



## **Effiziente Energienutzung** in kleinen und mittelständischen Unternehmen in Rheinland-Pfalz



Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz



---

# **Effiziente Energienutzung in kleinen und mittelständischen Unternehmen in Rheinland-Pfalz**



## Vorwort



Energie ist eine Schlüsselressource für Lebensqualität, Wohlstand und wirtschaftliches Wachstum

Energie sichern, Kosten senken, Klima schützen und Arbeitsplätze schaffen sind die vier

Ziele, die unsere Energiepolitik verbindet. Diese Ziele können nur mit dem Mittelstand, der die meisten Arbeitsplätze in Rheinland-Pfalz bereitstellt, erreicht werden. So schafft beispielsweise die dringend notwendige energetische Sanierung des Altbaubestandes Zukunftsperspektiven für die rheinland-pfälzischen Betriebe, die mit ihrem Know-how wesentlich zur Erschließung von Einsparpotentialen beitragen können.

Die Steigerung der Energieeffizienz in den kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ist auch ein entscheidender Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit unserer Betriebe, die Sicherung

unserer Arbeitsplätze und die wirtschaftliche Zukunft von Rheinland-Pfalz – ganz zu schweigen von den vielfältigen Vorteilen für unsere Umwelt und Lebensqualität. Deshalb hat das Umweltministerium in den letzten drei Jahren viele KMU durch die Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen (TSB) in Zusammenarbeit mit der jeweils örtlich zuständigen Gewerbeaufsicht beraten lassen.

Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Quer über alle Branchen gibt es in vielen KMU Möglichkeiten zum effizienteren Umgang mit Energie, die sich rechnen. Diese Broschüre demonstriert sie Ihnen. Wir wollen Rheinland-Pfalz gemeinsam zu einem Energieeffizienzland entwickeln.

Machen Sie mit!

A handwritten signature in blue ink that reads "Margit Conrad". The signature is written in a cursive, flowing style.

Ihre Margit Conrad  
Staatsministerin für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz



# Inhalt

---

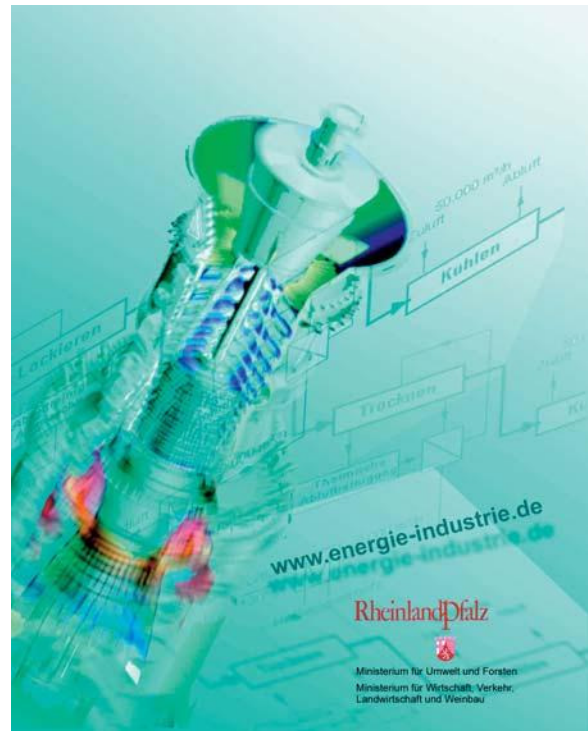
	<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Energieeinsparung im Unternehmen</b>	<b>8</b>
2.1	Energiecontrolling und organisatorische Maßnahmen	8
2.2	Verlustarme und umweltfreundliche Wärmebereitstellung	10
2.2.1	Raumheizung	10
2.2.2	Warmwasserbereitung	15
2.2.3	Wärmerückgewinnung	17
2.3	Rationeller Stromeinsatz im Betrieb	18
2.3.1	Stromlastmanagement	18
2.3.2	Blindstromkompensation	20
2.3.3	Bedarfsgerechte und energiesparende Raumbelichtung	21
2.3.4	Druckluft effizient erzeugen	25
2.4	Kraft-Wärme-Kopplung – Strom und Wärme im eigenen Betrieb erzeugen!	28
<b>3</b>	<b>Anhang</b>	<b>32</b>
3.1	Abkürzungsverzeichnis	32
3.2	Quellenverzeichnis	32
3.3	Bildnachweis	34
3.4	Ansprechpartner	34
3.5	Impressum	35

# 1 Einleitung

Energie ist eine Schlüsselressource für Lebensqualität, Wohlstand und wirtschaftliches Wachstum. Rheinland-Pfalz soll sich deshalb zu einem Energieeffizienzland entwickeln. Dazu gehört die energetische Sanierung des Gebäudebestandes, insbesondere durch Wärmedämmung und moderne Heizungsanlagen. Solche Maßnahmen rechnen sich auch für Betriebsgebäude und werden im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung und in anderen Publikationen näher beschrieben.

Erhebliche Kosteneinsparungen lassen sich hingegen auch durch Optimierungsmaßnahmen bei der *Energieanwendung im Produktionsprozess* erzielen. Darauf konzentriert sich die vorliegende Broschüre. Die sparsame und effiziente Verwendung von Energie gehört im Übrigen zu den immissionschutzrechtlichen Pflichten der Betreiber von Produktionsanlagen, weil sie die Luftverunreinigungen durch Schadstoffemissionen minimiert und dem Klimaschutz dient.

Bereits das Projekt „Effiziente Energienutzung in Industrieanlagen in Rheinland-Pfalz“ hat gezeigt, dass es eine Vielzahl von technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten gibt, effizient mit Energie umzugehen und dadurch eine deutliche Emissionsminderung zu erreichen. Die insgesamt 76 Beispielanwendungen für einen effektiven und innovativen Energieeinsatz kommen vor allem aus dem Bereich der größeren Industriebetriebe. Diese Beispiele sind im Internet unter [www.energie-industrie.de](http://www.energie-industrie.de) zu finden.



Effiziente Energienutzung in Industrieanlagen in Rheinland-Pfalz

Im Gegensatz zu großen Betrieben ist die Energieanwendung in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) oftmals ein Bereich, der von einzelnen Mitarbeitern „nebenbei“ betreut wird. Für eine ausreichende Beschäftigung mit der Effizienzsteigerung bei der Energieanwendung bleibt dabei in der Regel keine Zeit, so dass große Potenziale nicht ausgeschöpft werden können. Vor diesem Hintergrund wurde vom rheinland-pfälzischen Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz das Projekt „*Effiziente Energienutzung in kleinen und mittelständischen Unternehmen in Rheinland-Pfalz*“ ins Leben gerufen. Im Rahmen dieses



Projektes wurden innerhalb der letzten drei Jahre etwa 100 kleinere und mittelständische Betriebe hinsichtlich einer effizienteren Nutzung von Energie beraten. Dabei wurden ausgehend von einer Betriebsbegehung und Datenaufnahme mögliche Maßnahmen zur Minderung des Energieverbrauchs und damit der Energiekosten untersucht. Mit den erstellten Energiebilanzen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen konnten vielen Unternehmen Grundlagen für sinnvolle Maßnahmen an die Hand gegeben werden.

Die Durchführung der Beratung oblag der Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen (TSB) in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz und den Abteilungen Gewerbeaufsicht der Struktur- und Genehmigungsdirektionen Rheinland-Pfalz.

Die Dokumentation des Projektes ist im Internet unter [www.energie-kmu.de](http://www.energie-kmu.de) erfolgt.

#### **Aus folgenden Bereichen haben Unternehmen an der Beratung teilgenommen:**

- **Lebensmittel-Gewerbe:**  
z. B. Bäckerei, Fleischerei
- **Holzverarbeitung / Bau:**  
z. B. Schreinerei, Hersteller von Wandheizungen, Bauunternehmen
- **Papier- und Druck:**  
z. B. Druckerei, Hersteller von Papier
- **Glas, Keramik, Chemie:**  
z. B. Verarbeitung von Isolierglas, Keramikindustrie, Fliesenherstellung, Hersteller von chemischen Produkten
- **Maschinenbau und Metallbearbeitung:**  
z. B. Maschinenbau, Gießerei, Metallbau, Metall-Gummi-Bearbeitung
- **Kunststoffbearbeitung:**  
z. B. Kunststoff-Recycling, Hersteller von Kunststoff-Profilen, Hersteller von Kunststoffverpackungen, Verformung von Kunststoffen
- **Sonstiges:**  
z. B. Krankenhaus, Eislaufhalle

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### 2 Energieeinsparung im Unternehmen

Steigende Energiepreise rücken den Energieverbrauch im eigenen Unternehmen immer stärker in den Vordergrund. Heute sind die Energiekosten mehr denn je ein wichtiger ökonomischer Faktor. Vor diesem Hintergrund lohnt es sich in jedem Unternehmen, den Energieverbrauch genauer unter die Lupe zu nehmen. Bereits im Verwaltungsbereich lassen sich Einsparpotenziale erschließen.

Größere Einsparungen sind meist in Unternehmen mit einer energieintensiven Produktion möglich – so z. B. die Fleischerei, die einen hohen Warmwasser- aber auch Kältebedarf aufweist oder der Fliesenhersteller, der für die Beheizung der Brennöfen einen hohen Brennstoffbedarf hat. Im Laufe des Beratungsprojektes hat sich gezeigt, dass in vielen Unternehmen effizient Energie eingespart werden kann.

Energieanwendungen und -verbrauch in einzelnen Branchen, aber auch in einzelnen Betrieben einer Branche, können sehr unterschiedlich sein. Raumheizung und Strom für Beleuchtung und Bürogeräte werden in jedem Unternehmen benötigt. Speziellere Anwendungen sind z. B. Dampferzeugung, Prozesswärme oder Kälteanwendungen. Hinzu kommt, dass je nach Betriebs- bzw. Produktionsgröße sowie in Abhängigkeit von den eingesetzten Energiesystemen die Energiebedarfsstrukturen sehr unterschiedlich sein können.

Für einzelne Branchen lassen sich somit nur sehr begrenzt Aussagen über generelle Energieeinsparmaßnahmen treffen. An technischen und organisatorischen Maßnahmen ist vieles möglich – im Einzelfall muss jedoch geprüft werden, ob die Maßnahme im Betrieb Sinn macht, unter einem vernünftigen

Aufwand umsetzbar ist und auch die Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

In den folgenden Ausführungen werden verschiedene Energieanwendungen, die in KMU von Bedeutung sind, betrachtet und Maßnahmen aufgezeigt, wie sinnvoll Energie und damit Energiekosten eingespart werden können. Zahlreiche Beispiele aus einzelnen Betrieben verdeutlichen die Umsetzbarkeit im Einzelfall.

#### 2.1 Energiecontrolling und organisatorische Maßnahmen

*Energiecontrolling* als organisatorische Maßnahme steht am Anfang jeder Energieanalyse. Nur wenn bekannt ist, wo Energie benötigt wird und wo die Kosten anfallen, können die betroffenen Systeme genauer analysiert werden. Somit gilt es zu Beginn den betrieblichen Energiebedarf zu erfassen und diesen nach Möglichkeit den einzelnen Energieverbrauchern zuzuordnen. Die regelmäßige Erfassung der Energieträger wie Strom, Heizöl, Erdgas und auch Wasser macht den einzelnen Verbrauch transparent. Die Daten sollten zumindest monatlich aufgenommen und verglichen werden. Fehlentwicklungen, wie beispielsweise plötzlich überhöhte Werte, werden so frühzeitig erkannt, so dass sofort

#### Info

##### **Energiecontrolling**

Unter Energiecontrolling versteht man die kontinuierliche Überwachung des Energieverbrauchs, die Bewertung desselben sowie die Überprüfung von Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und Optimierung der Bezugs- und Verbrauchsstrukturen.

nach der Ursache gesucht werden kann und Fehlerquellen behoben werden können. Entsprechende Nachforschungen bei Erhalt einer hohen Jahresrechnung gestalten sich meist schwierig. Darüber hinaus wird dadurch das Bewusstsein für den sparsamen Umgang mit Energie geschärft.

Sinnvoll ist außerdem die Bildung von Energiekennzahlen. Da der Energieverbrauch im produzierenden Gewerbe insbesondere von der Produktmenge abhängt und Absolutwerte (z. B. monatlicher Stromverbrauch) somit nur eine bedingte Aussagefähigkeit besitzen, sollte z. B. die Kennzahl „Energie pro Produktmenge [kWh/kg]“ gebildet und monatlich miteinander verglichen werden. Für die Gebäudebeheizung können Kennwerte bezogen auf die beheizte Fläche (spezifischer Wärmebedarf  $\text{kWh}_{\text{th}} / (\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ) gebildet und mit Literaturwerten verglichen werden.

Oftmals lassen sich durch *organisatorische Maßnahmen* bereits beachtliche Einsparungen erzielen. Hierzu gehören z. B. die bedarfsgerechte Nutzung der Beleuchtung, eine Tourenplanung für Kundenfahrten oder die Nutzung von Zeitschaltuhren für Bürogeräte oder die Warmwasserzirkulation.

### ► Beispiel Bäckerei

Die größten Energieverbraucher in Bäckereien stellen i. a. die Backöfen und Kühleinrichtungen dar. Besonders hier können durch organisatorische Maßnahmen und Mitarbeitermotivation der Strom- und Wärmeverbrauch reduziert werden.

Auf folgende Aspekte sollte beim Backofenbetrieb geachtet werden:

- Warmhalte- und Leerlaufzeiten vermeiden (hohe Wärmeverluste!)
- Eine Abgasklappe im Kamin verhindert die Auskühlung der Öfen während Brennerstillstandszeiten
- Möglichst vollständige Auslastung der Backöfen (bei einer Auslastung von nur 25 % liegt der spezifische Energieverbrauch um 50 % höher als bei voller Auslastung)
- Schwadenabgabe an das Backgut optimieren
- Energetisch optimal ist eine Produktionsreihenfolge mit sinkenden Backtemperaturen, damit der Ofen nicht immer neu aufgeheizt werden muss

Beim Betrieb der Kälteanlagen sind v. a. folgende Punkte relevant:

- Verdampfer und Kondensatoren der Kälteanlagen regelmäßig reinigen
- Kühlraumdichtungen auf Dichtheit kontrollieren, evtl. Kälteschutzvorhang anbringen
- Kühltemperaturen optimal auf Kühlgut abstimmen
- Möglichst vollständige Auslastung der Anlagen

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### 2.2 Verlustarme und umweltfreundliche Wärmebereitstellung

#### 2.2.1 Raumheizung

Bei der Raumheizung kann oft Energie eingespart werden.

- Wird die Anlage nur zur Raumheizung benötigt, sollte sie im Sommer ganz ausgeschaltet werden. Hierdurch werden Warmhalteverluste sowie der unnötige Betrieb der Heizungsumwälzpumpen vermieden.
- Nacht- und Wochenendabsenkung: Die Temperatur sollte während arbeitsfreier Zeiten abgesenkt werden, da hier i. d. R. ein geringerer Wärmebedarf vorliegt.
- Heizungs- und Warmwasserrohrleitungen sollten ausreichend wärmeisoliert sein, damit die Wärme auch dorthin gelangt, wo sie benötigt wird.
- Die Raumtemperatur sollte an die Bedürfnisse der Mitarbeiter angepasst sein: in einem Büro werden beispielsweise höhere Temperaturen benötigt als in einer Werkstatt, in der sich die Mitarbeiter mehr bewegen. Eine automatische Regelung kann über Raumtemperaturfühler erfolgen.
- Vermeidbare Wärmeverluste treten oft durch Dauerlüftung oder offene Türen und Tore auf. Für eine ausreichende Sauerstoffversorgung reicht kurzes Stoßlüften; Strahlungsheizungen (siehe Info) bieten eine Alternative in stark belüfteten Räumen.

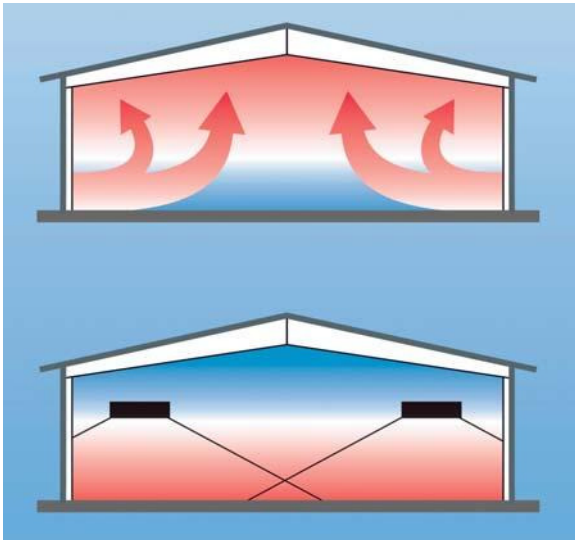
#### Info

##### Strahlungsheizung

Anstatt von Warmluft- oder Wasserumlaufheizungen kann oftmals auch eine Strahlungsheizung eingesetzt werden. Dies ist insbesondere in hohen Hallen und stark belüfteten Gebäuden sinnvoll, da so die Wärmeverluste durch den Luftaustausch erheblich reduziert werden. Außerdem können auch nur bestimmte Raumbereiche (z. B. Arbeitsplätze) beheizt werden.

Deckenstrahlplatten geben ihre Wärme zu 60% bis 70% in Form von Strahlung ab. Der Rest wird an die Umgebungsluft durch Konvektion (Teilchenbewegung) übertragen. Durch die Strahlung werden die Körper direkt erwärmt, ohne dass die Luft aufgewärmt werden muss. Durch die Deckenstrahlheizung kann so im Gegensatz zu statischen Heizflächen bis zu 30% an Energie eingespart werden.

Da die Luft nahezu keine Wärmestrahlung absorbiert, werden die von der Strahlungsheizung angestrahlten Flächen wie z. B. Fußboden, Einrichtungsgegenstände und der untere Bereich der Außenwände erwärmt. Die Oberflächentemperatur dieser Flächen steigt bis zu 3°C über Raumniveau und führt zur Erwärmung der Luft. Die vom Menschen empfundene Raumtemperatur addiert sich somit bei Strahlungsheizungen aus der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur und liegt um 3°C höher als die tatsächlich messbare Lufttemperatur.



Prinzip der Wärmeverteilung bei Wasserumlauf- und Strahlungsheizung

### Abgasverlust

Besonders bei älteren Heizungsanlagen muss auf den Abgasverlust geachtet werden. Der Abgasverlust wird vom Schornsteinfeger jährlich gemessen und ist ein Maß dafür, wie viel Abwärme ungenutzt mit dem Abgas verloren geht. Vor diesem Hintergrund sollte zumindest eine jährliche Wartung erfolgen und bei überhöhten Werten entsprechende Maßnahmen erwogen werden.

### Info

#### Abgasverlust

Durch die 1. BImSchV (Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) sind Grenzwerte für den Abgasverlust bei Öl- und Gasfeuerungen in Abhängigkeit von der Kesselleistung gegeben:

Leistung	Grenzwert Abgasverlust
größer 4 kW bis 25 kW	11 %
größer 25 kW bis 50 kW	10 %
größer 50 kW	9 %

Tab. Grenzwerte für den Abgasverlust nach der 1.BImSchV  
Die gemessenen Werte sind im Messprotokoll des Schornsteinfegers ersichtlich.



Heizungsumwälzpumpen

### Heizungs-Umwälzpumpen

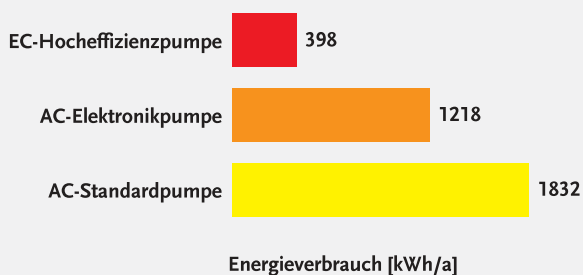
Heizungs-Umwälzpumpen benötigen 3,5% der in Deutschland eingesetzten elektrischen Energie. [1] Ein Großteil dieser Energie lässt sich oft durch wenige Maßnahmen einsparen.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

*Optimierung des Pumpenbetriebs:* Heizungen werden nur während der Heizperiode benötigt, die Umwälzpumpen werden jedoch oft ununterbrochen betrieben. Durch die Abschaltung am Ende der Heizperiode können bis zu 40 % an Strom eingespart werden.

*Optimierung der Regelung:* Die seit den 70er Jahren eingebauten drehzahlgeregelten Umwälzpumpen können in mehreren Leistungsstufen betrieben und so dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden. Oft kann durch eine Reduzierung der Drehzahl genau so effektiv geheizt werden wie bei einer höheren Drehzahl. Der Leistungs- und damit der Strombedarf lassen sich so weiter reduzieren. Für neu eingebaute Umwälzpumpen ist nach der Energieeinsparverordnung eine Regelung in mindestens drei Stufen vorgeschrieben (Heizungen über 25 kW<sub>th</sub>).

Stand der Technik sind vollautomatische drehzahl-geregelte Pumpen, die die Leistung in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur- und Druckdifferenz variieren und so dem Bedarf optimal angepasst werden können.



*Innovative Pumpentechnik:* Eine neue innovative Technik stellen Pumpen mit EC-Motor (elektronisch kommutierter Synchronmotor) dar. Die Hoch-effizienzpumpe besitzt sowohl bei Voll- als auch bei Teillast einen hohen Wirkungsgrad und ist stufenlos regelbar. Die Investitionskosten einer EC-Hoch-effizienzpumpe liegen ca. 15 % über denen einer AC-Elektronikpumpe bzw. beim 2,5-fachen einer geregelten Standardpumpe. Durch die Stromein-sparung von bis zu 70 % (vgl. Abbildung) amortisiert sich die Mehrinvestition jedoch innerhalb weniger Jahre. Neben dem geringen Strombedarf zeichnen sich die EC-Heizungspumpen durch Robustheit und einen wartungsarmen und leisen Betrieb aus.

### Alternative Brennstoffe

Mit Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas befeuerte Heizkessel werden standardmäßig in den meisten Betrieben eingesetzt. Dabei kann es durchaus Sinn machen, auf den regenerativen Brennstoff Holz zu wechseln oder zumindest einen Teil der Wärme mittels einer Holzfeuerung zu erzeugen. Viele Holzverarbeitende Betriebe, in denen Holzreste als Abfall anfallen, haben bereits erkannt, dass sich die energetische Nutzung des Reststoffs lohnen kann. Die Feuerungssysteme sind zwar teurer als konventionelle Kessel, durch den billigen (oder oftmals kostenlosen) Brennstoff Holz kann eine Holzfeuerung langfristig jedoch wesentlich günstiger sein. Aber auch wenn keine verwertbaren Holzreste im Betrieb anfallen, ist eine Holzfeuerung auf Basis von Holzpellets, Holzhackschnitzeln oder Scheitholz oftmals wirtschaftlicher als der Einsatz fossiler Energieträger, die erheblichen Preissteigerungen unterworfen sind, während die Preise für den regenerativen Energieträger relativ konstant sind. Eine Untersuchung lohnt also, insbesondere wenn die alte Kesselanlage saniert werden muss!





Holzfeuerungen



Holzhackschnitzelbunker

## Info

### Brennstoff Holz

Als Brennstoffe aus Holz werden Holzpellets, Holzhackschnitzel oder Scheitholz eingesetzt. Die energetischen Eigenschaften hängen im Wesentlichen von der Holzfeuchte und der Holzart ab. In Abhängigkeit dieser Größen ergibt sich für die verschiedenen Brennstoffformen jeweils ein charakteristischer Heizwert. Die Brennstoffform wiederum ist ausschlaggebend für die notwendige Brennstoffzuführung und die eingesetzte Feuerungstechnik.

#### Scheitholz

Holz aus der Forstwirtschaft wird seit langem traditionell als Scheitholz in manuell beschickten Kleinfeuerungsanlagen (Stückholzkessel und Kachelofen) energetisch genutzt.



#### Holzpellets

Presslinge sind ein genormter, zylindrischer Brennstoff und werden aus getrocknetem, naturbelassenem Restholz (z. B. Sägemehl, Säge- und Hobelspäne) gefertigt. Als Klebmittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin. Je nach Größe und Form werden Presslinge als Holzpellets oder -briketts bezeichnet.



#### Holzhackschnitzel

Für eine Nutzung in Klein- und Großanlagen erfolgt zunehmend eine Holzaufbereitung zu 2 bis 8 cm langen Holzhackschnitzeln. Diese Brennstoffform ermöglicht eine leichtere Handhabung bei Transport, Umschlag, Lagerung und eine automatische, dem Wärmebedarf entsprechend regelbare Brennstoffzufuhr.



## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### ► Beispiel Holzheizung in einer Großschreinerei

Zur Wärmeversorgung des Neubaus einer Großschreinerei soll ein Holzhackschnitzelkessel eingesetzt werden, der mit dem im Betrieb anfallenden Restholz befeuert werden soll. Hierzu erfolgt die Dimensionierung des Kessels sowie die Abschätzung des Wärmebedarfs. Weiterhin wird eine Wärmerückgewinnung aus der abgesaugten Luft untersucht.

#### Wärmebedarf

Der Holzhackschnitzelkessel wird nach dem zukünftigen Wärmebedarf ausgelegt. Folgende Bereiche müssen berücksichtigt werden:

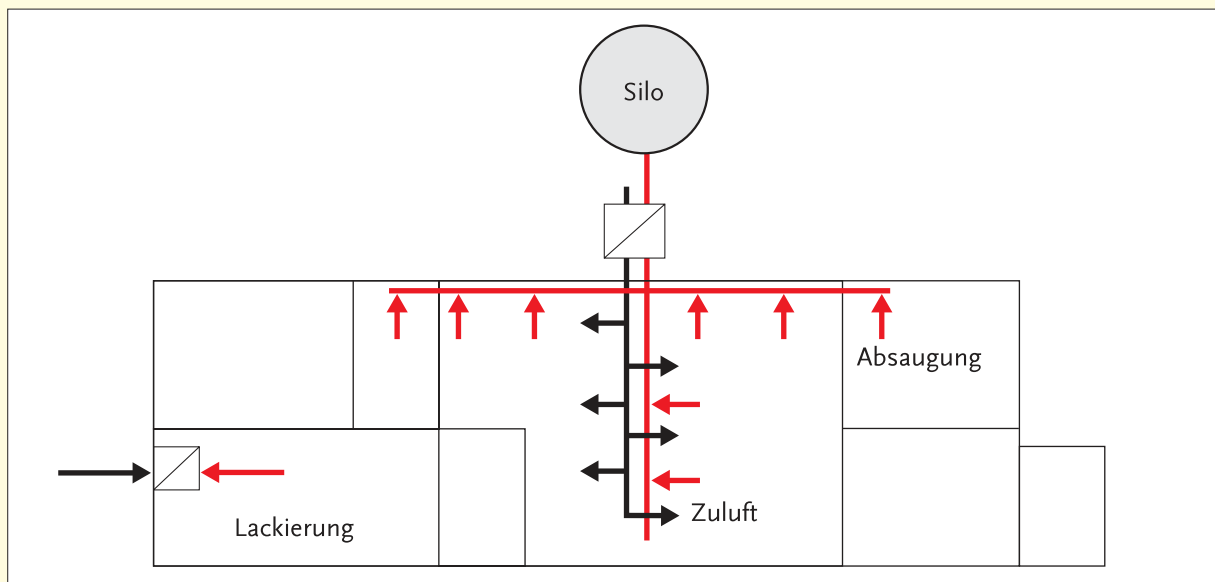
- Transmissions- und Maschinenwärmebedarf
- Lüftungswärmebedarf Holzstaubabsaugung und Lackierbereich
- Interne und solare Gewinne

*Transmissionswärmebedarf:* Wärme geht durch die verschiedenen Bauteile der Halle verloren (Transmission). Es ergeben sich Verluste in Höhe von ca. 170 000 kWh<sub>th</sub>/a.

*Maschinenwärmebedarf:* Die vorhandenen Heißpressen weisen einen Wärmebedarf von 40 400 kWh<sub>th</sub>/a auf.

*Lüftungswärmebedarf:* Durch die Lüftungsanlagen gehen erhebliche Wärmemengen verloren. Speziell im Neubau ist der Einbau einer Lüftungsanlage mit *Wärmerückgewinnung (WRG)* günstig zu realisieren. Es können ca. 80% der Wärme zurück gewonnen und so Heizkosten eingespart werden.

Prinzipiell müssen für die Holzstaubabsaugung und die Lackierung getrennte Systeme installiert werden. Eine Möglichkeit für die WRG ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Planung der Wärmerückgewinnung



Durch die *Holzstaubabsaugung* geht eine erhebliche Wärmemenge verloren, welche wieder zugeführt werden muss um eine konstante Raumtemperatur zu gewährleisten. Es besteht die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung aus dem Abluftstrom. Durch den Wärmetauscher lassen sich ca. 80% bzw. 622 000 kWh<sub>th</sub>/a der Wärme zurückgewinnen. Der neue *Lackierbereich* ist vom Rest der Halle abgetrennt. Es bietet sich an eine separate Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zu installieren. Auch hier wird die Wärme der abgesaugten Luft durch einen Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen. Der Wärmeverlust durch die Absaugung liegt bei ca. 227 000 kWh<sub>th</sub>/a, durch eine WRG lassen sich 182 000 kWh<sub>th</sub>/a zurück gewinnen.

*Interne und solare Gewinne:* Zur Reduzierung des Wärmebedarfs tragen die internen und solaren Gewinne bei. Wärmegewinne entstehen durch die Mitarbeiter, die Abwärme der Maschinen sowie die solare Einstrahlung. Diese liegen insgesamt bei ca. 234 700 kWh<sub>th</sub>/a.

***Der Wärmebedarf des Gebäudes liegt insgesamt bei ca. 980 000 kWh<sub>th</sub>/a (ohne WRG) oder bei 176 000 kWh<sub>th</sub>/a (mit WRG). Entsprechend dem Wärmebedarf ergibt sich durch die Installation einer Wärmerückgewinnung auch eine Reduzierung des Leistungsbedarfs der Anlage. Dieser liegt bei ca. 1540 kW<sub>th</sub>, kann durch eine WRG jedoch auf ca. 300 kW<sub>th</sub> reduziert werden. Hierdurch ergeben sich auch erhebliche Einsparungen bei den Investitionskosten für die Kesselanlage.***

## 2.2.2 Warmwasserbereitung

Besonders bei geringem Warmwasserbedarf ist eine zentrale Warmwasserbereitung nicht immer sinnvoll, da höhere Wärmeverluste durch die Rohrleitungen und den Speicher auftreten können. Der Betrieb der Umwälzpumpen benötigt zusätzlichen

### Info

#### Warmwasserbereitung

Warmwasser kann entweder zentral über den installierten Heizkessel oder dezentral direkt bei einzelnen Verbrauchern bereitgestellt werden (z. B. Durchlauferhitzer).

Strom. Wird die zentrale Warmwasserbereitung favorisiert, sollte die bevorratete Menge auch dem tatsächlichen Bedarf entsprechen. Die Umwälzpumpen, die das Wasser im System umpumpen, können durch eine Zeitschaltuhr nur dann betrieben werden, wenn Bedarf an Warmwasser besteht (i. d. R. während der Arbeitszeit). Hierdurch reduzieren sich der Stromverbrauch und die Wärmeverluste. Weiterhin müssen die Rohrleitungen wärmeisoliert werden.

Als Alternative kann für kleinere Mengen dezentral eine elektrische Warmwasserbereitung erfolgen. Verteilungsverluste wie bei der zentralen Warmwasserbereitung treten hierdurch nicht auf. Auch für eine elektrische Warmwasserbereitung bietet sich die Installation einer Zeitschaltuhr an.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### ► Beispiel Wärmerückgewinnung bei den Thermoölkesseln einer Bäckerei

Durch die Backöfen fällt viel Abwärme an, die durch eine Wärmerückgewinnung thermisch genutzt werden kann. Angegliederte Räume können damit beheizt sowie Warmwasser für die Produktion bereitgestellt werden. Der vorhandene Zusatzkessel würde dann nur noch betrieben, wenn die Abwärme nicht mehr ausreicht um den Wärmebedarf zu decken.

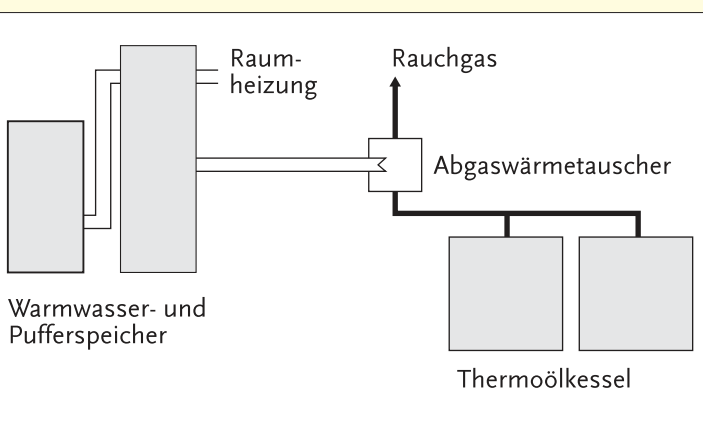
Die beiden Thermoölkessel verfügen über eine Heizleistung von ca.  $280 \text{ kW}_{\text{th}}$ . Ausgehend von einem Abgasverlust von ca. 10% ergibt sich eine Leistung von  $28 \text{ kW}_{\text{th}}$ , die über das Abgas verloren geht. Durch einen Wärmetauscher gleicher Größenordnung, der in den Rauchgasweg eingebaut wird, kann der Großteil der Wärme zurück gewonnen und in einen zu installierenden Pufferspeicher übertragen werden. Von dort aus können der Warmwasserspeicher geladen werden und die Raumheizung und Warmwasserbereitung erfolgen.

**Energiebilanz:** Der Abgaswärmetauscher mit einer Leistung von  $28 \text{ kW}_{\text{th}}$  wird in den Abgaskanal eingebaut. Er kann eine Wärmemenge von  $42.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$  liefern:

Leistung	$28 \text{ kW}_{\text{th}}$
Mittlere Stillstandszeit der Brenner (Erfahrungswert)	50%
Nutzbare Leistung	$14 \text{ kW}_{\text{th}}$
Betriebszeit Thermoölkessel	10 h/d, 300 d/a
<b>Nutzbare Wärmemenge</b>	<b><math>42.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}</math></b>

Der Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser liegt bei  $57.900 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ , die zurückgewinnbare Wärmemenge bei  $42.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ . Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Raumwärmebedarf nur während der Heizperiode besteht, während die zurückgewonnene Wärme bedingt durch die Produktion keinen größeren Schwankungen unterliegt.

**Wirtschaftlichkeit:** Für den Abgaswärmetauscher und einen zu installierenden Pufferspeicher ist inklusive Montage eine Investition von ca. 6.000 € zu veranschlagen. Der Investition stehen jährliche Einsparungen von 1.540 €/a entgegen, so dass die statische Amortisationszeit 3,9 Jahre beträgt.



Einbindung der Wärmerückgewinnung

### 2.2.3 Wärmerückgewinnung

Nutzbare Abwärme fällt bei zahlreichen Produktionsprozessen und in vielen Unternehmen an, z. B. in Form von warmer Abluft aus Feuerungs- oder Lüftungsanlagen. Die Wärmerückgewinnung ist deshalb ein Querschnittsthema. Beispiele hierfür sind an mehreren Stellen dieser Publikation aufgeführt, insbesondere den Seiten 14–16 und 27. Im

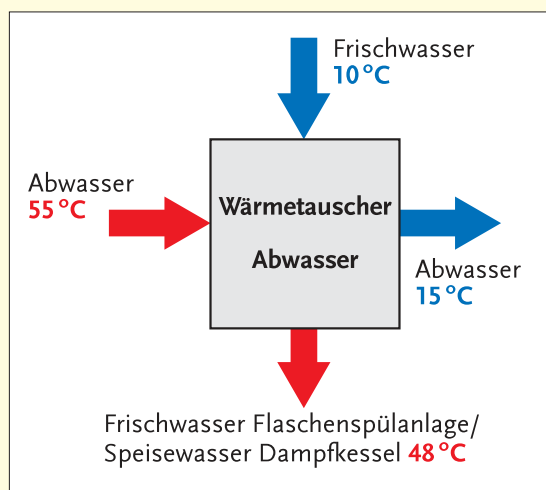
Folgenden wird auf zwei zusätzliche Möglichkeiten hingewiesen. Auch die Wärme von zu warmem Abwasser kann evtl. wirtschaftlich zurück gewonnen werden, wie das nachstehende Beispiel zeigt. Besteht im Betrieb gleichzeitig ein hoher Wärme- und Kältebedarf, sollte außerdem die Nutzung der Abwärme der Kälteanlagen näher untersucht werden.

#### ► Beispiel Wärmerückgewinnung bei der Flaschenspülanlage

Da das Abwasser aus einer Flaschenspülanlage mit einer Temperatur von 55 °C direkt in die Kanalisation geführt wird und damit erhebliche Wärmeverluste auftreten, wurden die Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung untersucht. Über einen Wärmetauscher kann Wärme aus dem Abwasser zur Vorwärmung des Frischwassers verwendet werden. Dadurch muss weniger Energie zur Erwärmung des Spülwassers und zur Speisewasservorwärmung (für den Dampfkessel) eingesetzt werden. Es lassen sich erhebliche Brenn-

stoffeinsparungen erzielen.

Die Abwasser- bzw. Frischwassermenge beläuft sich auf 1 835 000 l/a. Das Abwasser wird von 55 °C auf 15 °C abgekühlt, während das Frischwasser von 10 °C auf 48 °C erwärmt wird. Durch die Wärmerückgewinnung lassen sich ca. 809 500 kWh<sub>th</sub>/a an Wärme einsparen. Bei einem Jahresnutzungsgrad des Dampfkessels von 90 % ergibt sich eine Brennstoffeinsparung von knapp 900 000 kWh/a bzw. 128 500 Liter Flüssiggas pro Jahr.



Schema der Wärmerückgewinnung.

Investition	15.700 €
Jahreskosten	
Kapitalkosten	1.600 €/a
Betriebskosten	200 €/a
Einsparung an Verbrauchskosten	22.850 €/a
Einsparung an Jahreskosten	21.050 €/a

**Statische Amortisationszeit** **0,75 Jahre**

Durch die Wärmerückgewinnung ergeben sich Brennstoffeinsparungen von 21 050 €/a. Die Investition amortisiert sich nach weniger als einem Jahr.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### 2.3 Rationeller Stromeinsatz im Betrieb

Neben dem Wärmeverbrauch ist in jedem Unternehmen ein mehr oder minder großer Stromverbrauch vorhanden. Anwendungen sind Beleuchtung, Bürogeräte der Verwaltung sowie Anlagen, die für die Aufrechterhaltung des Betriebs benötigt werden, wie Kompressoren oder Produktionsmaschinen. Im Folgenden werden Maßnahmen aufgezeigt, wo Kosteneinsparpotenziale im Betrieb sinnvoll erschlossen werden können. Ein Eingriff in die Produktion selbst, wie z. B. der Umbau von Maschinen oder die Umstellung des Produktionsablaufes, gestaltet sich meist eher schwierig und sollte gesondert und auf den Einzelfall bezogen betrachtet werden.

#### 2.3.1 Stromlastmanagement

Durch die Auswertung der Strombezugsdaten (Energiecontrolling, siehe Kap. 2.1) liegen Daten zum Strombezug und den resultierenden Stromkosten vor. Häufig fallen bei größerem Stromverbrauch neben den Arbeitskosten ( $\text{kWh}_{el}$ ) u. a. auch Kosten für die vom Netz bezogene Stromleistung ( $\text{kW}_{el}$ ) an. Ein Stromlastmanagement setzt bei dieser Stromleistung an.

#### Info

##### Stromkosten

Stromkosten setzen sich i. a. aus folgenden Einzelkosten zusammen:

*Arbeitskosten* [ $\text{Ct}/\text{kWh}_{el}$ ]: Für die Menge an bezogenem Netzstrom fallen Arbeitskosten an. Unterschieden werden kann in HT (Hochtarif) und den deutlich günstigeren NT (Niedertarif).

*Leistungskosten*: [ $\text{€}/\text{kW}_{el}$ ]: Für die maximal in einem Monat oder im Jahr bezogene Netzleistung [ $\text{kW}_{el}$ ] fallen in der Regel Leistungskosten an.

*Messpreis, Verrechnungspreis* [ $\text{€}/\text{a}$ ]: Kosten für Messung, Abrechnung und Inkasso.

*Blindmehrarbeit*: Neben den Kosten für Wirkstrom (Arbeitskosten) können Kosten für Blindstrom anfallen. Diese liegen üblicherweise bei ca.  $1 \text{ Ct}/\text{kVarh}$ .

*EEG-Zuschlag* [ $\text{Ct}/\text{kWh}_{el}$ ]: Für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien (Windkraft, Wasserkraft, Fotovoltaik, Biomasse) wird ein Zuschlag nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Stromkosten erhoben. Die höheren Vergütungen, die der Stromversorger an die Produzenten des Öko-Stroms zahlt, werden so auf alle Stromverbraucher umgelegt.

*KWK-Zuschlag* [ $\text{Ct}/\text{kWh}_{el}$ ]: für die Erzeugung von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung wird ein Zuschlag nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz auf die Stromkosten erhoben.

*Stromsteuer*: Die Verbrauchssteuer wird auf Grundlage des Stromsteuergesetzes erhoben.

Üblicherweise liegt zumindest während der Arbeitszeit eine Grundlast im Stromleistungsbezug vor. Im Tagesverlauf werden dann Maschinen und Geräte zu- und wieder abgeschaltet, so dass Spitzen im Leistungsbezug auftreten. Diese Spitzen werden für die Berechnung der Leistungskosten herangezogen, belasten verstärkt das Stromnetz und sollten deshalb minimiert werden.

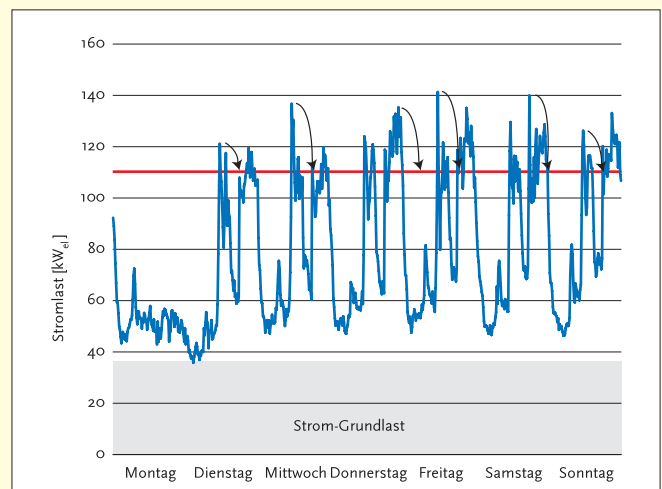
Durch ein Stromlastmanagement kann die Stromleistung reduziert werden. Maßnahmen sind:

- zeitlich versetzter Betrieb der Hauptverbraucher (gegenseitiges „Verriegeln“ der Anlagen)
- Lastabwurfregelung: Bei Annäherung an eine Leistungsgrenze werden automatisch bestimmte Stromverbraucher – je nach vorher festgelegter Priorität – abgeschaltet. Möglich ist dies z. B. bei der Druckluftherzeugung. Kompressoren können abgeschaltet und der Druckluftbedarf über Speicher gedeckt werden, so lange der Vorrat für die angeschlossenen Verbraucher ausreicht.

Diese organisatorische Maßnahme muss mit dem Produktionsablauf abgestimmt werden.

### ► Beispiel Gastronomiebetrieb

Die folgende Abbildung zeigt den Stromlastgang eines Gastronomiebetriebs. Es sind eine Grundlast, die hauptsächlich durch die Kälteanlagen verursacht wird, sowie der Ruhetag am Montag erkennbar. Lastspitzen treten zur Mittags- bzw. Abendessenszeit auf. Durch einen zeitlich versetzten Betrieb einiger elektrischer Küchengeräte lassen sich die Leistungsspitzen auf ca. 110 kW<sub>el</sub> reduzieren. Die Lastkurve wird hierdurch „geglättet“ und die Bezugsleistung für die Leistungskosten wird von ca. 140 kW<sub>el</sub> auf 110 kW<sub>el</sub> reduziert, wodurch sich im Jahr mehrere Hundert Euro einsparen lassen.



Stromlastgang eines Gastronomiebetriebs

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### 2.3.2 Blindstromkompensation

Durch eine Kompensationsanlage für Blindstrom lassen sich die dadurch bedingten Mehrkosten einsparen. Kondensatoren mit angepasster Kapazität entlasten das Netz und den Generator, sodass die Blindleistung je nach Feldauf- und Feldabbau nur noch zwischen Verbraucher und Kondensator pendelt. Es wird zwischen Einzel-, Gruppen- und Zentralkompensation unterschieden. Die Auswahl hängt von der Art und Anzahl der Verbraucher ab.

#### Info

##### Blindstrom

Blindstrom wird bei induktiven Stromverbrauchern wie z. B. Transformatoren und Asynchronmotoren zur Erzeugung von Magnetfeldern benötigt. Dieser Energieanteil wird nicht in Wirkleistung umgesetzt und kann folglich nicht genutzt werden. Der Blindstrom belastet zusätzlich zum Wirkstrom das Netz, sodass in der Regel ein Blindstromverbrauch, der um mehr als 50% höher als der gleichzeitig gemessene Wirkstromverbrauch ist, gesondert vom Energieversorgungsunternehmen berechnet wird.

#### ► Beispiel Wirtschaftlichkeit einer Blindstromkompensationsanlage

In einer Maschinenbaufirma liegt der Blindstromanteil deutlich über 50% des Wirkstroms, so dass erhebliche Mehrkosten anfallen. Es bietet sich die Installation einer Zentralkompensation an.

*Erforderliche Kompensatorleistung:* Als Kennwert für den Blindstromanteil wird der Faktor „ $\cos \rho$ “, der sich mittels der bezogenen Blindstrom- und Wirkstrommenge berechnen lässt, herangezogen. Liegt  $\cos \rho$  über 0,9, fallen normalerweise Mehrkosten an. Die erforderliche Kompensatorleistung berechnet sich nach

$$P_{Kond} = (\tan \rho_{Ist} - \tan \rho_{Ziel}) \cdot P$$

mit

$$\tan \rho_{Ist} = \frac{\text{Blindstrom [kVarh]}}{\text{Wirkstrom [kWh]}}$$

$$\tan \rho_{Ziel} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \rho_{Ziel}}}{\cos \rho_{Ziel}}$$

wobei mit  $\cos \rho_{Ziel} = 0,9$  der Zielwert und mit  $P$  die Strombezugsleistung [ $\text{kW}_{el}$ ] gegeben ist. Die Kompensatorleistung liegt im Beispiel bei ca. 100 kVar. Sollte die Kompensationsleistung z. B. aufgrund einer Produktionserweiterung nicht mehr ausreichend sein, können zusätzliche Kompensatoren eingebaut werden.

*Wirtschaftlichkeit:* Die Blindstrommehrkosten werden mit 1 Ct/kVarh bzw. 1 790 €/a berechnet. Der einmaligen Investition von knapp 3 400 € stehen jährliche Einsparungen von ca. 1 790 € gegenüber. Die Investition amortisiert sich nach einer statischen Amortisationszeit von knapp 2 Jahren.



### 2.3.3 Bedarfsgerechte und energiesparende Raumbelichtung

#### Anforderungen an die Beleuchtung

Neben der repräsentativen Wirkung in Schaufenstern oder Ausstellungshallen wird die Beleuchtung zur Gewährleistung eines bedarfsgerechten Arbeitsumfeldes benötigt. In der DIN 5035 „Innenraumbelichtung mit künstlichem Licht“ werden für verschiedene Arbeitsstätten Richtwerte für die Nennbeleuchtungsstärke angegeben. Weitere Anforderungen an die Arbeitsplatzbeleuchtung werden an Beleuchtungsniveau, Leuchtdichteverteilung, Begrenzung der Blendung, Lichtrichtung und Schattigkeit, Lichtfarbe und Farbwiedergabe gestellt. Die Vorgaben berücksichtigen die durch die Schaufgabe gegebenen Anforderungen sowie psychophysische und wirtschaftliche Gesichtspunkte. Diese Vorgaben sollten durch eine effiziente und energiesparende Beleuchtung realisiert werden.

#### Regelung der Beleuchtung

Oft werden beispielsweise Bereiche, die nur selten genutzt werden, durchgehend oder in einer nicht erforderlichen Beleuchtungsstärke ausgeleuchtet. Eine bedarfsgerechte Beleuchtungsstärke und Regelung minimiert den Stromverbrauch. Mögliche Regelungstechniken sind:

- Bewegungsmelder
- kurz getaktete Einschaltzeiten
- Tageslichtsensoren:

Je nach Tages- und Jahreszeit ist ein unterschiedlicher Beleuchtungsbedarf vorhanden. Für eine Regelung wird ein Lichtwertschalter benötigt, an dem mehrere Schaltkreise angeschlossen werden können. Über einen Lichtsensor wird das Tageslicht

aufgenommen und als Steuerspannung dem Lichtwertschalter vorgegeben. Der Lichtwertschalter schaltet entsprechend dem eingestellten Wert die Beleuchtung im jeweiligen Bereich ein oder aus.

#### ► Beispiel Werkstatthalle

Die Beleuchtung in der Werkstatthalle wird mit ca. 30 Leuchtstofflampen bewerkstelligt. Diese sind so angeordnet, dass Sie die Halle gleichmäßig ausleuchten. Im Zuge einer Erneuerung der Beleuchtung bietet es sich an, die Konzeption zu überdenken. Als Alternative zur gleichmäßigen Ausleuchtung der Halle bietet es sich an, gezielt die Arbeitsplätze besser und die Verkehrswege innerhalb der Halle weniger zu beleuchten. Dadurch kann die Anzahl der Lampen gegenüber einer vollständigen Ausleuchtung der Halle vermindert und somit auch der Energieverbrauch gesenkt werden.



Beleuchtung einer Möbeltischlerei mit Reflektorleuchten für Leuchtstofflampen

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### Moderne energiesparende Beleuchtung

Die vorhandenen Beleuchtungseinrichtungen entsprechen aus technischer und energetischer Sicht oft nicht dem Stand der Technik. Moderne Lampen vermindern den Stromverbrauch deutlich. Im Folgenden werden Optimierungsmaßnahmen für die am häufigsten installierten Beleuchtungstechniken aufgezeigt: Leuchtstoff- und Glühlampen.

#### Leuchtstofflampen

Leuchtstofflampen gibt es im Wesentlichen in zwei Ausführungen:

- als Standardlampen und
- als Dreibandlampen mit höherer Lichtausbeute und besserer Farbwiedergabe

Die *Dreibanden-Leuchtstofflampe* verfügt bei gleicher elektrischer Anschlussleistung über einen höheren Lichtstrom als eine Standardleuchtstofflampe. Der Wirkungsgrad des Leuchtstoffes ist höher, so dass das gewünschte Beleuchtungsniveau mit einer geringeren Anzahl von Lampen und damit geringeren Leistung erreicht werden kann.

Leuchtstofflampe	Standardlampe Lichtfarbe 11 *	Dreibandenlampe Lichtfarbe 21, 31 *
18 W, 590 mm	1.100 lm	1.350 lm
36 W, 1200 mm	2.600 lm	3.350 lm
58 W, 1500 mm	4.100 lm	5.200 lm

Tab: Vergleich des Lichtstroms einer Standard- und einer Dreibandleuchtstofflampe (lm = Lumen); \* Osram

Leuchtstofflampen müssen wegen ihrer negativen Stromspannungskennlinie mit einem Vorschaltgerät betrieben werden. Es sind vielerorts noch Leuchten mit konventionellem oder verlustarmem Vorschaltgerät (KVG bzw. VVG) installiert. Den Stand der Technik und somit die energiesparendsten bzw. verlustärmsten Leuchten stellen solche mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) dar. Die Anschlussleistung einer 1,5 m langen Leuchtstofflampe mit EVG kann bei fast gleicher Beleuchtungsqualität beispielsweise von 71 W auf 55 W reduziert werden.

Darüber hinaus haben diese modernen Beleuchtungen weitere Vorteile:

- höhere Lichtausbeute der Lampen
- um etwa 50 % höhere Lebensdauer der Lampen
- flimmerfreies Licht durch die hochfrequente Spannung (25–40 kHz)
- automatisches Abschalten defekter Lampen
- kein zusätzlicher Starter notwendig
- tageslichtabhängige Regelung möglich (dimmen)
- keine Blindleistungskompensation erforderlich
- geringere Verlustleistung

Bei Neuinstallationen sollten deshalb gleich Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten eingesetzt werden. Der Mehrpreis für eine Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät liegt bei etwa 40 €. Diesen Kosten stehen Einsparungen beim Stromverbrauch gegenüber, so dass sich die Investition – bei ausreichender Betriebsstundenzahl – in kurzer Zeit amortisiert.



Besteht im Betrieb zurzeit kein Erneuerungsbedarf, kann die bestehende Leuchte durch einen Nachrüstset mit einem elektronischen Vorschaltgerät versehen werden. Hierzu wird ein entsprechender Träger mit einer T5-Leuchtstoffröhre in die bestehende Fassung eingesetzt. Dieses System wird von mehreren Herstellern angeboten.

#### Glühlampen – Energiesparlampen

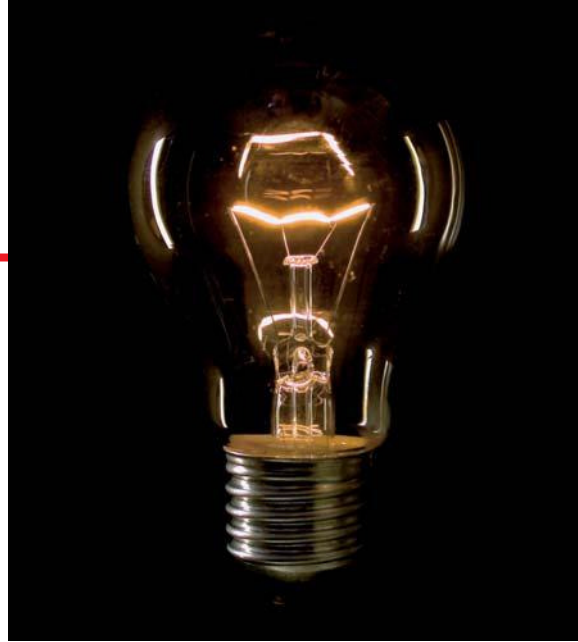
Konventionelle Glühlampen werden häufig noch eingesetzt, obwohl diese meist leicht durch moderne Kompakt-Leuchtstofflampen (Energiesparlampen) ersetzbar wären. Insbesondere bei längeren Benutzungsdauern (Faustzahl: größer 500 Stunden pro Jahr) lohnt die Umstellung auf Energiesparlampen.

Für die gleiche Beleuchtungsstärke reicht bei einer Energiesparlampe eine niedrigere Anschlussleistung aus als bei einer herkömmlichen Glühlampe, da die Verluste wesentlich niedriger sind. Bei einer Glühlampe werden lediglich 5 % des eingesetzten Stroms in Licht umgewandelt; der Rest geht als Wärme verloren. Folgende Tabelle zeigt, dass eine Reduzierung des Leistungsbedarfs um 80 % möglich ist:

Glühlampe	Energiesparlampe
40 W	7 W
60 W	11 W
75 W	15 W
100 W	20 W

Tab: Vergleich der elektrischen Anschlussleistung von Glüh- und entsprechender Energiesparlampe

Ein weiterer Vorteil einer Energiesparlampe ist die erheblich höhere Lebensdauer. Während Glühlampen eine Lebensdauer von nur 1000 Stunden aufweisen, liegt die von Energiesparlampen bei ca. 10000 bis 12000 Stunden.



Glühlampe



Leuchtstoffröhre mit Nachrüstsystem



Energiesparlampe

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### ► Beispiel Krankenhaus

In einem Krankenhaus sind ca. 1 000 konventionelle Glühlampen installiert. Diese sollten insbesondere in Zonen mit hoher Beleuchtungsdauer (z. B. Flure, Empfang) durch Kompaktleuchtstofflampen ersetzt werden.

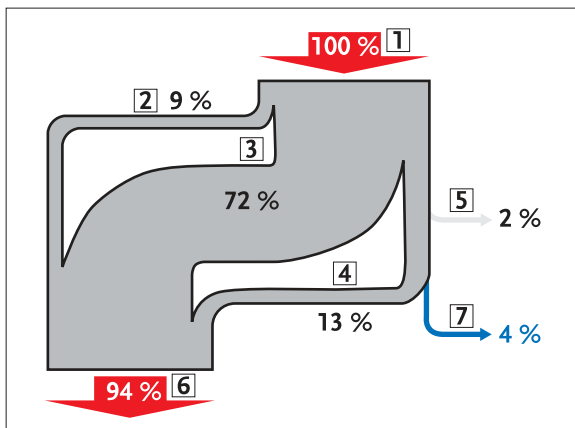
Im folgenden wird die Wirtschaftlichkeit von Energiesparlampen (12 W) im Vergleich zu den installierten Glühlampen (60 W) betrachtet. Bei einer jährlichen Benutzungsdauer von

3 000 Stunden werden Einsparungen von rund 8 250 €/a erzielt. Aufgrund der wesentlich höheren Lebensdauer der Energiesparlampen ergeben sich nur geringfügig höhere Betriebskosten pro Jahr. Wesentliche Einsparungen werden durch die Reduzierung der Verbrauchskosten erzielt. Aufgrund der geringeren Leistung der Energiesparlampen werden die Arbeitskosten und die bezogene Leistung gemindert.

	Glühlampe	Energiesparlampe
<b>Betriebskosten</b>		
Preis	0,8 €/Lampe	10 €/Lampe
Anzahl Lampen	1.000 Stück	1.000 Stück
Benutzungsdauer	3.000 h/a	3.000 h/a
Lebensdauer der Lampe	1.000 h	12.000 h
Betriebskosten	2.400 €/a	2.500 €/a
<b>Verbrauchskosten</b>		
Stromverbrauch	180.000 kWh <sub>el</sub> /a	36.000 kWh <sub>el</sub> /a
Stromarbeitspreis	4,8 Ct/kWh <sub>el</sub>	4,8 Ct/kWh <sub>el</sub>
Arbeitskosten	8.640 €/a	1.728 €/a
Leistungsbedarf Beleuchtung (bei 50% Gleichzeitigkeit)	30 kW <sub>el</sub>	6 kW <sub>el</sub>
Leistungspreis	60 €/kW <sub>el</sub> /a	60 €/kW <sub>el</sub> /a
Leistungskosten	1.800 €/a	360 €/a
Verbrauchskosten	10.440 €/a	2.088 €/a
<b>Betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>12.840 €/a</b>	<b>4.588 €/a</b>
<b>Einsparung</b>		<b>8.252 €/a</b>

### 2.3.4 Druckluft effizient erzeugen

Fast jedes Industrieunternehmen braucht Druckluft. Dabei weiß kaum jemand, dass Druckluft eine der teuersten Energieformen ist. Um 1 kWh Arbeit zu leisten, müssen rund 20 kWh elektrischer Energie aufgewendet werden.



- 1 Gesamte elektrische Leistungsaufnahme
- 2 Abwärme vom Antriebsmotor, abh. vom Wirkungsgrad des Motors (88 – 93 %)
- 3 Abwärme des Ölkühlers, an den Kühlkreis abgeführt
- 4 Abwärme des Druckluftkühlers
- 5 Abwärme durch Strahlung und Konvektion an die Umgebung
- 6 Gesamte nutzbare Wärmeenergie aus den Kühlsystemen zur Warmwassererzeugung
- 7 Verbleibende Druckenergie (Nutzen)

Energieflussdiagramm bei der Druckluftherzeugung [2]

#### Optimierung der Druckluftherzeugung

**Anschaffung:** Maßnahmen zur Effizienzsteigerung setzen bereits bei der Anschaffung der Kompressoren an. Hier sollte auf die Installation hocheffizienter Anlagen geachtet werden. Der Mehrpreis für solche Anlagen amortisiert sich meist sehr schnell, da bis zu  $\frac{3}{4}$  der Jahreskosten bei der Druckluftherzeugung (Investition, Betriebs- und Verbrauchskosten) auf die Verbrauchskosten (Stromkosten) entfallen. Genau auf die Anwendungen abgestimmte, zertifizierte Kombinationen von Trockner- und

Filtersystemen gewährleisten zudem exakte Druckluftqualitätsklassen. Damit lässt sich der Energieaufwand für die Druckluftaufbereitung erheblich reduzieren. Liegen die Stationen, an denen Druckluft benötigt wird, weit auseinander, kann auch eine dezentrale Druckluftherzeugung in Erwägung gezogen werden. Hierdurch reduzieren sich die Verluste durch Leckagen.

**Kühlung:** Der Wasserkühlung ist die Luftkühlung vorzuziehen. Dazu sollten die Kompressoren an einem möglichst kühlen Ort aufgestellt werden. Vorteile liegen in der höheren Betriebssicherheit und ca. 30% geringeren Kühlungskosten.

**Druckverluste:** Nach der Erzeugung und Aufbereitung muss die Druckluft in einem Netz zu den Verbrauchsstellen verteilt werden. Zusätzlich zu den bei der Aufbereitung entstehenden Druckverlusten treten bei der Druckluftverteilung durch den Rohrwiderstand weitere Druckverluste auf. Gerade erst erzeugt, wird der Druck in solchen Anlagen wieder vernichtet. Zu enge Querschnitte, zu viele Krümmen verursachen einen Druckabfall, der insbesondere bei hohen Volumenströmen beträchtlich sein kann.

#### Info

##### Druckluft

Druckluft wird durch Verdichten der Umgebungsluft in Kompressoren erzeugt. Sie dient dem Antrieb von Hämmern, Bohrern und Turbinen, der Reinigung und der Kühlung und findet in vielen Produktionsprozessen sowie der Steuerungs- und Automatisierungstechnik Anwendung. Druckluft wird z. B. in Kfz-Betrieben, Chemieunternehmen und bei der Kunststoffbearbeitung benötigt.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

*Wartung der Kompressoren:* Die Kompressoren saugen Umgebungsluft an. Die mit Staubpartikeln belastete Luft verschmutzt die Filter im Ansaugtrakt, so dass diese regelmäßig gereinigt werden müssen. Verschmutzte Filter verschlechtern die Effizienz der Anlage und führen zu einem erhöhten Stromverbrauch.

*Verminderung des Verdichtungsenddruckes:* Um den Energiebedarf der Druckluftanlage so niedrig wie möglich zu halten, sollte der Verdichtungsenddruck so knapp wie möglich oberhalb des notwendigen Druckniveaus liegen. Die Höherverdichtung verbraucht zusätzlich elektrische Energie für den Antrieb. Als Faustzahl kann angegeben werden, dass pro Bar höhere Verdichtung ca. 7% mehr Strom verbraucht wird.

*Druckluftspeicher:* Eine Kompressoranlage kann mit einem Speicherbehälter für die Druckluft ausgerüstet werden. Dieser besitzt u. a. den Vorteil, dass im

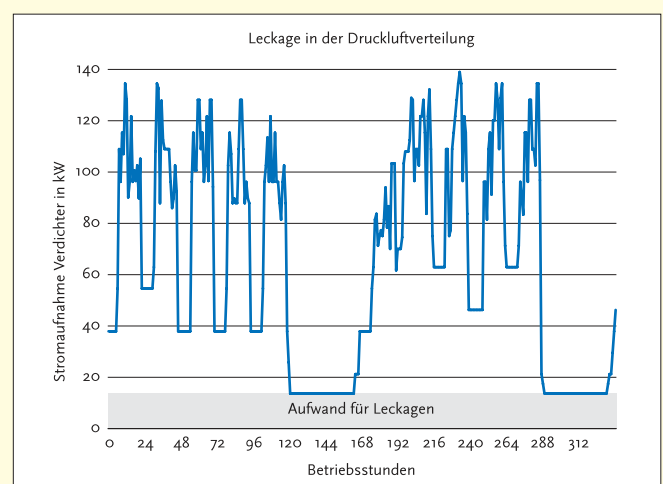
Rohrleitungsnetz auftretende Druckschwankungen ausgeglichen werden und dass bei einem hohen Druckluftbedarf eine Spitzenlastreserve vorhanden ist.

*Beseitigung von Leckagen:* Kein Druckluftnetz ist hundertprozentig dicht. Druckluftverluste durch Leckagen in Höhe von 50% sind keine Seltenheit. Da Leckagen bei Druckluftrohren nicht sichtbar sind, keine Umweltprobleme verursachen und in der Regel auch keine Sicherheitsmängel nach sich ziehen, wird der Wartung des Druckluftnetzes im Betrieb häufig wenig Beachtung geschenkt. Typische Leckagestellen sind:

- Undichte bzw. defekte (Magnet-) Ventile
- Undichte Schraub- und Flanschverbindungen
- Defekte Schläuche und Steckkupplungen
- Festsitzende Schwimmerableiter
- Falsch installierte Trockner, Filter und Wartungseinrichtungen
- Korrodierte Leitungen

### ► Beispiel Weinkellerei

Die folgende Abbildung zeigt die Stromaufnahme eines Druckluftverdichters über eine Woche in einer Weinkellerei. Die Anlage steht in einem Betrieb mit zwei Schichten. In der Nacht findet keine Produktion statt. Durch Messung wurde deutlich gemacht, dass ein erheblicher Anteil der Stromaufnahme des Verdichters für das Abdecken der Druckluftleckagen benötigt wird.



Stromaufnahme der Verdichter einer Weinkellerei

Durch Betriebsrundgänge bei geringer Geräuschkulisse lassen sich Leckagen meist gut aufspüren. Da jedoch kein Drucknetz hundertprozentig dicht ist, sollten als Sofortmaßnahme Netzteile, die z. B. nachts oder am Wochenende keinen Verbrauch aufweisen, durch Magnetventile vom Netz getrennt werden. Einzelne Kleinverbraucher können dann noch über Druckluftspeicher oder kleinere Kompressoren mit Druckluft versorgt werden.

Steuerung und Kontrolle: Um den effektiven Betrieb der Kompressoren zu gewährleisten und Ausfälle zu vermeiden, kann eine automatische Steuerung eingebaut werden. Dadurch können die Kompressoren z. B. im zeitlichen Wechsel betrieben und gleichmäßig ausgelastet werden. Zusätzlich kann durch die Steuerung die Druckluftherzeugung an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden.

Bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Stromtarif von 5 Ct/kWh<sub>el</sub> ergeben sich beispielsweise folgende durch Leckagen bedingte Kosten:

Loch-durchmesser	Luftverlust bei 7 bar Betriebsüberdruck	Leckagebedingte Jahresenergiekosten
1 mm	1,2 l/s	144 €
2 mm	5,0 l/s	600 €
3 mm	11,2 l/s	1.344 €
4 mm	19,8 l/s	2.356 €
6 mm	44,6 l/s	5.352 €
10 mm	124,0 l/s	14.880 €

### Info

#### Wärmerückgewinnung bei Kompressoren

Ca. 90% der einem voll gekapselten Schraubenkompressor zugeführten elektrischen Leistung lässt sich als Wärme zurückgewinnen. Als Übertragungsmedium kann Luft oder Wasser dienen. Mit der Wärme können z. B. Brauchwasser erwärmt oder in der Nähe gelegene Räume im Winter geheizt werden.

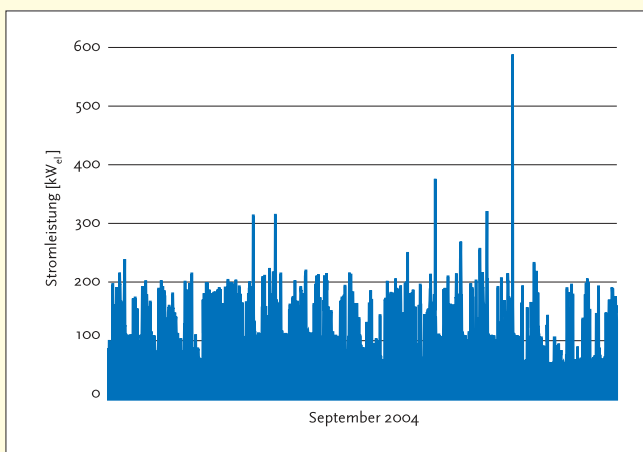
*Warmluftheizung:* Die einfachste Möglichkeit der Wärmerückgewinnung bei luft-, öl- bzw. fluidgekühlten Schraubenkompressoren ist die direkte Nutzung der vom Kompressor erwärmten Kühlluft.

*Warmwasserheizung:* Durch Einbau eines Wärmetauschers in den Fluidkreislauf ist es sowohl mit luft- als auch mit wassergekühlten Schraubenkompressoren möglich, Warmwasser für verschiedene Zwecke zu erzeugen. Hierfür kommen z. B. Plattenwärmetauscher in Frage. Die erzielbaren Wassertemperaturen liegen im Bereich 60 – 70 °C und eignen sich somit hervorragend für die Wärmeversorgung im Winter.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

### ▶ Beispiel Druckluftversorgung eines Industriebetriebs

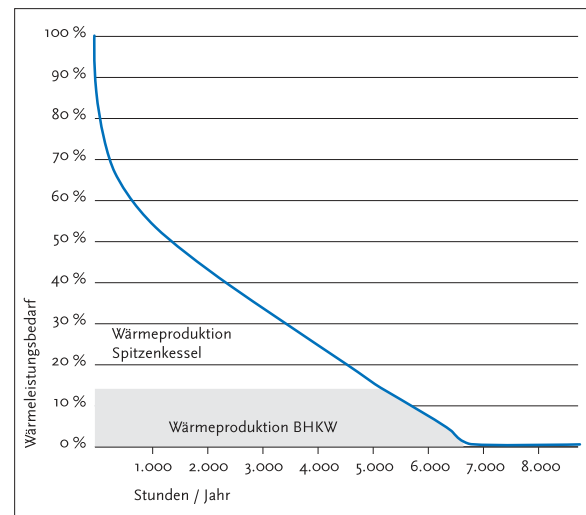
Die Leistungskosten lassen sich durch eine gute Dimensionierung der eingesetzten Kompressoren sowie den Einsatz von Druckluftspeichern auf ein Minimum reduzieren. Die folgende Abbildung zeigt den Stromleistungsbedarf eines Industrieunternehmens. Hier ist ersichtlich, dass eine Leistung von  $200 \text{ kW}_{el}$  ausreichend ist um über 90% des Druckluftbedarfs zu decken. Trotzdem sind einige Leistungsspitzen zu verzeichnen, die in diesem Fall die für die Berechnung des Leistungspreises relevante Stromleistung auf ca.  $590 \text{ kW}_{el}$  erhöhen. Es bietet sich deshalb an, die Kompressorleistung auf ca.  $200 \text{ kW}_{el}$  zu begrenzen und einen Mehrbedarf durch entsprechend dimensionierte Druckluftspeicher abzudecken. Alternativ oder zusätzlich können die Hauptverbraucher zeitlich versetzt betrieben oder ihnen nur eine begrenzte Menge an Druckluft zur Verfügung gestellt werden, damit der Druck im System nicht zu stark abfällt und nicht zu viele Kompressoren in Betrieb gehen.



Stromleistungsbedarf eines Industriebetriebs

### 2.4 Kraft-Wärme-Kopplung – Strom und Wärme im eigenen Betrieb erzeugen!

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ist nur dann gegenüber konventionellen Systemen wirtschaftlicher, wenn die einzelnen Module eine gute Auslastung, also hohe Benutzungsstunden erreichen. Aus diesem Grund werden wärmegeführte BHKW zur Deckung der Wärmegrundlast ausgelegt. Bei überwiegender Wärmenutzung für die Raumheizung liegt die thermische Leistung im Bereich zwischen 10 und 30 % des maximalen Leistungsbedarfs (siehe Abb.).



Dauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs

Neben der Wärme muss auch die elektrische Auslastung im Auge behalten werden. Für die Wirtschaftlichkeit eines BHKW ist die Bewertung des Stromes von entscheidender Bedeutung. Hierbei muss betrachtet werden, ob es gewinnbringender ist, den Strom ins öffentliche Netz einzuspeisen oder im Betrieb selbst zu verbrauchen und damit den Strombezug zu senken.



## Info

### Kraft-Wärme-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kopplung als gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Elektrizität trägt aufgrund des hohen Wirkungsgrades tendenziell zur Senkung der Energiekosten beim Anwender bei, verringert aber auch die spezifischen klimarelevanten Emissionen und schont die Energieressourcen. [2]

Mit der konventionellen Stromerzeugung wird lediglich ein Nutzungsgrad von ca. 36 % erreicht. Die entstandene Wärme wird dabei i.d.R. nicht genutzt. Im Gegensatz dazu wird bei der Kraft-Wärme-Kopplung auch die Abwärme verwertet, so dass ein Anlagenwirkungsgrad von 90 % erreicht und die Brennstoffenergie effizienter genutzt werden kann.

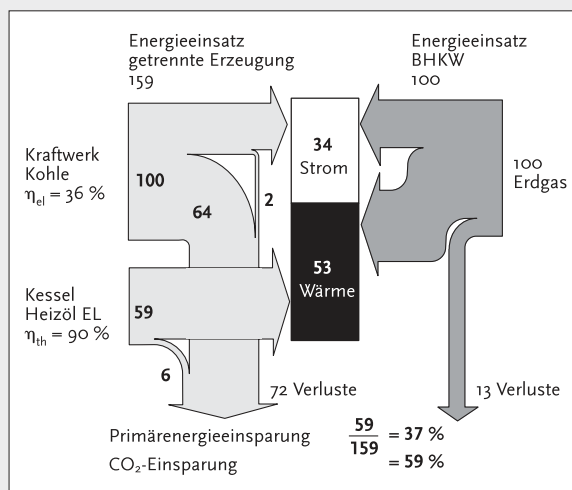
### Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) dient der Kraft-Wärme-Kopplung und besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Als Brennstoff können Heizöl, Erdgas, Flüssig-



Blockheizkraftwerk

gas, Biogas oder auch Pflanzenöl eingesetzt werden. Der Betrieb des BHKW erfolgt wärme- oder stromgeführt, d.h. in Abhängigkeit vom Wärme- oder Strombedarf. Wärmeseitig bieten Pufferspeicher die Möglichkeit, die Wärmeerzeugung und den Verbrauch zeitlich voneinander zu entkoppeln. Dadurch kann ein gleichmäßiger Betrieb des BHKW auch dann erreicht werden, wenn verbraucherseitig schnell schwankende Bedarfssituationen auftreten.



Vergleich der betriebseigenen Stromerzeugung (BHKW) mit einer externen Belieferung

Die Abbildung zeigt, dass 100 Primärenergieeinheiten im BHKW zu 34 Einheiten Strom und 53 Einheiten Wärme umgewandelt werden, die bei richtiger Auslegung des BHKW im Betrieb fast vollständig verbraucht werden. Nur 13 % des Primärenergie-Einsatzes gehen verloren. Würde man dagegen den Strom aus einem Kohlekraftwerk zugeliefert bekommen und die Wärme mit einem ölbetriebenen Heizkessel erzeugen, so würde der Primärenergie-Einsatz 159 Einheiten betragen. Durch das BHKW können also 37% Primärenergie eingespart werden. Die Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt sogar etwa 59%. Diese Einsparungen kommen nicht nur der Umwelt zugute, sondern sie verringern auch die betrieblichen Energiekosten ganz beträchtlich, wenn das BHKW adäquat geplant und betrieben wird.

## 2 Energieeinsparung im Unternehmen

Der Einsatz konventioneller Energieträger wie Heizöl oder Erdgas gestaltet sich aufgrund der hohen Energiepreise wirtschaftlich eher schwierig, wenn keine ausreichende Auslastung der Anlage gewährleistet werden kann. Im Gegensatz dazu kann ein BHKW, welches mit Pflanzenöl betrieben wird, eine bessere Wirtschaftlichkeit aufweisen als die alternative Beheizung durch einen konventionellen Heizkessel, wie folgendes Beispiel zeigt.

### Info



#### Pflanzenöl

Pflanzenöl – hauptsächlich aus Raps - wird sowohl als Fahrzeug-Kraftstoff als auch in BHKW eingesetzt. Verglichen mit Heizöl weist Pflanzenöl eine höhere Viskosität und einen höheren Flammpunkt auf. Aufgrund dieser Unterschiede ist eine speziell angepasste Lager- und Verbrennungstechnik erforderlich. Es wird ein leistungsfähigeres Kraftstoff-

Fördersystem sowie ein Vorwärmesystem zur Herabsetzung der Ölviskosität vor Eintritt in den Motor benötigt. Da Pflanzenöl stärkeren Alterungsprozessen unterliegt, ist besonderes Augenmerk auf die Lagerbedingungen zu legen. Außerdem erfordert der Betrieb mit Pflanzenöl einen höheren Wartungsaufwand.[3]

Quelle: [www.thema-energie.de](http://www.thema-energie.de)

#### ► Beispiel Pflanzenöl-BHKW

Als Ergänzung zum vorhandenen Heizkessel kann ein BHKW eingesetzt werden, welches einen Teil der benötigten Wärmemenge zur Verfügung stellt. Zusätzlich wird Strom produziert, der ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden sollte. Dies ist zu empfehlen, da die Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz bei 19,5 Ct/kWh<sub>el</sub> liegt, was über dem momentanen Strompreis des Weinguts liegt. Es ist somit günstiger, für den Eigenverbrauch Netzstrom zu beziehen.

Das BHKW wird in den vorhandenen Heizkreislauf eingebunden. Dabei werden BHKW und Pufferspeicher in den Rücklauf des Heizkessels integriert und damit die Rücklauftemperatur in den Ölkessel angehoben. Um die Wirtschaftlichkeit eines BHKW zu gewährleisten, sollte dieses eine möglichst lange Laufzeit aufweisen. Hierdurch kann eine größere Menge an Heizöl eingespart werden, außerdem erhöhen sich die Stromproduktion und damit die Erlöse für den eingespeisten Strom. Das BHKW deckt die Grundlast des Wärmebedarfs, der vorhandene Heizkessel die Spitzenlast.

Das BHKW mit einer thermischen Leistung von 24 kW<sub>th</sub> und einer elektrischen Leistung von 12 kW<sub>el</sub> kann etwa 10% des maximalen thermischen Leistungsbedarfs abdecken. Da im Sommer kein Heizbedarf vorliegt sondern Wärme nur für die Warmwasserbereitung benötigt wird, ist eine Vollbenutzungsdauer von ca. 5800 Stunden jährlich realistisch, d.h. dass das BHKW 5800 h/a bei voller Leistung betrieben werden kann.



## Energiebilanz

### Daten des Pflanzenöl-BHKW

	Leistung	Wirkungsgrad
Wärme	24 kW <sub>th</sub>	53 %
Strom	12 kW <sub>el</sub>	27 %
Gesamt	45 kW	80 %

Jährlich werden zurzeit ca. 400 000 kWh an Heizöl benötigt. Bei einem Jahresnutzungsgrad des Heizölkessels von 93 % entspricht dies einer Wärmemenge von rund 372 000 kWh<sub>th</sub>/a. Vom BHKW können 139 200 kWh<sub>th</sub>/a zur Verfügung gestellt werden, was einem Anteil von 37 % entspricht. Die vom BHKW erzeugte Wärmemenge muss folglich nicht mehr vom Heizölkessel bereitgestellt werden. Hierdurch lässt sich eine Heizölmenge von rund 15 000 l/a einsparen.

Es wird eine Strommenge von knapp 70 000 kWh<sub>el</sub>/a produziert.

Der Brennstoffbedarf liegt bei ca. 262 200 kWh/a. Dies entspricht einer Pflanzenölmenge von 31 200 l/a.

### Wirtschaftlichkeit

Für das BHKW inkl. Zubehör, Pufferspeicher und Montage kann von einer Investitionssumme von ca. 35 000 € zzgl. MWSt. ausgegangen werden. Die Wirtschaftlichkeit der Investition ist in folgender Tabelle (rechts) ersichtlich:

Einsparungen werden durch den Stromerlös und die vermiedenen Wärmekosten erzielt. Diese belaufen sich auf ca. 21 900 €/a. Insgesamt liegen die Kosten etwas niedriger als die Einsparungen, so dass in der Summe jährliche Einsparungen von ca. 1 500 € resultieren. Die Investition ist somit wirtschaftlich. Die Wirtschaftlichkeit hängt insbesondere vom Heizölpreis ab. Je teurer das Heizöl ist, umso höher ist die Einsparung, die insgesamt erzielt werden kann. Als weiterer Faktor sind die Vollbenutzungsstunden des BHKWs zu berücksichtigen. Je länger die Laufzeit, umso mehr Strom kann eingespeist und umso mehr Heizöl eingespart werden.

<b>Kapitalkosten</b>	<b>3.400 €/a</b>
----------------------	------------------

<b>Betriebskosten</b>	<b>1.400 €/a</b>
-----------------------	------------------

### Verbrauchskosten

Brennstoffkosten (Preis Pflanzenöl 50 Ct/l)	15.600 €/a
---	------------

### Einsparungen

#### Stromerlös

Stromeinspeisung	69.600 kWh <sub>el</sub> /a
------------------	-----------------------------

Vergütung	19,5 Ct/kWh <sub>el</sub>
-----------	---------------------------

	13.600 €/a
--	------------

#### Vermiedene Wärmekosten

Heizöleinsparung	15.000 l/a
------------------	------------

Heizölpreis	55 Ct/l
-------------	---------

Heizölkosteneinsparung	8.300 €/a
------------------------	-----------

Summe Einsparungen	21.900 €/a
--------------------	------------

<b>Bilanz (Einsparung insgesamt)</b>	<b>1.500 €/a</b>
--------------------------------------	------------------

## 3 Anhang

### 3.1 Abkürzungsverzeichnis

1. BImSchV	Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
a	Jahr
AC	Wechselstrom
bar(ü)	Einheit des Überdrucks
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
EC	Elektronisch kommutiert
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
el	Elektrisch
EnEV	Energieeinsparverordnung
EVG	Elektronisches Vorschaltgerät
h	Stunde
kcal	Einheit der thermischen Arbeit (Kilokalorien)
kHz	Einheit der Frequenz (Kilohertz)
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
kW	Einheit der Leistung (Kilowatt)
kWh	Einheit der Arbeit (Kilowattstunden)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KVG	Konventionelles Vorschaltgerät
l	Liter
lm	Einheit des Lichtstroms (Lumen)
m <sup>3</sup>	Rauminhalt (Kubikmeter)
P	Strombezugsleistung
th	Thermisch (Wärme)
Var	Einheit der elektrischen Blindleistung (Voltampère réactif)
VVG	Verlustarmes Vorschaltgerät
W	Einheit der Leistung (Watt)
WRG	Wärmerückgewinnung

### 3.2 Quellenverzeichnis

- [1] BINE Informationsdienst: Strom sparende Pumpen für Heizungen und Solaranlagen, Projektinfo: 13/01, Bonn, 2001  
Bezug: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Büro Bonn  
Meckenstr. 57, 53129 Bonn  
bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info
- [2] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE e.V.): Die „ökologische Steuerreform“, Verlag rationeller Erdgaseinsatz, Kaiserslautern, 2003  
Bezug: Verlag rationeller Erdgaseinsatz  
Postfach 2547  
67613 Kaiserslautern  
www.asue.de
- [3] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU): Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke, Augsburg, 2003  
Bezug: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU)  
Bürgermeister Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg  
www.bayern.de/lfu
- [4] Ruppelt, E.: Druckluft-Handbuch, Vulkan-Verlag, 4. Auflage, Essen, 2003

Weiterführende Literaturhinweise:

Energieagentur NRW (Hrsg.), REN Impuls-Programm: Druckluft rationell nutzen mit RAVEL NRW – Energie- und kosteneffiziente Bereitstellung von Druckluft, Wuppertal, [www.ea-nrw.de](http://www.ea-nrw.de)

Energieagentur NRW: Energiepfade durch den Betrieb – Ein Leitfaden für Industrie und Gewerbe, Wuppertal, [www.ea-nrw.de](http://www.ea-nrw.de)

Hermes, H.D.: Analysen zur Umsetzung rationeller Energieanwendung in kleinen und mittleren Unternehmen des Kleinverbrauchssektors, Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, 2000

Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, R. Oldenbourg Industrieverlag, München, 71. Auflage, 2003, [www.oldenbourg.de](http://www.oldenbourg.de)

RWE Energie Aktiengesellschaft, Bereich Anwendungstechnik: Bau-Handbuch, Energie Verlag GmbH, Heidelberg, 12. Ausgabe, 1998

Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK): Praxisleitfaden zur Förderung der rationellen Energieverwendung in der Industrie, Verlag Energieberatung GmbH, Essen, 1998

Gloor Engineering, CH-7434 Sufers: [www.energie.ch](http://www.energie.ch) (unabhängige Plattform für Energie Informationen in der Schweiz)

Unternehmen für Ressourcenschutz, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Stadt Hamburg: Energieeffizienz in Unternehmen – Potenziale erkennen und nutzen, Hamburg, 1. Auflage, 2004, [www.ressourcenschutz-hamburg.de](http://www.ressourcenschutz-hamburg.de)

Transferstelle Bingen (Hrsg.): Rationelle und Regenerative Energienutzung – Energiemanagement von der Konzeption bis zur Umsetzung; Verlag C. F. Müller, 2006

## 3 Anhang

### 3.3 Bildnachweis

S. 6	Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen – TSB
S. 11 (links)	ASUE
S. 11 (rechts)	TSB
S. 12	www.wilo.de
S. 13 (links oben)	Kommunikation und Marketing der Landesforsten Rheinland-Pfalz (KOMMA)
S. 13 (links unten)	Holzabsatzfonds
S. 13 (rechts oben)	photocase
S. 13 (rechts mitte)	KOMMA
S. 13 (rechts unten)	Holzabsatzfonds
S. 14	TSB
S. 16	TSB
S. 17	www.s-i-z.de (leicht verändert)
S. 19	TSB
S. 21	FGL – Fördergemeinschaft Gutes Licht
S. 23 (rechts oben)	photocase
S. 23 (rechts mitte)	GEM GmbH
S. 23 (rechts unten)	photocase
S. 26	TSB
S. 28 (links)	TSB
S. 28 (rechts)	TSB
S. 29 (links)	ASUE
S. 29 (rechts)	ASUE
S. 30	pixelquelle
Titelseite: (von oben nach unten)	photocase TSB pixelquelle ASUE photocase

### 3.4 Ansprechpartner

Bei Fragen zum Inhalt der Broschüre oder weiterem Beratungsbedarf:



#### **Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen – TSB**

Am Langenstein 21  
55411 Bingen  
Tel: 06721-98424-0  
Fax: 06721-9842429  
www.tsb-energie.de  
tsb@tsb-energie.de

#### **Unsere Leistungen:**

Energieberatung  
Innovation  
Energiekonzepte  
Energieeffizienz  
Wissenschaftliche Begleitung  
Energiemanagement  
Forschung & Entwicklung  
Zukunftstechnologien  
Weiterbildung

---

### 3.5 Impressum

Ministerium für Umwelt, Forsten und  
Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Str. 1  
55116 Mainz  
Postfach 3160  
55021 Mainz

September 2006

Textliche Gestaltung: Transferstelle Bingen  
Layout: Harald Klein Design, Mainz  
Druck: .....





