielen Punkten dem aktuellem Stand der Technik der rationellen Energieverwendung (WRG Druckluftkompressoren...)

Dennoch sind mehrere Maßnahmen erkennbar, die zu Energieeinsparungen führen können und im Rahmen der Energieeinsparanalyse untersucht und bewertet werden sollen:

- ⇒ Kälte: zentrales Anlagenkonzept mit Grundlast-Kälteanlagen und Einbindung der vielen vorhandenen kleineren Aggregate zur Abdeckung des Spitzenbedarfs
- ⇒ Kälte: Erhöhung des Anteils der Freien Kühlung
- ⇒ Kälte: Wasserrückkühlung mit Brunnenwasser (problematisch, da schlechte Erfahrungen mit hoher Wasserhärte)
- ⇒ Druckluft: Aufspüren und Beseitigen von Leckagen
- ⇒ Druckluft: Anpassung des Netzdrucks auf das geringste mögliche Druckniveau
- ⇒ Druckluft: zusätzlicher (dezentraler) Druckluftspeicher
- ⇒ Druckluft: Granulatförderung mittels Druckluft durch Gebläse oder Förderschnecke ersetzen
- ⇒ Druckluft / Abwärmenutzung aus Kompressoren: entweder Volumenstrom verringern, um Temperatur zu erhöhen, und/oder Einspeisung in Rücklaufleitung
- ⇒ Produktionsmaschinen: Auslastung erhöhen
- ⇒ Produktionsmaschinen: Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers durch entsprechende Verminderung der Kühlwasser-Durchflussmenge; eventuell mit Regelung der Kühlwasser-Volumenströme; allgemeine Erhöhung des Temperaturniveaus
- ⇒ Produktionsmaschinen: Wärmedämmung am Extruder
- ⇒ Heizungsnetz: Zeitweise Abschaltung von Heizzentrale 2 und Einspeisung von Halle 18 durch Nutzung der Verbindungsleitung
- ⇒ Rohrspülung mit Dampf: Mehrfache Verwendung des Spüldampfs und / oder WRG zur Speisewasservorwärmung (evtl. auch Heizung)

### 7.1 Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlagen

Aus der Jahresdauerlinie der Kälteabnahme ist ersichtlich, dass die zehn vorhandenen Anlagen den Spitzenbedarf von rund 1.400 kW Kälteleistung gerade abdecken können. Daher wird eine Ergänzung bzw. Erneuerung der Kälteanlagen erwogen, zumal fünf der zehn Maschinen bereits 12 Jahre oder älter sind. Dabei wurde bereits zusammen mit einem potenziellen Lieferanten ein Anlagenkonzept entworfen, das eine zweikreisige Kältezentrale mit zwei Kältemaschinen (Gesamtkälteleistung ca. 900 kW) zur Grundlastabdeckung, mit kombinierter Freier Kühlung (Außenluftkühlung) und Rückkühlung der Kältemaschinen durch Nass- oder Trockenkühltürme vorsieht und das hier technisch, wirtschaftlich und ökologisch bewertet wird.

Die Auslegung mit zwei unabhängigen Kältemaschinen bietet – zusammen mit den neueren Bestandsanlagen verbesserte Ausfallsicherheit und Erweiterungsoptionen. Die Ausführung als zentrale Anlage mit relativ großen Aggregaten bietet effizientere Anlagentechnik / bessere Kälteleistungszahl und damit geringeren Energieverbrauch bei gleicher Kälteleistung. Durch die geringere Anzahl der

betriebenen Anlagen wird die Wartung / Instandhaltung einfacher und kostengünstiger. Ammoniak als Kältemittel ist technisch und umweltrechtlich als vorteilhaft zu bewerten.

Insbesondere die Option der Freien Kühlung bietet bei nicht zu hohen Außentemperaturen die Möglichkeit, nur über den Kühlturm, ganz ohne Kältemaschinen-Betrieb zu kühlen, wodurch eine Kühlung mit erheblich geringerem Energieaufwand erreicht wird. Hier ist insbesondere die Nasskühlturm-Variante vorteilhaft, da noch bei höheren Außentemperaturen mit der Freien Kühlung gekühlt werden kann. Zusätzlich bietet die vorgeschlagene kombinierte Anlage auch eine effiziente Rückkühlung der Kältemaschinen. Die erreichbare Energieeinsparung wurde bei dieser Variante auf ca. 867 MWh/a abgeschätzt.

Die neueren Bestandsanlagen sollten zur Abdeckung von Spitzen und zur Redundanz mit in das Kältekonzept eingebunden werden. Dadurch ist auch die Dimensionierung der neuen Anlage von der Kälteleistung her flexibel. Auf längere Sicht ist eine Kältezentrale mit wenigen (drei bis fünf) aufeinander abgestimmten Modulen realisierbar, die auch in Stufen ausgebaut werden kann.

Die älteren Bestandsanlagen können dann bis zum Ende der technischen Nutzungsdauer verstärkt weiterbetrieben oder (z. B. aus Platzgründen) bei der Erweiterung demontiert werden.

Die Nachteile dieser Lösung gegenüber einer Erweiterung bzw. Ersatzbeschaffungen nach dem derzeitigen Konzept vieler kleiner Kompakt-Wasserkühlsätze sind die erforderliche Wasseraufbereitung bei der Nasskühlturm-Ausführung und die höheren Investitionskosten zum Anschaffungszeitpunkt. Die Betriebskosten für die Wassernachspeisung einschließlich Aufbereitung wurden auf ca. 5.500 €/a abgeschätzt (der zu erwartende Wassermehrbezug von rund 5.250 m<sup>3</sup>/a ist in der unten stehenden Zusammenstellung mit negativem Vorzeichen dargestellt). Die Investitionskosten für die Anlage (Nasskühlturmvariante einschließlich Wasseraufbereitung) wurden auf der Basis eines Herstellerangebots mit rund 410.000 € veranschlagt.

**(\*) Anmerkung:** Die quantitative Aufteilung dieser Summe auf den zu erzielenden Nutzen (ohnein anstehender Erweiterungs- und Erneuerungsbedarf, erhöhte Betriebs- bzw. Ausfallsicherheit, Energiekosten- und Emissionsreduzierung, verminderter Wartungsaufwand) liegt im subjektiven Bereich und hängt von der Bewertung dieser Faktoren ab. Daher wird zum Vergleich die Alternative eines einfachen Ersatzes der vorhandenen, teilweise schon recht alten Kompaktkälteanlagen betrachtet. Für solche Geräte mit der gleichen Kälteleistung (900 kW) wie die oben beschriebene Anlage ist im Falle einfacher Ersatzbeschaffung mit Investitionen in Höhe von rund 300.000 € zu rechnen. Als ansetzbare Investition dieser Maßnahme wird daher die Mehrinvestition gegenüber dieser Alternative (also 110.000 €) zu Grunde gelegt. (Dabei werden die oben genannten über die Energieeinsparung hinausgehenden Vorteile des erneuerten Kältekonzeptes nicht berücksichtigt.)

Die erforderliche Anfangsinvestition kann reduziert werden durch eine stufenweise Umsetzung (zunächst nur eine der beiden Kältemaschinen, später bei Ersatzbedarf der Bestandsmaschinen die zweite nachinstallieren). Aus der Sicht der Finanzierung ist auch ein Contracting-Konzept für die Kältelieferung interessant. Hierbei wird die Kälteanlage am Betriebsstandort von einem externen sogenannten Contractor (z. B. Kälteanlagen-Hersteller, Energieversorger o.ä.) finanziert und betrieben, der die Kälte als Nutzenergie zu einem vereinbarten Preis an den Betrieb als Kunden (Contracting-Nehmer) liefert.

Mögliche andere Kältekonzepte:

Eine Absorptionskälteanlage kann im untersuchten Betrieb nur mit zusätzlicher Wärmeerzeugung betrieben werden, da hier kaum Abwärme auf geeignetem Temperaturniveau anfällt. Daher ist diese

Variante der Kältebereitstellung wegen des ungünstig hohen Gaspreises im Verhältnis zum Strompreis derzeit nicht wirtschaftlich.

Eine aus energetischer Sicht günstige Rückkühlung des Kühlwassers mit Brunnenwasser wurde in früheren Jahren praktiziert, aber wegen Schwierigkeiten mit der lokal extrem hohen Wasserhärte (ca. 100°dH) problematisch.

Dagegen bietet sich zur Verstetigung des Kältemaschinenbetriebs die Mitverwendung des bereits vorhandenen Sprinklerbeckens in Halle 18 als Kältepufferspeicher an. Damit lassen sich einerseits eine geringere Einschalthäufigkeit der Kälteanlagen erreichen, andererseits eine Erhöhung des energieeffizienteren Trockenkühleranteils an der Kältebereitstellung (durch Nachtbetrieb der Trockenkühler).

Übersicht:

### Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlagen

| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Erdgas:                              | - MWh <sub>HU</sub> /a           |
| Heizöl EL:                           | - MWh <sub>HU</sub> /a           |
| Elektrische Leistung:                | - kW                             |
| Elektrische Arbeit:                  | 867 MWh/a                        |
| CO <sub>2</sub> :                    | 578 t/a                          |
| Wasser:                              | - 5.246 m <sup>3</sup> /a        |
| <b>Investitionen:</b>                |                                  |
| Gesamtinvestition:                   | 410.000 €                        |
| Anrechenbare Investition:            | 110.000 € (*)                    |
| Spezifische Investition:             | 190 € / t (CO <sub>2</sub> ) / a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | 2,4 Jahre *                      |

\* Auf die Energieeinsparung anrechenbare Investition: Differenz zur Alternativinvestition, siehe Anmerkung oben

## 7.2 Druckluft-Leckageverluste vermindern

Im Lauf der Untersuchung wurden durch den Betrieb mehrere Leckagemessungen (in unterschiedlichen Bereichen) durchgeführt, die eine Gesamt-Leckagemenge von 361 m<sup>3</sup>/h ergaben, die ganzjährig zusätzlich zur Entnahme durch die Verbraucher erzeugt werden muss (also jährlich rund 3,16 Mio. m<sup>3</sup>/a). Dies entspricht rund 26,9% der jährlich erzeugten Liefermenge (11,75 Mio. m<sup>3</sup>/a; siehe auch Kapitel 5.5.3).

Die wichtigsten Maßnahmen für eine dauerhafte Reduzierung dieser Verluste ist das Aufspüren und Beseitigen der Leckstellen im gesamten Druckluftnetz. Die Druckluftleitungen der ersten und zweiten Ebene (Werks- und Hallenverteilung) sind fest verlegt und wenig verschleißanfällig. Daher liegen typische Schwachstellen vor allem im Bereich der Abnehmeranschlüsse (Kupplungen, Armaturen und

Anschlussleitungen), aber auch Stopfbuchsen, Rohrverzweigungs- und Verbindungsstellen. Die Lecks lassen sich oft schon durch „Hinhören“ orten, ggf. auch mit Hilfsmitteln wie Lecksuchspray oder Ultraschall-Leckdetektor. Zur Erhaltung des Wartungszustandes sollte die Lecksuche und Reparatur bzw. Austausch von schadhafte Armaturen und Schläuchen in regelmäßigen Abständen („Tag der Druckluft“) im Rahmen der Instandhaltung wiederholt werden (eventuell auch durch externe Fachfirmen).

Leckagen in Druckluftleitungsnetzen lassen sich nie vollständig vermeiden; erfahrungsgemäß ist aber eine Senkung der Leckageverluste auf ein Niveau von 5% bis 10% Restleckage wirtschaftlich. Nachfolgend wird daher von einer Reduzierung der Leckagemenge auf 10% der jährlichen Liefermenge ausgegangen. Dies entspricht einer Verminderung des Stromverbrauchs für die Druckluftbereitstellung um 17 % Reduktion des derzeitigen Wertes (also um 220 MWh/a).

Generell ist die Abtrennung von Teilen des Druckluftnetzes, in denen (zeitweise) keine Abnahme erfolgt, durch manuelle oder automatische zeitgesteuerte Absperrventile ratsam, da die Leckageverluste in diesen Teilen des Netzes dann vollständig vermieden werden. Noch höhere Einsparungen sind natürlich durch die vollständige Abschaltung des Druckluftsystems (einschließlich der Kompressoren) in Zeiten ohne Druckluftbedarf zu erzielen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das System oft nur wegen einiger weniger Abnehmer wie z.B. pneumatischer Antriebe für Dachfensterklappen oder Tore unter Druck gehalten wird. In diesem Fall kann oft durch einen entsprechend dimensionierten Druckluftspeicher oder aber die Umrüstung z.B. auf elektrische Antriebe die Abschaltung der Kompressoren und damit die Verminderung der Leckageverluste dennoch ermöglicht werden.

Übersicht:

#### Druckluft-Leckageverluste

|                                      |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       |                                 |
| Erdgas:                              | - MWh <sub>HU</sub> /a          |
| Heizöl EL:                           | - MWh <sub>HU</sub> /a          |
| Elektrische Leistung:                | - kW                            |
| Elektrische Arbeit:                  | 220 MWh/a                       |
| CO <sub>2</sub> :                    | 147 t/a                         |
| Wasser:                              | - m <sup>3</sup> /a             |
| <b>Investitionen:</b>                |                                 |
| Gesamtinvestition:                   | 3.000 €                         |
| Anrechenbare Investition:            | 3.000 €                         |
| Spezifische Investition:             | 20 € / t (CO <sub>2</sub> ) / a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | 0,2 Jahre *                     |

\* **Hinweis:** bei dieser Maßnahme ist wegen der regelmäßig wiederkehrenden Kosten für die Instandhaltungsarbeiten die Angabe einer Amortisationszeit allein wenig aussagekräftig. Die Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn die jährliche Energiekosteneinsparung die jährlichen Kosten der Leckagebeseiti-

gung übersteigt. Die hier angegebenen Daten sind als Kosten im ersten Jahr der Maßnahme zu verstehen.

### 7.3 Optimierung der Abwärmenutzung aus den Druckluftkompressoren

Bei der Druckluftherzeugung fällt eine erhebliche Wärmeleistung an, die per Luft- oder Wasserkühlung der Kompressoren abgeführt werden muss. Durch Nutzung dieser Abwärme kann die erforderliche Wärmebereitstellung durch andere Wärmeerzeuger und damit deren Verbrauch vermindert werden.

Diese Abwärmenutzung ist im untersuchten Betrieb bereits realisiert; die installierte Wärmeleistung dieser Anlagen betragen rund 500 kW, was einer Rückwärmemenge von ca. 67% der eingesetzten elektrischen Leistung entspricht. Aus den Kompressorbetriebsdauern lässt sich damit eine im Idealfall nutzbare Wärmemenge von rund 800 MWh/a errechnen. Die gemessene tatsächlich genutzte Abwärmemenge beträgt jährlich ca. 500 MWh/a, was einer substituierten Brennstoffmenge von rund 560 MWh<sub>HU</sub>/a entspricht.

Die Kompressorenabwärme wird über einen Wärmetauscher ins Verteilungsnetz eingespeist und dient dort der Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser.

Bei der Einspeisung der Kompressorenabwärme in das Verteilungsnetz wurde eine kesselähnliche Einbindung realisiert, bei der der Wasseraustritt direkt in den von den Kesseln gespeisten Vorlauf des Heizkreises erfolgt. Die Abwärme wird so an der wärmsten Stelle des Heizsystems eingespeist, und führt dort bei hohen Soll-Vorlauftemperaturen zu einer unerwünschten Abkühlung des Heizungsvorlaufs. Alternativ dazu wird hier die Einbindung als Rücklaufanhebung vorgeschlagen, also eine Einspeisung der Abwärme in den Rücklauf des Heizsystems. Dadurch ist während des gesamten Jahres eine Einspeisung der Abwärme möglich, in der Übergangszeit können bei ausreichender Abwärmeleistung die Kessel und die zugehörigen Kesselpumpen vollständig abgeschaltet werden.

Weiter fiel bei einer Auswertung der Betriebsdaten auf, dass die Austrittstemperatur aus der Sekundärseite des Wärmetauschers für die Kompressorenabwärme mit 57,7 °C deutlich unterhalb der Temperatur des Kompressor-Kühlmediums (71,1 °C) liegt. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Sekundärseite des WT so schnell durchflossen wird, dass das Sekundärmedium nicht auf das eigentlich erreichbare Temperaturniveau erwärmt wird. Durch eine Absenkung der Pumpenleistung (bewirkt durch eine Änderung der Regelstrategie für die Umwälzpumpen) lässt sich sowohl eine Verringerung des Stromverbrauchs erzielen, als auch eine Anhebung der Vorlauftemperatur mit dem Effekt einer effektiveren Einbindung der Abwärme ins Verteilungsnetz bewirken. Bei einer Anhebung der Vorlauf-Temperatur auf 65° C ist bei gleicher Wärmeleistung eine um 46% geringere Pumpenleistung erforderlich, was einer Stromeinsparung von ca. 3 MWh<sub>el</sub>/a entspricht.

Wegen der unbekanntenen Temperaturprofile von Abwärmeeinfall und Wärmebedarf kann das Einsparpotenzial dieser Maßnahme nur geschätzt werden. Geht man von einer Erhöhung der Rückwärmemenge von derzeit 500 MWh/a oder 63% der im Idealfall zur Verfügung stehenden Menge auf 600 MWh/a (75%) aus, so erhält man eine Brennstoffeinsparung (Erdgas) von rund 111 MWh<sub>HU</sub>/a.

Die zur Änderungen der Einbindung des Wärmetauschers erforderlichen Investitionen werden mit rund 5.000 € angesetzt, die Änderung der Regelstrategie mit 1.000 €.

Eine genauere Bewertung der Maßnahmen ist durch das vorhandene System zur Betriebsdatenerfassung möglich.

Übersicht:

### Optimierung der Abwärmenutzung aus den Druckluftkompressoren

| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Erdgas:                              | 111 MWh <sub>HU</sub> /a         |
| Heizöl EL:                           | - MWh <sub>HU</sub> /a           |
| Elektrische Leistung:                | - kW                             |
| Elektrische Arbeit:                  | 3 MWh/a                          |
| CO <sub>2</sub> :                    | 24 t/a                           |
| Wasser:                              | - m <sup>3</sup> /a              |
| <b>Investitionen:</b>                |                                  |
| Gesamtinvestition:                   | 6.000 €                          |
| Anrechenbare Investition:            | 6.000 €                          |
| Spezifische Investition:             | 250 € / t (CO <sub>2</sub> ) / a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | 1,3 Jahre                        |

## 7.4 Wärmedämmung der Extruder

Die bei der Extrusion erforderliche Wärme wird einerseits durch elektrische Heizung (vor allem im Anfahrbetrieb), andererseits durch den Antrieb der Extruderschnecke in Form von Reibungswärme in den Kunststoffteig eingebracht (siehe auch Kapitel 5.5.1).

Da am Extruderkopf hohe Temperaturen (ca. 200°C) herrschen, treten hier hohe Wärmeverluste auf. An der untersuchten Anlage der Elektrorohrproduktion ergab die Energiebilanz eine Wärmeverlustleistung von rund 9,2 kW bei einer elektrischen Leistung von 9,1 kW Heiz- und 18,3 kW Antriebsleistung, siehe Abbildung 5-3. Durch das Anbringen einer Wärmedämmung könnte die Verlustleistung vermindert werden; damit ist auch eine Reduzierung der zu deren Ausgleich erforderlichen Heizleistung möglich. Ein zusätzlicher produktionstechnischer Vorteil der Wärmedämmung ist durch ein gleichmäßigeres Temperaturprofil entlang des Extruderkopfes zu erwarten.

Diese Maßnahme setzt unmittelbar an den Produktionsmaschinen an und ist damit relevant für die Qualität der Erzeugnisse. Über die Art und Ausführung der Wärmedämmung und die technische Realisierbarkeit hinsichtlich Produktqualität, Betriebssicherheit der Maschinen und praktische Handhabung sind daher noch nähere Untersuchungen, am besten auch in Zusammenarbeit mit Anlagenherstellern, erforderlich. Die folgende Abschätzung des Einsparpotenzials ist unter dieser wichtigen Einschränkung zu betrachten. Weitere Aspekte dazu werden in ergänzenden Studien ([2], [3]) beleuchtet.

Aus einer Reduzierung der Oberflächentemperatur um 50°C errechnet sich das Einsparpotenzial einer Wärmedämmung zu rund 27% der Verlustleistung, also ca. 2,5 kW bei der untersuchten Extrusionslinie. Bei einer mittleren jährlichen Betriebsdauer von 5.000 h/a entspricht dies einer Einsparung von 12,5 MWh/a, was etwa 6,5% des jährlichen Stromverbrauchs dieser Anlage gleichkommt. Hochgerechnet auf ca. 100 Extrusionslinien (unter Annahme ähnlicher Verhältnisse) ergibt sich also ein be-

triebsweites Einsparpotenzial von etwa 1.250 MWh/a. Die leistungspreisrelevante mögliche Absenkung der Spitzenleistung liegt unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit in einer Größenordnung von etwa 150 bis 200 kW.

Die erforderlichen Investitionen hängen wesentlich von Art und Ausführung der Wärmedämmung ab. Seitens der Anlagenhersteller wurden hier bisher keine Aktivitäten zur Energieeinsparung in dieser Richtung unternommen; es gibt jedoch Blechabdeckungen zum Zweck des Verbrennungsschutzes und der Vermeidung von Temperaturschwankungen am Extruderkopf. Für die untenstehende Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wurden dafür Investitionskosten von 2.500 € je Anlage veranschlagt (insgesamt also 250.000 €).

Auf Grund der hohen Produktionsrelevanz und der Vielzahl der Anlagen ist zunächst eine testweise Durchführung für wenige Maschinen sinnvoll, um Betriebserfahrungen zu sammeln und Verbrauchsdaten und Einsparpotenzial zu verifizieren.

Übersicht:

#### Wärmedämmung der Extruder

|                                      |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       |                                  |
| Erdgas:                              | - MWh <sub>HU</sub> /a           |
| Heizöl EL:                           | - MWh <sub>HU</sub> /a           |
| Elektrische Leistung:                | 150 kW                           |
| Elektrische Arbeit:                  | 1.250 MWh/a                      |
| CO <sub>2</sub> :                    | 834 t/a                          |
| Wasser:                              | - m <sup>3</sup> /a              |
| <b>Investitionen:</b>                |                                  |
| Gesamtinvestition:                   | 250.000 €                        |
| Anrechenbare Investition:            | 250.000 €                        |
| Spezifische Investition:             | 300 € / t (CO <sub>2</sub> ) / a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | <b>2,9 Jahre</b>                 |

## 7.5 Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers der Produktionsmaschinen

Bei der Kunststoffverarbeitung ist die gezielte Wärmeabfuhr durch ein Kühlmedium (meist Kühlwasser) eine entscheidende Komponente des Herstellungsprozesses. Zur Erzielung einer vorgegebenen Kühlleistung, die erforderlich ist um die anfallende Wärmemenge abzuführen, ist einerseits der Volumenstrom (Mediendurchsatz) und andererseits die Temperaturspreizung (Differenz zwischen Vor- und Rücklaufemperatur) wesentliche Faktoren. Die gleiche Kühlleistung kann also mit einem hohen Volumenstrom bei geringer Erwärmung oder aber umgekehrt mit kleineren Mediendurchflüssen bei einem größeren Temperaturhub erzielt werden. Generell ist es empfehlenswert zu prüfen, ob die tat-

sächlichen Kühlwassertemperaturen der einzelnen Anlagen prozesstechnisch erforderlich sind (siehe auch Kapitel 8.3).

Wie in Kapitel 5.5.1 dargestellt, liegen bei den untersuchten Anlagen die Rücklauftemperaturen der verschiedenen Kühlwasserströme der Produktionslinien (Extruder, Corrugator, Sprühbad) teilweise nur wenig über der Vorlauftemperatur (siehe Abbildung 5-4). Diese geringe Temperaturspreizung ist mit einer entsprechend hohen Volumenstrom des Kühlmediums verbunden.

Aus produktionstechnischer Sicht ist bei der untersuchten Anlage eine Absenkung der Durchflussmenge und damit einhergehend eine Anhebung der Rücklauftemperaturen möglich (bei konstanter Vorlauftemperatur bedeutet dies eine Anhebung der Temperaturspreizung). Dadurch wird die Kühlwasserversorgung verbessert:

Einerseits wird die erforderliche Pumpenleistung (und damit des jährlichen Strombedarfs) vermindert, ebenso der Wärmeeintrag in das Kühlwassersystem und somit die notwendige Rückkühlleistung.

Andererseits wird (bei gleichbleibender Kühlleistung an der Maschine) die Rücklauftemperatur des Kühlwassers angehoben. Dadurch wird auch die Wasserrückkühlung effizienter: zum einen steigt der Wirkungsgrad der Kältemaschinen mit einer höheren mittleren Temperatur des Kältemediums (Mittelwert aus Vor- und Rücklauftemperatur), zum anderen ist durch eine höhere Vorlauftemperatur ein höherer Deckungsgrad der Freikühlung möglich, da dann Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann, wenn zumindest der Rücklauf des Kaltwassers – also die Eintrittstemperatur in den Trockenkühler – über der Außentemperatur liegt.

Zur Potenzialabschätzung dieser Maßnahme wurde während der Messungen an der Elektrorohr-Anlage der Durchfluss so weit verringert, bis am Corrugator die höchste noch produktionstechnisch vertretbare Temperatur erreicht wurde. Eine nennenswerte Durchfluss-Verringerung von rund 100 auf 65 l/min (verbunden mit einer Steigerung des Temperaturhubs von rund 2,5 auf 4 K) ist möglich, ohne die Produktqualität zu beeinflussen.

Dies bedeutet eine Verringerung des Energieaufwands für die Pumpen um 35 % (und mehr, da mit der Durchflussmenge auch die Druckdifferenz im Netz abnimmt). Der Strombedarf der Umwälzpumpen für die Produktionslinien im Bereich der Rückkühlzentrale Halle 18 (rund 630 MWh/a) kann so um rund 220 MWh/a gesenkt werden. Zusätzlich werden dadurch rund 70 MWh/a weniger Strom für die Rückkühlung des Pumpenwärmeeintrags benötigt.

Die mit der Erhöhung des Deckungsgrads der Trockenkühler verbundene Einsparung bei der Wasserrückkühlung hängt wesentlich vom derzeitigen Deckungsgrad der Trockenkühler ab. Bei den installierten Anlagen (ohne Berücksichtigung der möglichen Verbesserungen durch Maßnahme 7.1) kann jährlich eine zusätzliche Wärmemenge von ca. 405 MWh/a mit den Trockenkühlern statt mit den Kältemaschinen abgeführt werden. Dadurch ergibt sich ein um rund 120 MWh/a geringerer Stromverbrauch.

Insgesamt ist also mit einer Stromeinsparung von rund 410 MWh/a zu rechnen.

Zur Realisierung der Maßnahme sind mehrere Lösungen möglich. Eine zentrale Absenkung der Pumpenleistung bis zur produktionstechnisch minimal erforderlichen Durchflussmenge ist zwar einfach realisierbar, besser ist jedoch die individuelle Einstellung des Kühlwasserstroms für die einzelnen Produktionslinien z. B. durch ein manuelles Stellventil. Diese Lösung erfordert für die rund 75 Anlagen im Bereich der Wasserrückkühlung Halle 18 Investitionen von insgesamt etwa 30.000 €.

Die betriebstechnisch komfortabelste (aber aufwändigste) Lösung ist eine automatische Volumenstromregelung des Kühlwassers durch die Prozessleittechnik der Produktionslinie mit der prozesstechnisch entscheidenden Temperatur als Führungsgröße. Dafür werden für jede Produktionslinie je

1.200 € Investition angesetzt. Für alle genannten Produktionslinien werden also rund 90.000 € erforderlich.

Übersicht:

#### Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers der Produktionsmaschinen

| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       | <b>Variante 1</b><br>manuelle Regelung | <b>Variante 2</b><br>automatische Regelung |
|--------------------------------------|--|--|
| Erdgas:                              | - MWh <sub>HU</sub> /a                 | - MWh <sub>HU</sub> /a                     |
| Heizöl EL:                           | - MWh <sub>HU</sub> /a                 | - MWh <sub>HU</sub> /a                     |
| Elektrische Leistung:                | - kW                                   | - kW                                       |
| Elektrische Arbeit:                  | 410 MWh/a                              | 410 MWh/a                                  |
| CO <sub>2</sub> :                    | 273 t/a                                | 273 t/a                                    |
| Wasser:                              | - m <sup>3</sup> /a                    | - m <sup>3</sup> /a                        |
| <b>Investitionen:</b>                | <b>manuelle Regelung</b>               | <b>automatische Regelung</b>               |
| Gesamtinvestition:                   | 30.000 €                               | 90.000 €                                   |
| Anrechenbare Investition:            | 30.000 €                               | 90.000 €                                   |
| Spezifische Investition:             | 110 €/t(CO <sub>2</sub> )/a            | 330 €/t(CO <sub>2</sub> )/a                |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | 1,0 Jahre                              | 3,1 Jahre                                  |

#### Alternativkonzept: Anhebung der Kühlwassertemperaturen insgesamt

Alternativ zu der hier vorgeschlagenen Erhöhung nur der Rücklauftemperatur ist auch eine Anhebung des Kühlwasser-Temperaturniveaus insgesamt denkbar (unter Beibehaltung der geringeren Spreizung von 2,5 K). Dadurch wird zwar weiterhin die derzeitige Pumpenleistung zum Kühlwassertransport erforderlich; vorteilhaft bei dieser Variante ist jedoch, dass das Kühlwasser nicht so weit abgekühlt werden muss wie bisher; für die gleiche Kälteleistung ist eine geringere elektrische Leistung bei den Kälteanlagen erforderlich. Auch hier wird ein höherer Deckungsgrad der Freikühlung möglich.

Bei dieser Variante muss jedoch zunächst geprüft werden, ob für alle Abnehmer die höhere Kühlwassertemperatur ohne Qualitätseinbußen möglich ist. Die Möglichkeit zur individuellen Einregelung der einzelnen Anlagen ist hier also eingeschränkt.

## 7.6 Abwärmenutzung bei der Rohrbedampfung

Bei der an Bedeutung zunehmenden Rohrbedampfung im Bereich der Heizungs- und Sanitärrohre wird Dampf durch die zu Ringen aufgewickelten Rohre (Rohrlänge je nach Durchmesser 50 bis 200 Meter) geblasen, um sie zu reinigen und zu desinfizieren. Dabei entweicht der Dampf nach Durchgang durch die Rohre in die Umgebung, wodurch erhebliche Energieverluste entstehen. Die Bedampfungsdauer beträgt rund vier Stunden.

Hier gibt es zwei Ansatzpunkte für Einsparungen:

Zunächst sollte überprüft werden, ob der Dampf mehrfach genutzt werden kann, indem mehrere der einzelnen zu bedampfenden Rohr-Ringbündel hintereinander geschaltet werden. Dazu sind einerseits die Druckdifferenzen und Wärmeverluste über den Ringbündeln zu berücksichtigen, andererseits die leitungsmäßige Verbindung der einzelnen Ringbündel. Da das Rohrmaterial zu Beginn des Prozesses zunächst aufgeheizt werden muss und es so zu erheblicher Kondensatbildung kommt, führt diese Lösung eventuell zu unerwünscht verlängerten Bedampfungszeiten.

Daher kann der Dampf (entweder zusätzlich oder als Alternative zu der o.g. Reihenschaltung) in einem Wärmetauscher kondensiert werden, um die so zurückgewonnene Wärme zu nutzen. Hier ist primär eine Vorwärmung des Kesselspeisewassers sinnvoll. Da die Kondensationswärme eine größere Wärmeleistung liefert als zur Speisewasservorwärmung erforderlich ist, kann in einem weiteren Heizkondensator zusätzliche Abwärme zurückgewonnen und z. B. zu Heizzwecken genutzt werden.

Da bei der Rohrbedampfungsanlage in Gebäude 23 ohnehin produktionsbedingt ein neuer Dampferzeuger (Auslegungswärmeleistung 1,4 MW) geplant ist, ist die Einbeziehung dieser beiden Möglichkeiten sinnvoll und mit geringem Zusatzaufwand machbar. Die unten stehenden Daten gehen von einer reinen Abwärmenutzung zur Speisewasservorwärmung aus. Damit steht eine maximale Kondensationsleistung von bis zu 1,25 MW zur Verfügung; durch die Speisewasservorwärmung von 10°C auf 100°C können davon 210 kW (rund 17%) auf die entsprechend nachzuspeisende Wassermenge übertragen werden. Ausgehend von der bisher zur Rohrbedampfung eingesetzten Brennstoffmenge (783 MWh/a im Bezugsjahr 2000) entspricht dies einer Einsparung von ca. 133 MWh/a. Die Mehrinvestition für die Speisewasservorwärmung wurde mit 10.000 € angesetzt.

Ausserdem besteht die Möglichkeit, die verbleibende Wärmeleistung im Winter zu Heizzwecken zu verwenden. Dadurch lassen sich in der Heizperiode weitere ca. 235 MWh/a einsparen. Die Anbindung an das Warmwasser-Heizsystem kann durch ca. 100 m Rohrleitung und einen Heizkondensator realisiert werden. Die dafür erforderlichen Investitionen werden auf weitere ca. 15.000 € veranschlagt.

Bei beiden Möglichkeiten ist von betriebstechnischer Seite mit einem geringfügigen Mehraufwand für die Handhabung der Rohrbündel zu rechnen, da das Ende der Rohre mit dem nächsten Rohranfang bzw. mit der Abwärmenutzung zu verbinden ist (statt wie bisher den Dampf durch die offenen Enden einfach entweichen zu lassen). Dies wurde in untenstehender Abschätzung nicht beziffert.

Übersicht:

#### Abwärmenutzung bei der Rohrbedampfung

| Erwartete Einsparungen: |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| Erdgas:                 | 368 MWh <sub>HU</sub> /a |
| Heizöl EL:              | - MWh <sub>HU</sub> /a   |
| Elektrische Leistung:   | - kW                     |
| Elektrische Arbeit:     | - MWh/a                  |
| CO <sub>2</sub> :       | 73 t/a                   |
| Wasser:                 | - m <sup>3</sup> /a      |

| <b>Investitionen:</b>                |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Gesamtinvestition:                   | 25.000 €                         |
| Anrechenbare Investition:            | 25.000 €                         |
| Spezifische Investition:             | 342 € / t (CO <sub>2</sub> ) / a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> |                                  |
|                                      | 1,8 Jahre                        |

## 7.7 Kesselverluste in Heizzentrale Halle 2 reduzieren

Die Kessel in der Heizzentrale Gebäude 2 versorgen einen Großteil der Gebäude ganzjährig mit Heizungs- und Brauchwarmwasser (siehe Kapitel 5.3). Der jährliche Energieverbrauch liegt bei rund 3.400 MWh<sub>HU</sub>/a. In Zeiten geringen Wärmebedarfs (Sommer) liegt die benötigte Wärmeleistung oft unterhalb des Modulationsbereichs der Brenner (je 300 kW), was einen energetisch ungünstigen, taktenden Betrieb zur Folge hat und mit Kesselverlusten von rund 50 MWh/a verbunden ist. Diese können durch zwei alternative Lösungen vermieden werden:

- 1) Die Kessel in der Heizzentrale Halle 18 sind deutlich kleiner dimensioniert. Die Leitungsnetze der beiden Heizzentralen Halle 2 und Halle 18 (Vor- und Rücklaufleitungen) sind über Absperrventile miteinander verbunden, die im Normalfall geöffnet sind. Auch die Abwärme der Druckluftkompressoren wird an dieser Stelle eingespeist. Wenn die Abwärmeleistung der Kompressoren und ggf. die Kesselleistung in Halle 18 ausreicht, können daher die Kessel in Halle 2 abgeschaltet werden, um die Verbraucher durch die kleineren Kessel der Heizzentrale Halle 18 mit zu versorgen. Dadurch lassen sich die Kesselverluste der großen Kessel im Kleinleistungsbereich vermeiden. Zudem entfällt in diesem Fall ein Teil des Energieverbrauchs für Kessel- und Heizkreispumpen. Nachteilig an dieser Lösung ist jedoch, dass die Kessel in Halle 18 ölbefeuert sind und dadurch der Brennstoff Gas durch Heizöl substituiert wird. Trotz der Energieeinsparung entsteht dadurch wegen des höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Heizöl mehr Kohlendioxid (negatives Vorzeichen in der Tabelle bei der erwarteten CO<sub>2</sub>-Einsparung).
- 2) Dieser Nachteil der ersten Variante lässt sich umgehen durch das Versetzen eines der kleineren Kessel aus Halle 02 nach Halle 18. Durch die Nachrüstung eines Gas- oder Zweistoffbrenners kann dieser in Zeiten geringer Wärmenachfrage bedarfsangepasst betrieben werden.

Bei der Abschaltung von Kesseln ist generell auf die hydraulische Trennung vom Heiznetz zu achten, damit nicht die abgeschalteten Kessel vom Heizwasser durchströmt werden und so Abstrahlverluste verursachen. Dies ist durch Abschiebern der Kessel zu bewirken.

Die beiden oben beschriebenen Varianten 1 und 2 sind nachfolgend tabellarisch gegenübergestellt:

Übersicht:

**Kesselverluste in Heizzentrale Halle 2 reduzieren**

| <b>Erwartete Einsparungen:</b>       | <b>Variante 1</b>  |                          | <b>Variante 2</b>      |                          |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|                                      | Öffnen des Ventils |                          | Zusätzlicher Gaskessel |                          |
| Erdgas:                              | 328                | MWh <sub>HU</sub> /a     | 50                     | MWh <sub>HU</sub> /a     |
| Heizöl EL:                           | -278               | MWh <sub>HU</sub> /a     | -                      | MWh <sub>HU</sub> /a     |
| Elektrische Leistung:                | -                  | kW                       | -                      | kW                       |
| Elektrische Arbeit:                  |                    | MWh/a                    |                        | MWh/a                    |
| CO <sub>2</sub> :                    | - 11               | t/a                      | 10                     | t/a                      |
| Wasser:                              | -                  | m <sup>3</sup> /a        | -                      | m <sup>3</sup> /a        |
| <b>Investitionen:</b>                |                    |                          |                        |                          |
| Gesamtinvestition:                   | 9.000              | €                        | 6.000                  | €                        |
| Anrechenbare Investition:            | 9.000              | €                        | 6.000                  | €                        |
| Spezifische Investition:             | -818               | €/ t(CO <sub>2</sub> )/a | 600                    | €/ t(CO <sub>2</sub> )/a |
| <b>Amortisationszeit (statisch):</b> | 4,7                | Jahre                    | 3,1                    | Jahre                    |

**7.8 Maßnahmen-Überblick**

Die vorgeschlagenen und im Detail beschriebenen Maßnahmen sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt. Eine Vielzahl kleinerer Maßnahmen oder Maßnahmen, die bereits früher umgesetzt wurden, sind hier nicht aufgeführt.

| <b>Nr.</b> | <b>Bezeichnung der Maßnahme</b>   | <b>CO<sub>2</sub>-Einsparung</b><br>t/a | <b>Investitionen</b><br>€ | <b>Amortisationszeit (statisch)</b><br>Jahre |
|------------|---|---|---------------------------|--|
| 7.1        | Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlage                                  | 578                                     | 110.000                   | 2,4  |
| 7.2        | Druckluftleckageverluste reduzieren                                       | 146                                     | 3.000                     | 0,2  |
| 7.3        | Optimierung der Abwärmenutzung bei den Druckluftkompressoren              | 24                                      | 6.000                     | 1,3  |
| 7.4        | Wärmedämmung der Extruder   | 833                                     | 250.000                   | 2,9  |
| 7.5        | Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers der Produktionsmaschinen | 273                                     | 30.000                    | 1,0  |
| 7.6        | Abwärmenutzung bei Rohrbedampfung   | 73                                      | 25.000                    | 1,8  |
| 7.7        | Kesselverluste in Heizzentrale Halle 2 reduzieren                         | 10                                      | 6.000                     | 3,1  |
|            | <b>Summe</b>  | <b>1.937</b>                            | <b>430.000</b>            | <b>-</b>                                     |

## 8 Energiesparpotenziale in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie

### Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung

In der Kunststoff-verarbeitenden Industrie gibt es ein weites Spektrum unterschiedlicher Betriebe. Die Gründe liegen in unterschiedlichen Betriebsgrößen, -Strukturen und Betriebszeiten (Schichtbetrieb), der im Betrieb vorhandenen Verarbeitungsstufen (Fertigungstiefe), Produktionsanlagen, Produktarten, verschiedenem Mechanisierungsgrad, usw. Dadurch entsteht ein inhomogenes Bild der Energieverwendung in der Branche.

Dennoch gibt es eine Reihe gemeinsamer Merkmale, die eine allgemeine Gültigkeit besitzen:

- ⇒ Allen Betrieben gemeinsam ist der Umformungsprozess aus Kunststoffgranulat, das zunächst zur Erzielung der Verformbarkeit erhitzt wird, meist durch elektrische Heizung und Reibungswärme in dem ebenfalls elektrisch oder hydraulisch angetriebenen Extruder. Durch diese Produktionsmaschinen wird der weitaus größte Anteil des Stromverbrauchs bedingt (im untersuchten Betrieb fast drei Viertel).
- ⇒ Im Anschluss an die Plastifizierung des Kunststoffes erfolgt die eigentliche Formgebung; hier ist eine Reihe unterschiedlicher Verfahren gebräuchlich (direkte Extrusion von rohr-, schlauch- und stangenförmigen Erzeugnissen, Spritzguss, Blasformung für Folien und Behälter, Aufschäumung, usw.). Dabei wird vor allem mechanische Energie, Druckluft und Vakuum zur Umformung, Produktfixierung und teilweise zur Kühlung eingesetzt.
- ⇒ Während und nach der Umformung muss die im Kunststoff vorhandene Wärme wieder abgeführt werden. Dazu und zur Maschinenkühlung wird ein umfangreiches Kühlsystem mit Rückkühlung benötigt. Das benötigte Temperaturniveau liegt dabei häufig im Bereich knapp unter Raumtemperatur (z. B. zwischen 10°C und 20°C), wodurch sich eine möglichst weit gehende Kühlung durch Außenluft (Freie Kühlung) anbietet so dass nur unterhalb der Außentemperatur ein energieaufwändigerer Kältemaschinenbetrieb notwendig wird. Bei sehr hohen inneren Wärmelasten müssen auch Produktionsräume gekühlt bzw. belüftet werden.
- ⇒ Je nach Anwendungsfall herrscht punktuell ein zusätzlicher Bedarf an Prozesswärme für produktspezifische Verfahren (Granulattrocknung, Warmumformung, Aufschäumung, Oberflächenbehandlung (Reinigung / Sterilisation, Lackierung, Trocknung usw.). Die dazu eingesetzten Energieträger sind teils stark prozess-spezifisch, teils kann die Prozesswärmeversorgung aber auch durch weitverbreitete übliche Verfahren erfolgen (Warmwasser- oder Dampfkessel, direktbefeuerte Luftherhitzer ...). Insbesondere bei großen Wärmeströmen ist die Abwärmenutzung hier eine sinnvolle Option, wenn an anderer Stelle ein Wärmebedarf besteht.
- ⇒ Der Raumwärmebedarf ist oft innerhalb des Betriebes räumlich sehr inhomogen, da in einigen Betriebsbereichen durch Produktionsanlagen hohe innere Wärmelasten anfallen, so dass hier nur wenig Heizbedarf besteht, manchmal sogar im Winter ein Wärmeüberschuss besteht. In anderen Bereichen ohne intensive Kunststoffproduktion besteht dagegen meist ein Bedarf an zusätzlicher Heizwärme.
- ⇒ Druckluft ist ein wichtiger Energieträger für sehr viele Produktionsanlagen; von besonderer Bedeutung sind hier die Blasformanlagen sowie Stützluftanwendungen. Da die Druckluft ein sehr kostenintensiver Energieträger ist, sollte daher der Erzeugung, Verteilung und Anwendung von Druckluft besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

⇒ Es fallen teilweise erhebliche Abluftmengen an, die aus lokalen Maschinenabsaugungen oder Hallenabluftanlagen stammen und teils mit Schadstoffen aus der Kunststoffherstellung, teils mit Produktionsabwärme belastet sind. Wenn im Betrieb in größerem Umfang lösemittelhaltige Stoffe eingesetzt werden, so ist oft eine Anlage zur Behandlung der belasteten Abluft erforderlich. Die Wärme aus einer thermischen Nachverbrennungsanlage (TNV) kann meist ortsnahe verwendet werden, z. B. für die Erwärmung der Trockenluft einer Lackieranlage, aus der die Lösemittel stammen.

Daraus ergeben sich die in diesem Kapitel beschriebenen Einsparpotenziale und Maßnahmen, die teilweise branchentypisch sind, teilweise aber auch für viele andere Branchen zutreffen.

Darüber hinaus sollten auch die Maßnahmen und Potenziale in Betracht gezogen werden, die bereits in Kapitel 7 beschrieben wurden. Sie werden zwar hier nicht mehr explizit aufgeführt, sind aber dennoch für viele Betriebe von Bedeutung.

## 8.1 Energieeffiziente Elektromotoren

Elektrische Antriebe machen einen großen Teil des industriellen Stromverbrauchs aus. Der mit Abstand größte Anteil der elektrischen Energie in der Kunststoffindustrie wird in den Produktionsmaschinen verwendet, um das Kunststoffmaterial zu plastifizieren. Davon ist wiederum der weitaus größte Stromverbrauchsanteil entsteht in den Antrieben der Extruderschnecken, da hier die Energie als Reibungswärme effizienter und direkter in das Material eingebracht wird als durch die elektrische Beheizung. Daher ist die Effizienz der Antriebsmotoren ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Branche. Einerseits gilt es hier, Überdimensionierung zu vermeiden; andererseits gibt es auch bei Motoren gleicher Nennleistung erhebliche Effizienz-Unterschiede.

Bei einem besseren Wirkungsgrad der häufig eingesetzten Drehstrommotoren lassen sich hier erhebliche Einsparungen erzielen. Rund 97% der gesamten Lebensdauerkosten eines Motors werden durch den Energieverbrauch verursacht; Anschaffungskosten sowie Installation und Wartung machen nur rund 1% bzw. 2% aus. Die Energiekosten für rund einen Monat Dauerbetrieb eines Elektromotors sind ungefähr gleich den Anschaffungskosten.

Eine neue europaweite Regelung welche in diesem Bereich sieht vor, dass alle in Europa hergestellten Elektromotoren im Leistungsbereich von 1,1 bis 90 kW hinsichtlich ihres Wirkungsgrades bei Drei-Viertel-Last und Vollast deutlich zu kennzeichnen sind. Grundlage ist eine Vereinbarung zwischen der europäischen Kommission und dem Komitee der europäischen Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP). Es werden 3 Wirkungsgradklassen definiert: Standard (eff3); verbesserter Wirkungsgrad (eff2); Hochwirkungsgrad (eff1). Die neue Kennzeichnungspflicht gilt für Motoren, die in Europa eingesetzt werden. Motoren der höchsten Klasse eff1 werden bereits von einigen Herstellern angeboten.

Der jeweilige Wirkungsgrad und die Wirkungsgradklasse werden von den Herstellern in den Katalogen angegeben, bzw. auf das Motorleistungsschild gestempelt. Dadurch wird es möglich, bei der Auswahl der Motoren auch den Energieverbrauch zu berücksichtigen.

Motoren mit verbessertem und hohem Wirkungsgrad benötigen mehr aktives Material als einfache Produkte. Der daraus resultierende höhere Verkaufspreis wird in der Regel in kürzester Zeit durch die eingesparte Energie mehr als kompensiert; typische Amortisationszeiten liegen (bei 24h-Betrieb) im Bereich von 1 bis 2 Jahren. In einigen Fällen ist sogar eine Ersatzinvestition in einen effizienteren Antrieb wirtschaftlich; in jedem Fall lohnt bei einer anstehenden Neuanschaffung die Prüfung der Mehrinvestition.

Wirkungsgrade von Motoren unterschiedlicher Hersteller sind in einer Datenbank „EuroDEEM“ der Europäischen Kommission zusammengestellt und können abgerufen werden unter <http://iamest.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>. Informationen über energieeffiziente Antriebe gibt es auch beim Zentralverb. Elektrotechnik und Elektronikindustrie ZVEI unter <http://www.zvei.org/antriebe>.

## 8.2 Anlagenauslastung

### Optimale Anlagenauslastung

Die Auswertung des spezifischen Energiebedarfs in Abhängigkeit von der Produktionsgeschwindigkeit (siehe Kapitel 5.5.1.1, Abbildung 5-5) zeigt, dass ein hoher Materialdurchsatz (im Rahmen der Anlagenkapazität) einen geringeren Energieverbrauch je produzierter Kunststoffmenge bedingt. Dies legt eine möglichst hohe Auslastung der Produktionsmaschinen nahe, um mit hohem Durchsatz die gewünschte Produktmenge zu verarbeiten und ggf. anschließend die Linie abzuschalten, um Leerlaufzeiten zu vermeiden.

## 8.3 Kältebereitstellung

Die Bereitstellung von Kühlwasser für die Produktionsanlagen ist eine wesentliche Komponente der Energie- und Medienversorgung, da ein großer Teil der Produktwärme über das Kühlwasser abgeführt werden muss. Auf Grund des hohen Verbrauchsanteils ist eine Optimierung der Kälteversorgung anzustreben. Welche Methode der Kühlung sinnvoll einsetzbar ist, hängt sehr stark von den abzuführenden Wärmeleistungen (im jahreszeitlichen Verlauf) und insbesondere von den benötigten Temperaturen des Kühlmittelvor- und Rücklaufs ab.

### Kühlwasser-Temperaturen

Die Temperaturen sollten generell so hoch wie möglich liegen, um eine möglichst energieeffiziente Kühlung zu ermöglichen. Einerseits ist dadurch der Einsatz von weniger energieaufwändigen Kälteerzeugungstechnologien (bzw. deren Deckungsgrad an der Kältebereitstellung) möglich, siehe unten. Andererseits ist der spezifische Energieaufwand von Kältemaschinen um so größer, je niedriger die zu erreichende Kühlmedientemperatur liegt. Gegebenenfalls kann eine höhere Kühlmitteltemperatur durch höhere Durchflussmengen kompensiert werden. Generell ist eine kritische Überprüfung und ggf. Anpassung der Medientemperaturen auf die für die einzelnen Anwendungen erforderlichen Werte empfehlenswert.

### Kälteerzeugung

Bei höheren Kühlmitteltemperaturen ist eine Nutzung der abzuführenden Wärme durch Übertragung auf zu erwärmende Medien (z. B. Hallenluft, Warmwasser) oft sinnvoll.

### Grundwasserkühlung

Bis zur Temperatur des Grundwassers (ca. 10°C) kann eine Brunnenwasserkühlung stattfinden, was allerdings ausreichende Wasserverfügbarkeit und eine wasserbehördliche Genehmigung voraussetzt. Dies stellt häufig die energieeffizienteste und kostengünstigste Lösung bei diesem Temperaturniveau dar.

Eine Frischwasserkühlung (ebenfalls bis etwa 10°C) mit Wasser aus dem Trinkwassernetz ist wegen des hohen Wasserpreises (Bezug + Abwassergebühr) kaum verbreitet. Diese Variante kann dennoch wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn ohnehin ein entsprechend hoher Bedarf an Trinkwasser vorhanden ist und das Wasser, das zur Kühlung verwendet wurde, z. B. zur Warmwasserbereitung, weiter genutzt werden kann.

## Freie Kühlung

Im Temperaturbereich bis knapp über der Außenluft-Temperatur bietet die Freie Kühlung häufig eine wirtschaftliche Lösung.

## Nasskühltürme

Durch den Einsatz von Nasskühltürmen kann durch den Verdunstungseffekt die erreichbare Kühlgrenztemperatur noch um einige Grade gesenkt werden.

## Kältemaschine

Für noch tiefere Temperaturen ist die energieintensive Lösung mittels einer Kältemaschine (Kompression oder Absorption) notwendig. Hier gilt das oben Gesagte analog für die Rückkühlung der Kälteanlage. Insbesondere bei vorhandenem Abwärmepotenzial (auf einem Temperaturniveau ab ca. 90°C) kann eine Absorptionskälteanlage eine wirtschaftliche Alternative zu Kompressionsanlagen bieten.

## Kühlwasser-Leitungen

Die Versorgungsleitungen und Armaturen sollten zur Minimierung von Wärmeeinträgen möglichst kurz und gut wärmegeämmt sein. Je geringer die Kühlwassertemperaturen, desto höher ist der Eintrag von Verlustwärmeleistung durch die Umgebungstemperatur. Maßnahmen zur Wärmedämmung sind daher oft mit kurzer Amortisationsdauer realisierbar.

## 8.4 Druckluft

Druckluft ist ein sehr energieintensives Medium, da der Wirkungsgrad der Erzeugung sehr gering ist (rund 95% der aufgewendeten Energie wird in Wärme umgewandelt, nur etwa 5% sind als mechanische Energie nutzbar).

Daher ist einerseits bei der Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung auf hohe Effizienz zu achten, andererseits sollte Druckluft als Energieträger nur dort eingesetzt werden, wo dies tatsächlich erforderlich ist. Oft ist die Verwendung der Kompressorabwärme zur Warmwasserbereitung bzw. zu Heizzwecken möglich.

Die Deutsche Energieagentur (dena), das Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI) und der Fachverband Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik des VDMA haben die Kampagne „Druckluft effizient“ initiiert, die Anlagenbetreiber in Industrie und Gewerbe über die Möglichkeiten zur Kosten- und Energieeinsparung informieren und zur Erschließung dieser Potenziale motivieren will. Es werden die verschiedensten Optimierungsmöglichkeiten der technischen Druckluftanwendung über die Planung, Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung sowie Finanzierungsmöglichkeiten aufgezeigt. In diesem Rahmen ist auch die Teilnahme an einem Programm zur Messung, Analyse und vergleichender Bewertung der betrieblichen Druckluftsysteme möglich. Nähere Informationen sind erhältlich unter [www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de).

### 8.4.1 Netzdruck auf das geringste erforderliche Niveau reduzieren

Für alle Druckluftanwendungen im Betrieb sollte der minimal erforderliche Luftdruck ermittelt werden. Das erzeugte Druckniveau sollte auch diesen Anforderungen entsprechen, um nicht einen unnötig hohen Netzdruck aufzubauen, der dann durch Druckminderer beim Abnehmer reduziert werden muss.

Für kleine Verbrauchsmengen auf wesentlich höherem Druckniveau ist es oft sinnvoller, einen eigenen dezentralen Kompressor zur Erzeugung oder Druckerhöhung zu installieren, statt das ganze Netz

auf der hohen Druckstufe zu betreiben. Durch Absenkung des Druckniveaus können Energieeinsparungen von rd. 6 % pro bar Druckreduzierung erreicht werden.

Generell ist für fast alle Bestandteile des Druckluftsystems (Kompressoren, Druckluft-Speicher, Aufbereitung) eine Abwägung zwischen zentraler und dezentraler Lösung angebracht, vor allem wenn starke Unterschiede zwischen Druckbedarf, Abnahmemengen und Anforderungen an die Druckluftqualität bestehen. Bei gleichartigen Abnehmern ist i.A. eine zentrale Lösung effizienter; bei großen Unterschieden ist es oft besser, nur den Teil der Druckluftmenge hoch zu verdichten bzw. aufzubereiten (mit dem damit verbundenen Energieaufwand), der auch tatsächlich auf dieser Druck- bzw. Qualitätsstufe benötigt wird.

#### **8.4.2 Luftaufbereitung dem tatsächlichen Bedarf anpassen**

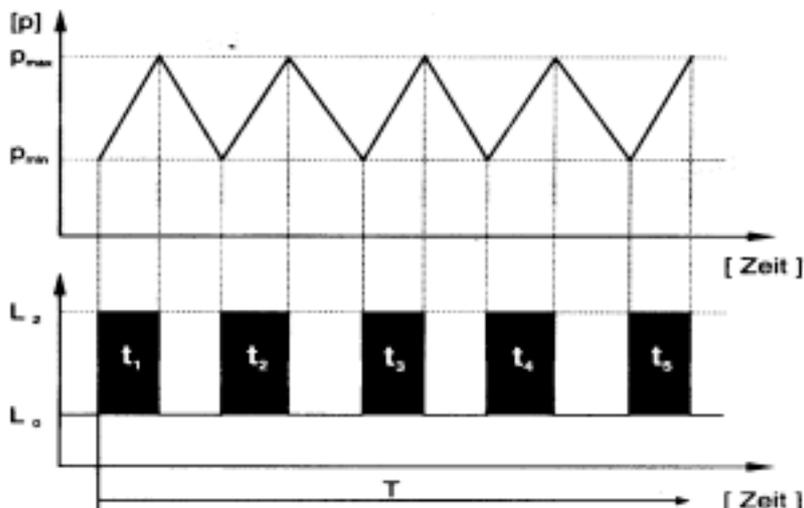
Überflüssige Luftkonditionierung (Filterung, Ölabscheidung, Trocknung) erhöht die Betriebskosten der Druckluftherzeugung. Ähnlich wie beim Druckniveau sollte daher die minimal erforderliche Druckluftqualität (Restgehalt an Öl, Partikeln und Wasser) für die Anwendungen bekannt sein und die Druckluftaufbereitung darauf ausgerichtet werden. Die Qualitätsanforderungen können einfacher erfüllt werden durch ölfreie Kompressoren und staubarme Ansaugluft. Auch hier sind oft dezentrale Lösungen zur Druckluftaufbereitung sinnvoll (s.o).

#### **8.4.3 Leckagen ermitteln und abdichten**

Beim Druckluft-Rohrleitungsnetz bietet die Verminderung von Leckageverlusten häufig das größte Einsparpotenzial im Druckluftbereich. In einer längeren Periode ohne regelmäßige Wartung sammeln sich im oft rauen Alltagsbetrieb eine Vielzahl größerer und kleinerer Leckagen an, die zu einem erheblichen Verbrauchsanteil anwachsen. Erfahrungsgemäß sind entsprechende Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll bis zu einer verbleibenden Leckagemenge von ca. 10% der erzeugten Druckluftmenge.

##### **Bestimmung der Leckagemenge**

Die einfachste Bestimmung der Leckageverluste erfolgt durch Einschaltdauermessung mit einem ausgewählten Kompressor des betroffenen Netzes. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar. Die Bestimmung erfolgt zu einer betriebsfreien Zeit, in der die Verbraucher zwar ausgeschaltet, jedoch unter Druck sind. Durch die Leckagen im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Testkompressor muss die Leckageverluste immer wieder ersetzen.



Über eine bestimmte Messzeit  $t_M$  hinweg (z.B. eine Stunde) werden die Einzelaufzeiten des Kompressors ( $t_1, t_2, \dots$ ) gemessen und addiert. Über die Nennleistung des Kompressors wird damit die für Leckagen aufgewendete Energiemenge in dieser Stunde ermittelt. Über die jährlichen Betriebsstunden des Druckluftsystems kann auf den Energieverbrauch pro Jahr für Leckagen hochgerechnet werden. Dieser wird ins Verhältnis gesetzt zum gesamten gemessenen Stromverbrauch für die Druckluftkompressoren. Der Betrieb kann aus diesem Anteil der Leckageverluste am Energiebedarf der Druckluftherzeugung die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen ermitteln.

Beispiel:

Messzeit  $t_M = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$

Gesamtlaufzeit des Testkompressors  $t = t_1 + t_2 + \dots = 20 \text{ min} = 0,33 \text{ h}$

Nennleistung des Testkompressors:  $P_N = 180 \text{ kW}$

Jahresbetriebszeit des Druckluftnetzes:  $t_B = 5.000 \text{ h}$

Jährlicher Stromverbrauch aller Druckluftkompressoren des Netzes:  $W = 1.000.000 \text{ kWh}$

$$\text{Leckagerate} = \frac{t * t_B * P_N}{t_M * W} = \frac{0,33 \text{ h} * 5.000 \text{ h} * 180 \text{ kW}}{1 \text{ h} * 1.000.000 \text{ kWh}} = 0,3 = 30\%$$

Erfahrungsgemäß liegen die Leckageverluste in der Industrie häufig bei 30-50%. In der Regel amortisiert sich daher der Aufwand zur Beseitigung von Leckagen innerhalb weniger Monate. Druckluftverluste sind in herkömmlichen Druckluftsystemen jedoch unvermeidlich. Die Maßnahmen zur Beseitigung von Leckagen können irgendwann teurer sein als die erreichbaren Einsparungen. Leckageraten, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten, sind:

Max. 5% bei kleinen Netzen

Max. 7% bei mittleren Netzen

Max. 10% bei größeren Netzen

Max. 13-15% bei sehr großen Netzen (z.B. Stahlwerke, Werften) (Quelle: [4])

In weiteren Schritten kann diese Prüfung bei abgesperrten Abnehmeranschlüssen oder für einzelne Teilbereiche des Betriebs durchgeführt werden, um die Leckagen grob zu lokalisieren. Zur Feinortung kann ein Ultraschall-Ortungsgerät eingesetzt werden.

Weitere Details zu Leckagen siehe Kapitel 8.4.

#### **8.4.4 Lange Rohrleitungen / Engstellen im Rohrnetz vermeiden**

Lange Leitungen bzw. Engstellen führen zu zusätzlichem Druckverlust und Energiebedarf. Die Kompressoren sollten daher möglichst nahe an den Hauptverbrauchern positioniert und die Leitungen ausreichend dimensioniert sein.

Bei Stichleitungen ist an den entfernten Abnehmern oft der Druck zu gering wegen des Druckabfalls durch die kompressornahen Verbraucher. Ringleitungen oder verbrauchernahe Pufferspeicher lösen diese Probleme erheblich wirkungsvoller und (energie-)effizienter als eine Anhebung des Netzdrucks.

#### **8.4.5 Nicht benötigte Leitungsteile absperren**

Eine weitere Reduzierung der Verluste lässt sich erreichen, wenn Leitungsteile in Zeiten der Nichtbenutzung abgesperrt werden. Häufig sind sogar schon Absperrorgane (z. B. Kugelhähne) vorhanden, werden aber kaum genutzt. Wird Druckluft z. B. am Wochenende nur in einzelnen Betriebsbereichen benötigt, ist oft auch eine Absperrung ganzer Hallenversorgungsleitungen sinnvoll.

#### **8.4.6 Druckluft(Puffer)speicher richtig dimensionieren**

Ein zu klein gewählter oder falsch positionierter Pufferspeicher erhöht den Energiebedarf. Eine Überprüfung der Dimensionierung und Position des Pufferspeichers und gegebenenfalls eine Änderung der Größe / des Aufstellorts ist ratsam. Dies ist insbesondere wichtig bei starken Lastschwankungen der Druckluftabnahme.

#### **8.4.7 Druckverlust im Anschluss reduzieren**

Beim Anschluss des Verbrauchers an das Druckluftnetz verursachen ein dünner Schlauch und oft auch eine schlechte Anschlusskupplung einen hohen Druckabfall. Dadurch wird ein erhöhter Netzdruck erforderlich, damit am Apparat noch der notwendige Druck ansteht. Durch eine Reduktion des Druckabfalls in der Anschlussleitung wird meistens auch die Leistungsfähigkeit des Apparates erhöht, welcher dann unabhängig vom Luftverbrauch den gleichen Druck zur Verfügung hat.

#### **8.4.8 Unnötigen Druckluftverbrauch vermeiden**

Häufig lässt sich der Druckluftverbrauch durch eine geeignete Anlageneinstellung oder eine bedarfsgerechte Steuerung reduzieren. Mögliche Beispiele für solche Maßnahmen sind:

- ⇒ Pneumatikventile werden getaktet geöffnet statt Dauerbetrieb
- ⇒ in Produktionslinien öffnet eine Lichtschranke ein Abblaseventil nur dann, wenn auch ein Werkstück vor der Düse ist
- ⇒ eine pneumatische Filterabreinigung wird nur durchgeführt ab einem bestimmten Differenzdruck über dem Filter

#### **8.4.9 Kompressorsteuerung / Verbundregelung**

Um nur die tatsächlich benötigte Druckluftmenge zu erzeugen, ist eine Steuerung des Kompressors bzw. Kompressorverbundes erforderlich.

Die Steuerung soll einerseits eine elektronische Nachlaufregelung beinhalten, um Leerlaufzeiten zu minimieren; andererseits arbeiten Verbund-Anlagen mit mehreren Kompressoren effizienter, wenn möglichst wenige Kompressoren, diese dann aber unter Vollast laufen, als mehrere mit verminderter

Leistung. Die Kompressor- oder Verbundregelung soll bedarfsgerecht die Zu- / Abschaltung der Kompressoren steuern bzw. bei drehzahlvariablen Motoren die Liefermenge regeln.

#### **8.4.10 Überdimensionierte Kompressoren ersetzen**

Grosse Kompressoren haben i. A. bessere Wirkungsgrade als kleinere, aber nur bei ausreichender Auslastung. Ein überdimensionierter Kompressor erreicht sehr schnell den Abschaltdruck und hat lange unbelastete Zeiten zwischen den Lastphasen.

Damit der Antriebsmotor nicht wegen häufiger Schaltspiele zu heiss wird, hat der Kompressor eine Nachlaufzeit in der er etwa 30% der Nennleistung aufnimmt, aber keine Druckluft komprimiert. Je grösser der Kompressor ist, desto grösser ist dieser Wert. Faustregel: ein Kompressor, bei dem die Laststunden weniger als die Hälfte der Betriebsstunden ausmachen, ist zu gross.

Bei zeitlich sehr unterschiedlichem Druckluftbedarf ist nebst den Möglichkeiten mit Druckluftspeicher eine angepasste Kombination von verschiedenen Kompressorgrößen sinnvoll.

#### **8.4.11 Leistungseinbußen wegen Kompressorverschleiß vermeiden**

Der Verschleiß beweglicher Teile der Verdichter führt zu verminderter Lieferleistung, einerseits durch verminderte Kompressionswirkung wegen schlechter Abdichtung, andererseits durch Schwergängigkeit. Vor allem bei Anlagen mit mehreren Kompressoren kann es vorkommen, dass ein Kompressor unbemerkt gar keine Luft mehr liefert, obwohl er läuft.

Die Bestimmung der Liefermenge ist ein Hilfsmittel zur Überprüfung der Kompressorleistung.

##### **Bestimmung der Liefermenge**

Eine einfache Methode hierzu besteht in der Messung der Zeit, die der Kompressor braucht, um den Druck im Speicher um eine bestimmte Druckdifferenz (zum Beispiel 1 bar) zu erhöhen. Das übrige Druckluftnetz sollte dabei abgesperrt sein und die Druckmessung im Bereich des Nenndruckes liegen. Die Liefermenge (in Liter pro Sekunde) ergibt sich als Produkt aus Speichervolumen (in Liter/bar) und Druckdifferenz (in bar), dividiert durch die Fülldauer (in Sekunden).

##### **Kompressor-Revision**

Dieser regelmässig ermittelte Wert sollte mit der Kompressorspezifikation oder den letzten Messwerten verglichen werden. Bei einer Leistungseinbuße von mehr als 10 bis 15% sollte der Kompressor generalüberholt, schlimmstenfalls ersetzt werden.

#### **8.4.12 Ansaugbedingungen optimieren**

Die Ansaugbedingungen spielen eine große Rolle für die Effizienz der Druckluftherzeugung. Dies betrifft einerseits die Temperatur und andererseits den Druckverlust auf der Saugseite des Verdichters.

##### **Kalte Ansaugluft**

Kompressoren arbeiten um so effizienter, je niedriger die Ansaugtemperatur ist. Eine um 10°C höhere Temperatur der Ansaugluft erfordert 2-4% mehr Energieeinsatz, da der erzeugte Volumenstrom mit erhöhter Ansaugtemperatur abnimmt. Daher ist möglichst kalte Ansaugluft (Ansaugkanal nach außen/Nordseite) anzustreben. Bei Frostgefahr, z. B. unter 5°C, ist zum Schutz des Kompressors eine Beimischung warmer Hallenluft erforderlich.

##### **Saugseitige Druckverluste gering halten**

Auch die Druckverluste sollten auf der Ansaugseite gering gehalten werden. Typische Schwachstellen sind hier

- ⇒ zu kleine Ansaugöffnungen oder Luftklappen,
- ⇒ falsche oder verschmutzte Filter,
- ⇒ ungünstige Kanalführung mit vielen Bögen und Engstellen,
- ⇒ Ansaugung aus verschlossenen Räumen ohne ausreichende Luftnachströmung.

### **8.4.13 Abwärme der Druckluftkompressoren nutzen**

#### **Hoher Anfall von Abwärme**

Bei der Druckluftherzeugung fällt eine erhebliche Wärmeleistung an, die per Luft- oder Wasserkühlung der Kompressoren abgeführt werden muss. Durch Nutzung dieser Abwärme kann die erforderliche Wärmebereitstellung durch andere Wärmeerzeuger und damit deren Verbrauch vermindert werden.

Die Kriterien für die Übertragbarkeit und für die Variantenauswahl sind hier vor allem der Wärmebedarf potenzieller Abnehmer und die Gleichzeitigkeit mit dem Wärmeeinfall. Außerdem hängt der technische und investive Aufwand davon ab, ob ein neuer Kompressor ab Werk mit einer Abwärmenutzung ausgestattet werden kann oder ob ein vorhandener Kompressor nachzurüsten ist (manche Kompressoren sind werksseitig schon auf diese Option vorbereitet). Der Mehrpreis für die werksseitig vorinstallierte Abwärmenutzung ist deutlich geringer als die Kosten einer nachträglichen Ausstattung.

#### **Abwärmenutzung in Luft**

Bei luftgekühlten Kompressoren kann die durch den Kompressor erwärmte Kühlluft beispielsweise zur Lufterwärmung in Produktionshallen oder zur Vorwärmung von Verbrennungsluft von Heizkesseln o.ä. verwendet werden.

#### **Einspeisung in Heizung / Warmwasserbereitung**

Ein Wärmetauscher im Kühlkreislauf des Kompressors bietet die Möglichkeit, die Kompressorabwärme direkt zur Heizung oder Warmwasserbereitung zu verwenden. Dadurch können etwa drei Viertel der eingesetzten elektrischen Energie als Wärme genutzt werden. Welcher Anteil von dieser Wärmemenge tatsächlich nutzbar ist, hängt vom jahreszeitlichen Verlauf des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung sowie den entsprechenden Temperaturniveaus ab.

Insbesondere bei Neubeschaffung von Kompressoren ist der Mehrpreis für die werksseitige Ausstattung mit dem erforderlichen Wärmetauscher schnell amortisiert. Oft lohnt sich auch die Nachrüstung vorhandener Kompressoren mit einem Wärmetauscher, insbesondere bei den schon darauf vorbereiteten Kompressormodellen. Daher ist auch bei Neuinvestitionen auf die werksseitige Ausrüstung mit Wärmetauschern zu achten.

Zur Einbindung in den Heiz- bzw. Warmwasserkreislauf ist dann eine Rohrleitungsanbindung mit Pumpe(n) und weiterem Wärmetauscher erforderlich.

### **8.4.14 Alternativen zur Druckluftanwendung**

Häufig sind an Stelle von Druckluftanwendungen auch andere Energieformen möglich, die energetisch effizienter sind (und oft sogar noch zusätzliche Vorteile bieten). Einige Beispiele dafür sind in folgender Tabelle 8-1 aufgezeigt:

Tabelle 8-1: Alternativen zur Druckluftverwendung

| Anwendung                     | Alternative                                    | Vorteile  | Nachteile                |
|-------------------------------|--|---|--------------------------|
| Kühlung<br>Trocknung          | Ventilatorgebläse; mechanische Trocknung       |   |                          |
| Reinigung<br>(Abblasen)       | Staubsauger; mechanische Reinigung             | gleichzeitig Schmutzentsorgung                        |                          |
| Materialförderung             | mech. Fördereinrichtung (Förderband o.ä.)      |   |                          |
| Druckluftmotor<br>(Werkzeuge) | Elektromotor (evtl. mit Akku / flexible Welle) | weniger Lärm; besser regelbar                         | schwerer, i.A.<br>teurer |
| Druckluftzylinder             | Elektromotor<br>Hydraulik                      | keine Leerlaufverluste;<br>Leckagen leichter sichtbar |                          |

In der Kunststoffverarbeitung ist insbesondere die Granulatförderung von Bedeutung, die häufig durch Druckluftsysteme erfolgt, die jedoch auch durch Gebläse oder Schneckentriebe realisiert werden kann.

## 8.5 Prozessspezifische Ansatzpunkte

### Prozessoptimierung

Auch bei der Maschinenkonstruktion und den Prozessparametern bieten sich Ansatzpunkte zur Energieeinsparung. Neben den in Kapitel 7.4 und 7.6 beschriebenen Maßnahmen sind nachfolgend weitere Beispiele aufgelistet [5]:

- ⇒ elektromotorischer statt hydraulischer Extruderantrieb: oft ist noch ein hydraulischer Antrieb der Extruderschnecke verbreitet. Durch den direkten Antrieb durch einen Elektromotor werden die Verluste im Hydrauliksystem vermieden, da hier der zusätzlicher Energieumwandlungsschritt entfällt
- ⇒ Materialvorwärmung des Granulates mit Extruderabwärme: dadurch muss im Extruder selbst weniger Wärmeenergie für die Aufheizung des Granulates aufgebracht werden.
- ⇒ Schneckenengeometrie: das geometrische Design der Extruderschnecke ist ein wesentlicher Einflußfaktor auf den Energieeintrag in das Granulat und die Fördereigenschaften. Eine darauf hin optimierte Schneckenengeometrie kann daher zu Energieeffizienzsteigerungen führen.
- ⇒ Reduktion der Ausschussmenge: auch für die „Produktion“ der Ausschussmengen muß Energie aufgewendet werden, die mit dem Ausschussmaterial verworfen wird. Daher ist nicht nur vom materialwirtschaftlichen Standpunkt her eine Minimierung des Ausschusses anzustreben. Hier sind durch angepasste Betriebsweise z. B. beim An- und Abfahren der Anlage, oder bei der Gestaltung von Spritzgusswerkzeugen oft Verbesserungen möglich.
- ⇒ Wärmedämmung von Anlagenteilen: exemplarisch ist in Kapitel 7.4 die Wärmedämmung der Extruder beschrieben; diese Maßnahme läßt sich verallgemeinern auf praktisch alle Anlagen, bei denen Wärmeverluste an Oberflächen auftreten. Je höher die Temperatur und je länger die jährliche Betriebsdauer, desto interessanter wird eine Wärmedämmung.
- ⇒ Extruderbeheizung mit Erdgas: aus regelungstechnischen Gründen wird die Beheizung des Extruders bisher elektrisch realisiert. Als wirtschaftlich und ökologisch attraktive Alternative befindet sich derzeit ein erdgasbefeuertes Ringheizelement zur Extruderheizung in einer Erprobungsphase (siehe [6]).

Oft ist eine nachträgliche Realisierung dieser Möglichkeiten nicht wirtschaftlich realisierbar, dagegen bei ohnehin anstehenden Erneuerungs- bzw. Erweiterungsbedarf oft zu geringen Mehrkosten möglich.

## 8.6 Wärmenutzung

### 8.6.1 Richtige Auslegung der Heizkessel

Bei Heizkesseln, deren Feuerungsleistung über dem Wärmebedarf der Abnehmer liegt, muss regelmäßig nach vollständiger Aufheizung des Pufferspeichers der Brenner außer Betrieb genommen werden. Während dieser sogenannten Betriebsbereitschaftsphasen entstehen zusätzliche Beiträge zu den Kesselverlusten, die sich in einem schlechteren Nutzungsgrad (im Vergleich zu einem dem Bedarf angepassten Kessel) niederschlagen. Daher ist bei der Auslegung eines Heizsystems auf eine Anpassung an den Wärmebedarf wichtig. Durch Aufteilung der Gesamt-Kesselleistung auf mehrere evtl. unterschiedlich große Kessel sowie modulierende (leistungsregelbare) Brenner können die unterschiedlichen Betriebsfälle und Wärmebedarfsleistungen abgedeckt werden.

### 8.6.2 Nutzung von Abwärmeströmen

Neben der bereits beschriebenen Abwärmennutzung bei den Druckluftkompressoren gibt es häufig weitere Abwärmeströme aus Energieversorgungs- oder Produktionsanlagen, die bei entsprechendem Wärmebedarf genutzt werden können. Entscheidendes Kriterium hierfür ist ein entsprechender Wärmebedarf und dessen Gleichzeitigkeit mit dem Wärmeeinfall. Dabei lassen sich kurzfristige Differenzen durch entsprechende Wärmespeicher ausgleichen.

Das Abwärmemedium kann in manchen Fällen direkt genutzt werden (Warmluft, erwärmtes Kühlwasser...); oft ist dies aber wegen unerwünschten Bestandteilen des Abwärmemediums nicht möglich, so dass eine Wärmeübertragung in ein anderes Medium erforderlich ist (durch einen Wärmetauscher).

Beispiele für nutzbare Abwärmequellen sind:

- ⇒ Kühlwasser oder Kühlluft
- ⇒ Verflüssiger bei Kälteanlagen
- ⇒ Heiße Abgase von technischen Verbrennungsprozessen, z. B. aus Anlagen zur Thermischen Abluftreinigung (TAR) für lösemittelhaltige Abluft
- ⇒ Prozesswärmeanwendungen (Heißlufttrocknung, Dampf auf niederem Druckniveau)

Die Abwärme kann beispielsweise genutzt werden zur

- ⇒ Trinkwassererwärmung
- ⇒ Heizung von Betriebsbereichen mit Raumwärmebedarf
- ⇒ Vorwärmung von Verbrennungsluft z. B. von Heizkesseln
- ⇒ Vorwärmung oder Trocknung von Materialien oder Werkzeugen, z. B. Kunststoffgranulat

Die wirtschaftliche Attraktivität dieser Maßnahme ist i.A. um so größer, je höher die Abwärmetemperatur und je besser der Abwärmeeinfall zum Wärmebedarf passt (Leistung, Gleichzeitigkeit, räumliche Nähe).

### 8.6.3 Vorwärmung der Verbrennungsluft

Ein beachtlicher Teil der in Feuerungsanlagen erzeugten Energie ist erforderlich, um die eingesetzte Verbrennungsluft auf die Verbrennungstemperatur zu erhitzen. Durch eine Vorwärmung der Verbrennungsluft kann der Wirkungsgrad der Verbrennung gesteigert werden.

Diese Luftvorwärmung kann entweder durch die Abwärme des Kessels selber geschehen, z. B. durch Ansaugen der Verbrennungsluft aus dem Kesselhaus statt aus der kalten Außenluft. Wenn allerdings andere Abwärmeströme (z. B. aus Prozesswärmeanlagen) zur Verfügung stehen, lässt sich ggf. eine erheblich größere Vorwärmung und die damit verbundene Brennstoffeinsparung erreichen.

## **8.6.4 Wärmedämmung**

### **Produktionsanlagen**

Bei Produktionsanlagen mit erheblichem Wärmebedarf sind oft durch eine Verbesserung der Wärmedämmung hohe Einsparpotenziale zu erzielen, die um so lohnender sind, je höher die Betriebstemperaturen bzw. die Betriebsdauer ist. Entsprechendes gilt auch bei Rohrleitungen und Armaturen.

Bei warmen Flüssigkeiten ist nicht nur der Wärmeverlust durch Abstrahlung und Konvektion zu beachten, sondern vor allem auch der durch Verdampfung. Daher ist auf eine möglichst geschlossene Prozessführung zu achten (z.B. Deckel auf Bäder).

Eine nachträgliche Wärmedämmung ist generell aufwändiger als eine entsprechende Ausrüstung bei der Erstbeschaffung.

### **Gebäude**

Bei Gebäuden oder Gebäudeteilen ist eine Verbesserung der Wärmedämmung um so attraktiver, je größer die jeweiligen Wärmeverluste sind, die durch eine entsprechende Heizleistung ausgeglichen werden müssen. Auch bei vorhandenem Wärmeüberschuss, z.B. aus der Abwärme von Produktionsanlagen, ist eine gute Wärmedämmung sinnvoll, da sonst im Sommer hohe Außentemperaturen bzw. starke Sonneneinstrahlung zu zusätzlichen Wärmelasten führen, welche die Innentemperaturen ansteigen lassen und damit ggf. sogar eine Kühlung erforderlich machen.

Bei älteren Gebäuden weisen oft einerseits die Baumaterialien von Wänden, Dächern und Fenstern vergleichsweise hohe Wärmedurchgangswerte auf; andererseits ist meist auch die Dichtheit der Gebäudehülle geringer, was zu höheren Lüftungswärmeverlusten führt. Eine detaillierte Schwachstellenanalyse kann hier durchaus lohnenswerte Einsparpotenziale aufdecken.

Neuere Gebäude sind meist auf Grund der stetig gesteigerten Anforderungen an den Wärmeschutz besser gedämmt. Doch auch hier können Schwachstellen auftreten wie Wärmebrücken, ungedämmte Teilflächen, Fugen, undichte Fenster etc., deren Beseitigung lohnt.

## **8.6.5 Deckenventilatoren zur Auflösung der Wärmeschichtung in hohen Hallen**

Besonders in hohen Hallen ohne wesentliche Luftumwälzung kommt es oft zu einer ungünstigen Temperaturschichtung der Hallenluft: die leichtere Warmluft steigt nach oben zur Hallendecke, während im Aufenthaltsbereich in Bodennähe die (schwerere) kältere Luft vorherrscht. Diese Luftschichtung kann durch einfache Deckenventilatoren wirksam aufgelöst und eine gleichmäßigere Wärmeverteilung erzielt werden. Dadurch vermindern sich auch die Wärmeverluste durch die Hallendecke.

Bei einem Wärmeüberschuss in der Halle wäre diese Warmluft-Umwälzung nachteilig; in diesem Fall kann die aufsteigende Warmluft in der Nähe der Hallendecke gezielt abgeführt werden (z.B. durch Oberlichtfenster oder Lüftungsanlagen).

## 8.7 Elektrische Energieversorgung

### 8.7.1 Transformatorenverluste

Die Auswahl und Dimensionierung der Transformatoren ist insbesondere bei Anwendungen mit hohen Leistungsspitzen ein wichtiges Thema. Bei geringer Auslastung der Transformatoren ist der Anteil an Leerlaufverlusten im Verhältnis zur Trafoleistung hoch.

Die Leerlaufverluste eines Transformators hängen nicht von der Abnahmeleistung, sondern nur von seiner Bauart und -größe ab und liegen in einem Bereich von 0,2% bis 0,5% der Nennleistung. Die Mehrinvestition in Transformatoren mit minimierten Leerlaufverlusten amortisieren sich auf Grund der hohen Betriebsdauer (meist ganzjährig) innerhalb kurzer Zeit.

### 8.7.2 Spitzenlastmanagement

Ein elektrisches Leistungsmanagementsystem dient zur Begrenzung des elektrischen Leistungsbezugs. Dazu wird zunächst die bezogene Leistung gemessen (zeitgleich mit dem Stromversorger) und auf Grundlage momentanen Wirkleistung der voraussichtliche 15-Minuten-Leistungswert hochgerechnet, der vom EVU zur Verrechnung des Leistungspreises herangezogen wird. Ergibt diese Hochrechnung, dass voraussichtlich ein vorgegebener Grenzwert überschritten wird, so werden nach einer definierten Prioritäten- und Verfügbarkeitsstrategie einzelne Verbraucher(gruppen) abgeschaltet, die kurzfristig nicht benötigt werden. Kurzfristig abschaltbare Verbraucher sind beispielsweise Lüftungs- oder Kälteanlagen.

Das Ziel dieses Systems ist es, mit möglichst wenig Schalthandlungen den vorgegebenen Sollwert am Ende einer 15-Minuten-Messperiode einzuhalten. Damit werden die Verrechnungsleistung und der Leistungspreis reduziert.

### 8.7.3 Blindstromkompensation

Praktisch alle elektrischen Verbraucher beziehen neben der Wirkleistung auch eine sogenannte Blindleistungskomponente, die durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung verursacht ist. Der Blindstrom verrichtet zwar keine nutzbare Arbeit, vergrößert aber den Gesamtstrom und belastet damit zum Einen die Installationsleitungen, sowie auch die Generatoren im Kraftwerk. Daher wird oft auch die Blindeistung bei den Leistungskosten berücksichtigt.

Durch eine automatische Zuschaltung einer Blindstromkompensation kann verhindert werden, daß Blindleistung über dem vom EVU zugestandenen Wert aus dem Netz bezogen wird, wodurch Blindstromkosten vermieden werden.

## 8.8 Beleuchtung

Die Beleuchtung ist wegen des meist nur geringen Verbrauchsanteils ein oft vernachlässigter Beitrag zum elektrischen Energieverbrauch, da er im Vergleich zu anderen großen Verbrauchergruppen weniger stark ins Gewicht fällt. Dennoch bieten sich auch in diesem Bereich oft erhebliche Einsparpotenziale.

### 8.8.1 Leuchtmittel und Leuchten

#### Leuchtmittel mit hoher Lichtausbeute

Der erste Ansatzpunkt liegt in der Lichtquelle selbst, also des Leuchtmittels (Lampe). Hier ist die Lichtausbeute das Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Lampe. Sie sagt aus, wie viel Lumen (lm) pro

Watt (W) eine Lampe erzeugt. Beispiele: Glühlampe 12 lm/W, Halogen-Glühlampe 20 lm/W, Energiesparlampe 60 lm/W, stabförmige Dreibanden-Leuchtstofflampe 90 lm/W.

### Reflektorleuchten

Reflektoren in Leuchten und Reflektorlampen dienen der Lichtlenkung. Je nach Bauart des Reflektors entstehen unterschiedliche Lichtstärkeverteilungen und Ausstrahlungswinkel. Hier ist die Auswahl des Leuchtentyps von großer Bedeutung, um nicht Bereiche auszuleuchten, wo Licht überhaupt nicht benötigt wird (z. B. die Hallendecke). Bei Neuinstallation oder Ersatzbedarf ist daher auf einen hohen Leuchtenwirkungsgrad zu achten. Beim Einsatz von Spiegelrasterleuchten ist beispielsweise zur Erreichung der geforderten Beleuchtungsstärke nur noch eine Leuchtstofflampe (einflammige Leuchte) erforderlich, wo bei freistrahrender Bauart zweiflammige Leuchten notwendig sind.

Falls die Neuinstallation von Reflektorleuchten nicht wirtschaftlich ist, besteht eine kostengünstigere Alternative in der Nachrüstung von Aufsteckreflektoren, die durch Clipsbefestigung direkt auf der Leuchtstoffröhre angebracht werden. Bis zur Hälfte der Leuchtstofflampen kann dann aus dem Beleuchtungssystem herausgenommen werden, wenn die restlichen Lampen mit Reflektoren nachgerüstet werden.

### 8.8.2 Lichtsteuerung und –Regelung

Systeme zur Lichtsteuerung (manuell, z. B. per Tastendruck) und Lichtregelung (automatisch im Soll-Ist-Abgleich) ermöglichen die Anpassung der Beleuchtung an unterschiedliche Situationen. Je nach Nutzerverhalten und technischen Gegebenheiten der Beleuchtungsanlage kann eine empfehlenswerte Lösung von einfachen Schaltern (bei einer sinnvollen Gruppierung der Leuchten) über zeitgesteuerte Systeme bis hin zu vollautomatischer Regelung der Beleuchtung reichen.

Die wichtigsten Ansatzpunkte liegen in der Lichtregelung bzw. Steuerung in Abhängigkeit

- ⇒ von der Anwesenheit von Personen und
- ⇒ von der Helligkeit von vorhandenem Tageslicht:

#### Anwesenheitssensoren

Oft ist das Licht auch dann eingeschaltet, wenn sich für längere Zeit niemand im Raum aufhält, zum Beispiel während Pausen. Anwesenheitssensoren / Bewegungsmelder prüfen den Raum auf anwesende Personen und geben (nach einer vordefinierten Ausschaltverzögerung) den Befehl zum Ausschalten. Bei der Rückkehr des ersten Mitarbeiters veranlassen sie das sofortige Einschalten der Beleuchtung.

#### Helligkeitsregelung

Bei einer Helligkeitsregelung wird die Beleuchtungsstärke des Tageslichts bzw. der künstlichen Beleuchtung gemessen. Beim Erreichen von voreingestellten Helligkeitswerten erfolgt das Signal zum Ein-/Ausschalten von Leuchten oder zum Auf-/Abdimmen des Lichts. Die Helligkeit messen integrierte Lichtsensoren. Deren Empfindlichkeit sollte stufenlos zu regeln sein, für die Außenbeleuchtung zum Beispiel von zwei bis 2.000 Lux.

## 8.9 Kraft-Wärme-Kopplung

Anlagen zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme (sogenannte Kraft-Wärme-Kopplungs- oder KWK-Anlagen) beruhen auf dem Ansatz, bei der Stromerzeugung anfallende Abwärmemengen zur Wärmeversorgung (Prozesswärme, Wassererwärmung, Heizung) zu nutzen, statt sie wie bei der herkömmlichen Kondensationskraftwerken an die Umgebung abzuführen. Da die Wärme damit quasi

„umsonst“ zur Verfügung steht, werden dadurch im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung erhebliche Brennstoffmengen eingespart sowie die damit verbundenen Emissionen vermieden.

Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich in einem weiten Leistungsbereich und durch unterschiedliche technische Grundprinzipien realisieren: Gas- oder Dieselmotor, Dampfturbine oder –Motor, Gasturbine, Brennstoffzellen...

Aus Redundanzgründen und zur Abdeckung von Wärmeleistungsspitzen ist fast immer ein zusätzlicher Spitzenlastkessel erforderlich.

Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage beeinflussen, sind folgende:

- ⇒ Wegen der hohen Investitionskosten ist eine möglichst hohe jährliche Betriebsdauer anzustreben (mindestens 4.000 – 5.000 h/a).
- ⇒ Meist ist eine Orientierung am Wärmebedarf der Abnehmer sinnvoll, da eventuell überschüssiger Strom (oder auch der ganze KWK-Strom) ins öffentliche Netz eingespeist werden kann.
- ⇒ Vorteilhaft ist ein möglichst gleichmäßiger Wärmebedarf zumindest im Jahresverlauf; tageszeitliche Unterschiede lassen sich teilweise durch Pufferspeicher ausgleichen
- ⇒ Daher ist die Dimensionierung der Anlage von großer Bedeutung: die Wärmeleistung sollte nicht zu groß gewählt werden, so dass eine möglichst hohe jährliche Betriebsdauer erzielt wird.
- ⇒ Auf der anderen Seite sind die spezifischen Kosten um so geringer, je größer die Anlage ist (i.A. ist eine größere Anlage auch effizienter).
- ⇒ Der Zusammenschluss mehrerer Abnehmer kann eine Anpassung der Abnahmeprofile von Strom und Wärme an die Erzeugung bewirken.
- ⇒ Der Strompreis, der für die eingesparten Strombezugsmengen zu zahlen wäre, bzw. der Erlös für Stromeinspeisung ins Netz, ist ein Beitrag zum finanziellen Nutzen der Anlage (Wert des erzeugten Stroms).
- ⇒ Der zweite Beitrag ist der Wert der erzeugten Wärme, die sonst in Form von Brennstoff oder Fernwärme bezogen werden müsste. Unter Umständen ist auch ein Verkauf der Wärme an externe Abnehmer möglich.
- ⇒ Ein dritter Beitrag kann in der Verringerung von Leistungsspitzen des Strombezugs bestehen, wodurch hohe Leistungskosten vermieden werden.
- ⇒ Ein potenzieller Zusatznutzen ist in der möglichen Nutzung der KWK-Anlage als Notstromaggregat zu sehen.
- ⇒ Der Brennstoffpreis für den Betrieb der Anlage einerseits sowie für die sonst erforderliche getrennte Wärmeerzeugung andererseits bestimmt vornehmlich die verbrauchsgebundenen Kosten.
- ⇒ Eine Förderung durch Zuschüsse, Vergütungen, Zuschläge ist bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ebenfalls zu berücksichtigen.

Nach einem starken Wachstum bis etwa 1996 hat durch die niedrigen Strombezugspreise die KWK in den letzten Jahren an Attraktivität verloren. Durch das im März 2002 verabschiedete Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz [7] wird die Erschließung dieses Energiesparpotenzials gefördert durch einen Zuschlag auf die Einspeisevergütungen für den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom. Durch diese Zuschläge werden KWK-Anlagen in vielen Fällen wieder wirtschaftlich rentabel.

## 8.10 Energiemanagement-System

Der Begriff Energiemanagementsystem (EMS) beschreibt technische und organisatorische Einrichtungen und Maßnahmen, deren primäres Ziel die rationelle betriebliche Energieversorgung und -verwendung ist. Es folgt somit den Grundgedanken aller Managementsysteme, die auf die Verbesserung von Abläufen und die Vermeidung von Fehlern ausgerichtet sind. Mit dem Ziel einer Ergebnisoptimierung versuchen Managementsysteme die Verfahren und Abläufe zur Ergebniserzielung systematisch in Einzelschritte zu zerlegen, zu analysieren und Verbesserungspotenziale aufzudecken.

Die wohl bekanntesten Beispiele für Managementsysteme sind das Qualitätsmanagement und das Umweltmanagement. Letzteres kann als übergreifender Ansatz verstanden werden, der auch den Bereich des Energiemanagements umfasst.

Die Einbindung eines Energiemanagementsystems in ein integriertes Managementsystem (für Qualität, Umwelt, Sicherheit) bietet sich an, sind hier doch die gleichen Arbeitsschritte zu bewältigen wie bei einem ausschließlich auf den Themenkomplex Energie konzentrierten Ansatz. Überdies werden neben Energieeinsparungen auch andere Einsparpotenziale (Abfall, Abwasser etc.) evident, die neben ihren Umweltentlastungswirkungen mitunter zu erheblichen Kosteneinsparungen führen können. Speziell bayerische Unternehmen haben noch einen weiteren Anreiz zur Umsetzung von Umweltmanagementsystemen: So hat sich der Umweltpakt Bayern zum Ziel gesetzt, die Führungsrolle Bayerns im betrieblichen Umweltmanagement weiter auszubauen. Unternehmen, die die Umsetzung eines Umweltmanagementsystems in Angriff nehmen, werden vor diesem Hintergrund von der bayerischen Staatsregierung unterstützt.

### Erstanalyse

Als Ausgangspunkt für das EM-System dient eine Erstanalyse (wie die hier vorliegende) mit dem Ziel, die Energiesituation des Betriebes möglichst genau zu erfassen und erste Energieeffizienz-Maßnahmen zu identifizieren.

### Energiepolitik und Energieziele

Nach der Startphase geht das System in die kontinuierliche Verbesserung der Energiesituation über. Zum Einstieg werden langfristig ausgerichtete Ziele und Leitlinien über die Energieverwendung im Betrieb festgelegt.

### Energieinformations-System (EIS)

Die nächste Stufe des EMS (und die Fortführung der Erstuntersuchung) ist ein Energieinformationssystem (EIS), mit dessen Hilfe in regelmäßigen Abständen die betrieblichen Energieströme sichtbar gemacht und kontrolliert werden. Parallel dazu erfolgt die Dokumentation der Energiedaten (Energiebuchhaltung) sowie die Weitergabe der relevanten Informationen (Berichtswesen) an die entsprechenden Stellen im Betrieb (Kostenrechnung, Produktionsplanung, Umweltmanagement, Geschäftsleitung). Das EIS besteht im Wesentlichen aus Geräten zur Energieverbrauchserfassung (Energiezähler) in unterschiedlichen Betriebsbereichen und Energieträgern (Strom, Wärme / Brennstoffe, Druckluft, Kühlmedien...)

Eine automatisierte Zählerfernauslesung verringert den Personalaufwand für die manuelle Zählerfassung beträchtlich. Darüber hinaus ermöglicht sie eine deutlich höhere Auslesehäufigkeit bis hin zur Echtzeiterfassung, was einen entscheidenden Vorteil für die Betriebsführung darstellt. Dem stehen Zusatzinvestitionen für Zähler und Verkabelung, Unterstationen sowie Auswerterechner und -Software gegenüber.

## Datenauswertung

Der Nutzen der Datenerfassung hängt entscheidend von der regelmäßigen Auswertung und Analyse der so gewonnenen Daten ab. Neben den Verbrauchswerten sind allgemeine betriebliche und Produktionsdaten (z. B. Mitarbeiterzahl, Flächen, Kosten, Energiepreise, Produktionsmengen...) einzubeziehen.

Gängige Auswertemethoden sind z. B.

- ⇒ Energieflussdiagramme, (siehe Abbildung 5-3),
- ⇒ die Erstellung von Energie- und Kosten-Bilanzen,
- ⇒ Analyse von Tages- bzw. Wochenganglinien der Verbrauchswerte auf ungewöhnliche Merkmale (Lastspitzen, deutliche Abweichungen gegenüber Vorperioden)
- ⇒ die Bildung von Energiekennzahlen für Prozesse, Anlagen oder ganze Betriebe im Verhältnis zu typischen Bezugsgrößen wie z. B. Umsatz bzw. Wertschöpfung, Produktionsmengen (Stück, Gewicht, Kundenanzahl). Die so gebildeten Kennzahlen werden verglichen mit
- ⇒ dem entsprechenden Kennzahlenwert vorangegangener Perioden (Zeitreihenvergleich)
- ⇒ einem Vergleichswert aus anderen Betrieben (Querschnittsvergleich, Benchmarking). Hier ist ein Vergleich um so aussagefähiger, je ähnlicher die Rahmenbedingungen bei der Ermittlung des Vergleichswert waren (Betriebsstruktur, Produktspektrum, Herstellungsverfahren, Systemabgrenzung).
- ⇒ der entsprechenden Kennzahl von anderen Produkten bzw. alternativen Produktionsverfahren. Dies kann als Entscheidungshilfe für unterschiedliche Herstellungsmethoden herangezogen werden.

## Kostenrechnung

Durch die Bewertung der einzelnen Verbrauchswerte mit den Energiepreisen und die Verknüpfung mit den relevanten Energieabnehmern erlaubt die Zuordnung von Energiekosten zu verschiedenen Verbrauchskostenstellen (Kostenumlage für unterschiedliche Betriebsteile) und die Bestimmung von Energiekostenanteilen an den unterschiedlichen Produkten.

Zur Umsetzung des EMS in tatsächliche Verbesserungen müssen zunächst mögliche Maßnahmen identifiziert, bewertet und schließlich entschieden werden.

### Verbesserungsmaßnahmen identifizieren ...

Auffällige Merkmale aus der Datenanalyse (ungewöhnlich hohe Energiekennzahlen, Abweichungen im Lastgangverhalten) können Einsparpotenziale anzeigen. Aber auch weitere Indikatoren (Leistungsabfall, Maschinenausfälle...) weisen auf Verbesserungsmöglichkeiten hin.

### ... bewerten

Zur Bewertung der Maßnahmen werden u.a. folgende Kriterien in herangezogen:

- ⇒ Erzielbare Energieverbrauchs-, Kosten- und Emissionsminderung
- ⇒ Investitionsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten,
- ⇒ Wirtschaftlichkeit (Amortisationszeit, Kostenvergleich, Kapitalwert...)
- ⇒ Technische Realisierbarkeit
- ⇒ Ohnehin anstehender Handlungsbedarf
- ⇒ Auswirkungen auf Produktion, Betriebssicherheit, Produktqualität

### **...entscheiden**

Diese Bewertung bildet die Basis für die Umsetzungsentscheidungen für die Maßnahmen. Kombinationen von Einzelmaßnahmen haben oft andere Auswirkungen als die reine Summe der Bestandteile.

### **...realisieren**

Rein organisatorische Maßnahmen ohne wesentliche Investitionen können oft intern realisiert werden. Bei investiven Maßnahmen sind auch externe Partner eingebunden.

### **Erfolgskontrolle**

Während und nach der Durchführung der Maßnahmen schließt sich der Regelkreis durch die Erfolgskontrolle und ggf. Reaktionen darauf (Korrekturen, weitere Schritte, Veröffentlichung, neue Zielvorgaben etc.).

### **Verstetigung**

Dies ist ein wichtiger Aspekt bei der Verstetigung des EMS. Weiter können Maßnahmen, die z. B. aus Kostengründen, wegen Kapazitätsengpässen etc. nicht realisiert wurden, in einem Energieprogramm für die zukünftige Periode geplant werden.

### **Nutzen**

Der wirtschaftliche Nutzen des EMS in Form von Energiekosten-Einsparungen lässt sich zwar vorab nicht exakt berechnen. Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass Einsparungen von 5% bis 10% regelmäßig erreicht werden können. Das Energiemanagementsystem selbst ist eine organisatorische Maßnahme, so dass hier primär keine Investitionen anfallen. Das für die Erfassung und Auswertung der Daten notwendige EIS erfordert jedoch die Installation und Verkabelung von Zählern und Datenerfassungsgeräten sowie eines Rechners zur Sammlung und Auswertung der Daten. Darüber hinaus erfordert das Energiemanagementsystem einen zusätzlichen Arbeitsaufwand für Datenerfassung, Auswertung und Maßnahmenplanung, die bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen ist.

Weitere Hinweise zum Thema Energiemanagement siehe .

## **8.11 Energiecontracting**

### **Definition**

Energie-Contracting ist eine vertragliche Vereinbarung zwischen einem Energienutzer, z.B. einem Industriebetrieb oder Immobilieneigner, und einem externen Energiedienstleister. Der Energiedienstleister finanziert Investitionen in die Energieversorgung bzw. Energieeffizienz vor und zahlt diese Vorleistung mit den Energieeinsparungen ab. Nach Ablauf des Vertrages kommen die durch die Investition erzielten Einsparungen ganz dem Energienutzer zugute.

Das von Energie-Contracting umfasste Aufgabenspektrum umfasst die Planung und Errichtung von Energieerzeugungs- und -verteilanlagen, von Systemen der Mess- und Regeltechnik, Finanzierung und Betrieb der Anlagen sowie Lieferung und Abrechnung der fertigen Endprodukte (Wärme, Kälte, Strom, Druckluft).

Vorteile für den Energienutzer sind die Ersparnis der Vorfinanzierung von teils erheblichen Investitionen, die eingebrachte Kompetenz zur effizienten Energienutzung und die Entlastung von Aufgaben, die nicht unbedingt zur Kernkompetenz des Nutzers gehören. Energie-Contracting ist besonders dann angebracht, wenn dem Energienutzer die Finanzmittel für lohnende Investitionen fehlen.

### Beispiele für Contracting-Maßnahmen in Unternehmen:

- ⇒ Einbau und Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage
- ⇒ Umrüstung der Wärme- oder Kälteversorgung eines Betriebes
- ⇒ Ersatz der veralteten Druckluftversorgung eines Betriebes

Für weiterführende Informationen siehe [7].

## 8.12 Wirtschaftliche Bewertung

Neben den betrieblichen Erfordernissen werden zur Entscheidung über die Umsetzung einer Maßnahme praktisch immer wirtschaftliche Bewertungskriterien herangezogen (häufig sogar als einzige Entscheidungsgrundlage). Dabei wird der Aufwand an Investitions- und Betriebskosten mit dem zu erwartenden Nutzen z.B. durch Energiekosteneinsparung verglichen. Diese wirtschaftliche Effizienzbewertung erlaubt eine Ja-Nein-Entscheidung über die Durchführung der Maßnahme nach vorgegeben Kriterien oder eine Auswahl der besten von verschiedenen Optionen.

Dazu existieren mehrere Verfahren der Investitionsrechnung, die verschiedene Aspekte der Wirtschaftlichkeit beleuchten und sich hinsichtlich Zielsetzung, Aufwand und Genauigkeit unterscheiden (Details siehe [9], [10]). Zu einer ersten Auswahl reichen meist einfache Eingangsdaten wie z.B. Schätzungen der erforderlichen Investitionen sowie der zu erwartenden Energie- und Kosteneinsparungen aus.

### Amortisationsrechnung

Ein oft verwendetes Verfahren, die Amortisationsrechnung, ermittelt die Zeitdauer, nach der die anfängliche Investition durch die jährlichen Kosteneinsparungen wieder erwirtschaftet (amortisiert) ist. Die Investition wird als wirtschaftlich sinnvoll bewertet, wenn die Amortisationsdauer kürzer als die voraussichtliche Lebensdauer der Investitionsgüter ist. Oft werden aber erheblich schärfere Anforderungen an die Amortisationszeit gestellt (z.B. drei bis fünf Jahre). Diese Amortisationszeit ist auch bei den Maßnahmenbeschreibungen in Kapitel 7 angegeben.

### Weitere statische Methoden

Die Amortisationsrechnung dient zur schnellen und einfachen Beurteilung des Risikos und der Liquiditätsauswirkungen, die mit der Investition verbunden sind.

Dagegen wird in der Rentabilitätsrechnung die Verzinsung des eingesetzten Kapitals bewertet, setzt also finanziellen Nutzen ins Verhältnis zum Kapitaleinsatz.

Die Kostenvergleichsrechnung wiederum dient vor allem zur Entscheidung zwischen mehreren Entscheidungsoptionen indem die durchschnittlichen jährlichen Gesamtkosten (einschließlich Kapitalkosten) der jeweiligen Optionen verglichen und die günstigste Variante ausgewählt wird.

### Dynamische Verfahren

Bei den sogenannten dynamischen Verfahren (im Gegensatz zu den o.g. statischen Methoden) werden zusätzlich Zins- und eventuell auch Preissteigerungseffekte mit berücksichtigt. Dazu gehören neben der dynamischen Amortisationsrechnung vor allem die Annuitätenmethode (analog zur Kostenvergleichsrechnung) sowie die Barwert- und die Kapitalwertmethode. Da diese Verfahren einerseits erheblich aufwändiger sind und andererseits mehr und genauere Eingangsdaten voraussetzen, werden sie vor allem bei größeren Investitionen bzw. unklarer oder kritischer Entscheidungslage eingesetzt.

## 9 Checkliste: Effiziente Energieverwendung in der Industrie

### 9.1 Maschinen / Anlagen / Antriebe

- ⇒ Verwendung von Maschinen und Anlagen nach dem Stand der Technik, ggf. Neuinvestitionen
- ⇒ Regelmäßige Wartung von Maschinen und Anlagen
- ⇒ Verwendung von Motoren mit Energieeffizienzklasse eff1 oder eff2
- ⇒ Leistungsangepasste Antriebe, Vermeidung von Teillastbetrieb durch richtige Antriebsdimensionierung
- ⇒ Bei wechselnder Last Verwendung von drehzahlgeregelten Antrieben
- ⇒ Regelung des Volumenstroms von Pumpen und Gebläsen durch Drehzahlveränderung statt Drosselung
- ⇒ Verwendung von Transformatoren mit geringen Leerlaufverlusten und Aufstellung nahe am den Stromverbraucher
- ⇒ Umstellung von gering belasteten Motoren von „Dreieck“- auf „Stern“-Schaltung
- ⇒ Soweit möglich Abschalten von Maschinen und Anlagen in den Arbeitspausen oder bei Nichtbenutzung
- ⇒ Verwendung von Zeitschaltuhren zum Abschalten nicht benötigter Verbraucher

### 9.2 Druckluftnutzung

- ⇒ Regelmäßige Wartung der Anlagen (Filterwechsel, usw.)
- ⇒ Betriebsdruck möglichst gering, eventuell einzelne Prozesse mit hohem Druck abkoppeln und dezentrale Druckerhöhung einführen
- ⇒ Prüfung von weniger energieintensiven Druckluftalternativen (bei Steuerungen, . Reinigung, Kühlung, Teiletransport, usw.)
- ⇒ Richtige Auslegung von Leitungsnetz, Kompressoren, Druckbehältern, Druckniveau
- ⇒ Ausreichende Leitungsquerschnitte und ggf. Druckbehälter zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen
- ⇒ Druckluftaufbereitung: keine höheren Druckluftqualitäten als notwendig, ggf. dezentrale Nachbereitung
- ⇒ Ermittlung, Ortung und Abdichtung von Leckagen (Anleitung zur Leckagenbestimmung siehe Kap. 8.4.3), defekte Armaturen / Anschlussleitungen reparieren oder austauschen
- ⇒ Richtige Platzierung der Druckluftherzeugung (nahe an Verbrauchern/ Wärmeabnehmern, Luftansaugung von Gebäudenordseite)
- ⇒ Nutzung der Kompressorenabwärme für Prozesswasser, Raumheizung und Brauchwasser
- ⇒ ggf. Abschaltung von Teilbereichen des Leitungsnetzes oder der Druckluftherzeugung zu Stillstandzeiten des Betriebes

### 9.3 Raumheizung / Prozesswärme / Warmwasser

- ⇒ Gute Wärmedämmung von Gebäuden, Rohrleitungen und Armaturen sowie Behältern für warme und kalte Medien

- ⇒ Erzeugung von Wärme mit Kraft-Wärme-Kopplung
- ⇒ Richtige Dimensionierung und Auslegung von Heizkesseln
- ⇒ Vorgewärmte Verbrennungsluft für Heizkessel (z.B. aus dem Kesselhaus oder Prozessabwärme)
- ⇒ Heißwasser statt Dampf als Wärmetransportmedium
- ⇒ Anschluss von Niedertemperatur-Wärmeverbrauchern an den Rücklauf des Wärmeverteilsystems
- ⇒ Nutzung von (sauberer) warmer Abluft zur Beheizung/Belüftung anderer Gebäude)
- ⇒ Wärmerückgewinnungsanlagen für Abgase/Abluft
- ⇒ Nutzung von Prozessabwärme zur Brauchwassererwärmung
- ⇒ Bei dezentralem Warmwasserbedarf in kleinen Mengen besser Warmwasserboiler vor Ort
- ⇒ Abschaltung von Warmwasser-Zirkulationspumpen, wenn nicht benötigt (Zeitschaltuhr)
- ⇒ Kritische Überprüfung der geforderten Prozesstemperaturen, ggf. Abkoppelung einzelner Prozesswärme-Verbraucher mit hohem Temperaturniveau
- ⇒ Warmwasserspeicher für Prozesswässer v.a. bei diskontinuierlichen Prozessen
- ⇒ Wärmeisolierung und Deckelung von wärmeführenden Anlagen
- ⇒ Soweit nicht für Lüftungszwecke erforderlich, Schließen von Fenstern und Anbringen von automatischen Schnellverschlussstoren ins Freie

#### 9.4 Lüftung / Klimatisierung / Kühlung

- ⇒ Lüftung, Klimatisierung und Kühlung bedarfsorientiert (zeitlich, örtlich) und gezielt durch Steuerungs- und Regelungstechnik einsetzen
- ⇒ Belüftung von Hallen mit geeigneter sauberer Abluft aus benachbarten Hallen (Nutzung von Abwärme)
- ⇒ Luftaustauschraten an die jeweiligen Anforderungen anpassen und bei Veränderung der Luftqualität kritisch überprüfen
- ⇒ Verwendung von Wärmetauschern zur Vorwärmung der Frischluft mit warmer Abluft
- ⇒ Regelmäßige Wartung der Lüftungsanlagen (z.B. Filterwechsel)
- ⇒ Gezieltes und effizientes Absaugen von Schadstoffen am Entstehungsort
- ⇒ Ausführung von Lüftungskanälen mit möglichst geringen Strömungswiderständen
- ⇒ Steuerung der Lüftungsanlagen durch Luftqualitätssensoren
- ⇒ soweit möglich, Lüftung/Klimatisierung bereits ca. eine Stunde vor Arbeitsende abschalten
- ⇒ Gute Wärmedämmung vor Klimatisierung
- ⇒ Vermeidung des Aufheizens von Gebäuden durch guten Sonnenschutz
- ⇒ Bei Klimatisierung Fenster geschlossen halten
- ⇒ Bei niedrigen Kühltemperaturen Wärmeisolierung des Kühlwassernetzes, kurze Leitungen
- ⇒ Kritische Überprüfung des benötigten Kühltemperaturniveaus
- ⇒ Kühlwasserbereitung durch Grundwasserkühlung (soweit möglich) oder Kühltürme statt Kältemaschinen
- ⇒ Nutzung einer Absorptionskälteanlage, evtl. in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- ⇒ Bei Lastspitzen in der Kälteleistung Eisspeicher einsetzen (möglichst lange gleichmäßige Auslastung der Kälteanlage)

## 9.5 Trocknungsprozesse

- ⇒ Soweit möglich mechanische Flüssigkeitsabtrennung (z.B. Zentrifugen) statt thermischer
- ⇒ Optimierung von Trocknungstemperatur und -feuchtigkeit
- ⇒ Wärmeisolierung und Kapselung der Trocknungsaggregate
- ⇒ Feuchtigkeitsgeregelte Trocknungsluftführung
- ⇒ Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- ⇒ Prüfung von Verfahrensalternativen (Vakuumverdampfung, Druckverdampfung, usw.)

## 9.6 Beleuchtung

- ⇒ Soweit möglich direkte Tageslichtnutzung (ggf. gegenrechnen mit Wärmeverlusten durch größere Fensterflächen)
- ⇒ Installation von modernen Lichtleitsystemen
- ⇒ Ausreichende, aber nicht überdimensionierte Beleuchtungsstärken (bereichsabhängig)
- ⇒ Verwendung von Leuchten und Lampen mit hohem energetischem Wirkungsgrad (Leuchtstofflampen, elektronische Vorschaltgeräte, Leuchten mit Reflektoren)
- ⇒ Richtige Anordnung der Leuchtmittel
- ⇒ Mäßige Grundbeleuchtung, zusätzliche Arbeitsplatzbeleuchtung bei hohem Beleuchtungsbedarf an einzelnen Stellen
- ⇒ Ggf. Zonierung der Beleuchtung nach unterschiedlichem Lichtbedarf
- ⇒ Regelmäßige Reinigung von Reflektoren und Leuchtengehäusen
- ⇒ Nachrüstung von Wannenleuchten mit Aufsteckreflektoren
- ⇒ Beschränkung der Beleuchtung auf arbeitsrelevante Zeiten und Betriebsbereiche
- ⇒ Ggf. Bewegungsschalter, Dämmerungsschalter, Zeitschalter

## 9.7 Energiemanagement

- ⇒ Einrichtung eines Energiemanagementsystems, evtl. im Rahmen eines Umweltmanagements
- ⇒ Schulung der Mitarbeiter im Bereich verhaltensabhängiger Energieeinsparung
- ⇒ Lastmanagement bei Stromversorgung
- ⇒ Sensibilisierung des Energiebewusstseins mit Hilfe des innerbetrieblichen Vorschlagswesens
- ⇒ Finanzierung von Energiesparinvestitionen mit Hilfe von Energiecontracting

## 10 Zusammenfassung

### 10.1 Branchenspezifische Merkmale der Energieverwendung

Trotz des weit gefächerten Spektrums unterschiedlicher Betriebe in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie gibt es eine Reihe branchenweiter gemeinsamer Merkmale der Energieverwendung. Dazu gehören

- ⇒ der Umformungsprozess aus Kunststoffgranulat im elektrisch oder hydraulisch angetriebenen Extruder, der den größte Anteil am Stromverbrauch des Betriebes ausmacht;
- ⇒ unterschiedliche Verfahren zur Formgebung (z.B. direkte Extrusion, Spritzguss, Blasformung, Aufschäumung)
- ⇒ der Einsatz eines umfangreiche Kühlsystems zur Abfuhr der produktionsbedingt im Kunststoff vorhandenen Wärme sowie der Maschinenabwärme
- ⇒ fallweise zusätzlicher Prozesswärmebedarf für produktspezifische Verfahren wie Trocknung, Warmumformung, Aufschäumung, Oberflächenbehandlung (Reinigung / Sterilisation, Lackierung, Trocknung usw.).
- ⇒ oft räumlich sehr inhomogener Raumwärmebedarf durch produktionsbedingte innere Wärmelasten in einigen Betriebsbereichen
- ⇒ die beträchtliche Nutzung von Druckluft als Energieträger für viele Produktionsanlagen
- ⇒ der Anfall teilweise erheblicher Abluftmengen aus lokalen Maschinenabsaugungen oder Hallenabluftanlagen, teils mit Schadstoffen und/oder Produktionsabwärme belastet.

### 10.2 Situation und Verbesserungsmöglichkeiten im untersuchten Betrieb

#### 10.2.1 Energie- und CO<sub>2</sub>- Bilanzen

Die Gesamtbilanz des Betriebes Fränkische Rohrwerke in Königsberg stellt sich für das Bezugsjahr 2000 wie folgt dar:

| Energieträger        | Energiebezug     |               | CO <sub>2</sub> -Emissionen    |               |
|----------------------|------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
|                      | absolut<br>MWh/a | Anteil *<br>% | absolut<br>t <sub>CO2</sub> /a | Anteil *<br>% |
| Strom                | 24.913           | 78,0%         | 16.617                         | 91,1%         |
| Erdgas <sub>Hu</sub> | 4.045            | 12,7%         | 805                            | 4,4%          |
| Heizöl EL            | 2.983            | 9,3%          | 823                            | 4,5%          |
| <b>Summe</b>         | <b>31.941</b>    | <b>100,0%</b> | <b>18.245</b>                  | <b>100,0%</b> |

\* jeweiliger Anteil des Energieträgers am Gesamtbezug bzw. Gesamtemissionen des Betriebes

Die Energiebilanz ist deutlich geprägt vom produktionsbedingt sehr hohen Stromanteil; dagegen sind die Brennstoffbezugsmengen vergleichsweise gering. Über drei Viertel der Energiebezugsmenge werden als elektrische Energie bezogen. Bei der Kohlendioxidbilanz ist dieses hohe Gewicht der elektrischen Energie (wegen der Emissionsfaktoren) noch deutlicher: über 90% der dem Betrieb zuzurechnenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind auf den Strombezug zurückzuführen.

## 10.2.2 Übersicht der vorgeschlagenen Maßnahmen bei der Firma Fränkische Rohrwerke in Königsberg

Aus der Untersuchung ergaben sich eine Reihe von Ansätzen zur Energieeinsparung, die in Kapitel 7 detailliert beschrieben sind, einschließlich der zu erwartenden Einsparpotenziale sowie der erforderlichen Investitionen. Die Maßnahmen setzen an verschiedenen Stellen der betrieblichen Energieverwendung an:

### Kälteanlagen

Bei den vorhandenen Kälteanlagen steht eine Erneuerung / Erweiterung an. Dieser Gelegenheit sollte durch ein optimiertes Anlagenkonzept zu einer effizienteren und energiesparenden Kältebereitstellung genutzt werden sollte.

### Druckluft

Hier bietet sich zum Einen mit der Reduzierung der Leckageverluste ein attraktives Einsparpotenzial mit sehr kurzer Amortisationsdauer. Zum Anderen gibt es auch bei der schon vorhandenen Abwärmenutzung bei den Druckluftkompressoren noch Optimierungspotenzial.

### Produktionsanlagen

Das größte Einsparpotenzial aller vorgeschlagenen Maßnahmen wird für die Wärmedämmung der Extruderköpfe ausgewiesen. Wegen des noch unbekanntes Einflusses auf den Produktionsprozess ist eine schrittweise Umsetzung empfehlenswert, beginnend mit Untersuchungen zur Klärung dieses Einflusses.

Durch Anhebung der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf kann die Effizienz der Kühlwasserversorgung der Maschinen gesteigert und dadurch deren Stromverbrauch reduziert werden.

Der zur Bedampfung von Sanitärrohren benötigte Dampf entweicht bisher nach der Bedampfungsanlage. Dieses ungenutzte Wärmepotenzial kann zur Vorwärmung von Kesselspeisewasser und zur Heizungsunterstützung verwendet werden.

### Heizzentrale

Durch Leistungsanpassung der Heizzentrale Halle 02 wird im Teillastbereich eine bessere Kesselauslastung und damit eine Brennstoffeinsparung möglich.

Die vorgeschlagenen und im Detail beschriebenen Maßnahmen sind nachfolgend tabellarisch zusammengestellt. Eine Vielzahl kleinerer Maßnahmen oder Maßnahmen, die bereits früher umgesetzt wurden, sind hier nicht aufgeführt.

| Nr. | Bezeichnung der Maßnahme  | CO <sub>2</sub> -Einsparung<br>t/a | Investitionen<br>€ | Amortisationszeit (statisch)<br>Jahre |
|-----|---|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 7.1 | Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlage                                  | 578                                | 110.000            | 2,4                                   |
| 7.2 | Druckluftleckageverluste reduzieren                                       | 146                                | 3.000              | 0,2                                   |
| 7.3 | Optimierung der Abwärmenutzung bei den Druckluftkompressoren              | 24                                 | 6.000              | 1,3                                   |
| 7.4 | Wärmedämmung der Extruder   | 833                                | 250.000            | 2,9                                   |
| 7.5 | Anhebung der Temperaturspreizung des Kühlwassers der Produktionsmaschinen | 273                                | 30.000             | 1,0                                   |

| Nr. | Bezeichnung der Maßnahme                          | CO <sub>2</sub> -Einsparung<br>t/a | Investitionen<br>€ | Amortisationszeit (statisch)<br>Jahre |
|-----|---|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 7.6 | Abwärmenutzung bei Rohrbedampfung                 | 73                                 | 25.000             | 1,8                                   |
| 7.7 | Kesselverluste in Heizzentrale Halle 2 reduzieren | 10                                 | 6.000              | 3,1                                   |
|     | <b>Summe</b>                                      | <b>1.937</b>                       | <b>430.000</b>     | <b>-</b>                              |

### 10.3 Erwartete Einsparungen

Bei Umsetzung aller hier vorgeschlagenen Maßnahmen (bei 5: Variante 1; bei 7: Variante 2) ergibt sich rechnerisch eine jährliche Energiekosteneinsparung von

**ca. 141.000 €/a.**

Die dazu erforderlichen Investitionen werden veranschlagt mit

**ca. 430.000 €**

Die Maßnahmen führen zu einer jährlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion von ca.

**ca. 1.937 t CO<sub>2</sub>/a.**

Dies entspricht etwa 10,6% der gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Betriebes.

Anzumerken ist, dass im Rahmen dieses Projektes nur die größeren Maßnahmen untersucht wurden. Bei regelmäßiger Beschäftigung mit dem Thema Energieverwendung im Betrieb zeichnet sich eine Vielzahl von weiteren rentablen Energiesparmöglichkeiten ab. Die Auswahl der untersuchten Maßnahmen orientierte sich an den speziellen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen des Partnerunternehmens. Eine sinnvoller Maßnahmenkatalog kann in einem anderen Betrieb ganz anders aussehen. Entscheidend ist daher die individuelle Analyse eines Betriebes und seiner Energiesparpotenziale.

### 10.4 Allgemeine Empfehlungen für die Kunststoff-verarbeitende Industrie

Im Rahmen dieses Leitfadens wurden die möglichen Ansatzpunkte für effiziente Energienutzung ausführlich in Kapitel 8 und in Form einer Checkliste in Kapitel 9 dargestellt. Die wesentlichen und von ihrer Rentabilität her lukrativsten Bereiche sind im Folgenden kurz dargestellt.

#### Elektromotoren

In der Industrie entfallen mehr als 2/3 des Strombedarfs auf elektrische Antriebe, hier insbesondere bei den Extruderantrieben. Mehr als 90% der Kosten eines Elektromotors sind Stromkosten, während die Anschaffungskosten weniger als 10% betragen. Da bei Elektromotoren z.T. erhebliche Unterschiede beim Antriebs-Wirkungsgrad bestehen, sind hier Energie- und Kostensparpotenziale verborgen. Sinnvollerweise schon bei der Auswahl der Motoren bei der Beschaffung (bzw. durch entsprechende Vorgaben an Anlagenlieferanten) kann durch geringe Mehrinvestition in einen Antrieb einer höheren Effizienzklasse (eff1 oder eff2) deutliche Stromeinsparungen erzielt werden. Besondere Bedeutung kommt auch der Verwendung von Drehzahl-geregelten Antrieben zu. Allein durch die konsequente Verwendung von energieeffizienten Motoren und Drehzahlregelung ließen sich nach Berechnungen des ZVEI ca. 10% des gesamten Industriestromverbrauchs einsparen.

## **Druckluft**

Ein Schwerpunkt der Energieverwendung auch in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie liegt sicherlich in der Druckluftversorgung. Dieser Bereich kann über 10% der Stromkosten verursachen. Gerade dieser Bereich wird häufig vernachlässigt. Leckageraten von 30 bis 50% mit den entsprechenden Mehrkosten sind keine Seltenheit. Es gibt sehr einfache Verfahren, in kurzer Zeit die Leckageraten des Druckluftsystems zu überprüfen. Zu achten ist u.a. auch auf das richtige Druckniveau, die richtige Auslegung der Kompressoren und Leitungen, die geeigneten Ansaugbedingungen für Frischluft und eine auf die genauen Anforderungen angepasste Aufbereitung der Druckluft.

## **Kühlung/Klimatisierung**

Bei Kühlbedarf an Produktionsanlagen sind die geforderten Temperaturniveaus kritisch zu überprüfen. Manchmal ist es besser, einen Prozess vom allgemeinen Kältenetz abzukoppeln, als das ganze Netz auf besonderes niedrigem Temperaturniveau zu betreiben. Prozesskälte sollte möglichst nicht mit Kältemaschinen, sondern mit Kühltürmen oder Grundwasserkühlung erzeugt werden. Bei Raumkühlung und Klimatisierung ist v.a. darauf zu achten, Wärmequellen aus den Räumen zu beseitigen und Fenster geschlossen zu halten.

## **Lüftungsanlagen**

Anlagen zur Be- und Entlüftung haben in der Industrie einen Anteil von über 10 % am Energieverbrauch, gleichzeitig bestehen hier mit die größten Einsparpotenziale. Die wesentlichen Ansatzpunkte sind hier die Orientierung am tatsächlichen Bedarf (Betriebsdauer und Dimensionierung der Anlagen), die Ausführung der Anlagen (Rohrführung, Rohrbeschaffenheit) sowie die geometrische Anordnung der Luftführung. Beispielsweise kann durch dezentrale Absaugung schadstoffbelasteter Abluft direkt am Entstehungsort häufig der Lüftungsbedarf durch eine große Hallenlüftungsanlage deutlich reduziert werden.

## **Beheizung, Wärmedämmung, Abwärmenutzung**

In zahlreichen Betrieben wird ein großer Teil der Energie für Heizzwecke verbraucht. Durch Wärmedämmung von Anlagen und Gebäuden können erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden. Diese Maßnahmen weisen zwar häufig relativ lange Amortisationszeiten auf, aufgrund der hohen und produktunabhängigen Nutzungsdauer sind diese Maßnahmen dennoch häufig auch wirtschaftlich mit hoher interner Verzinsung. Bei Heizungsanlagen sollte das geforderte Temperaturniveau kritisch überprüft werden. Brauchen einzelne Verbraucher besonders hohe Temperaturen, ist ggf. ein örtliches Nachheizen sinnvoll. Verteilungsnetze mit Dampf als Energieträger können oft energieeffizienter mit Heißwasser betrieben werden. Heizkessel sollten nicht überdimensioniert werden und nach Möglichkeit sollte die Verbrennungsluft vorgewärmt werden. Heizgeräte sollten immer, am besten automatisch, regelbar sein. Wo produktionsbedingte Abwärme entsteht, ist deren Nutzung bei einem entsprechenden Wärmebedarf an anderer Stelle (z.B. Heizung, Vorwärmung) eine sinnvolle Option.

## **Beleuchtung**

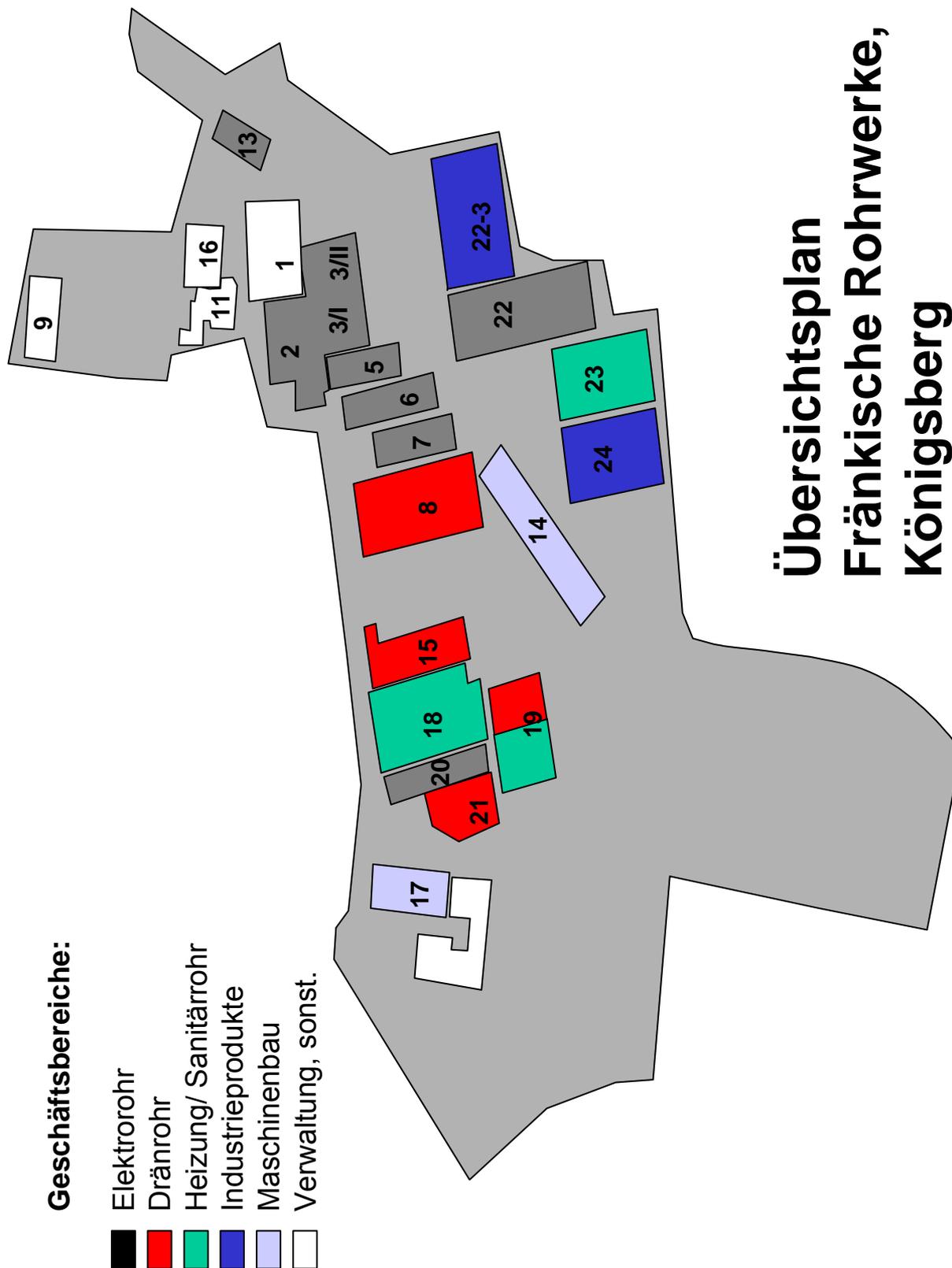
Die Beleuchtung ist ein oft unterschätzter Beitrag zum elektrischen Energieverbrauch. Gerade in weniger energieintensiven Betrieben kann der Lichtstromverbrauch einen Anteil von 10% und mehr erreichen. Ansatzpunkte sind hier zum einen der Beleuchtungswirkungsgrad des Lichtsystems (Leuchtmittel, Reflektoren, Lichtverteilung) sowie die geometrische Anordnung im zu beleuchtenden Raum (Höhe, Entfernung, Abschattung). Zum anderen ermöglichen Systeme zur Lichtsteuerung / Lichtregelung die Anpassung der Beleuchtungsstärke und –dauer an den tatsächlichen Bedarf, z.B. durch Zeitsteuerung, Anwesenheitssensoren, Helligkeitsregelung.

## 11 Literaturverzeichnis

- [1] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Programmversion 4.0; Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.) Darmstadt, 2000; <http://www.oeko.de/service/gemis> (Programm) bzw. <http://www.oeko.de/service/kea/dateien/daten-html/index.htm> (Daten)
- [2] Prof. Dr.-Ing. Hermann G. Kirchhöfer et al., Fachhochschule Ansbach : CO2-Einsparung durch rationelleres Energiemanagement in klein- und mittelständischen Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie Mittelfrankens. Pilotstudie. Ansbach, 2001
- [3] Andreas Trautmann, Jörg Meyer, Stefan Herpetz: "Rationelle Energienutzung in der Kunststoff verarbeitenden Industrie", Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 2002, ISBN 3-528-05810-2
- [4] Ulrich Bierbaum: Druckluft-Kompendium, Verlag Marie Leidorf GmbH, 2. Aufl. 1999
- [5] Wirtschaftskammer OÖ, Ökologischen Betriebsberatung und O.Ö. Energiesparverband (Hrsg): Branchenenergiekonzept für Kunststoffverarbeiter .Wirtschaftskammer Oberösterreich, Hessenplatz 3, 4010 Linz (A) 2001. <http://wko.at/ooe/energie/Branchen/Kunststoff/Kunstges.htm>
- [6] Landesinitiative Zukunftsenergien NRW: Branchenenergiekonzept für die Kunststoff verarbeitende Industrie“. Tagungsband zur Informationsveranstaltung am 9.7.2002.
- [7] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 19, Seite 1092ff, ausgegeben zu Bonn am 22. März 2002
- [8] Bundesverband Privatwirtschaftlicher Energie-Contracting-Unternehmen e.V., Josefsstraße 54-56, 55118 Main; [www.pecu.de](http://www.pecu.de)
- [9] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie Nr. 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Blatt 1: Grundlagen und Kostenberechnung. Ausgabe Sept. 2000 (siehe auch andere Blätter dieser Richtlinie) Beuth-Verlag, Berlin, 2000
- [10] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie Nr. 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen. Ausgabe Nov. 1996. Beuth-Verlag, Berlin, 1996
- [11] Kaiser, Sven; Starzer, Otto: Handbuch für betriebliches Energiemanagement. Österreichisches Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 1999. Zum Internet-Download: <http://www.eva.wsr.ac.at>

## 12 Anhang

Anhang 1 :      Übersichtsplan



# Übersichtsplan Fränkische Rohrwerke, Königsberg

Anhang 1: Übersichtsplan Fränkische Rohrwerke, Königsberg



**Bayerisches Landesamt  
für Umweltschutz**  
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg  
Telefon 0821/90 71-0  
Telefax 0821/90 71-55 56

**ISBN 3-936385-10-6**