

4
2007

GASWÄRME

International

Gas Anwendung in Industrie und Gewerbe

<http://www.gaswaerme-online.de>

Schwerpunkt
Hochtemperaturprozesse

Möglichkeiten der Energieeinsparung an Thermoprossanlagen

Potentials for energy-savings in thermal processing plants and systems

Robert Jasper, Jasper GmbH, Geseke

erschienen in

GASWÄRME International 4/2007

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

Möglichkeiten der Energieeinsparung an Thermoprozessanlagen

Potentials for energy-savings in thermal processing plants and systems



Halle 4
A55

Der vorliegende Artikel soll einen ersten Überblick über die Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Thermoprozessanlagen geben. Hierbei werden interdisziplinäre, also auch voneinander unabhängige Fachgebiete (Brennstoff, Regelungstechnik, Antriebstechnik und Druckluft) behandelt. Der Artikel erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, er will auf die vielfältigen Möglichkeiten der Energieeinsparung hinweisen und als Anstoß für weitere Überlegungen sowie erkennbare, sinnvolle Anwendungen verstanden sein.

This article is intended to provide an initial overview of the potentials for energy-savings in thermal processing installations. Interdisciplinary fields, i.e., sectors independent of one another, such as fuels, control and instrumentation technology, drive and actuation systems, and compressed air systems, are examined in this context. The article makes no claim to completeness and aims, instead, to draw attention to the many potentials for energy-savings, and is intended as an impulse for further deliberation and discernable and rational applications.

„Apokalypse No“ titelte der dänische Statistik-Professor Björn Lomborg damals den Bericht aus dem Jahre 1980: „Global 2000“ [2] und sah die Pessimisten mit Zahlen widerlegt.

Andere Wissenschaftler schrieben jedoch die Warnungen von „Global 2000“ fort, verwiesen auf Waldschadensberichte, Wüstenwachstum und die rapide steigende Umweltbelastung in den Industrie- und Schwellenländern. Allerdings gerade in den reichen Ländern bemerkte man von all dem eher wenig [1].

Genau das befürchtete schon „Global 2000“: Die meisten vorhergesagten Probleme würden erst Jahre nach der Jahrtausendwende allgemein und unmittelbar spürbar sein.

Erwähnt seien die Grenzen des Wachstums [1], die UNO-Studie oder die Arbeiten des IASA [3]. Aber die Mittel zur Pflege und Koordination dieser Modelle fehlten. Wozu auch? Die Programme waren ja doch nicht begreifbar und für die Politiker (die es ja angehen müsste!) auch nicht manipulierbar. Und so lagen sie lange Zeit brach, bis sie durch die Zeitabläufe und die jüngsten Erkenntnisse bestätigt wurden.

Der gerade veröffentlichte Weltklimareport der UNO vom 2. Februar 2007 (IPCC) zeichnet jedenfalls keine erfreulichen Zukunftsszenarien.

Der Bericht umfasst u. a. folgende Zahlen:

- Der heutige Kohlendioxidgehalt der Luft ist der größte seit 650 000 Jahren,
- 78 % der Erhöhung gehen auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurück.

Auch das Allheilmittel „Energiesparen“ gegen Arbeitslosigkeit, Wirtschaftskrisen Außenhandelsdefizite u.v.a. wird heute in fast jeder Rede der Politiker mindestens einmal erwähnt. Aber keinem sind je die echte Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit solcher Projekte und deren Konsequenzen klar geworden.

Viele Firmen beschäftigen sich seit vielen Jahren mit dem Thema „Sparsame und Umweltschonende Energieverwendung“.

Seien es nun Freunde oder Konkurrenten, allen ist eines gemeinsam; sie sind seit vielen Jahren überzeugt von den machbaren,

technischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieproduktivität.

Sie haben allesamt und ungeachtet der allgemeinen Ignoranz zur Umweltsituation Produkte und Verfahren entwickelt, die für einen sparsamen und umweltfreundlichen Umgang mit den Energieressourcen dringend benötigt werden. Sie sind aktuell verfügbar und haben aufgrund der vergangenen Energiepreissteigerungen einen Grad der Wirtschaftlichkeit erreicht, welcher zunehmend Beachtung findet.

Entwicklung der Energiepreise

Der Hunger nach Energie ist beängstigend, das Wirtschaftswachstum weltweit als Garant für steigenden Wohlstand ist der Motor. Durch die Entwicklung der Energiepreise in den vergangenen Jahren wurde Ener-

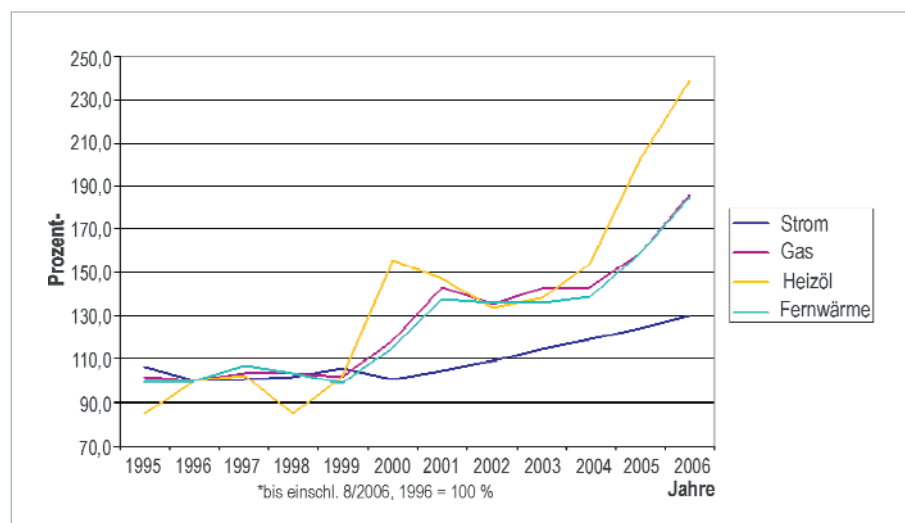


Bild 1: Entwicklung der Energiepreise (Quelle: ennovatis)

Fig. 1: Trend in energy prices (source: ennovatis)



Robert Jasper
Jasper GmbH, Geseke

Tel. 0 29 42/97 47 14
E-Mail:
r.jasper@jasper-gmbh.de

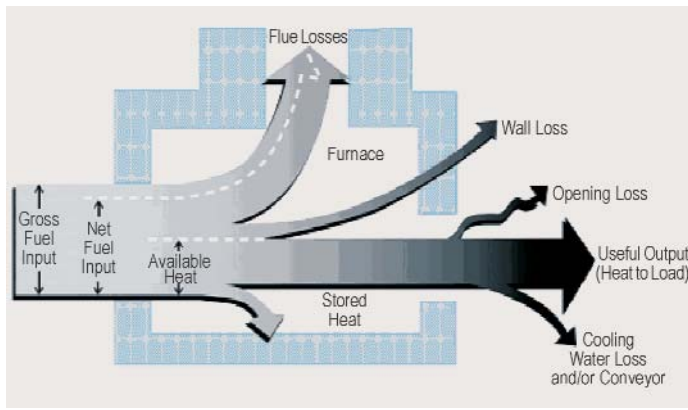


Bild 2: Energieflussgrafik
Fig. 2: Energy-influence chart

Dabei spielt die Wahl des eingesetzten Brennstoffes eine entscheidende Rolle (**Bild 3**). Durch den Einsatz von Regeneratoren vermindert sich nachhaltig der Brennstoffverbrauch und damit in gleichem Maße die CO₂-Emission erheblich.

Als Beispiel hierzu ist eine Feuerungsanlage mit regenerativer Wärmerückgewinnung aus den Abgasen im Vergleich zu einer Anlage ohne diese Technik dargestellt. Die technischen Daten sind aus **Bild 4** zu ersehen, Brennstoff ist Erdgas H. Die Reduzierung der CO₂-Emission beträgt rund 1.190 t/a mit dem erfreulichen Nebeneffekt einer Energieeinsparung von rund 219.000 €/a bei einem angenommenen Erdgaspreis von 3,7 ct/kWh.

Kombieffekt von O₂-Regelung und Regeneratorbrennern bei Aluminiumschmelzöfen durch Verringerung der Metallverluste

Dass Brenneranlagen bei optimaler Einstellung am effektivsten sind, ist kein Geheimnis. Aber wie sind die Auswirkungen durch unzureichende Wartung oder auch nur Unwissenheit? In **Bild 5** wird der Zusammenhang deutlich; erhöht sich der Luftüberschuss bei etwa 1100 Grad C (2000 F) von 10 % auf 25 % (Lambda 1,1 auf 1,25), verringert sich der verfügbare prozentuale Wärmeinhalt um etwa 6 %. Anders ausgedrückt: Es werden rund 14,6 % mehr Brennstoff benötigt. Wie sich das auf den Jahresbrennstoffbedarf auswirkt, kann man schnell selbst bestimmen.

Der Kombieffekt zwischen optimaler Brenner-einstellung (Brennstoff-Luft-Verhältnisregelung mit O₂-Regelung) und Einsatz von Regeneratorbrennern in Aluminiumschmelzöfen ist zum einen die extreme Erhöhung der Verbrennungsluft-Enthalpie. Der hohe Energieinhalt der vorgewärmten Verbrennungsluft reduziert die Verweilzeit des Schmelzprozesses bei gleichzeitig opti-

gie gerade in energieintensiven Bereichen zum bedeutenden Produktionsfaktor (**Bild 1**).

Wohl einer der wichtigsten Gründe zum Energiesparen ist die Motivation zur Kostenreduzierung. Energiesparen bedeutet aber auch eine Steigerung der Energieproduktivität und damit auch eine deutliche Reduzierung der CO₂-Emission.

Möglichkeiten hierzu sind:

- Bessere Ausbeutungstechnik der Ressourcen
- Höhere Wirkungsgrade bei Energieumwandlungsprozessen
- Verbesserung der Regelfähigkeit

zusammengefasst als Steigerung der Energieproduktivität.

Energieeinsparung bei Thermoprozessanlagen

Betrachtet man die Energieflussgrafik in **Bild 2** ist schnell ersichtlich, dass nur etwa 50 % des eingesetzten Brennstoffes direkt dem Produktionsprozess nutzbar zur Verfügung stehen.

Damit wird der wichtigste Ansatzpunkt deutlich: Die Reduzierung der Verluste und Optimierung der Verfahrenstechnik.

Folgende Möglichkeiten sind u. a. verfügbar:

- Nutzung von Erdgas und modernen Brennersystemen mit Abwärmenutzung
- Der Kombieffekt von O₂-Regelung und Regeneratorbrennern bei Aluminiumschmelzöfen: Verringerung der Metallverluste
- Drehzahlregelung von Gebläsen
- Druckluftversorgung

Nutzung von Erdgas und modernen Brennersystemen mit Abwärmenutzung

Die Steigerung der Energieproduktivität, d.h. der Umsatz der eingesetzten Brennstoffe in Produktionsleistung, bedeutet im Industrieofenbau seit Jahren eine ständige Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs pro Produktionseinheit. Damit verbunden sind auch geringere Schmelzkosten und eine drastische Verringerung der Umweltbelastung.

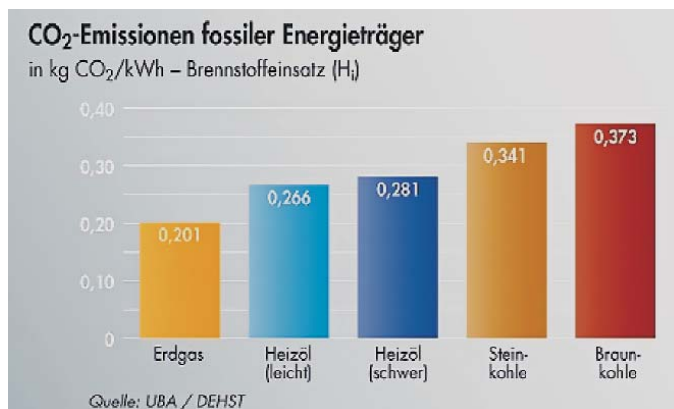


Bild 3: CO₂-Emissionen fossiler Energieträger
Fig. 3: CO₂ emissions from fossil energy sources

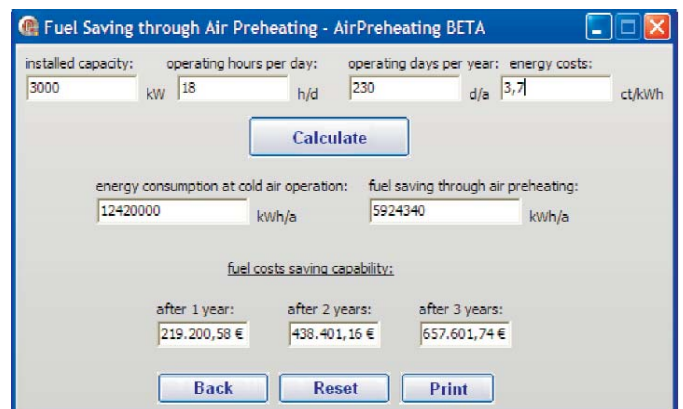


Bild 4: Technische Daten einer erdgasbefeuerten Thermoprozessanlage (Quelle: www.FlammeConsulting.de)
Fig. 4: Technical data for a natural-gas-fired thermal processing installation (source: www.FlammeConsulting.de)

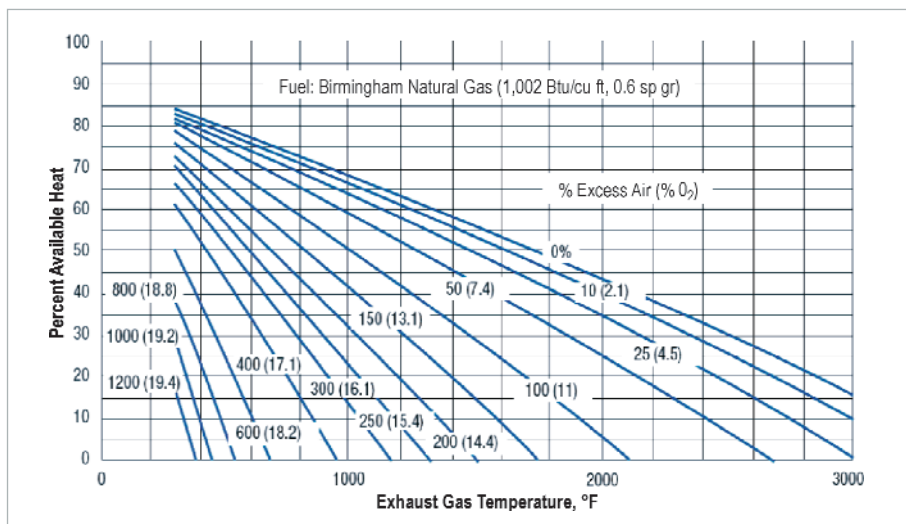


Bild 5: Zusammenhang zwischen Luftüberschuss und verfügbarem Wärmeinhalt
Fig. 5: The correlation between air surplus and available heat content



Bild 6: Wirkungsgradsteigerung und Verbrennungs-Enthalpie bei Lambda 1,2
 (Quelle: www.FlammeConsulting.de)
Fig. 6: Increase in efficiency and combustion enthalpy at $\lambda = 1.2$
 (source: www.FlammeConsulting.de)

malem Sauerstoffgehalt der Verbrennungsluft. Praktische Ergebnisse belegen hierdurch eine Verringerung der Metallverluste durch reduzierte Oxidbildung des Aluminiumbades. In **Bild 6** sind die Wirkungsgradsteigerung und die enorme Erhöhung der Verbrennungsluft-Enthalpie beispielhaft bei Lambda 1,2 dargestellt.

Drehzahlregelung von Ventilatoren an Thermoprozessanlagen

Die Dimensionierung von Ventilatoren erfolgt üblicherweise durch Berechnung oder Abschätzung der Druckverluste und des erforderlichen Volumenstromes bezogen auf den Eintritt (definierte Luftdichte). Hierzu wird der Stoßverlust 1- bis 2-fach, verursacht durch plötzliche Querschnittsänderungen, addiert. Die Auswahl des geeigneten Ventilators erfolgt nach der nächsten sinnvollen Größe. Dadurch wird sichergestellt, dass 100 % des Volumenstromes un-

ter allen Bedingungen zur Verfügung stehen. Dieser „Sicherheits-Zuschlag“ ist der Grund, warum die meisten aller Ventilatoren überdimensioniert sind.

In den meisten Thermoprozessanlagen wird die Brennerleistung entsprechend einer vorgegebenen Temperatur geregelt. Hierbei wird weitestgehend die Drosselregelung zur Anpassung des Luft-Volumenstromes eingesetzt (**Bild 7**).

Durch Veränderung der Klappenstellung (Drossel) wird der Differenzdruck an dieser Stellklappe und damit der Volumenstrom geregelt. Bei sinkendem Volumenstrom sinkt der Druckverlust quadratisch. Die Leistungsaufnahme des Ventilators ändert sich dabei nur wenig.

Die seit einigen Jahren verfügbare Technik, mittels Frequenzumrichter den Volumenstrom bedarfsgerecht zu regeln, hat enorme Vorteile (**Bild 8**).

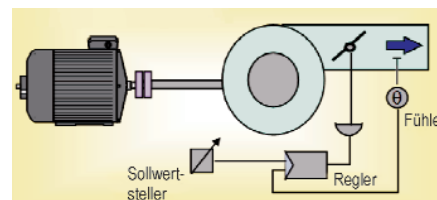


Bild 7: Drosselregelung
 (Quelle ABB Automation Products GmbH)
Fig. 7: Throttle-type regulation
 (source: ABB Automation Products GmbH)

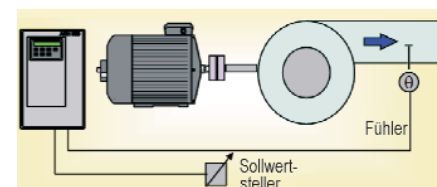


Bild 8: Frequenzumrichter mit PI-Regel
 (Quelle ABB Automation Products GmbH)
Fig. 8: Frequency converter featuring PI control
 (source: ABB Automation Products GmbH)

Der Volumenstrom ändert sich linear mit der Drehzahl, der Druck ändert sich quadratisch. Das bedeutet also: Der Energieverbrauch des Ventilators ändert sich mit der dritten Potenz der Drehzahl. Daraus zeigt sich, dass selbst eine vergleichsweise geringe Drehzahländerung einen bedeutenden Effekt auf die Leistungsaufnahme des Ventilators hat.

In **Bild 9** ist die uns interessierende Abhängigkeit zwischen Volumenstrom und Leistungsaufnahme dargestellt. Betrachtet man beispielhaft den Regelbereich 100 %, 80 % und 50 % des Volumenstromes in Abhängigkeit einer angenommenen Benutzungsstruktur ergibt sich folgende mögliche Einsparung, die **Bild 10** verdeutlicht.

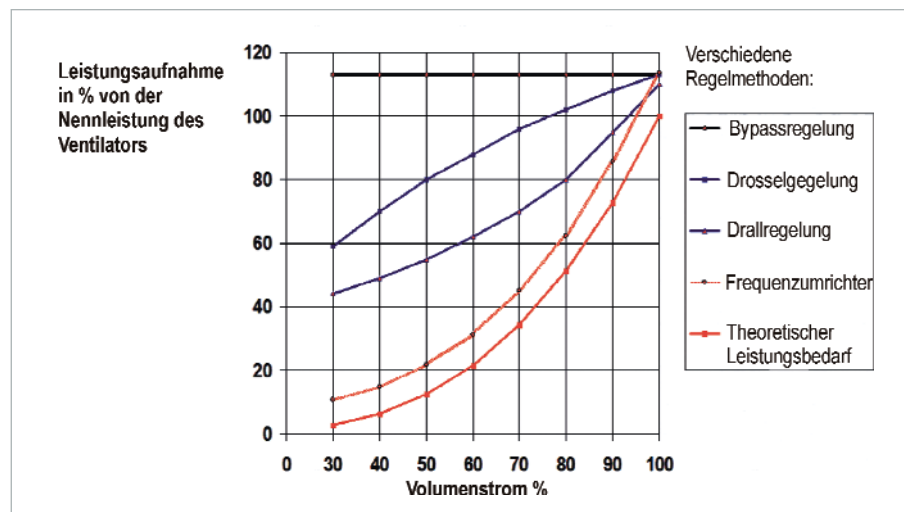


Bild 9: Leistungsbedarf von Ventilatoren
Fig. 9: Power requirement for fans

Nennleistung	90 kW				
Energiekosten/kWh	6 c/kWh				
Benutzungsdauer/a	6500 h				
Drosselregelung					
Luftmenge	Energiebedarf	Betriebsstunden	kWh	Kosten	
100%	90	3250	292500	17550 €	
80%	78	1950	152100	9126 €	
50%	60	1300	78000	4680 €	
				31356 €	
Drehzahlregelung mit Frequenzumrichter					
Luftmenge	Energiebedarf	Betriebsstunden	kWh	Kosten	
100%	90	3250	292500	17550 €	
80%	46,5	1950	90675	5440,5 €	
50%	15,7	1300	20410	1224,6 €	
				24215,1 €	
Einsparung				7140,9 €	

Bild 10: Kosteneinsparung mit Frequenzumrichtern

Fig. 10: Cost-savings achieved using frequency converters

1 = zugeführte Energie, 2 = Abstrahlverluste, 3 = gesamte Wärmeverluste und 4 = mechanische Arbeit zur Druckluftherzeugung!

Hier schlummert ein oft erhebliches Einsparpotenzial, da Druckluft bedingt durch den schlechten Wirkungsgrad zu den teuersten Energieformen gehört.

Wenn die verfügbare Wärmeenergie im Betrieb nutzbar gemacht werden kann, sei es durch Ergänzung der Hallenheizung, Brauchwasserbereitung, Trocknungsprozesse u. a., verdeutlicht nachfolgende Beispielrechnung das enorme Substitutionspotential (**Bild 12**).

Zudem gibt es bei der Druckluftherzeugung oft erhebliche zusätzliche Energieverluste, verursacht durch:

Druckverluste in Versorgungsleitungen (6 % bis 10 % pro bar), unzureichende Kompressorsteuerung (bis 25 %) und insbesondere Leckagen (bis 30 %).

Jeder, der wachen „Ohres“ durch (s)einen Betrieb geht, hat es schon überall zwischen gehört. Beispielhaft werden für 8000 Bh/a, 0,10 c/kWh und 6 bar Druckluftnetz die zusätzlichen Stromkosten bei folgenden Lochdurchmessern angegeben:

3 mm Leckage = 666 l/min = 3,1 kW = 2480 €/a

5 mm Leckage = 1854 l/min = 8,3 kW = 6640 €/a

Fazit

Es ist sehr schwierig am Anfang aufzuheben; die verfügbaren Möglichkeiten zur Energieeinsparung im Bereich der Thermoanlagen sind einfach zu vielfältig. Es bleiben viele weitere mögliche Ansätze unbesprochen, z. B. die Reduzierung von Abstrahlverlusten von Ofenanlagen, weitere Verfahrensoptimierung, Optimierung von Energiebezugsverträgen bis hin zu Energiemanagement-Systemen. Leider drohen die so wichtigen interdisziplinären Kenntnisse und damit die konsequente Anwendung der im Grunde verfügbaren Technologien zur Energieeinsparung in reines Spezialwissen zu verfallen.

Literatur

- [1] „Die neuen Grenzen des Wachstums“ von Donella und Dennis Meadows, IEA, World Energy Outlook; Oktober 2004 – u. a.
- [2] „Bericht“ Global 2000 von 1980“. Eine Umweltstudie, die im Auftrag des amerikanischen Präsidenten von amerikanischen Wissenschaftlern und Regierungsbehörden zusammengestellt und 1980 veröffentlicht wurde.
- [3] „IIASA – Atmospheric Pollution and Economic Development

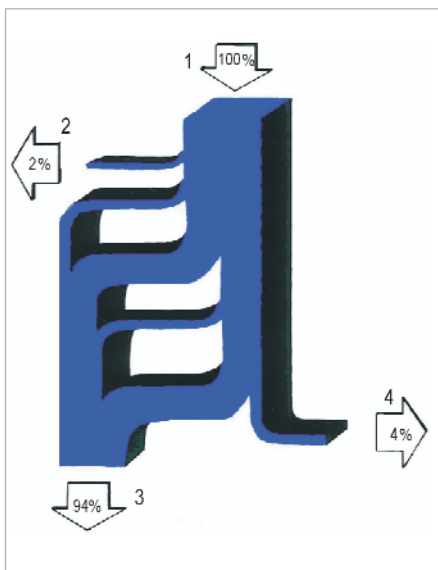


Bild 11: Energiebilanz einer Kompressoranlage (Quelle: Atlas Copco)

Fig. 11: Energy balance of a compressor installation (source: Atlas Copco)

gelung umgestellt. Der Einspareffekt bei ca. 310 kW elektrischer Anschlussleistung beträgt lt. Angabe rund ein Drittel, also eine Reduzierung der Betriebskosten um ca. 100 kW elektrischer Leistung x Strompreis x Betriebsstunden!

Druckluftversorgung

Ein vielfach unbeachtetes Thema ist die Druckluftversorgung (auch) von Thermoanlagen – wenn sie nicht gerade in Gesenkschmiedebetrieben mit elektrischen Kompressorleistungen von 1500 kW und mehr betrieben werden. Diese sogenannte „Hilfsenergie“ führt in der betrieblichen Energiebilanz oft ein Schattendasein. Etwa 94 % der einem Kompressor zugeführten Energie geht als Abwärme verloren, könnte aber genutzt werden.

Der Grund liegt in der bei der Druckluftherzeugung entstehenden Wärme. Dabei entspricht die innere Energie der Verdichtung genau der nach außen abgeführten Wärmemenge abzüglich der mechanischen Arbeit.

Im Allgemeinen wird diese Wärmemenge abgeführt und verpufft ungenutzt.

Bild 11 zeigt die grundsätzliche Energiebilanz einer Kompressoranlage, hierbei sind:

Praktische Erfahrungen belegen die enormen Einsparmöglichkeiten. So wurden z. B. bei der Fa. Oetinger in Ulm die Ventilatoren der Filteranlage auf Frequenzumrichter-Re-

Antriebsleistung	90 KW
Volllastzeit/d	80 %
Betriebszeit	330 Tage/a
nutzbare Wärmemenge des Kompressors (bezogen auf die Antriebsleistung)	75 %
Erdgaspreis	3,5 c/kWh
Hu-Erdgas H	9,98 kWh/m ³
Nutzbarer Wärmestrom Qk =	427.680 kWh/a
Gasmenge die eingespart werden könnte:	42.854 m³/a
Kostenreduzierung bei Abwärmenutzung:	14.969 Euro/a

Bild 12: Energieeinsparung einer Kompressoranlage

Fig. 12: Energy-savings for a compressor installation