



Dokumentation der Fachtagung 29. November 2001

# Effiziente Energienutzung in der Industrie

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg  
Tel.: (0821) 90 71 - 0  
Fax: (0821) 90 71 - 55 56

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

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Einführung</b>	3
Dr. Gerold Hensler, LfU	
<b>Klimaschutz und Kostenreduzierung – (k)ein Widerspruch</b>	4
Dipl.-Ing. Dr. Josef Hochhuber, LfU	
<b>Rationelle Energienutzung beim Einsatz von Elektromotoren in der Industrie</b>	12
Dr.-Ing. Peter Radgen, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe	
<b>Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – Chancen und Möglichkeiten</b>	31
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hermann Kling, MDE Dezentrale Energiesysteme GmbH, Augsburg	
<b>Energiezentrale Druckluftstation – Optimierung und Controlling</b>	40
Dipl.-Ing. (FH) Joachim Ernst, Fa. Kaeser Kompressoren GmbH, Coburg	
<b>Fördermöglichkeiten im Bereich der rationellen Energienutzung</b>	64
Dipl.-Geol. Sabine Stallmann, Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH, Nürnberg	
<b><u>Sektion 1 Maschinenbauindustrie</u></b>	
<b>Möglichkeiten und Potenziale rationeller Energienutzung in industriellen Anlagen des Maschinenbaus am Beispiel der Fa. AGCO GmbH &amp; Co. Zweigniederlassung Asbach-Bäumenheim</b>	68
Dipl.-Phys. Dr. Stefan Blüm, Energieconsulting Heidelberg GmbH, Heidelberg	
<b>Energieeinsparung bei der industriellen Lackierung</b>	76
Dipl.-Ing. Wolfgang Klein, Fraunhofer-Institut für Produktionsplanung und Automatisierung, Stuttgart	
<b>Innovative Konzepte zur Absaugung von Schweißrauch und anderer Schadgase</b>	86
Dr.-Ing. Klaus Rabenstein, Fa. Herding GmbH, Amberg	
<b>Energieteams zur Umsetzung des innerbetrieblichen Energiemanagements</b>	102
Dipl.-Ing. Andre Dietz, Robert Bosch GmbH, Bamberg	
<b>Aktivitäten der Maschinenbauindustrie im Bereich rationeller Energienutzung</b>	120
Dipl.-Ing. Erhard Ledwon, VDMA, Frankfurt	

## **Sektion 2 Kunststoff-verarbeitende Industrie**

<b>Energieeinsparung durch optimierten Einsatz von Kühltürmen – ein Pilotprojekt der Sulzer + Escher Wyss GmbH, Lindau und der Fa. Frei Lacke, Bräunlingen</b>	125
Dipl.-Ing. Hans-Peter Frei, Sulzer Escher Wyss GmbH, Lindau	
<b>Lüftung und Klimatisierung in Betriebsgebäuden der Kunststoffindustrie</b>	136
Dipl.-Ing. Martin Zuckermaier, Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Gerhard Duschl, Rosenheim	
<b>Möglichkeiten und Potenziale rationeller Energienutzung in industriellen Anlagen der Kunststoff-verarbeitenden Industrie am Beispiel der Fa. Fränkische Rohrwerke, Königsberg</b>	142
Dipl.-Phys. Dr. Stefan Blüm, Energieconsulting Heidelberg GmbH.	
<b>Aktivitäten der Kunststoff-verarbeitenden Industrie im Bereich rationeller Energienutzung</b>	158
Dipl.-Ing. Gerhard Loos, GKV / IBÜLO Ingenieur Consulting	
<b>Neuerungen in der Anlagen- und Verfahrenstechnik für rationellen Energieeinsatz in der kunststoffverarbeitenden Industrie – IMC-Spritzgießcompounder erhöht Wertschöpfung</b>	165
Dr.-Ing. Erwin Bürkle, Fa. Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, München	
<b>Referentenverzeichnis</b>	170

## Einführung

**Dr. Gerold Hensler, LfU**

Sehr geehrte Damen und Herren,

zu der Fachtagung „Rationelle Energienutzung in der Industrie“ begrüße ich Sie sehr herzlich hier am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (LfU) in Augsburg.

Die Deutsche Wirtschaft hat – vertreten durch 19 Spitzen- und Fachverbände – erstmals 1995 gegenüber der Bundesregierung eine Erklärung zum Klimaschutz abgegeben. Danach verpflichtete sie sich, auf freiwilliger Basis den spezifischen Energieverbrauch bis zum Jahr 2005 um bis zu 20% zu verringern (auf der Basis von 1997). 1996 erfolgte eine Aktualisierung dieser freiwilligen Selbstverpflichtung insofern, als nunmehr das Basisjahr 1990 gelten sollte. 1999 war bereits eine relative Minderung von 23% CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die deutsche Wirtschaft erreicht. Im Jahr 2000 einigte sich die deutsche Industrie noch einmal mit der Bundesregierung, das Klimaschutzziel anzuheben. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen bis 2005 um 28% und die Emissionen der sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls („Kyoto-Gase“) um 35% bis 2012 gesenkt werden.

Der weit überwiegende Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen rührt aus der Bereitstellung und Umwandlung fossiler Energieträger her. Das LfU unterstützt die freiwilligen Anstrengungen der Industrie zur Verringerung ihres Energieverbrauchs bzw. der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Für verschiedene Industriebereiche werden von einer Projektgruppe am LfU in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern Studien beauftragt und erarbeitet, in denen die Potenziale einer effizienten Energienutzung anlagen- und branchenspezifisch aufgezeigt werden. Darüber hinaus werden branchenübergreifende Themen behandelt. Diese Informationen werden in Berichten oder bei Tagungen – wie der heutigen – allen Interessierten zur Verfügung gestellt. Die Berichte über die Untersuchungen in der Maschinenbauindustrie und der Kunststoff-verarbeitenden Industrie, die Gegenstand der heutigen Tagung sind, werden in Kürze gedruckt und an die bayerischen Industriebetriebe verschickt.

Das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen hat für die z.T. sehr umfangreichen Untersuchungen jeweils die finanziellen Voraussetzungen geschaffen.

Auf der heutigen Veranstaltung wird – ausgehend von den den zwei Teilprojekten in der Maschinenbau- und Kunststoff-verarbeitenden Industrie über identifizierte Energie- und damit auch Kosteneinsparungspotenziale berichtet werden. Es ist vorgesehen, im ersten Teil der Veranstaltung branchenübergreifende Themen abzuhandeln. So wird z.B. über Perspektiven der Kraft-Wärme-Kopplung, Energieeinsparung durch effizienten Betrieb von elektrischen Antrieben allgemein und Druckluftanlagen im Speziellen sowie über Fördermöglichkeiten berichtet.

Nach der Mittagspause wird die Veranstaltung in zwei parallele Sektionen aufgeteilt. Dort wird näher auf die spezifischen Besonderheiten der beiden Industriebranchen eingegangen.

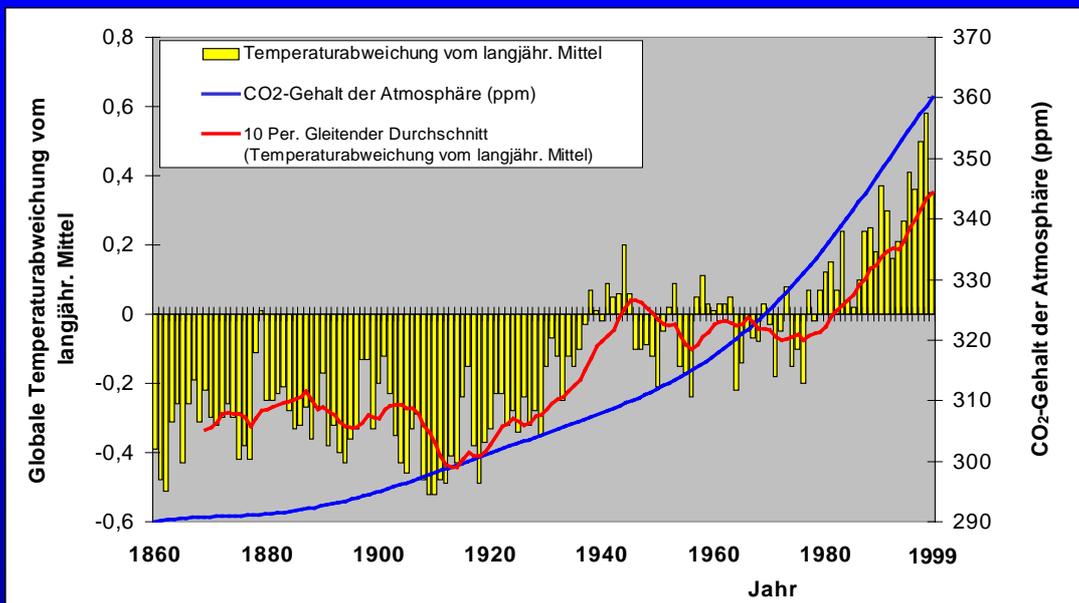
Ich wünsche allen Teilnehmern auch im Namen unserer Projektgruppe einen interessanten Verlauf der Veranstaltung.

## Klimaschutz und Kostenreduzierung – (k)ein Widerspruch

Dipl.-Ing. Dr. Josef Hochhuber, LfU

Klimaforscher sind sich heute weitgehend einig, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen dem Anstieg des Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Gehaltes in der Atmosphäre und einer Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur. Die Prognosen für den Anstieg der globalen Temperaturen in den nächsten 100 Jahre liegen bei 1,4 bis 5,8°C. Dies würde die Gefahr von Überschwemmungen, Stürmen und Dürren erheblich steigern.

### Zeitlicher Verlauf von CO<sub>2</sub>-Gehalt und Globaltemperatur in der Erdatmosphäre 1860-1999



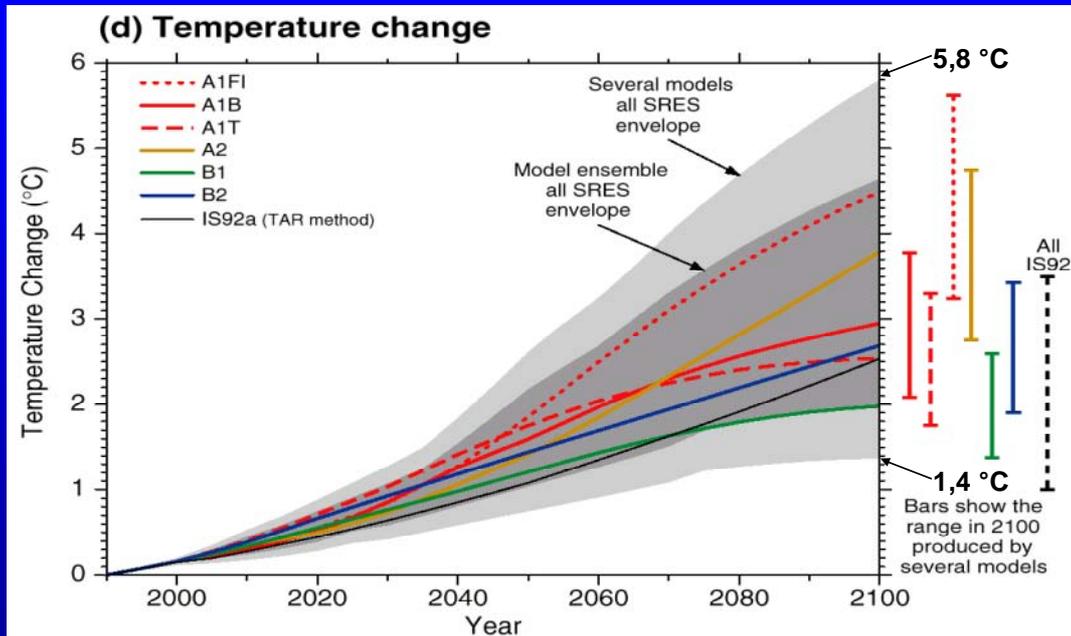
Quellen: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change  
WMO World Meteorological Organization



In Deutschland hat CO<sub>2</sub> einen Anteil an den Emissionen der sechs sog. Kyoto-Gase von ca. 87%. Der starke Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre ist weitgehend auf die Verfeuerung fossiler Energieträger zurückzuführen. 85% der hierzulande emittierten Treibhausgase sind auf die Verfeuerung fossiler Energieträger zum Zwecke der Energiebereitstellung zurückzuführen. Der effizienten Verwendung von Energie kommt daher im Sinne des Klimaschutzes entscheidende Bedeutung zu.

Die Deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2005 bezogen auf den Stand von 1990 die jährlichen Emissionen von CO<sub>2</sub> um 25% zu reduzieren. Darüber hinaus wird die Bundesrepublik voraussichtlich im Jahr 2002 ihre Verpflichtung ratifizieren, in der Folge des Kyoto-Protokolls den Ausstoß der sechs „Kyoto-Gase“ bis zum Jahr 2012 um 21% zu senken. Auch der größte Teil der deutschen Industrie hat sich zu einer erheblichen Senkung der Emissionen von Treibhausgasen bezogen auf seine Produktion (je nach Branche z.B. Umsatz, Produktionsmenge) in einer freiwilligen Selbstverpflichtung bekannt. Die ist Ausdruck dafür, dass von der Industrie selbst noch erhebliche weitere Energiesparpotenziale gesehen werden.

## Prognosen für die Veränderung der Mitteltemperaturen



Quelle: IPCC – 3. Sachstandbericht



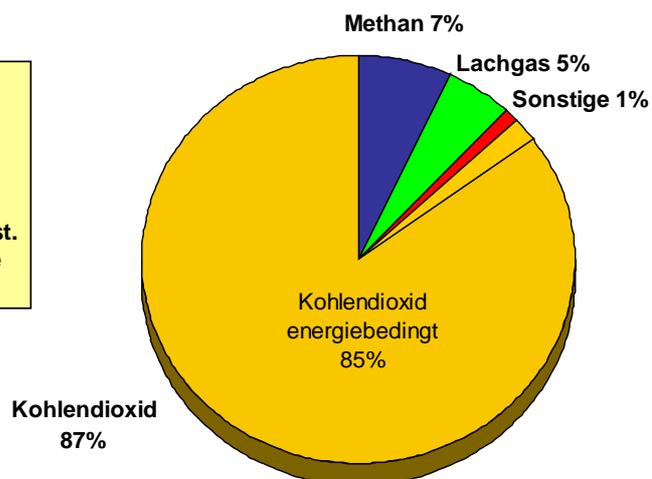
BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

## CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energiebedarf

### Anteile der "Kyoto-Gase" in Bayern (CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

#### 6 Kyoto-Gase:

- Kohlendioxid CO<sub>2</sub>
- Methan CH<sub>4</sub>
- Distickstoffoxid/Lachgas N<sub>2</sub>O
- Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>
- teilhalogenisierte Kohlenwasserst.
- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe



Quelle: Bay. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen

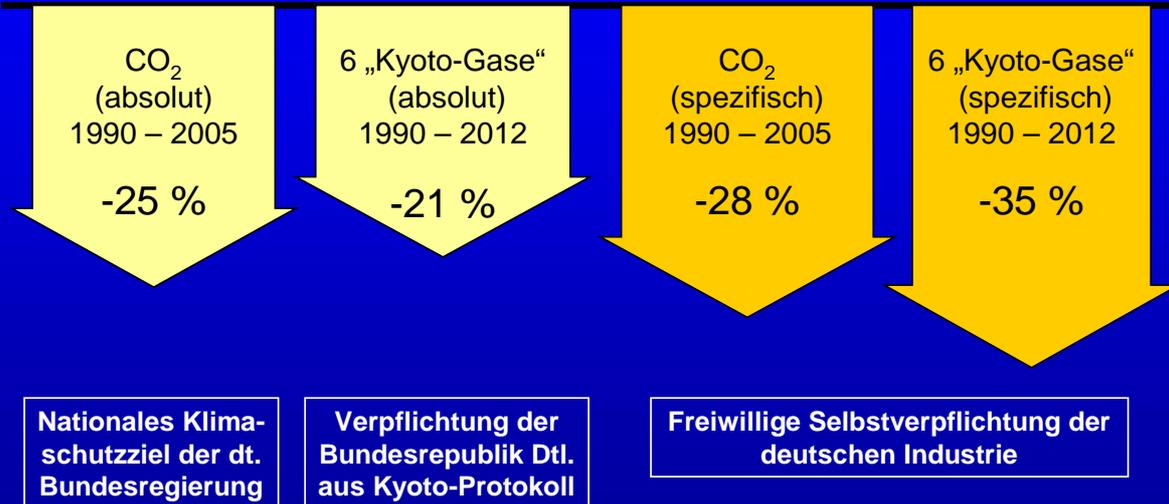


BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

## Minderungsziele für CO<sub>2</sub>- und „Kyotogas-“ Emissionen

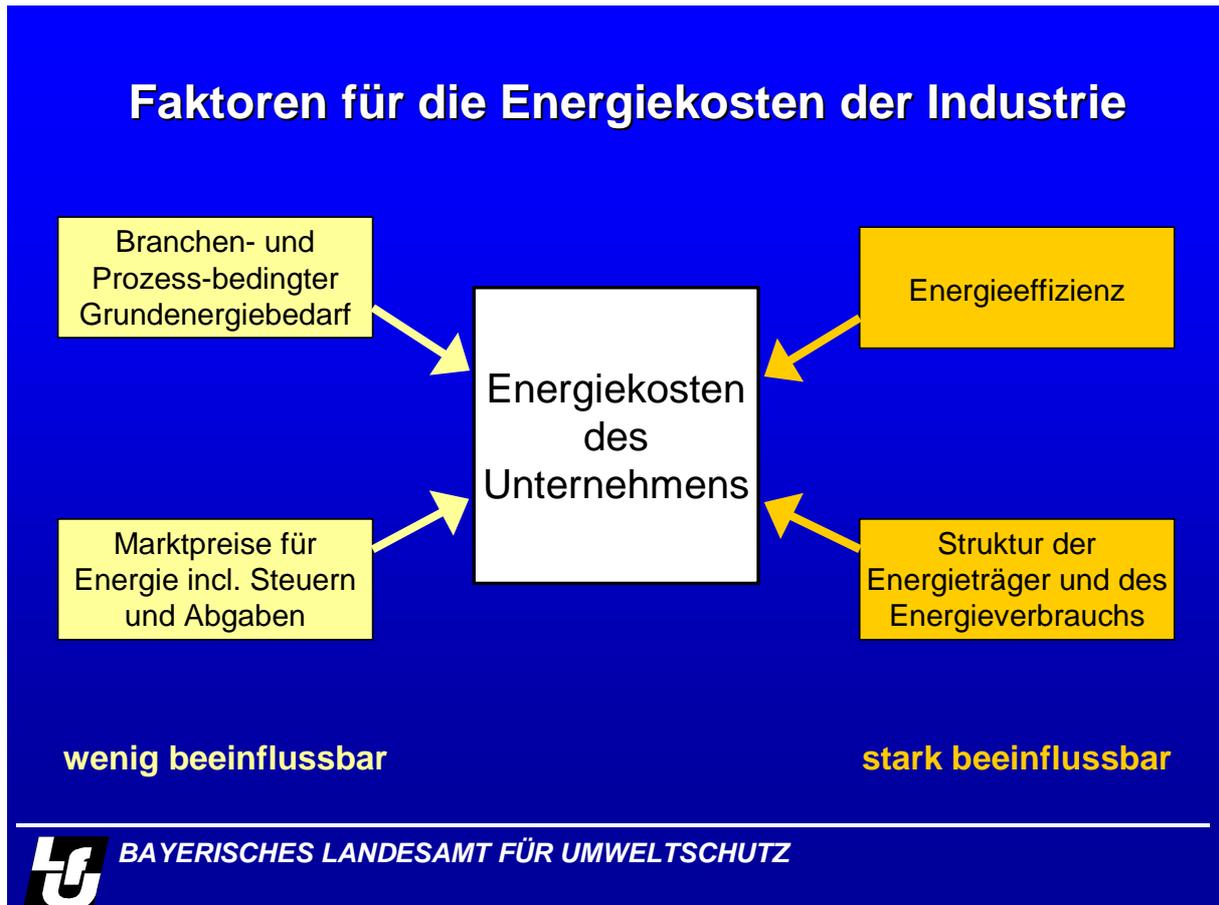
### Bundesrepublik Deutschland

### Deutsche Industrie



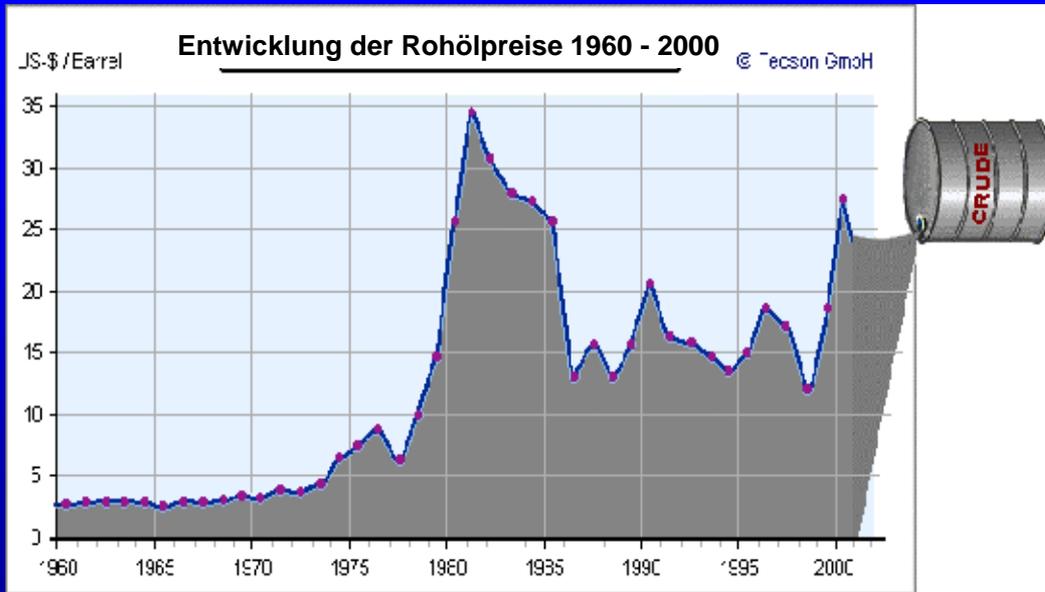
BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

Die Energiekosten eines Unternehmens werden im Wesentlichen bestimmt vom Prozess-bedingten Grundenergiebedarf, von den Marktpreisen für Energie (incl. Steuern und Abgaben), von Struktur der betrieblichen Energieträger bzw. der Verbrauchsstruktur und von der Energieeffizienz. Letztere lässt sich vom Betrieb sehr gut beeinflussen und soll hier näher thematisiert werden.



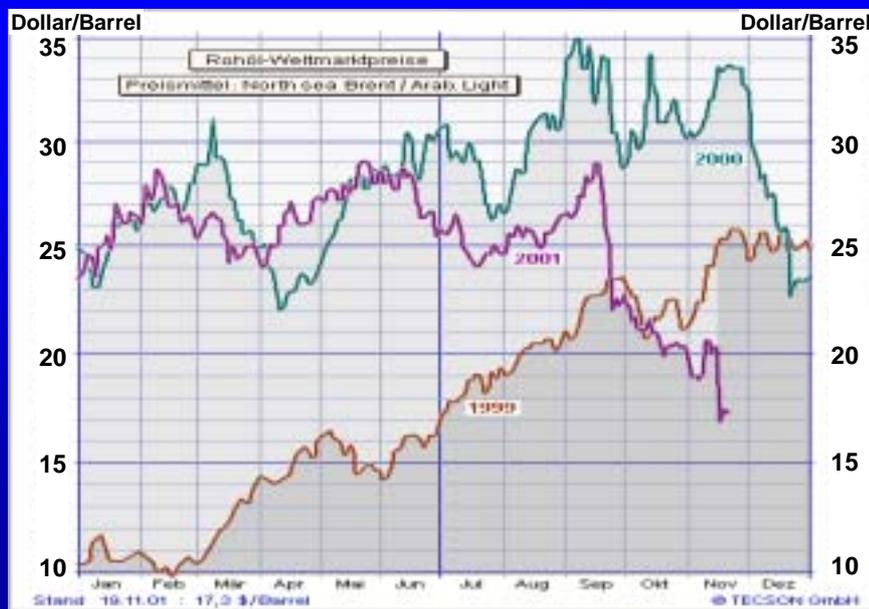
Durch Steigerung der Energieeffizienz ist in deutschen Industriebetrieben seit den Siebziger Jahren der Anteil der Energiekosten am Umsatz um die Hälfte gesunken. Dies zeigte sich deutlich darin, dass die Industrie den starken Anstieg der Ölpreise 1999 und 2000 wesentlich besser verkraftete als zur Zeit der Ölkrise in den Siebziger Jahren. Eine geringere Abhängigkeit von den Schwankungen der Energiepreise bedeutet bessere Kalkulationssicherheit für das Unternehmen.

## Entwicklung der Rohölpreise



**LU** BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

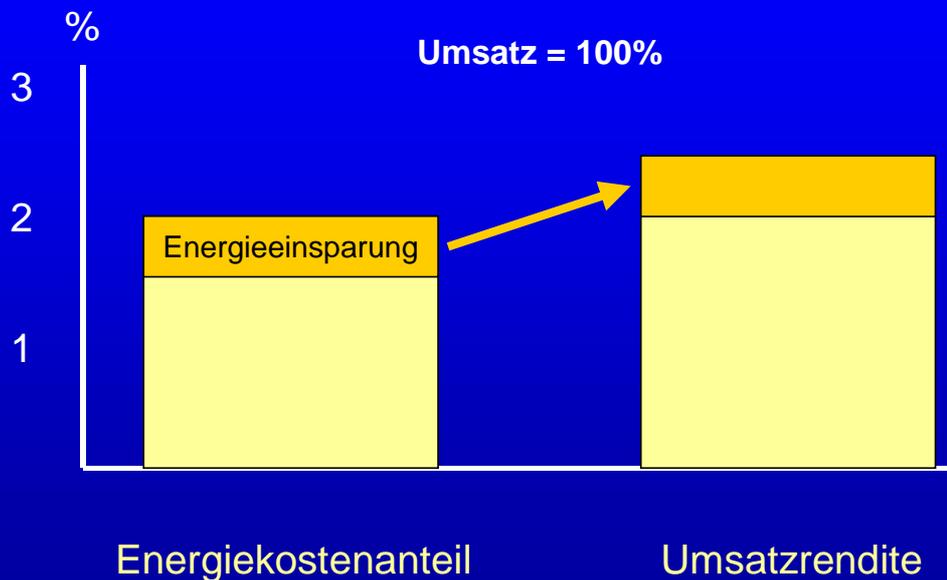
## Entwicklung der Rohölpreise



**LU** BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

Der heutige Anteil der Energiekosten am Umsatz mag zwar niedrig erscheinen, Einsparungen (nach Amortisation der Investitionen) an Energiekosten führen aber direkt zu Erhöhung des Unternehmensgewinns. Bei derzeitiger Umsatzrendite von ca. 2% und angenommenem Energiekostenanteil am Umsatz von ebenfalls 2% kann eine Senkung der Energiekosten um ein Viertel eine Erhöhung der Umsatzrendite ebenfalls um ein Viertel bedeuten.

## Energieeinsparung und Umsatzrendite



BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

Es ist zwar unbestritten, dass manche Energiesparmaßnahmen unakzeptabel lange Amortisationszeiten aufweisen, auf der anderen Seite gibt es oft eine Vielzahl von Maßnahmen, die sich in kürzester Zeit rentieren oder oft nicht einmal Investitionen erfordern. Ernst Ulrich von Weizsäcker, der Neffe des früheren Bundespräsidenten nennt in seinem Buch „Faktor vier“ zahlreiche Beispiele, wie mit halbiertem Ressourcenverbrauch der Wohlstand verdoppelt werden kann, wie also die Energieeffizienz um den Faktor 4 gesteigert werden kann. Die Grundprinzipien dabei sind:

- Verfolgung und Hinterfragung von Ursachenketten und
- Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen

Bei der Zusammenarbeit des LfU mit Betrieben im Rahmen des Projektes zeigt sich immer wieder, wie zutreffend diese Prinzipien sind. Folgende Beispiele geben wieder, wie mit einfachsten Mitteln und durch das Hinterfragen von Ursachen Mängel bei der Energieeffizienz behoben werden können:

## Beispiel für Ursachenforschung: Betrieb der Kunststoff-verarbeitenden Industrie

### Situation im Betrieb:

- Kältemaschinen kommen an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit
- Betriebsleitung erwägt Vergrößerung der Kälteanlage

### WARUM ?

- Wegen der niedrigen Solltemperatur von 14°C fast keine freie Kühlung möglich
- Benötigte Kühlwassertemperatur im Betrieb: 18-20°C
- Verwendung des Kühlwassernetzes für Kühlung der Büroräume im Sommer
- Büroräume und Kältezentrale an verschiedenen Enden des Betriebes
- Dadurch Betrieb des Kältenetzes bei 14°C im ganzen Betrieb notwendig
- Fenster der gekühlten Büroräume im Sommer trotz Kühlung geöffnet

Lösung: Schließen der Bürofenster / Abkopplung des Bürogebäudes



BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

## Beispiel für Ursachenforschung: Betrieb des Elektromaschinenbaus

### Situation im Betrieb:

- Wegen Gefahr elektrostatischer Aufladungen muss Luftfeuchtigkeit über 50% liegen
- Kapazität der Befeuchtungsanlage reicht nicht aus
- Betriebsleitung erwägt Vergrößerung der Befeuchtungsanlage

### WARUM ?

- Wegen der früheren Verwendung von Lösemitteln war in den ca. 8 m hohen Produktionshallen dreifacher Luftwechsel pro Stunde notwendig.
- Nach Umstellung auf lösemittelfreie Verfahren wurden diese Luftwechselraten beibehalten.
- Durch den hohen Eintrag trockener und Austrag feuchter Luft sind extrem hohe Befeuchtungsraten erforderlich

Lösung: Zurückdrehen/Teilabschaltung der Lüftungsgebläse



BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

Das LfU trägt dem Umstand Rechnung, dass häufig nur ein Informationsdefizit Betriebe davon abhält, Energie effizient zu nutzen. In branchenspezifischen und branchenübergreifenden Teilprojekten werden anhand von möglichst repräsentativen Partnerbetrieben die Energiesparmöglichkeiten herausgearbeitet, hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet und anderen Unternehmen der Branche zugänglich gemacht. Der Ablauf dieser Teilprojekte ist im Folgenden dargestellt:



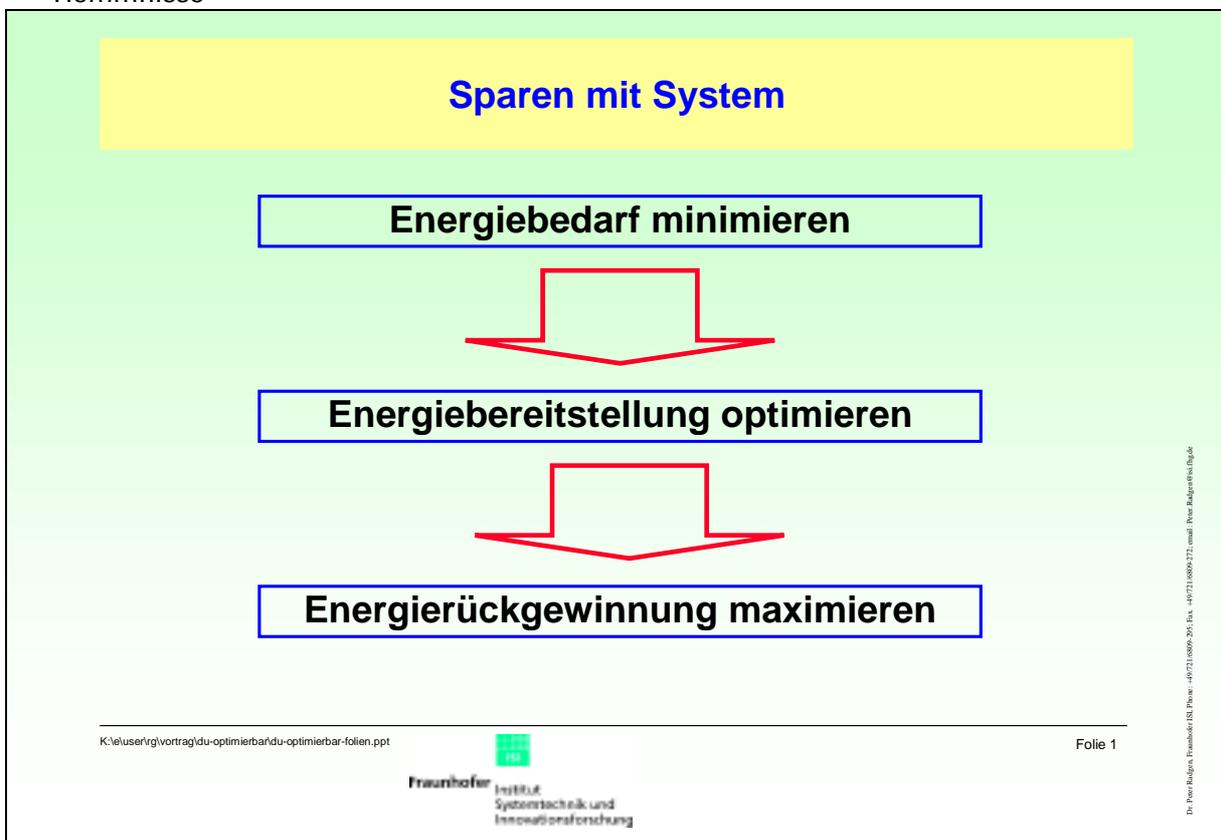
Wir hoffen, dass durch diese Fachtagung mit ihren zahlreichen Praxisbeispielen für wirtschaftlich rentable Energieeinsparung eines deutlich wird:

Klimaschutz und Kosteneinsparung sind kein Widerspruch.

# Rationelle Energienutzung beim Einsatz von Elektromotoren in der Industrie

Dr.-Ing. Peter Radgen, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

- Elektromotoren
- Pumpensysteme
- Ventilatorensysteme
- Druckluftsysteme
- Einsparpotenziale, Maßnahmenbündel und Umsetzung
- Hemmnisse



## Energieeinsparpotentiale

**Der Energieverbrauch von Motorsystemen hängt nicht allein von der Effizienz einer einzelnen Komponente des Systems ab, sondern insbesondere vom **Zusammenspiel und der Effizienz aller Komponenten** des Gesamtsystems.**

**Beispiel Druckluftsysteme**

**Erzeugung:**

- Antrieb
- Kompressor
- Druckluftaufbereitung

**Verteilung:**

- Druckluftnetz

**Anwendung:**

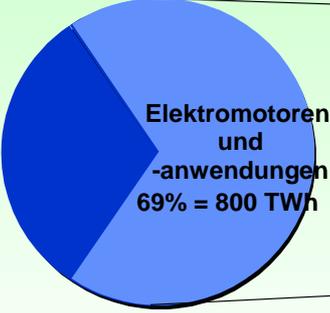
- Maschinen
- Werkzeuge
- Transport

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt Folie 2

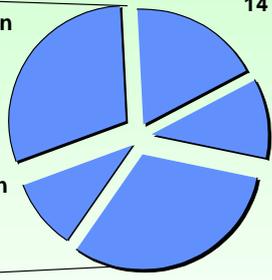

**Fraunhofer** Institut Systemtechnik und Innovationsforschung

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6869 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Stromverbrauchsanteile für Elektromotoren in der Industrie (EU)



**Elektromotoren und -anwendungen**  
69% = 800 TWh



**Pumpen** 30 %  
**Luftkompressoren** 10 %  
**Ventilatoren** 14 %  
**Kältemaschinen** 14 %  
**Andere Anwendungen: Mischen, Rühren, Transportieren, etc.** 32 %

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt Folie 3


**Fraunhofer** Institut Systemtechnik und Innovationsforschung

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6869 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

# Elektromotoren



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 4

Dr. Peter Buegler, Fraunhofer IIS, Phone: +49 731 6809 272, Email: Peter.Buegler@iis.fhg.de

## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei elektrischen Antrieben

- Verbesserung des Wirkungsgrads  $\Rightarrow$  energieeffiziente Motoren
- Drehzahlregulierung im Teillastbereich
- Richtige Auswahl des Motors, korrekte Dimensionierung
- Minimierung der Laufzeiten

### Energieeffiziente Motoren

Technisches Potential 3 %

Wirtschaftliches Potential 2 %  $\Rightarrow$  2,7 TWh/a

### Drehzahlgeregelte Motoren

Technisches Potential 20 %

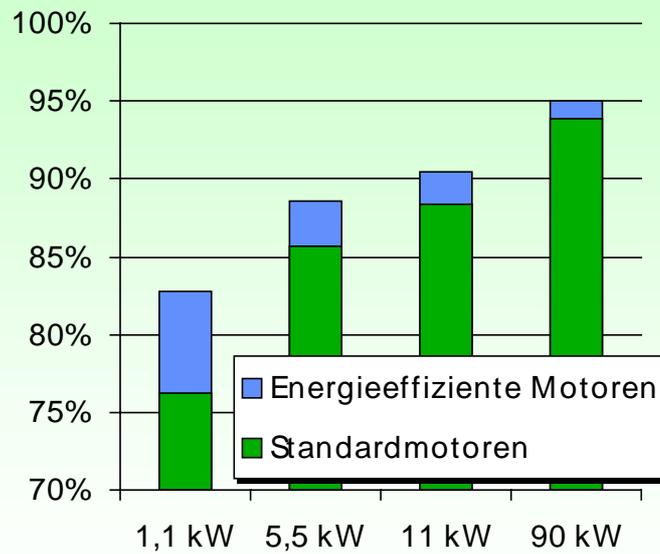
Wirtschaftliches Potential 11 %  $\Rightarrow$  16 TWh/a

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 5

Dr. Peter Buegler, Fraunhofer IIS, Phone: +49 731 6809 272, Email: Peter.Buegler@iis.fhg.de

## Möglichkeiten der Energieeinsparung bei elektrischen Antrieben durch energieeffiziente Motoren



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

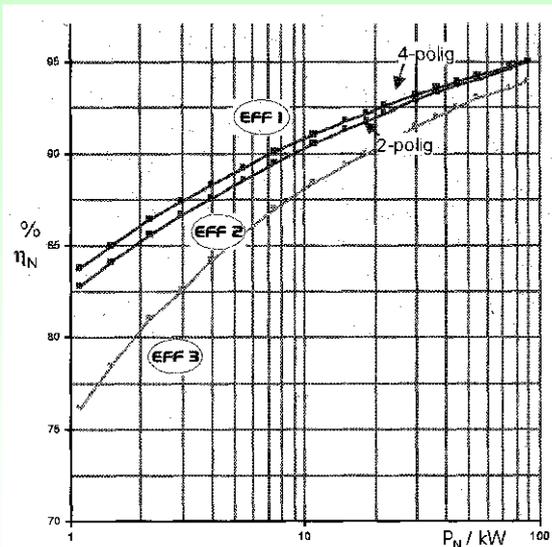
Folie 6

Dr. Peter Bader, Fraunhofer ILR, Phone: +49 731 6809 272, email: Peter.Bader@ilr.fhg.de

## Kennzeichnung von Elektromotoren und Selbstverpflichtung der Hersteller

- EFF 1** Ein bis zwei Prozent der derzeit verkauften Motoren in der EU
- EFF 2** Ein Drittel der derzeit verkauften Motoren in der EU
- EFF 3** Zwei Drittel der derzeit verkauften Motoren in der EU

**Ziel:**  
Senkung des Anteils der eff3-Motoren um 50 % bis 2003



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 7

Dr. Peter Bader, Fraunhofer ILR, Phone: +49 731 6809 272, email: Peter.Bader@ilr.fhg.de

## Energieeinsparung durch die Kennzeichnung und Selbstverpflichtung der Hersteller von Elektromotoren

**eff1: Einsparung gegenüber eff3 um durchschnittlich 40 %**

**eff2: Einsparung gegenüber eff3 um durchschnittlich 20 %**

**Ersatz von 50 % der eff3-Motoren durch eff2-Motoren**

**⇒ Jährliche Einsparungen von 3 TWh in der EU**

**Ersatz durch eff1-Motoren**

**⇒ Zusätzlich Einsparungen von 400 GWh je Prozentpunkt Verbesserung**

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

## Lagerhaltung und Einsatz hocheffizienter Motoren

- Bei Betrachtungen zum Einsatz von hocheffizienten Elektromotoren wird bei direktem Kostenvergleich meist unterstellt, dass der Einsatz nur für große Motoren mit hohen Betriebsstundenzahlen sinnvoll und wirtschaftlich ist.
- Bei einem Kostenvergleich sind neben den Investitionskosten jedoch häufig die Lager und Vorhaltekosten und das dadurch gebundene Kapital mit zu berücksichtigen.
- Dabei wird häufig übersehen, dass die größten Einsparpotentiale durch hocheffiziente Motoren im Bereich kleiner Motoren liegt, da große Normmotoren bereits sehr hohe Wirkungsgrade erreichen.
- Ergebnisse von vergleichenden Analysen unter Berücksichtigung der Lagerhaltung kommen zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von hocheffizienten Motoren insbesondere auch im Bereich kleiner Leistungen wirtschaftlich sind

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Größenklassen:

1 = 0,75-7,5 kW

2 = 7,5-75 kW

3 = 75 - 750 kW

4 = >750 kW

# Pumpen



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 10

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer IIS, Phone: +49 71 6869 227, Email: Peter.Badgley@iis.fhg.de

## Pumpen: Größter Anteil am Stromverbrauch von elektrischen Antrieben

### Pumpen arbeiten häufig unter der möglichen Effizienz:

- falsche Auslegung, Teillastbetrieb
- Alterung: Verschlechterung der Effizienz um 10 bis 15 % bei schlechter Wartung

### Abhilfe:

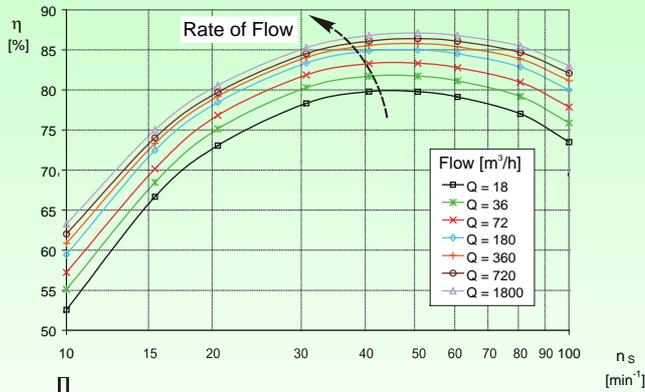
- Auslegung der Pumpe auf den häufigsten Betriebspunkt
- Regelmäßige Wartung
- Regelung durch Drehzahlveränderung statt Drosselung des Förderstroms

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 11

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer IIS, Phone: +49 71 6869 227, Email: Peter.Badgley@iis.fhg.de

## Der Einfluss des Volumenstroms auf den Wirkungsgrad



Specific speed:

$$n_s = n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

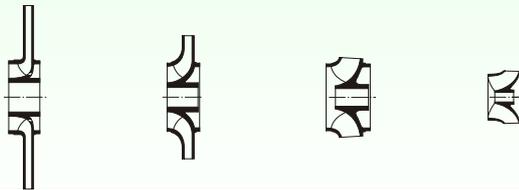
$$n_s [\text{min}^{-1}], \quad n [\text{min}^{-1}], \quad Q \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right], \quad H [\text{m}]$$

$$n_{s,US-units} = 51.64 \cdot n_s$$

In the following:

$$n = 1450 \text{ min}^{-1}$$

$$Q = 180 \text{ m}^3/\text{h}$$



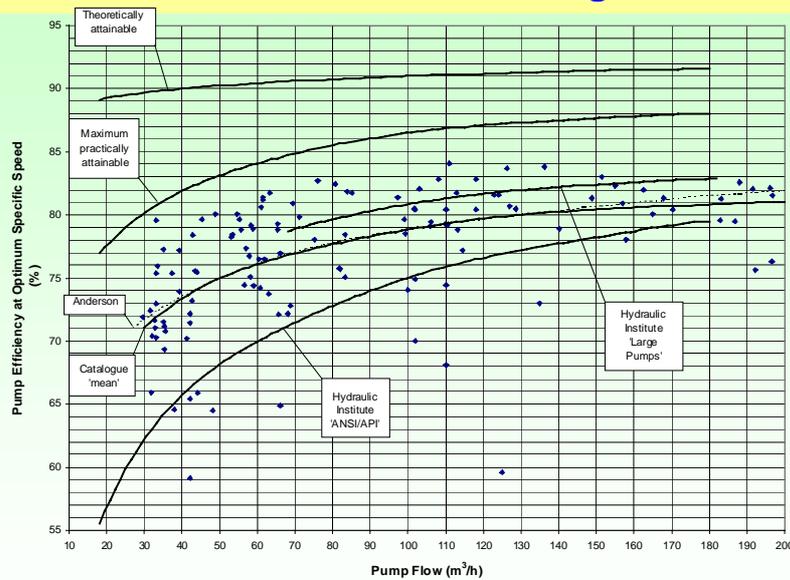
K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 12

Dr. Peter Bader, Fraunhofer IPT, Phone: +49 721 6969-227, Email: Peter.Bader@ipt.fhg.de

## Vergleich des Wirkungsgrades von Pumpen aus verschiedenen Quellenangaben



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

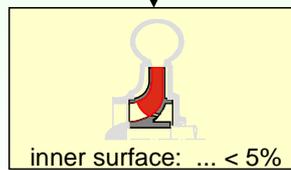
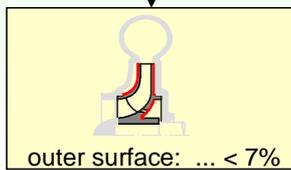
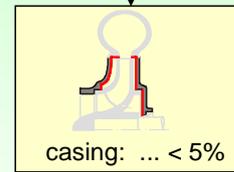
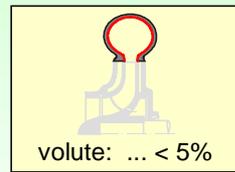
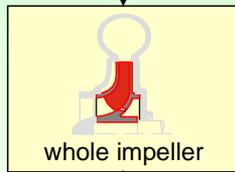
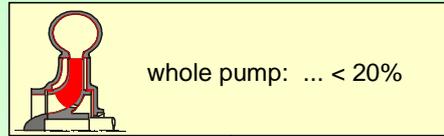


Folie 13

Dr. Peter Bader, Fraunhofer IPT, Phone: +49 721 6969-227, Email: Peter.Bader@ipt.fhg.de

## Maximale Wirkungsgradverbesserung durch Glättung der Oberflächen

Surface roughness before smoothing:  
( $k_s = 0,4 \text{ mm}$ )



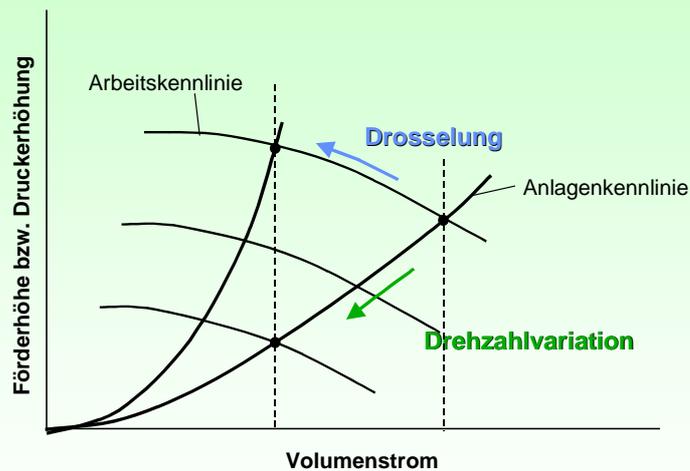
The specified values of efficiency gain are per cent points

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 14

## Regelung von Strömungsmaschinen

**Die Leistung steigt mit der dritten Potenz der Drehzahl und des Förderstroms**



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 15

# Ventilatoren

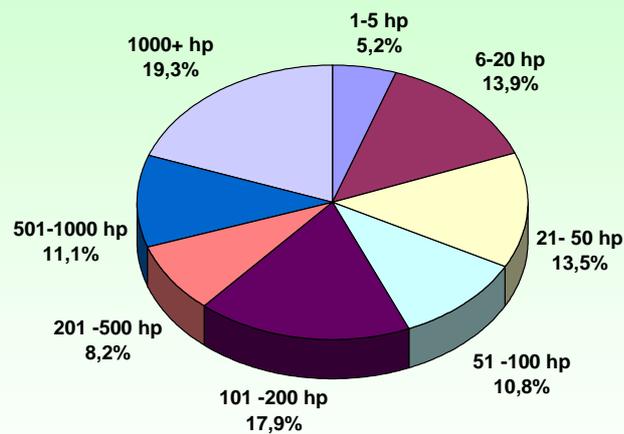


K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 16

## Verteilung des Energieverbrauch von Ventilatoren nach Größenklassen (USA)

Distribution of electricity consumption for fans by motor size  
(SIC 20-39 Overall Manufacturing)

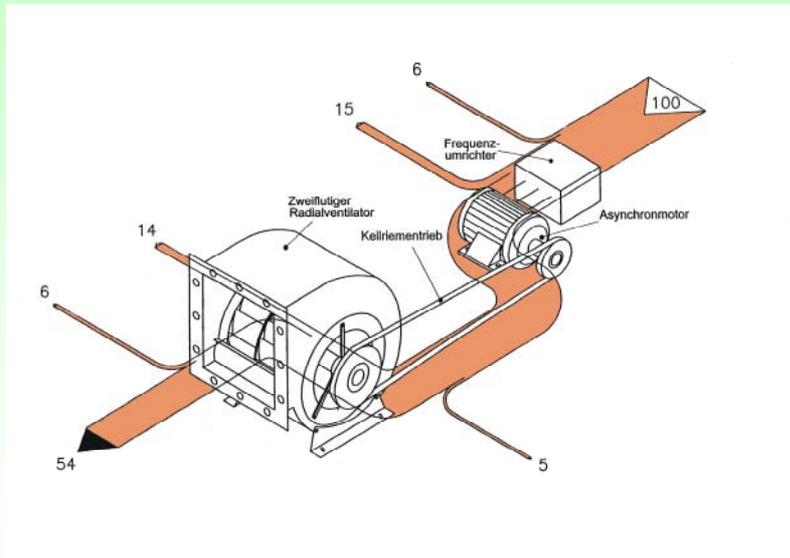


Source: United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment, OIT; US DOE, December 1998.

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 17

## Energiefluss bei einem Ventilator



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 18

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer IIS, Phone: +49 721 6969 272, Email: Peter.Badgley@iis.fhg.de

## Energieeinsparpotentiale durch effizientere Ventilatoren

Ventilatoren Typ	Einsparpotential [%]
Propeller- oder Schraubenlüfter	15-20
Axial-Rohrventilator	2-10
Strahlventilatoren	4-8
Radial Ventilatoren mit vorwärtsgekrümmten Schaufeln	5-15
Radial Ventilatoren mit geraden Schaufeln	10
Radial Ventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln	2-5
Sonstige Ventilatoren	5-10

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 19

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer IIS, Phone: +49 721 6969 272, Email: Peter.Badgley@iis.fhg.de

## Einsparmöglichkeiten durch Optimierung von Ventilatorensystemen

- Auslegung auf den optimalen Arbeitspunkt
- Mehrstufenanlagen
- Verminderung des Druckverlusts durch Optimierung der Kanäle
- Senkung auf den Mindest-Volumenstrom
- Bedarfsabhängige Regelung mittels Drallreglern oder Drehzahlanpassung
- Verminderung des Druckverlusts durch regelmäßigen Filtertausch und passende Filterwahl

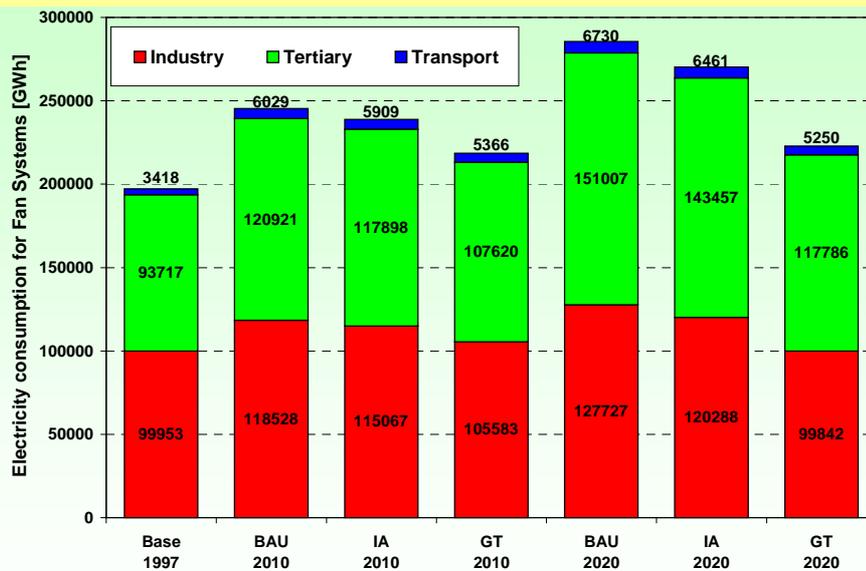
K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 20

Dr. Peter Bading, Fraunhofer ILR, Phone: +49 71 6809 205, Fax: +49 71 6809 272, email: Peter.Bading@ilr.fhg.de

## Stromverbrauch für Ventilatorensysteme in der EU 1997 / 2010 / 2020



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 21

Dr. Peter Bading, Fraunhofer ILR, Phone: +49 71 6809 205, Fax: +49 71 6809 272, email: Peter.Bading@ilr.fhg.de

# Druckluft



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



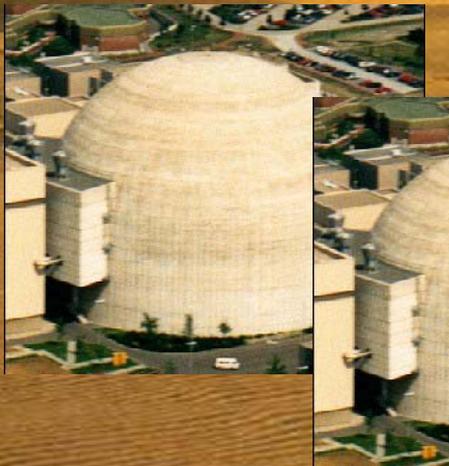
Folie 22

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer IIS, Phone: +49 71 6809 205, Fax: +49 71 6809 272, email: Peter.Badgley@iis.fhg.de

## Energiebedarf für Druckluftanlagen in Deutschland

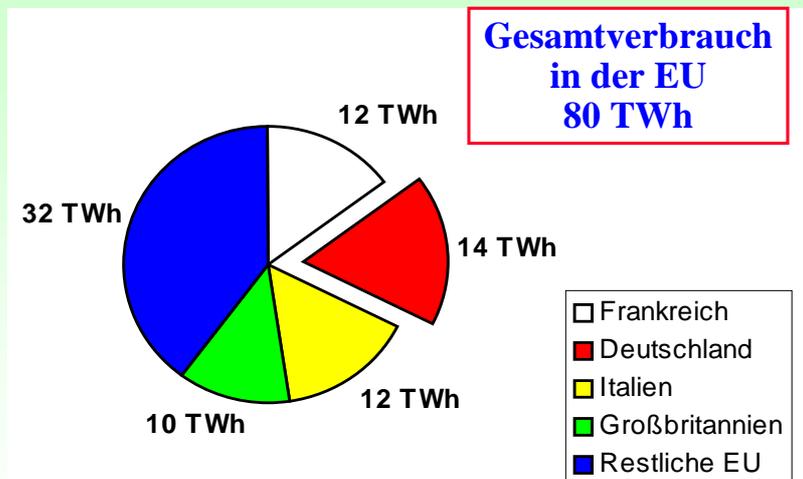
Das entspricht der jährlichen Strom-  
erzeugung von 1,3 Kernkraftwerken

Bzw. dem jährlichen Stromverbrauch  
der Deutschen Bahn



**14 TWh = 14.000.000.000 kWh**

## Stromverbrauch in Druckluftanlagen in der EU



**Zum Vergleich: Die Deutsche Bahn verbraucht jährlich ca. 14 TWh Strom**

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

## Anforderungen an Druckluftanlagen

### 1. Zuverlässigkeit

(nichts ist teurer als Produktionsstillstand)

### 2. Höchste Druckluftqualität

(zur Vermeidung von Schäden an Maschinen, Produktqualität)

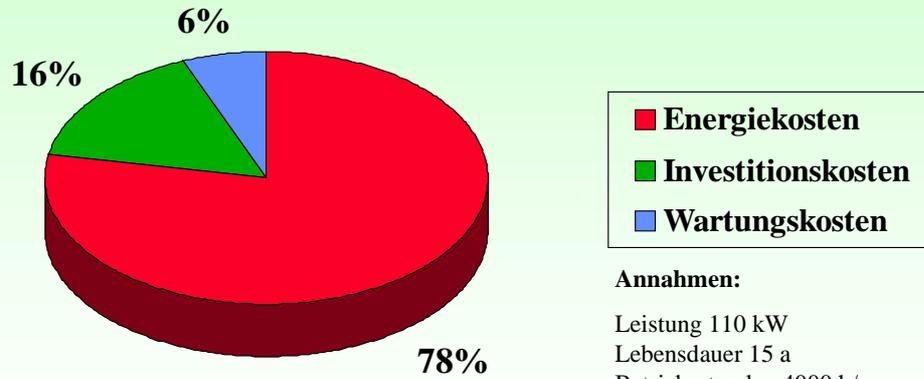
### 3. Niedrige Kosten

(Keine Aufschlüsselung der Kosten für die Druckluftbereitstellung, fehlende Zuständigkeit im Betrieb, fehlende Zeit und Informationen)

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

## Lebenszykluskosten von Druckluftanlagen

Mehr als **2/3 aller Kosten** einer Druckluftanlage entfallen auf die **Energiekosten** während der Lebensdauer.



**Annahmen:**

Leistung 110 kW  
 Lebensdauer 15 a  
 Betriebsstunden 4000 h/a  
 Energiepreis 10 Pf./kWh

K:\user\rgl\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 26

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6069 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Energieeinsparpotentiale

Energieeinsparmaßnahme	Anwendbarkeit (%)	Effizienzgewinn (%)	Gesamtpotenzial (%)
<b>Neuanlagen oder Ersatzinvestitionen</b>			
Verbesserte Antriebe (hocheffiziente Motoren, HEM)	25 %	2 %	0,5 %
Verbesserte Antriebe (drehzahlvariable Antriebe, ASD)	25 %	15 %	3,8 %
Technische Optimierung des Kompressors	30 %	7 %	2,1 %
Einsatz effizienter und übergeordneter Steuerungen	20 %	12 %	2,4 %
Wärmerückgewinnung für Nutzung in anderen Funktionen	20 %	20 %	4,0 %
Verbesserte Druckluftaufbereitung (Kühlung, Trocknung und Filterung)	10 %	5 %	0,5 %
Gesamtanlagenauslegung inkl. Mehrdruckanlagen	50 %	9 %	4,5 %
Verminderung der Druckverluste im Verteilsystem	50 %	3 %	1,5 %
Optimierung von Druckluftgeräten	5 %	40 %	2,0 %
<b>Anlagenbetrieb und Instandhaltung</b>			
Verminderung der Leckageverluste	80 %	20 %	16,0 %
Häufigerer Filterwechsel	40 %	2 %	0,8 %
	<b>Summe</b>		<b>32,9 %</b>

K:\user\rgl\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 27

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6069 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Einsatz der Maßnahmen im Lebenszyklus des Druckluftsystems

	Installation	Maschinen- austausch	Laufender Betrieb
Optimale Kompressorenauswahl	++	+	
Verbesserte Kontrolleinrichtungen	++	++	
Wärmerückgewinnung	++	++	
Verbesserte Druckluftaufbereitung	++	++	++
Anpassung der Druckstufen	++	+	
Reduzierung des Druckverlustes	++	+	
Verbesserung des Drucklufteinsatzes	++	+	
Reduzierung der Leckageverluste	+	+	++
Regelmässiger Filteraustausch	++	+	++

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 28

Dr. Peter Bader, Fraunhofer ISI, Phone: +49 721 6069 272, email: Peter.Bader@isi.fhg.de

## Energiesparkampagne Druckluft effizient

Kampagne von Deutscher Energie-Agentur, Fraunhofer ISI (Federführung) und VDMA

**Ziel:** Aktivierung der wirtschaftlichen Energieeinsparpotentiale

**Aktivitäten:**

- **kostenfreie Druckluftmessungen**, um Nutzern von Druckluftanlagen ein besseres Verständnis des qualitativen und quantitativen Einsparpotenzials zu vermitteln ([www.druckluft-effizient.de/technik/messkampagne/mess.htm](http://www.druckluft-effizient.de/technik/messkampagne/mess.htm))
- **Druckluft Benchmarking**
- **Herstellerneutrales Internetportal** zu allen Fragen im Bereich Druckluft
- **Anlagen Wettbewerb**; Motivation zu einer optimierten Anlagenauslegung
- **Bereitstellung von Informationsmaterial**, Aus-, Fort- und Weiterbildung; kostenfreier **Druckluft Newsletter** ([www.druckluft-effizient.de/service/newsletter/](http://www.druckluft-effizient.de/service/newsletter/))
- **Lebenszykluskosten**, die aufzeigen, dass optimierte umweltgerechte Entscheidungen auch wirtschaftlich optimal sind;
- **Leitfaden für das Outsourcing** von Druckluftdienstleistungen;
- **Darstellung von „Best practise“** Beispielen ([www.druckluft-effizient.de/service/download/download.htm](http://www.druckluft-effizient.de/service/download/download.htm))

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

Folie 29

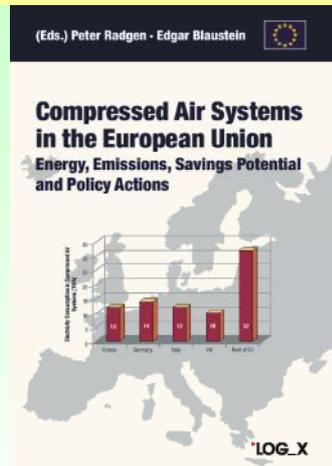
Dr. Peter Bader, Fraunhofer ISI, Phone: +49 721 6069 272, email: Peter.Bader@isi.fhg.de

## Weitere Informationen

# Druckluft effizient

Projektflyer „Druckluft effizient“ im  
Tagungsbüro erhältlich

[www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de)

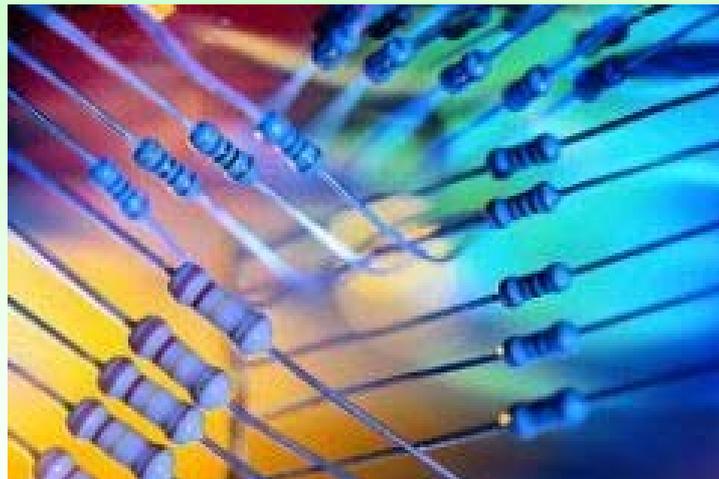


Druckluftstudie für die EU

[www.isi.fhg.de/e/publikation/c-air/compressed-air.htm](http://www.isi.fhg.de/e/publikation/c-air/compressed-air.htm)

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

## Widerstände und Hemmnisse



K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt

## Gründe gegen die Umsetzung der Einsparpotentiale

Organisatorische Gründe	Wirtschaftliche Gründe	Technische Gründe
<p>Fehlende oder verteilte Kostenzuordnung</p> <p>Fehlende oder verteilte Zuständigkeiten</p> <p>Minimierung der Ausfallzeiten führt zu unzureichenden Reparaturen und Neuplanungen</p>	<p>Fehlende Kenntnis über Energiekostenanteil</p> <p>Fehlende Messeinrichtungen</p> <p>Fehlendes Kapital für die Anschaffung neuer und effizienter Anlagen</p>	<p>Unzureichende Wartung</p> <p>Überdimensionierung bei der Neuplanung</p> <p>Unzureichender Informationsstand bei der Auswahl von Neuanlagen</p>

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 32

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6869-272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Wirtschaftlichkeit einer Investition pay-back vs. interne Verzinsung

geforderte Amortisationszeiten  Jahre	Interne Verzinsung in % pro Jahr <sup>1)</sup>							
	Anlagennutzungsdauer (Jahre)							
	3	4	5	6	7	10	12	15
2	24%	35%	41%	45%	47%	49%	49,5%	50%
3	0%	13%	20%	25%	27%	31%	32%	33%
4	unrentabel	0%	8%	13%	17%	22%	23%	24%
5	unrentabel	unrentabel	0%	6%	10%	16%	17%	18,5%
6	unrentabel	unrentabel	unrentabel	0%	4%	10,5%	12,5%	14,5%
8	unrentabel	unrentabel	unrentabel	unrentabel	unrentabel	4,5%	7%	9%

<sup>1)</sup> unterstellt wird eine kontinuierliche Energieeinsparung über die gesamte Anlagennutzungsdauer

**abgeschnittene rentable Investitionsmöglichkeiten**

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 33

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 721 6869-272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Mögliche Maßnahmen zur Hemmnisüberwindung

- **Werbekampagne** zur Steigerung des Bewusstseins;
- **Demonstrations- und Pilotvorhaben** mit innovativen Konzepten
- **Messkampagne**, um Nutzern von Anlagen ein besseres Verständnis des qualitativen und quantitativen Einsparpotenzials zu vermitteln;
- **Wettbewerbe und Preise**; Motivation zu einer optimierten Anlagenauslegung;
- **Informationskampagnen**, Aus-, Fort- und Weiterbildung
- **Lebenszykluskosten**, die aufzeigen, dass optimierte umweltgerechte Entscheidungen auch wirtschaftlich optimal sind;
- **Kennzeichnung und Zertifizierung** von Anlagenkomponenten und Gesamtanlagen;
- **freiwillige Selbstverpflichtungen** zwischen Herstellern und Anwendern;
- **Erstellung von Leitfäden für das Outsourcing** von „Motoren“-Dienstleistungen;
- **Steuern auf Energie oder CO<sub>2</sub>**;
- **Subventionen**, besonders zur Unterstützung bei der Auswahl und Konzeption von Anlagen und für Audits;
- **Vorschriften und Normung** für Systemauslegung und -betrieb.

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 34

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 71 6809 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Energieeinsparung durch effiziente Motorsysteme und Arbeitsplätze (Daumenregel)



**Durch jedes eingesparte  
Petajoule (1 PJ = 10<sup>15</sup> J = 0,27 TWh)  
entstehen ca.  
100 zusätzliche Arbeitsplätze**

Für Deutschland

	Energieverbrauch	Einsparpotential
Druckluft	14 TWh	5 TWh
Ventilatoren	23 TWh	5 TWh
Pumpen	43 TWh	11 TWh
Andere Motorsysteme	66 TWh	10 TWh

**Aus Einsparung resultierende Arbeitsplätze 11500**

K:\user\rg\vortrag\du-optimierbar\du-optimierbar-folien.ppt



Folie 35

Dr. Peter Badgley, Fraunhofer ILR, Phone: +49 71 6809 272, Email: Peter.Badgley@ilr.fhg.de

## Literaturhinweise

- Radgen, Blaustein (Eds.): Compressed Air Systems in the European Union, 2000
- Radgen (Ed.): Market Study for Improving the Energy Efficiency of Fans, 2001
- Falkner (Ed.): Study on Improving the Energy Efficiency of Pumps, 2000
- Almeida (Ed.): Improving the Penetration of Energy Efficient Motors & Drives, 1999
- Unterlagen der Energieagentur NRW zum Impulsprogramm RAVEL
- Broschüre des ZVEI: Elektrische Antriebe. Energiesparmotoren: Kosteneinsparung statt Regulierung, 1999

## Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – Chancen und Möglichkeiten

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hermann Kling, MDE Dezentrale Energiesysteme GmbH, Augsburg

Die 90er Jahre waren eine Zeit des Wandels: Ökologie und Ökonomie gewinnen immer mehr an Bedeutung. Das zwingt, auch bei der Energieversorgung Wege einzuschlagen Öl, Erdgas und Kohle so effizient und effektiv wie möglich einzusetzen.

Hierfür erweist sich die Technik der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken (BHKW) als ein Weg zur optimalen Nutzung fossiler Primärenergien. So werden gegenüber einem herkömmlichen Kondensationskraftwerk, das nur ca. 32% der Primärenergie zur Stromerzeugung nutzen kann, bei einem BHKW Nutzungsgrade von mehr als 90% erreicht. Das senkt nicht nur den Energieverbrauch, sondern der Umwelt wird auch Immenses an Belastungen durch Schadstoffe und Kohlendioxid erspart.

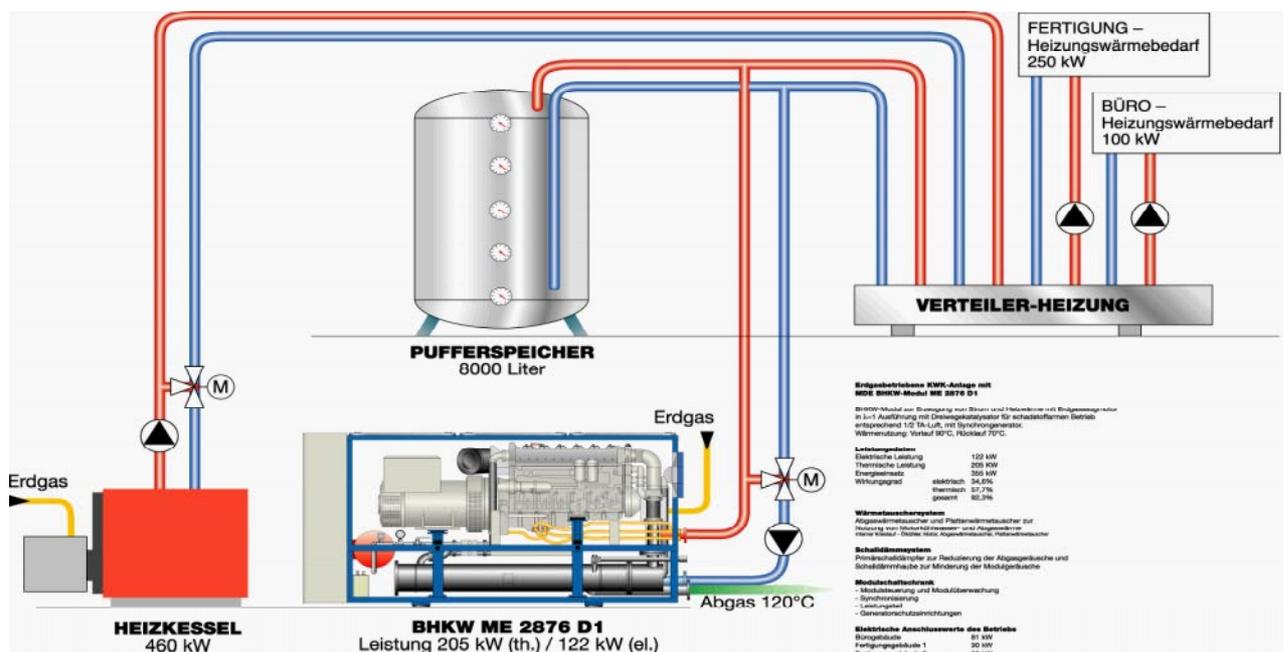
### Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – warum?

Viel wird über Umwelt- und Klimaschutz gesprochen und es ist ein erklärtes Ziel der Energiepolitik, den Einsatz von Öl und Erdgas für die Strom- und Wärmeerzeugung zu optimieren und damit zu reduzieren. Nur allein Worte helfen wenig im Angesicht von Ozonloch und Treibhauseffekt. CO<sub>2</sub> Einsparungen von 25% bis zum Jahr 2005 sind für Deutschland international vereinbart.

Das System der Kraft-Wärme-Kopplung ist heute ein wichtiger Beitrag für den umweltverträglichen Einsatz von Primärbrennstoffen. In vielen Ballungszentren ist dies durch zentrale Heizkraftwerke auf Kohlebasis in Verbindung mit Fernwärme-Systemen Realität. Nur ist nicht jeder Wärmeabnehmer mit diesen Systemen sinnvoll erreichbar. Hier ist der Einsatz von Blockheizkraftwerken die wirtschaftlichste Methode direkt am Ort des Verbrauchs in kürzester Zeit Energie in Strom und Wärme umzuwandeln - bei weniger Verbrauch - bei weniger Emission und mit geringeren Investitionen.

### Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – was ist das genau?

Kraft-Wärme-Kopplung trägt entscheidend zur Energieeinsparung und damit zur Umweltschonung bei. Nur, wie funktioniert das Ganze?

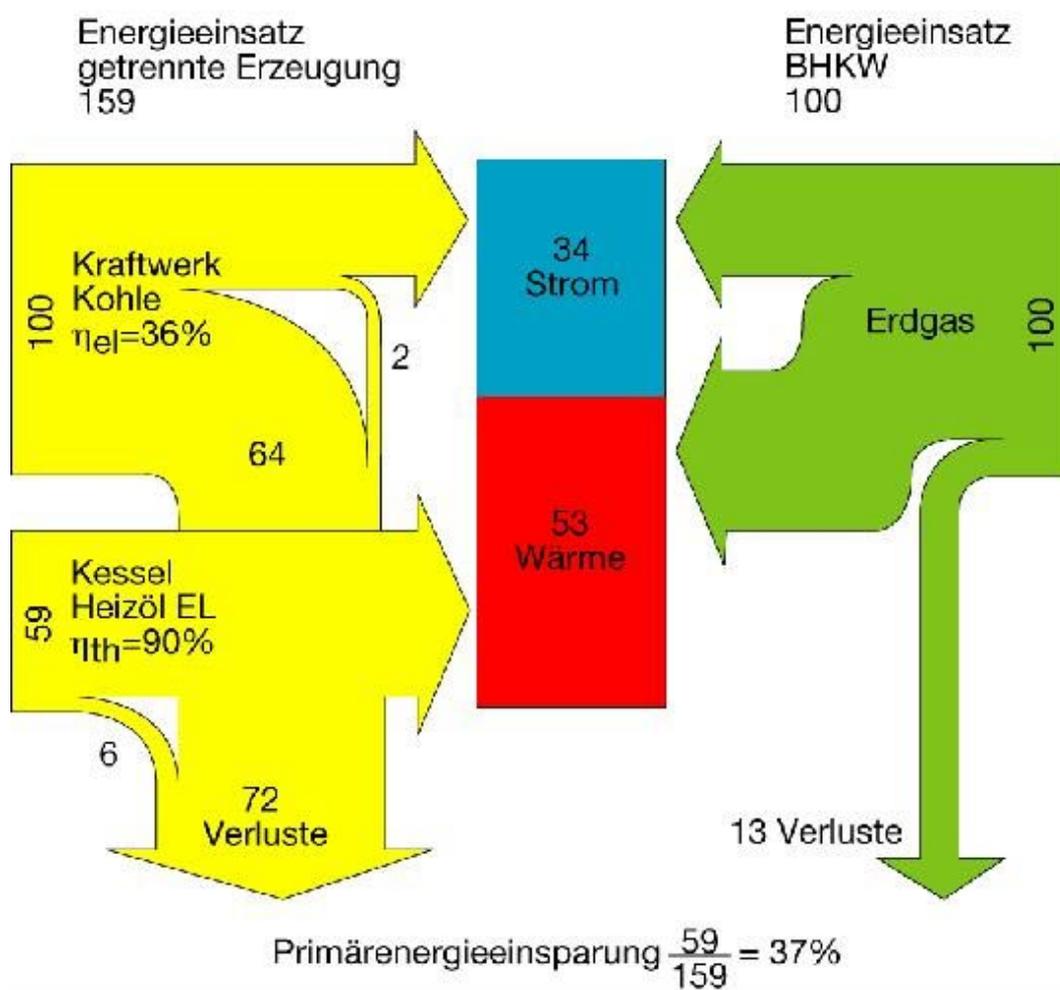


Als dezentrale KWK- Systeme vor ca. 25 Jahren auf den Markt kamen, entstanden mit ihnen auch neue Wortschöpfungen, wie Blockheizkraftwerke oder Nahwärmeversorgung. Eine klare Trennlinie zu konventionellen Heizkraftwerken existiert eigentlich nicht. Der Unterschied besteht vor allem darin, dass zentrale Kraftwerke auf eine großflächige Wärme- und Stromversorgung angelegt sind um Fernwärme zu produzieren.

Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen dagegen erzeugen Strom und Nahwärme am Ort des Verbrauchs. Durch diese verbrauchsnahe Bereitstellung von Strom und Wärme werden Übertragungsverluste vermieden. Auch lassen sich die auf den jeweiligen Bedarfsfall zugeschnittenen und optimierten Anlagen kostengünstig erstellen.

Kraft-Wärme-Kopplungsmodule bestehen aus Verbrennungs-Kraftmaschinen, die Generatoren zur Stromerzeugung antreiben (Abb.1). Die beim Verbrennungsprozeß anfallende Wärme wird über Wärmetauscher ausgekoppelt und als Heiz- oder Prozesswärme an die Verbraucher weitergegeben. Der erzeugte Strom wird dabei ebenfalls von einem anlagennahen Verbraucher abgenommen und/oder in das Netz eingespeist.

Die Abwärme einer Gasmotor- KWK-Anlage liefert im Normalfall ein Temperaturniveau von ca. 90°C – geradezu ideal zum Heizen von Räumen. Die hohe Energienutzung hat zur Folge, dass gegenüber herkömmlichen Kraftwerken bis zu 40% an Primärenergie eingespart werden kann (Abb.2).



## KWK-Anlagen mit Verbrennungsmotoren

In der Regel werden in Blockheizkraftwerken Ottomotormodule eingesetzt, die mit Gasen wie Erdgas, Klärgas, Deponiegas etc. betrieben werden. Durch die Erfahrungen der letzten Jahre haben sich folgende Ausführungen immer mehr durchgesetzt.

Bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sorgt nicht allein die höhere Primärenergienutzung für Umweltfreundlichkeit. Der Einsatz von Erdgas verursacht auch wesentlich weniger Belastungen durch Schwefeldioxid, Staub und Ruß. Drei zusätzliche motorinterne Entwicklungen führen bei den CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen zur weiteren Verringerung der Werte.

### Magermix-Motoren

Durch den Einsatz von sogenannten Magergemisch-Motoren werden die vorgegebenen Grenzwerte für die Schadstoffemission nach TA-Luft selbst ohne den Einsatz von Katalysatoren unterschritten. Ihr großer Vorteil: Es lässt sich nicht nur Erdgas, sondern auch Gas, das Verunreinigungen wie Schwefel, Chlor oder Fluor mitführt, verbrennen. Das Leistungspotenzial dieser Motoren reicht von 70 bis ca. 3600 kW.

### 3-Wege-Katalysatoren

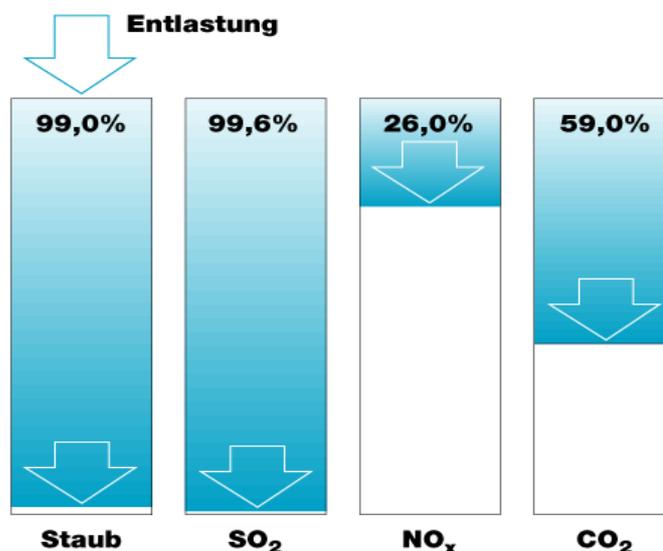
Motoren mit 3-Wege-Katalysator sind beim Auto die wirtschaftlichste und umweltfreundlichste Art des Antriebs. Bei KWK-Anlagen bis etwa 250 kW<sub>mech</sub> verhält es sich ähnlich. Sollte jedoch Klärgas als Brennstoff eingesetzt werden, empfiehlt sich eine zusätzliche Gasreinigungsanlage, wegen der im Gas enthaltenen Katalysatorgifte.

### Selektiv-Katalysatoren

Diese Katalysatormethode kommt bei Gas-Diesel- oder reinen Dieselmotoren zum Einsatz. Ammoniak oder Harnstoff werden als Reaktionsmittel eingesetzt. Der dafür erforderliche Aufwand an Reaktor und zusätzlicher Regeltechnik ist jedoch sehr hoch. Ebenso entstehen zusätzliche Betriebskosten durch den Verbrauch von Reaktionsmitteln.

## Dezentrale Kraft-Wärme Kopplung – ein Vergleich.

Einen Vergleich mit anderen Energiesystemen braucht eine dezentrale KWK-Anlage nicht zu scheuen. Mehr noch – aktuelle Studien u.a. des Bremer Energie Instituts zeigen, dass eine KWK-Anlage mit konventionellen Energieversorgungssystemen das eindeutig umweltfreundlichere System ist. Bei Betrieb mit Erdgas ist es heute möglich die angesetzten Grenzwerte nach TA-Luft um 50% zu unterschreiten.

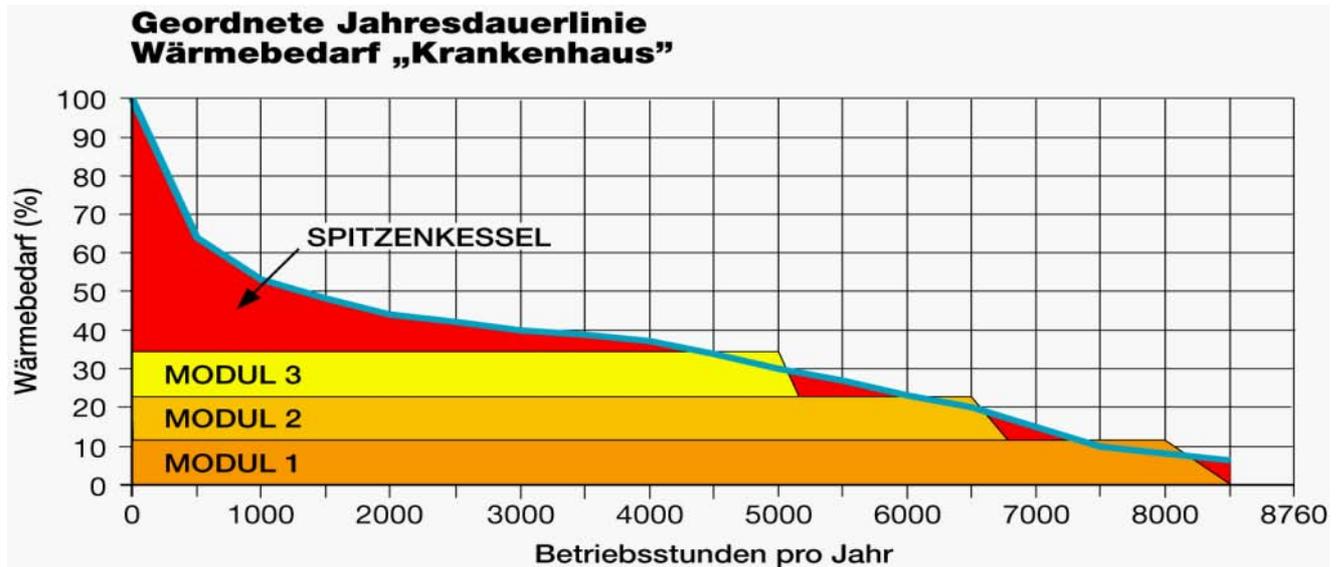


Quelle: ASUE  
Emissionsentlastung bei Erdgaseinsatz in einem BHKW gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung mit Steinkohle und Heizöl EL

## Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – wie wirtschaftlich arbeitet ein BHKW?

Lassen Sie uns einen Vergleich zwischen einer KWK-Anlage und einer konventionellen Kesselanlage plus den anfallenden Stromkosten ziehen. Oder bei kommerzieller Einspeisung die Erlöse aus dem Strom- und Wärmeverkauf der Investition und Instandhaltung der Anlage und den Brennstoffkosten gegenüberstellen.

Ein Beispiel: Ein Krankenhaus möchte sich mit einer KWK-Anlage ausrüsten. Die daraufhin erstellte Wirtschaftlichkeits-Analyse ergibt dafür eine optimale Auslastung mit 3 Modulen (Abb.4).



Die thermische Leistung entspricht dabei 35% der maximal erforderlichen Gesamtwärmeleistung. Damit aber werden 82% der erforderlichen Jahres-Wärmearbeit produziert. Viel Nutzen steht hier einer vergleichsweise geringen Investition gegenüber.

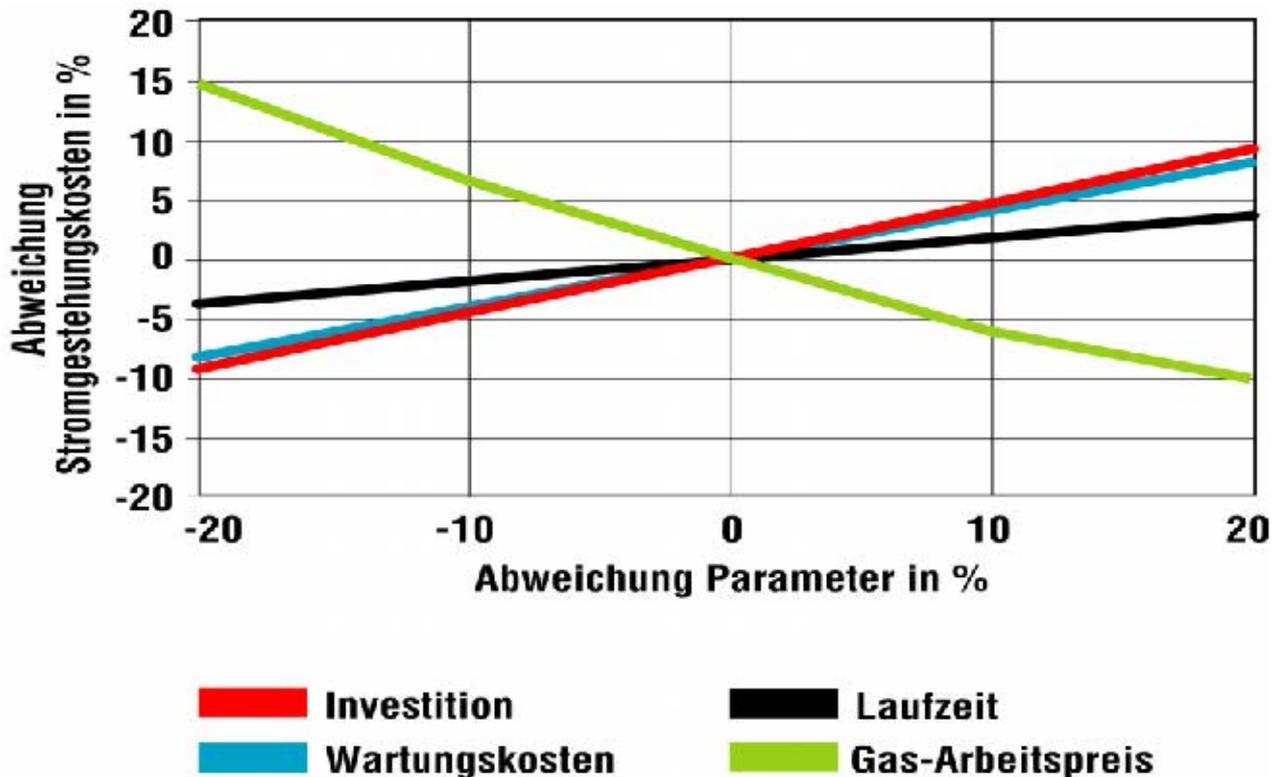
Um eine verlässliche Berechnung über das Investitionsrisiko einer KWK-Anlage anstellen zu können, wird gern auf die Methode des Kapitalwertes zurückgegriffen: Sie bezieht die voraussichtlichen Steigerungsraten für Strom, Wärme, Brennstoff, Instandhaltung, Personal und Versicherungen mit ein und erfasst die zu erwartende Kostenveränderung über den veranschlagten Nutzungszeitraum. So wird für verschiedene Auslegungsvarianten der Kapitalwert der Anlage nach Ablauf der Nutzungsdauer ermittelt - wesentlicher Faktor bei der Entscheidung für eine Investition. Wobei man beachten sollte, dass die Amortisationszeit selbst noch nichts über die Wirtschaftlichkeit einer Anlage aussagt, sondern allein zur Abschätzung des Risikos dient.

Wir wissen nun, die Rentabilität einer KWK-Anlage hängt nicht zuletzt von der Entwicklung der Strom- und Gas-Preise ab. Aber mit unterschiedlicher Wirkung: Während der Wärmepreis normalerweise mit dem Gaspreis im gleichen Maße steigt oder fällt, ist der Preis für Strom davon losgekoppelt. Der Kraftstoffpreis müsste somit schon erheblich stärker steigen als der Strompreis, um eine KWK-Anlage unwirtschaftlich arbeiten zu lassen.

Eine Sensitivitätsanalyse (Abb.5), die alle Preisentwicklungen berücksichtigt ist auf jeden Fall empfehlenswert und erlaubt dem Entscheider eine bessere Beurteilung des Investitionsrisikos.

Die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage lässt sich durch kombinierte Nutzung noch steigern: Beispielsweise lassen sich für die Versorgung von klimatisierten Gebäuden Absorptions-Kältemaschinen einbauen. Die anfallende Wärme in der KWK-Anlage wird somit als Heizwärme für den Austreiber der Kältemaschinen genutzt. Oder man verwendet das BHKW zusätzlich zur Spitzenstromerzeugung.

Dabei kann jedoch die Installation eines zusätzlichen Kühlers nötig werden, da möglicherweise die gesamte Wärme im Heiznetz nicht abgenommen werden kann.



Aus wirtschaftlichen Überlegungen stellt sich häufig bei der Projektierung von dezentralen Energieanlagen mit Gasmotor-KWK-Modulen die Frage nach zusätzlicher Nutzung als Netzersatz- oder Notstromanlage. Grundsätzlich sind MDE-Module mit Synchrongenerator und Startbatterie notstromfähig. Natürlich müssen in der Steuerung und Überwachung entsprechenden Hard- und Softwarefunktionen angepasst werden. Das geschieht bei MDE nach intensiver technischer Klärung mit dem Betreiber durch "Software-Schalter".

Natürlich ist auch die Zuverlässigkeit und damit die Verfügbarkeit einer Anlage ein entscheidendes Kriterium für deren Wirtschaftlichkeit. Bewährte Komponenten und erfahrene Hersteller sind hierfür Voraussetzung.

### Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – welche Bauarten kennt man?

Die verschiedenen Bauarten von BHKW-Anlagen unterscheiden sich in der Regel aufgrund der Leistungsgröße der eingesetzten Motoren:

#### KWK-Anlagen in Kompaktmodul-Technik

Eine Anlage in Modultechnik besteht in der Regel aus zwei oder mehreren Modulen. Dadurch ist es möglich, die Anlage auch bei wechselndem Bedarf an Strom oder Wärme wirtschaftlich zu betreiben. Jedes KWK-Modul ist ein Kompaktaggregat, bestehend aus einem Antriebsmotor mit Generator und den erforderlichen Wärmetauschern zum Auskoppeln der Abwärme aus Kühlwasser, Schmieröl und den Abgasen. Die einzelnen Module sind werkseitig getestet und werden anschlussfertig montiert. Dadurch ist es möglich, KWK-Module auch nachträglich in bestehende Heizkreisläufe kostengünstig einzubinden. Der Leistungsbereich dieser Kompaktmodule liegt zwischen 70 und 1500 kWel.

### **Teilmodulierte Anlagen.**

Hier ist Motor und Generator werkseitig komplett als anschlussfertige Einheit auf einem Grundrahmen montiert und probebefahren. Die Wärmetauscher für Kühlwasser, Schmieröl und Abgas werden in der Regel separat installiert.

Anlagen dieser Bauart befinden sich in einem Leistungsbereich ab 1,5 MWel.



### **Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – worauf ist zu achten?**

Um aus einer KWK-Anlage den größtmöglichen ökologischen und ökonomischen Nutzen zu schöpfen ist die Zusammenarbeit mit professionellen und erfahrenen Fachingenieuren unverzichtbar. Nur so lassen sich Fehlinvestitionen vermeiden.

Hier einige typische Fragen, die sich während der Planungsphase einer KWK-Anlage stellen.

- Welche optimale Aggregatgröße entspricht den jeweiligen Anforderungen?
- Welche Anforderungen werden an Schaltanlage und Leittechnik gestellt?
- Ist ein Um- oder Neubau der erforderlichen Gebäude und der Kamin-Anlage erforderlich?
- Bietet der Hersteller einen Wartungsvertrag?
- Sind Ersatzteile auch noch nach langer Betriebszeit erhältlich?
- Entspricht der Leistungsumfang des Wartungsvertrages auch der Qualifikation des betriebseigenen Personals?
- Ist eine qualifizierte Überwachung der Anlagen sichergestellt, wie beispielsweise die Fernübertragung der Betriebsdaten direkt zum Hersteller oder in eine eigene Leitzentrale?
- Ist die Schulung und Motivation der Mitarbeiter zur Eigenverantwortung und Eigenleistung gewährleistet?

### **Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – ein Wort zum Schluss.**

Die Vielzahl an maßgerechten Einsatzmöglichkeiten der KWK-Technik geben immer mehr Unternehmen und Kommunen die Sicherheit, sich nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen für KWK-Konzepte zu entscheiden.

Die positiven Betriebserfahrungen der letzten Jahrzehnte sprechen dafür.

## **Politische Rahmenbedingungen für die Kraft Wärme Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland.**

Die Kraft Wärme Kopplung ist eine der bestgeeigneten Maßnahmen um die hohen Anforderungen an den Klimaschutz zu erfüllen.

Die Liberalisierung des Strommarktes hat jedoch für viele mögliche Anwender solcher KWK-Anlagen den Blick nur auf die monetäre Seite einer solchen Investition fokussiert.

Die Notwendigkeit eines forcierten Ausbaus der KWK-Technologie kann nur durch eine Verbesserung der finanziellen Rahmenbedingungen durch den Gesetzgeber unterstützt werden.

### **Dazu sind verschiedene Massnahmen geeignet**

#### **1. Ökologische Steuerreform:**

Dieses 1999 verabschiedete Gesetz sieht in seiner Kernaussage eine Erhöhung der Mineralölsteuer und die Einführung einer Stromsteuer vor. Die Stromsteuer ist zeitlich gestaffelt und beträgt im Jahr 2000 2,5 Pf/kWhel. Und steigert sich bis zum Jahr 2003 auf den maximalen Wert von 4,0 Pf/kWhel. Die Mineralölsteuer beträgt seit 1999 insgesamt 0,68 Pf pro verbrauchter kWh Mineralöl oder Erdgas als Hauptbrennstoffe für die Wärmeerzeugung. Durch diese Verteuerung der Energiekosten soll zum sparsamen und rationellen Umgang mit Primärenergie angeregt werden.

Diejenigen, die ihren Verbrauch reduzieren oder durch den Einsatz der Kraft Wärme Kopplung rationeller damit umgehen, können dadurch bereits deutlich an ihren Energiekosten einsparen.

KWK-Anlagen zur Eigenstromerzeugung mit einer elektrischen Leistung kleiner 2000 kW sind komplett von der Stromsteuer befreit. Energiedienstleister, die für Dritte die Strom- und Wärmeversorgung übernehmen und deren KWK-Anlage in einem räumlichen Zusammenhang mit den Energieverbrauchern steht, sind ebenfalls von der Errichtung der Stromsteuer befreit. Von der gesamten Mineralölsteuer befreit sind KWK-Anlagen mit einem Energienutzungsgrad von mehr als 70%.

#### **2. Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG**

Ziel dieses Gesetzes ist es, im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 mindestens zu verdoppeln.

Dieses Gesetz regelt die Abnahme und die Vergütung von Strom der ausschließlich aus Wasserkraft, Windkraft, solarer Strahlungsenergie, Geothermie, Deponiegas, Klärgas oder aus Biomasse gewonnen wird. Für die Kraft Wärme Kopplung heißt das, Strom aus Deponie- und Klärgas mit einer elektrischen Leistung kleiner 5 MW erhalten vom Netzbetreiber eine Mindestvergütung von 13 Pf/kWh für den eingespeisten Strom und bei elektrischen Leistungen kleiner 500 kW mindestens 15 Pf/kWh.

Für Strom aus Biomasse beträgt die Vergütung bis einschließlich einer installierten elektrischen Leistung von 500 kW mindestens 20 Pf/kWh. Bei Leistungen darüber bis 5 MW reduziert sich die Mindestvergütung auf 18 Pf/kWh.

#### **3. Zukünftige politische Entwicklungen**

Die beiden vorbeschriebenen Maßnahmen sind nicht ausreichend um die politisch geforderten und notwendigen Klimaschutzziele auch nur annähernd zu erreichen. Aus diesem Grund wurde von der Bundesregierung nach langen Diskussionen mit den großen Energiegesellschaften, den Gewerkschaften und mit Verbänden beschlossen, ein Gesetz zur Unterstützung und Förderung der Kraft Wärme Kopplung zu beschließen.

Die zunächst favorisierte Quotenregelung wurde auf massiven Druck der Energiegesellschaften fallengelassen und wird erst wieder aufgegriffen, wenn das geplante Monitoring nach Jahren keine nennenswerten Erfolge mit den Auswirkungen des KWK-Gesetzes zeigt.

Ziel des Gesetzes ist der „befristete Schutz und die Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie der Ausbau der Stromerzeugung in kleinen Blockheizkraftwerken und die Markteinführung der Brennstoffzelle im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung“. (§1 KWKG).

Die Betreiber begünstigter Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erhalten bis zum Jahre 2010 Zuschlagszahlungen von insgesamt voraussichtlich 8,7 Mrd. DM, wobei 700 Millionen DM speziell für den Ausbau kleiner BHKW-Anlagen bis zu einer Leistung von 2 MWel zur Verfügung stehen. Unter das Gesetz fallen alle KWK-Anlagen auf Basis von fossilen Brennstoffen inkl. Abfall.

KWK-Anlagen, für die ein Vergütungsanspruch nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) besteht, fallen nicht in den Anwendungsbereich des KWK-Gesetzes.

### **Zuschlagsberechtigte KWK-Anlagen**

Im fünften Paragraphen des Gesetzes werden die Kategorien der zuschlagsberechtigten KWK-Anlagen fest gelegt.

Grundsätzlich wird zwischen zuschlagsberechtigten KWK-Anlagen unterschieden, welche vor dem Inkrafttreten des Gesetzes in Betrieb gegangen sind sowie deren Inbetriebnahme nach dem Inkrafttreten erfolgt.

Anspruch auf Zahlung des Zuschlages besteht für KWK-Strom aus Anlagen die vor Inkrafttreten des Gesetzes in Betrieb genommen wurden:

1. KWK-Anlagen, die bis zum 31.12.1989 in Dauerbetrieb genommen wurden (alte Bestandsanlagen)
2. KWK-Anlagen, die ab dem 01. Januar 1990 in Dauerbetrieb genommen wurden (neue Bestandsanlagen), sowie alte Bestandsanlagen (siehe Punkt 1), die im Zeitraum vom 01.01.1990 bis 31.12.2001 modernisiert und wieder in Dauerbetrieb genommen wurden.
3. Alte Bestandsanlagen, die modernisiert oder am gleichen Standort durch eine neue Anlage ersetzt und nach Inkrafttreten des KWK-Gesetzes wieder in Dauerbetrieb genommen worden sind (modernisierte Anlagen).  
Eine Modernisierung liegt vor, wenn wesentliche die Effizienz bestimmende Anlagenteile erneuert worden sind und die Kosten der Erneuerung mindestens 50% der Kosten für die Neuerrichtung der gesamten Anlage betragen.

Weiterhin besteht ein Anspruch auf Zahlung eines Zuschlages für KWK-Strom aus folgenden nach Inkrafttreten des Gesetzes in Betrieb genommene Anlagen:

4. kleine Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung kleiner 2 MW, soweit sie nicht eine bereits bestehende Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen verdrängen
5. Brennstoffzellen-Anlagen

### **Höhe und Dauer des Zuschlages**

Die Höhe und die Dauer des Zuschlages ist in Abhängigkeit von der jeweiligen KWK-Kategorie unterschiedlich und wird in folgender Tabelle näher erläutert. Alle Vergütungsangaben sind in Euro-Cent.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alte Bestandsanlagen	1,53	1,53	1,38	1,38	0,97				
Neue Bestandsanlagen	1,53	1,53	1,38	1,38	1,23	1,23	0,82	0,56	
Modernisierte Anlagen	1,53	1,53	1,38	1,38	1,23	1,23	1,05	1,05	0,92
Neue kleine Blockheizkraftwerke	2,56	2,56	2,40	2,40	2,25	2,25	2,10	2,10	1,94
Neue Brennstoffzellen	5,0 Cent für einen Zeitraum von 10 Jahren ab Inbetriebnahme								

Mit diesem Gesetz, das ab 01.01.2002 in Kraft treten soll, werden nach Ansicht der KWK-Vertreter die Ziele der Bundesregierung, die Kraft Wärme Kopplung auszubauen, nicht erreicht werden.

1. Es berücksichtigt vorwiegend die bestehenden KWK-Anlagen
2. Der Neubau von KWK-Anlagen wird nur bis zu einer elektrischen Leistung von 2 MW gefördert.
3. Eine Förderung erhält nur die erzeugte Strommenge, die in ein Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist wird.

Damit sind alle Anlagen der Eigenstromversorgung von der Förderung ausgeschlossen, was in hohem Maße die industriellen KWK-Anlagen betrifft.

Vor der abschließenden Lesung im Bundestag haben verschiedenen Fraktionen Änderungsanträge eingereicht um noch eine Verbesserung der KWK-Unterstützung zu erzielen. Es wird sich zeigen, ob dies vom Parlament gewürdigt wird.

## Energiezentrale Druckluftstation – Optimierung und Controlling

**Referent: Dipl.-Ing (FH) Joachim Ernst Projektingenieur der Kaeser Kompressoren GmbH, Coburg**

Im modernen Industriebetrieb ist Druckluft heute als Energieträger im Grunde ebenso wichtig wie elektrischer Strom. Das hängt einerseits mit dem hohen Automatisierungsgrad der Produktion und andererseits mit der Vielseitigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser beiden Energieträger zusammen. Ein Ausfall der Druckluftversorgung bedeutet in der Regel wie ein Stromausfall teuren Betriebs- bzw. Produktionsstillstand. Maximale Verfügbarkeit heißt daher die eine Hauptanforderung an eine zeitgemäße Drucklufttechnik, hohe Energieeffizienz die andere (**Bild 1**). Aufgrund des großen Energiekostenanteils an den Gesamtkosten der Druckluftversorgung und vielfältiger Einsparmöglichkeiten besteht ein immenses Kostensenkungspotential, das bislang noch viel zu wenig genutzt wird. Die technischen Möglichkeiten dazu sind vorhanden. Es ist also an der Zeit, über die Optimierung und ein effektiveres Kosten-Controlling der Druckluftversorgung neu nachzudenken.

Druckluft- und Stromversorgung weisen große Ähnlichkeiten (**Bild 2**) auf:

Erzeugt werden beide Energieträger meist zentral in einer Druckluftstation bzw. in einem Kraftwerk. Die Druckluftaufbereitung lässt sich mit einem Umspannwerk vergleichen; beide bringen den jeweiligen Energieträger erst in den vom Anwender nutzbaren Zustand. Wie die Stromversorgung bedient sich auch die Druckluftversorgung eines Verteilungsnetzwerks. Ein großer Unterschied besteht jedoch in der Entfernung zwischen Erzeugung und Anwendung: Während das Kraftwerk normalerweise vom Stromabnehmer weit entfernt ist, muss die Druckluftstation meist in der Nähe des Anwenders installiert werden.

### Wachsender Energiebedarf

Die allgemeine Bedeutung der Druckluft für die Industrie erhellt die Studie „Save II“ der Europäischen Gemeinschaft. Demnach beanspruchen bereits heute die Motoren, die in der Druckluftherzeugung eingesetzt werden, 18 Prozent des Gesamtenergiebedarfs der Industriemotoren. Bis zum Jahr 2015 wird der Studie zufolge der Energiebedarf der Druckluftherzeugung in der EU von derzeit 80 auf 127 Milliarden kWh anwachsen (**Bild 3**). Für Industriebetriebe wird es also immer wichtiger, ihre Druckluftversorgung zu optimieren.

### Kostenstruktur einer optimierten Druckluftversorgung

Interessant ist es in diesem Zusammenhang, sich einmal die Kostenstruktur einer optimierten Druckluftversorgung vor Augen zu führen (**Bild 4**): Geht man von einer Laufzeit von 5 Jahren, einem kWh-Preis von 0,08 Euro, einem Zinssatz von 6 Prozent, 7,5 bar Betriebsüberdruck und den zu erreichenden Druckluftqualitätsklassen 1 (Restölgehalt), 1 (Reststaubgehalt), 4 (Restwasergehalt) gem. ISO 8573-1 aus, so ergibt sich für eine Druckluftanlage mit Luftkühlung Folgendes: Inbetriebnahme und Einweisung des Wartungspersonals beanspruchen etwa 1 Prozent der Gesamtkosten. Auch die Kondensataufbereitung, häufig überbewertet und von zweifelhaften Empfehlungen zur Umgehung von Einleitungs- und Umweltschutzvorschriften begleitet, schlägt nur mit 1 Prozent Kostenanteil zu Buche. Die Aufwendungen für Installation sowie Steuerungs- und Leittechnik beanspruchen 7 Prozent, die Anschaffung der Aufbereitungstechnik 5 Prozent und die Anschaffung der Kompressorentechnik 13 Prozent. An Wartungskosten fallen für die Kompressoren 3 Prozent, für die Aufbereitungskomponenten 1 Prozent an. Den Löwenanteil der Druckluftgesamtkosten machen die Energieversorgung der Kompressoren und der Aufbereitungskomponenten mit zusammen 69 Prozent aus.

## Über 30 Prozent Einsparpotential

Heute weisen nur wenige Druckluftstationen in der europäischen Industrie optimierte Kostenstrukturen auf. Die tatsächlichen Gesamtkosten liegen oft um mehr als 30 Prozent höher (**Bild 5**). Die Optimierung muss natürlich vor allem bei den Haupt-Kostenverursachern Energie und Wartung ansetzen (**Bild 6**). Gegenüber pauschalen Aussagen, dieser Einspareffekt sei bereits mit optimierten Einzelmaschinen zu erreichen, ist jedoch Vorsicht geboten. Für solche einfachen Lösungen ist das Zusammenspiel der einzelnen Elemente in einem Druckluftsystem zu komplex.

## Systemdruck optimieren

Ein wichtiger Aspekt ist das Druckniveau: So lassen sich bereits durch eine Druckabsenkung um 1 bar im System mit Hilfe übergeordneter Steuerungen ca. 6 Prozent der Energiekosten einsparen (**Bild 7**). Dabei spielen Steuerungen auf der Basis robuster Industrie-PCs eine immer wichtigere Rolle: In modernen Druckluftstationen kommen sie heute nicht nur als interne Systeme im Kompressor, sondern auch auf der Ebene der übergeordneten Steuerung zum Einsatz. Das innovative Steuerungssystem „Sigma Air Manager“ (**Bild 8**) von Kaeser Kompressoren ermöglicht es z. B., den maximalen Betriebsdruck zu senken, die Kompressoren besser auszulasten, steuerungstechnisch bedingte Energieverluste deutlich zu reduzieren sowie ein effektives Controlling und eine effektive Kostenanalyse durchzuführen und dabei stets den erforderlichen Mindestdruck zu gewährleisten. Den Haupt-Energieeinspareffekt erreicht „Sigma Air Manager“ durch Absenken des maximalen Netzdruckes. Statt der früher üblichen Kaskadensteuerung arbeitet das System mit einer so genannten Druckbandsteuerung, die in der Lage ist, bis zu 16 Kompressoren mit einer Druckspreizung von +/- 0,1 bar zu steuern (**Bild 9**). Früher waren für diese Aufgabe 3 bis 4 bar Druckdifferenz und somit ein deutlich höherer Betriebsdruck nötig. Die Tatsache, dass bereits 1 bar Druckreduzierung 6 Prozent Energieeinsparung bei der Druckluftzeugung bewirkt, lässt erahnen, welches enorme Einsparpotential noch in vielen Anwenderbetrieben schlummert.

## Leerlauf minimieren: 2 statt 20 Prozent Steuerungsenergie

Mit einer effizienten übergeordneten Steuerung allein ist es jedoch nicht getan. Vielmehr kommt es auch darauf an, bei der Auslegung der Druckluftstation auf die richtige Kombination der Kompressorleistungsgrößen zu achten. So bestehen moderne Stationen nicht mehr aus lauter gleich großen Kompressoren; stattdessen wird man Spitzenlast- und Grundlastmaschinen unterschiedlicher Größe mit unterschiedlichen internen Steuerungen vorfinden. Entscheidend für einen effizienten Betrieb ist hier die richtige Koordination. Übergeordnete Steuerungssysteme wie der „Sigma Air Manager“ können das; sie wählen je nach aktuellem Druckluftbedarf automatisch die richtige Kompressorenkonfiguration aus und minimieren somit die Energieverluste durch Kompressorenleerlaufbetrieb (**Bild 10**). Richtig dimensionierte und gesteuerte Stationen kommen heute mit steuerungstechnisch bedingten Energieverlusten von nur 1 bis 2 Prozent aus. Anlagen, die 20 oder gar 30 Prozent ihres Energiebedarfs für die Steuerungstechnik benötigen, sind also nicht mehr zeitgemäß.

Da sich der Druckluftbedarf und die Betriebsbedingungen ändern können, sollte auch die Möglichkeit bestehen, über den PC im Kompressor, den PC im übergeordneten Steuerungssystem, Leittechnik, Modem und Internetanschluss Betriebsdaten zu erfassen, weiterzuleiten und für Controlling-Zwecke auszuwerten (**Bild 11**). Damit können dann eventuelle Schwachstellen im Druckluftsystem rasch erkannt und beseitigt werden.

## Weniger Druck: Jedes Jahr Tausende Euro einsparen

Die Reduzierung des Betriebsdruckes mit Hilfe moderner Steuerungstechnik bringt noch einen weiteren Vorteil. Sie erlaubt es bereits, Druckluftverluste durch Leckagen spürbar zu verringern (**Bild 12**), ohne eine einzige Stelle im System abzudichten: Jede Druckabsenkung bedeutet nämlich neben einem niedrigeren Druckluftgesamtverbrauch auch weniger Verlust durch jede vorhandene Leckage. Dazu folgendes Beispiel: Ein Loch mit 3 mm Durchmesser verursacht bei

6 bar Überdruck einen Luftverlust von 0,5 m<sup>3</sup>/min. Das entspricht zusätzlichen Kosten von etwa 3600 Euro pro Jahr (**Bild 13**). Bei einem Überdruck von 7 bar würde der Verlust bereits 1 m<sup>3</sup>/min betragen und somit pro Jahr etwa 7200 Euro an zusätzlichen Kosten verursachen. Natürlich sollten über eine Absenkung des Systemdrucks hinaus Leckstellen nach Möglichkeit reduziert werden, um die Energieverluste zu minimieren.

### PC-Technik optimiert funktionsabhängige Steuerung

Neben der übergeordneten Steuerung der Station muss auch die Steuerung jedes einzelnen Kompressors abhängig von seiner Funktion im Gesamtsystem optimiert werden (**Bild 14**). So benötigen Grundlastmaschinen eine andere Steuerung als Mittel- oder Spitzenlastanlagen; bis zu 5 Steuerungsvarianten sind heute für Verdrängerkompressoren einsetzbar. Jede dieser Varianten hat ihr spezifisches Optimum in einem bestimmten Einsatzbereich. Der Bediener sollte mit der Steuerung möglichst in seiner Muttersprache kommunizieren können. Zusätzlich sollten alle relevanten Daten erfasst und gespeichert werden, um vorbeugende Wartung und eine Optimierung der Wartungskosten zu ermöglichen. Das von Kaeser angebotene interne Steuerungssystem „Sigma Control“ erfüllt diese Anforderungen in jeder Hinsicht: Es sind 5 gängige Steuerungsvarianten (Dual-, Quadro-, SFC-, PU- und Varioregelung) sowie 21 Sprachen vorprogrammiert. Das System erfasst alle relevanten Betriebsdaten und legt sie zum Zweck späterer Auswertung z. B. im Rahmen des Kosten-Controllings in einem so genannten Historienspeicher ab (**Bild 15**).

### 1:1-Antrieb und EPACT-Motoren steigern Energieeffizienz

Aus alledem könnte der Eindruck entstehen, technischer Fortschritt und Effizienzsteigerungen seien nur auf der Ebene der Steuerungstechnik zu verzeichnen. Das trifft keineswegs zu, denn auch die Kompressorenteknik selbst bietet weitere Optimierungschancen (**Bild 16**). Bis zu 10 Prozent Energieeinsparung lassen sich z. B. durch den Einsatz von Kompressorblöcken erzielen, die genau auf den benötigten Druck und die erforderliche Liefermenge abgestimmt sind. Kompressoren erreichen nämlich ihr spezifisches Optimum nicht in einer großen Drehzahlbandbreite, sondern bei einer bestimmten Drehzahl, einem bestimmten Druck und somit einer bestimmten Liefermenge. Setzt man einen Kompressorblock außerhalb seines spezifischen Optimums ein, so können zwar zunächst geringere Kosten durch die Anschaffung eines eigentlich zu kleinen, höher drehenden Blocks entstehen (**Bild 17**). Das Ganze wird sich aber wegen der damit zu erwartenden höheren Energie- und Wartungskosten als Milchmädchenrechnung erweisen. Diese Variante ist bei Ausführungen mit Getriebe oder Riemenantrieb vorzufinden, die es erlauben, verschiedene Block- und Antriebsmotorgößen zu kombinieren. Dagegen ist es heute technisch möglich, einen Kompressorblock genau auf seine optimale Drehzahl und einen Motor gleicher Drehzahl abzustimmen. Ein Getriebe oder Riemenantrieb wird damit überflüssig; es genügt, Motor und Kompressorblock über eine einfache Kupplung direkt zu verbinden (**Bild 18**). Durch den Einsatz dieses 1:1-Antriebs entfallen ca. 2,5 Prozent Energieverluste durch Kraftübertragung, die bei Verwendung eines Getriebes oder Riemenantriebs unvermeidlich sind. Weitere Einsparungsmöglichkeiten ergeben sich dadurch, dass der Kompressorblock in seinem spezifischen Optimum eingesetzt wird.

Darüber hinaus tragen so genannte EPACT\*-Motoren (\*) entsprechend den strengen Vorschriften des US-amerikanischen „Energy Policy Conservation Act“) in Kompressoren zu weiterer Kostenersparnis durch minimierte Energieverluste am Motor und □ selbst bei hohen Umgebungstemperaturen □ zu einem Höchstmaß an Betriebssicherheit bei (**Bild 19**): Diese Motoren zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad und sehr niedrige Betriebstemperaturen aus.

### Luft- oder Wasserkühlung?

Auch das Kühlsystem übt einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit einer Druckluftstation aus. In nicht wenigen Betrieben gilt noch immer das Credo: „Wasserkühlung ist einfacher und preiswerter als Luftkühlung.“ Bei genauerer Betrachtung stellt sich aber Folgendes heraus: 1. ist die Betriebssicherheit wassergekühlter Kompressoren stark von den Komponenten des jeweiligen externen Kühlsystems, wie Pumpen und Kühltürmen, abhängig,

die Betriebssicherheit luftgekühlter Kompressoren dagegen vorwiegend nur vom kompressor-internen Lüfter. 2. sind die Kosten für Wasserkühlung deutlich höher als die für Luftkühlung. Einschlägige Studien haben ergeben, dass die Kosten für Wasserkühlung z. B. bei einer Betriebsdauer von 4000 h/a, Kühlwasserkosten von 0,1 Euro/m<sup>3</sup> (Kühlturmwater) und einem Energiepreis von 0,6 Euro/kWh diejenigen für Luftkühlung um ca. 30 Prozent übersteigen (**Bild 20**). Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Kompressoren an einem möglichst kühlen Ort aufgestellt und wo immer möglich Anlagen mit Luftkühlung bevorzugt werden sollten. Die Vorteile liegen auf der Hand: mehr Betriebssicherheit und weniger Energiebedarf.

Alle bisher genannten Optimierungsmaßnahmen zusammen erlauben es, gegenüber einer üblichen europäischen Durchschnittsdruckluftstation etwa 30 Prozent Energie einzusparen und die eingangs beschriebene optimierte Kostenstruktur zu erreichen.

### **Weitere Einsparpotentiale nutzen: Wärmerückgewinnung und Druckluftaufbereitung**

Je nach Einsatzart bieten Wärmerückgewinnung sowie moderne Druckluft- und Kondensataufbereitung zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten (**Bild 21**).

Bei einem vollgekapselten Schraubenkompressor lassen sich 94 Prozent der zugeführten elektrischen Leistung als nutzbare Wärmeenergie zurückgewinnen (**Bild 22**). Als Energiemedium kann Luft oder Wasser dienen. Kompressorenhersteller bieten sowohl für die Warmluft- als auch für die Warmwassererzeugung entsprechende Wärmerückgewinnungssysteme an. In beiden Fällen können die betrieblichen Energiekosten erheblich reduziert werden.

Statt nach dem Motto „viel hilft viel“ zu verfahren, sollte man auch bei der Druckluftaufbereitung auf eine optimierte Lösung setzen. Sie besteht in einer auf die Anwendung(en) abgestimmten, zertifizierten Kombination von Trockner- und Filtersystemen, die das Erreichen exakt definierter Druckluftqualitätsklassen gewährleistet. So lässt sich durch moderne lastgesteuerte Kältetrockner, Adsorptionstrockner ohne Spülluftbedarf oder spezielle Kombinationen aus Kälte- und Adsorptionstrockner für große Druckluftstationen der Energieaufwand für die Druckluftaufbereitung mitunter um bis zu 50 Prozent reduzieren (**Bild 23**).

### **Systemoptimierung mit Hilfe PC-gestützter Analyse und Planung**

Anwendern, die die Druckluftversorgung ihres Betriebes optimieren und die Druckluftkosten effektiv kontrollieren wollen, stellen sich meist die beiden folgenden Hauptfragen:

1. In welchem Zustand ist die Druckluftversorgung?
2. Wo liegt das größte Einsparpotential?

Da die meisten Druckluftstationen noch eher spärlich mit Analysetechnik ausgestattet sind, empfiehlt es sich, auch bei bereits bestehenden Anlagen eine Planung nach dem neuesten Stand der Technik durchzuführen. Grundlage hierfür ist eine computergestützte Bedarfsanalyse wie die von Kaeser angebotene „Analyse der Druckluft-Auslastung (ADA)“ (**Bild 24**). Dabei wird der Betrieb der Druckluftstation über mindestens 10 Tage mit Hilfe moderner Dataloggertechnik analysiert (**Bild 25**). Der Datalogger erfasst die relevanten Daten und überträgt sie an einen PC, der daraus ein Druckluftverbrauchsdiagramm erstellt. Erkennbar sind Verbrauchsschwankungen, Leerlaufverhalten, Lauf- und Stillstandszeiten der Kompressoren sowie die Zuordnung der Leistung jedes einzelnen Kompressors zum jeweiligen Druckluftverbrauch (**Bild 26**). Aus der gewonnenen Datensammlung errechnen Computersysteme wie das „Kaeser-Energie-Spar-System (KESS)“ den Energiebedarf der analysierten Station und stellen ihn dem einer entsprechenden modernen Station gegenüber (**Bild 27**). Das System ist darüber hinaus in der Lage, verschiedene Alternativvarianten zur bisherigen Druckluftversorgung zu simulieren (**Bild 28**). Aus dem Vergleich dieser Varianten und einer Amortisationsberechnung ergibt sich dann für den Fachmann der Umfang der erforderlichen Modernisierungsmaßnahmen (**Bild 29**): Neukonfiguration des vorhandenen Anlagenbestands, teilweiser oder kompletter Ersatz der Anlagen (**Bild 30**). Erfolgsentscheidend ist die Optimierung der Planung und de-

ren konsequente Umsetzung. Moderne 3-D-CAD-Systeme sind hier eine wertvolle Unterstützung. Mit ihrer Hilfe kann die Station in die (nicht zu knapp zu bemessenden) Räumlichkeiten optimal eingepasst werden. Dabei spielen Lüftungs-, Rohrleitungs- und wartungstechnische Aspekte eine wichtige Rolle: Sie bestimmen die Betriebssicherheit und die Effizienz einer Druckluftstation wesentlich mit (**Bild 31**).

### **Betriebsoptimierung und effektives Controlling mit Unterstützung moderner Daten- und Kommunikationstechnik**

Die modernisierte Station soll einerseits dem neuesten Stand der Technik entsprechen, will heißen ein optimiertes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen, andererseits aber auch die für ein effektives Controlling erforderliche Transparenz bieten. Grundbaustein hierfür ist keine herkömmliche Kompressorensteuerung, sondern ein in den Kompressor eingebauter Industrie-PC („Kaeser Sigma Control“; **Bild 32**). Er verfügt über die bereits genannten 5 vorprogrammierten Steuerungsarten, 21 mögliche Bediener Sprachen und ist zudem in der Lage, Daten zu sammeln, zu speichern und über Schnittstellen zum Datennetz, dem Profibus DP, weiterzuleiten.

Dieses System wird auf der Ebene der übergeordneten Steuerung der Kompressoren und Aufbereitungskomponenten durch einen weiteren Industrie-PC, den „Sigma Air Manager“, ergänzt (**Bild 33**). Seine Aufgabe ist es, alle Daten der Station zu sammeln, auszuwerten, die Station insgesamt bedarfsgerecht zu koordinieren, zu überwachen und alle relevanten Daten an ein Computernetz (Ethernet) weiterzuleiten. Dies kann mit Hilfe moderner Browsertechnik via Internet, aber auch über eine spezielle Leittechnik-Software, das so genannte „Sigma Control Center“ (**Bild 34**), geschehen. Als Hauptbild bietet es dem Servicetechniker eine jederzeit über seinen PC-Monitor abrufbare Übersicht über alle in der Station installierten Kompressoren und ihre wichtigsten Betriebsdaten. Sie lässt bereits auf den ersten Blick erkennen, ob die Station einwandfrei läuft, ob Wartungs- oder Störungshinweise anstehen, wie die Station ausgelastet und wie hoch der Betriebsdruck im System ist. Die Informationstiefe ist frei wählbar (**Bild 35**). So lassen sich sämtliche Laufzeiten der Kompressoren erfassen, Wartungsintervalle definieren, Termine vorbeugender Wartung ermitteln, Betriebsereignisse exakt nachvollziehen und das Erstellen von Grafiken über Energiebedarf, Druckluftverbrauch und Druckniveau programmieren. Falls Unterstützung durch den Kaeser-Service notwendig ist, können die Daten via Internet an den zuständigen Fachmann weitergeleitet werden, der dem Anwender dann mit Rat und Tat zur Seite steht (**Bild 36**).

Der heutige Stand der Kompressoren- und Datenkommunikationstechnik ermöglicht also nicht nur eine kontinuierliche Betriebsüberwachung, sondern auch ein effektives Controlling der Druckluftversorgung (**Bild 37**). So wird sichergestellt, dass eine Druckluftstation stets die richtige Luftmenge in der richtigen Qualität und auf dem erforderlichen Druckniveau liefert.

\*\*\*\*\*

Wenn Sie an einer optimierten Druckluftversorgung interessiert sind, kontaktieren Sie Kaeser Kompressoren über die für Sie zuständige Niederlassung oder über die Kaeser-Website [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com), auf der Sie sämtliche Ansprechpartner weltweit finden.

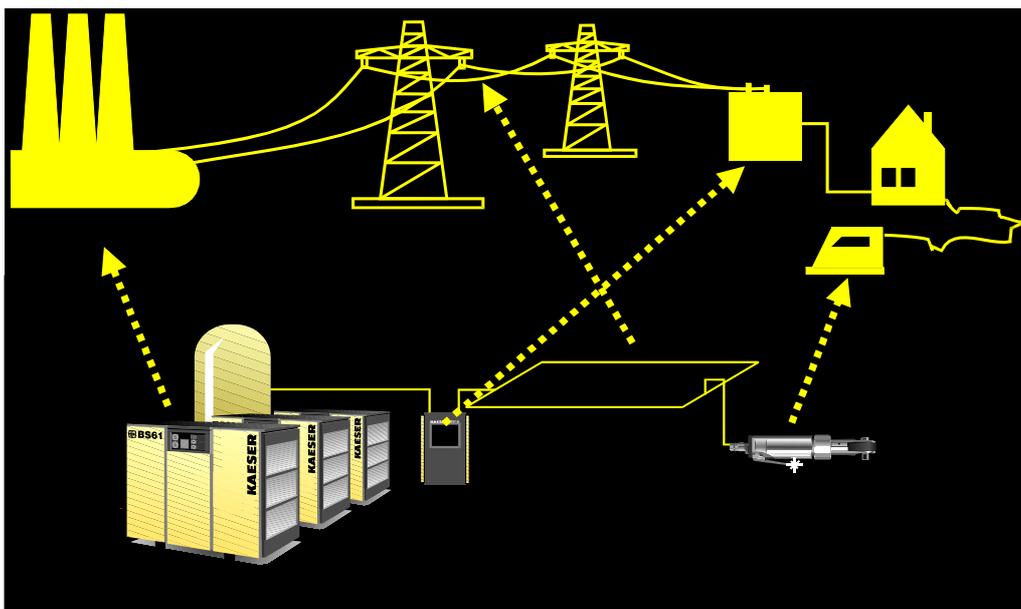
# ENERGIEzentrale



# Druckluftstation

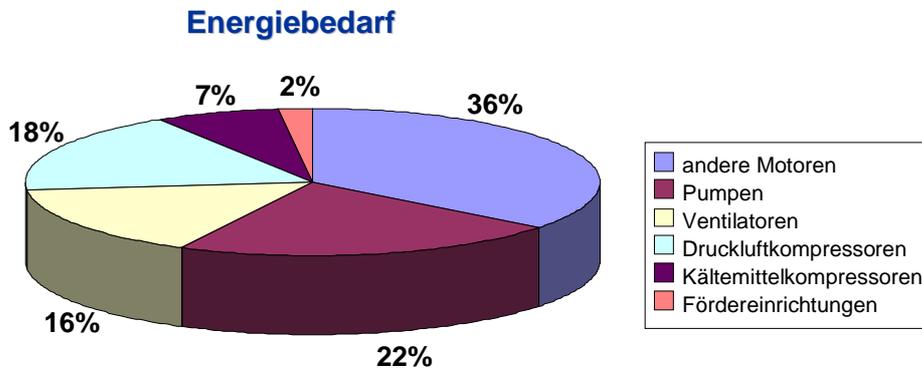
© Kaeser Kompressoren Bild 1 www.kaeser.com

Für moderne Industriebetriebe ist die Druckluftversorgung so wichtig wie der elektrische Strom.



© Kaeser Kompressoren Bild 2 www.kaeser.com

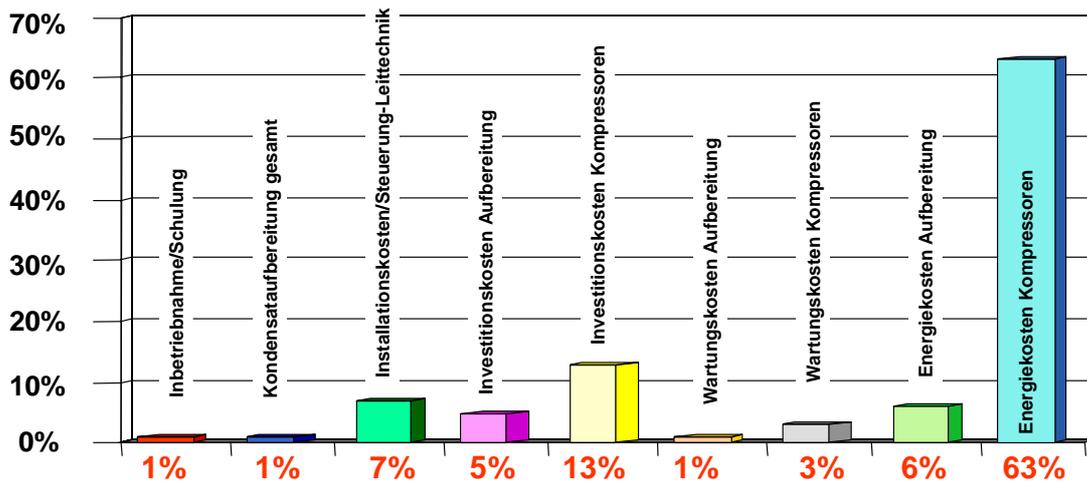
## Energieanteil Kompressoren bei industriell eingesetzten Motoren (EU)



EU-weiter Energiebedarf für Kompressoren 2015 geschätzt ...

**127 Mrd kWh**

## Kostenstruktur in optimierten Druckluftstationen



Basis: 0,16 DM/kWh

Laufzeit: 5 Jahre

Zinssatz: 6%

Betriebsüberdruck: 7,5 bar

Luftkühlung

Druckluftqualität: Öl 1  
(nach ISO 8573-1) Staub 1  
Wasser 4

*Bei durchschnittlichen europäischen Druckluftstationen sind Energieeinsparungen von ca. 30% möglich.*

© Kaeser Kompressoren Bild 5 www.kaeser.com

Erreichbarkeit der Kostenstruktur durch:

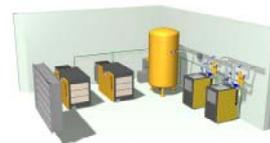
- **Reduktion der Wartungskosten**



- **Reduktion der Energiekosten**

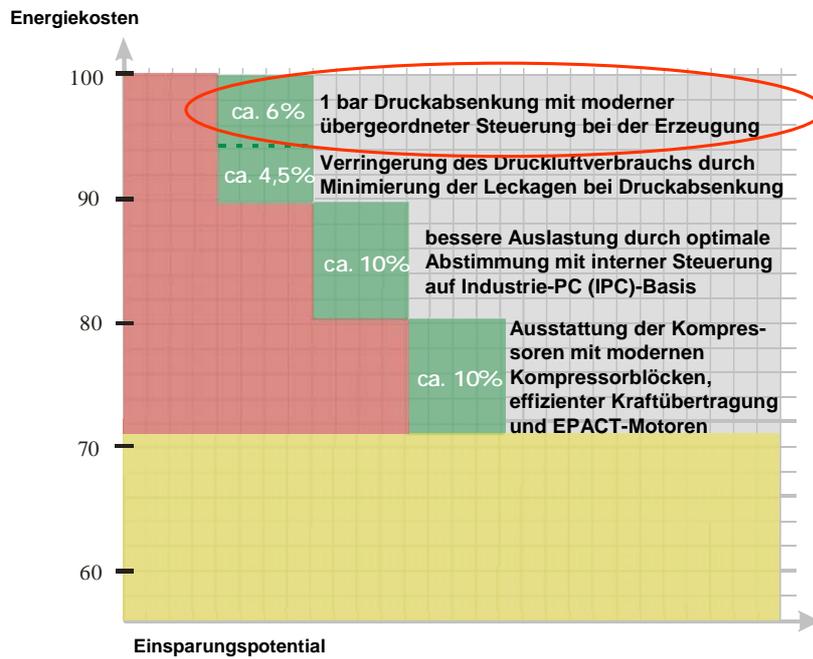


- **Erhöhung der Betriebssicherheit**



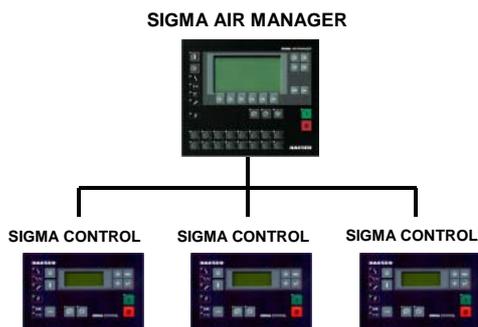
© Kaeser Kompressoren Bild 6 www.kaeser.com

## Senkung der Energiekosten eines Druckluftsystems durch Systemoptimierung



© Kaeser Kompressoren Bild 7 www.kaeser.com

## Der PC in der Kompressorstation



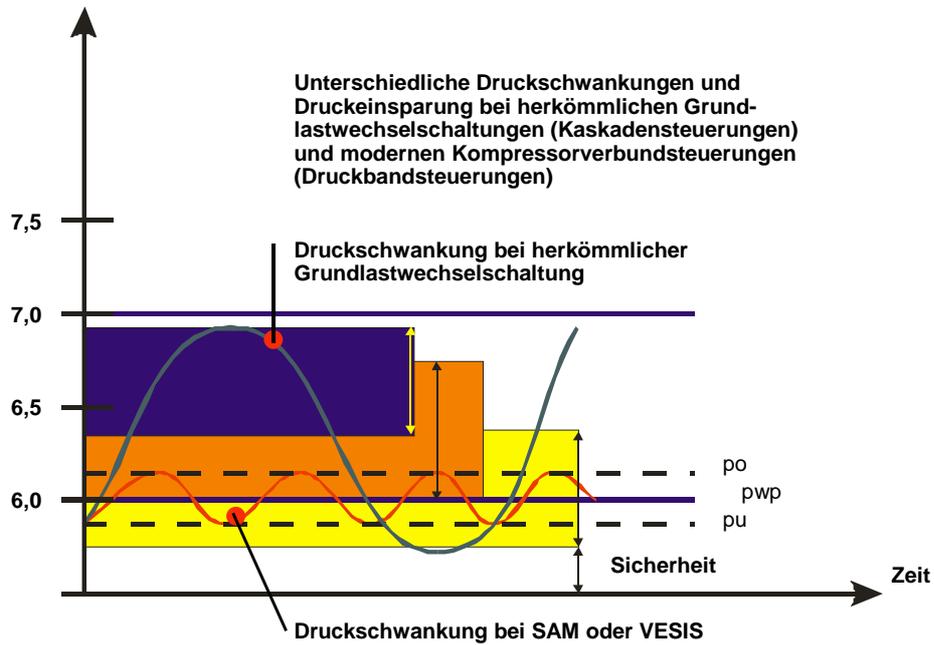
Sigma-Control-gesteuerte Anlagen



- Absenkung des Netzdruckes
- bessere Auslastung der Kompressoren
- Controlling

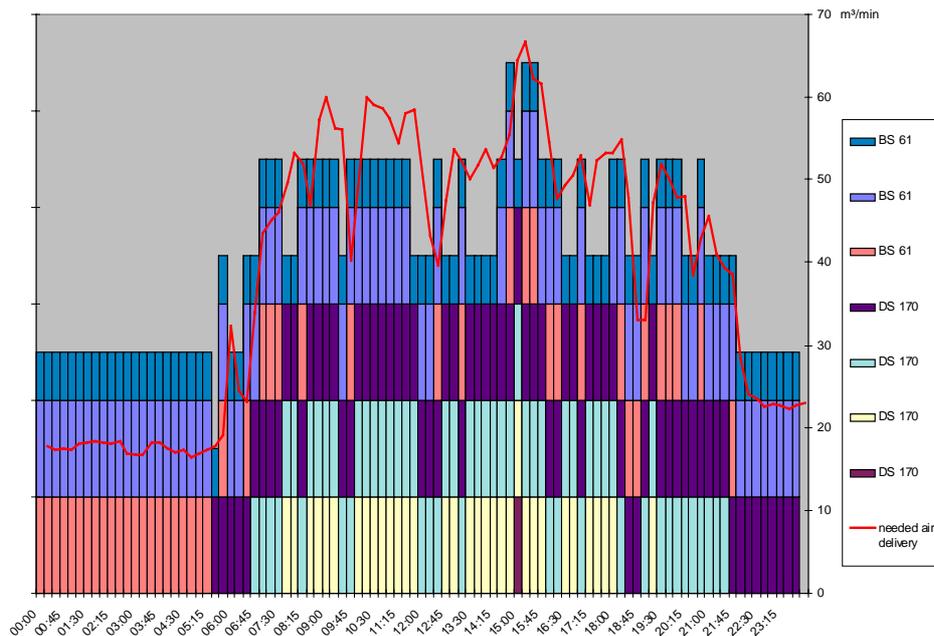
© Kaeser Kompressoren Bild 8 www.kaeser.com

## Absenkung des Netzdruckes



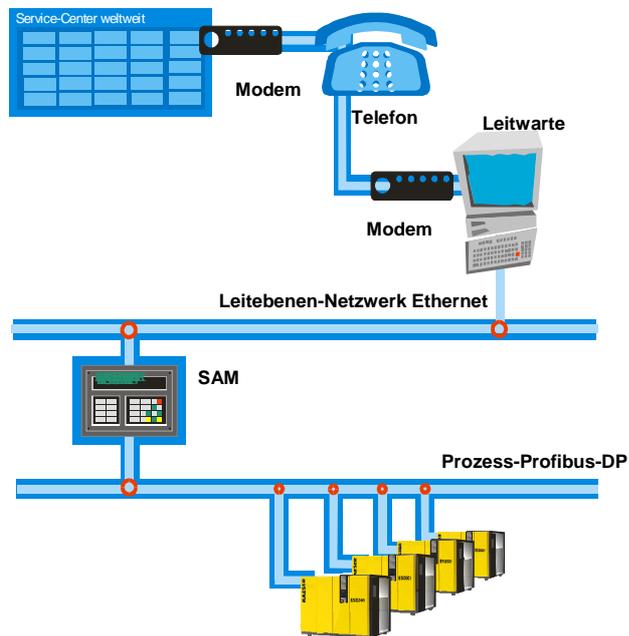
© Kaeser Kompressoren Bild 9 www.kaeser.com

## Bessere Auslastung der Kompressoren durch effiziente Anlagenkoordination



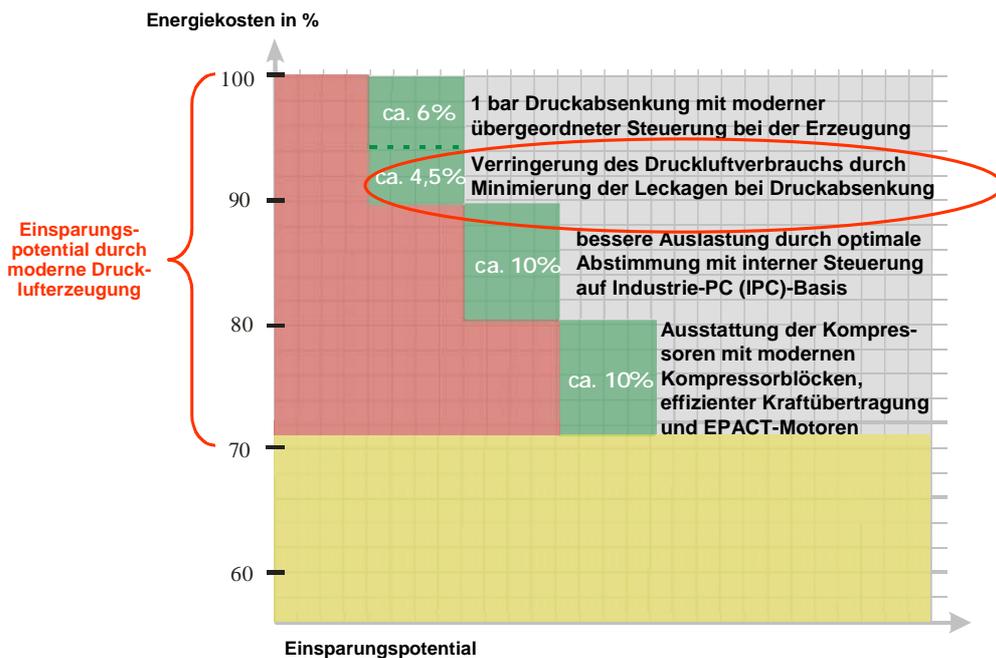
© Kaeser Kompressoren Bild 10 www.kaeser.com

## Controlling



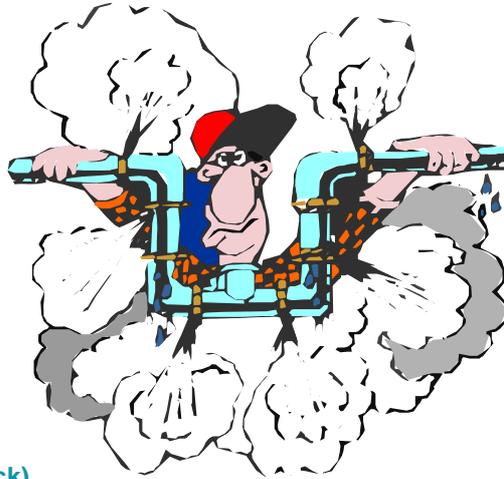
© Kaeser Kompressoren Bild 11 www.kaeser.com

## Senkung der Energiekosten eines Druckluftsystems durch Systemoptimierung



© Kaeser Kompressoren Bild 12 www.kaeser.com

## Leckagen erkennen



**Beispiel:**

Lochdurchmesser: 3 mm

Luftverlust: 0,5 m<sup>3</sup>/min (bei 6 bar Überdruck)

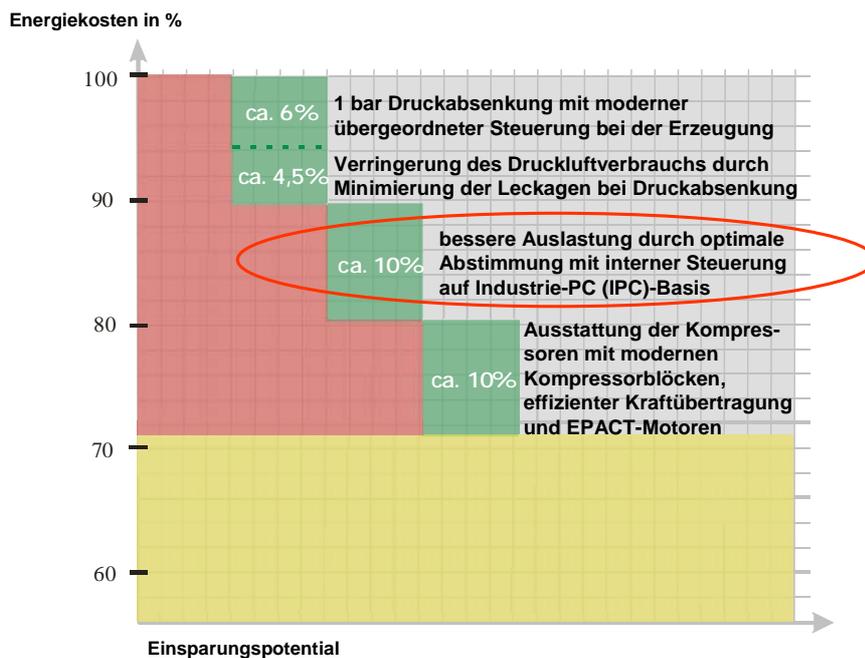
0,5 m<sup>3</sup>/min x 60 min/h = 30 m<sup>3</sup>/h

30 m<sup>3</sup>/h x 8000 h/Jahr = 240.000 m<sup>3</sup>/a

240.000 m<sup>3</sup>/Jahr x 0,03 DM/m<sup>3</sup> = 7.200 DM/a bzw. etwa 3.600 Euro/a

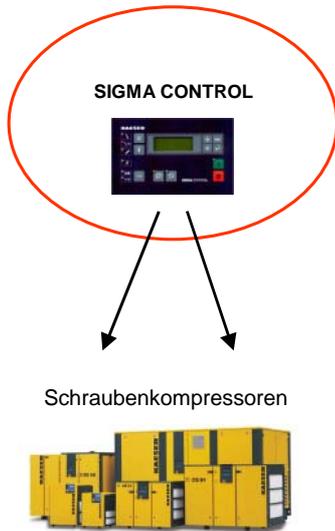
© Kaeser Kompressoren Bild 13 www.kaeser.com

## Senkung der Energiekosten eines Druckluftsystems durch Systemoptimierung



© Kaeser Kompressoren Bild 14 www.kaeser.com

## SIGMA CONTROL - der PC im Kompressor

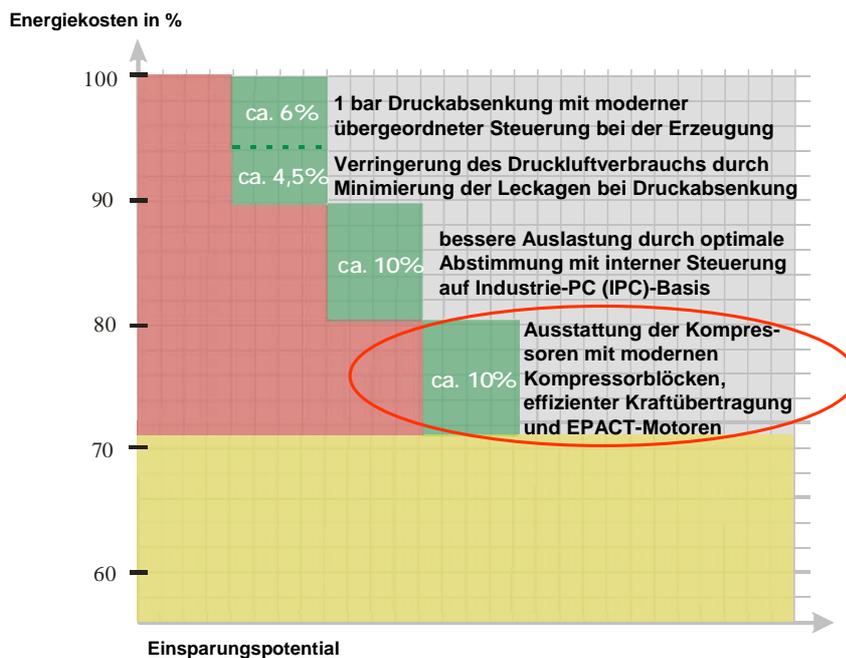


- Kompaktsteuerung zum Einbau in die Bedienungstafel unserer Kompressoren
- 5 gespeicherte unterschiedliche Kompressorsteuerungssysteme für KAESER-Kompressoren

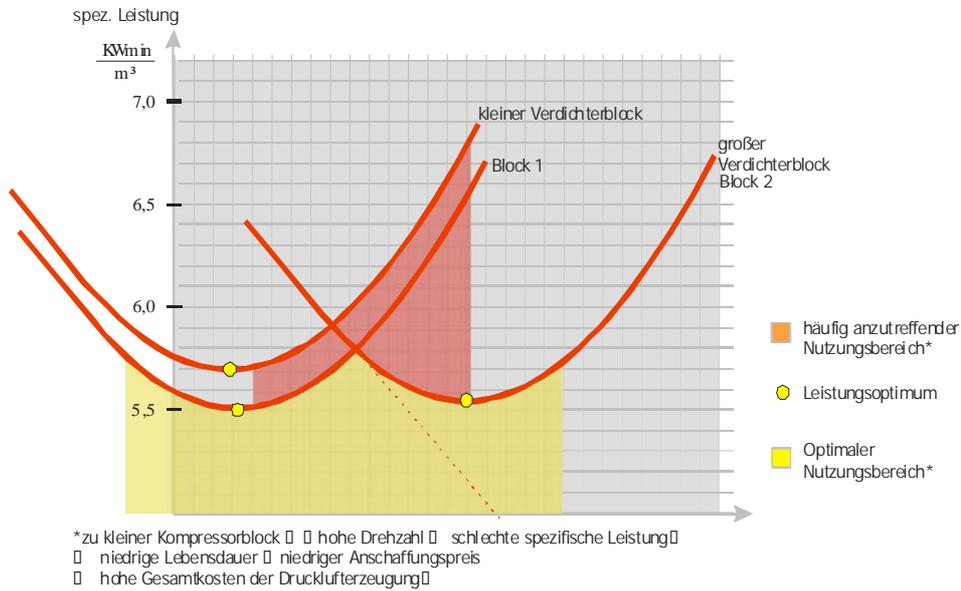


- 21 gespeicherte Sprachen, austauschbar, einschließlich länderspezifischer Maßeinheiten
- Datenerfassung: Schnittstellen für Datenübertragung zur Verbundsteuerung und Teleservice

## Senkung der Energiekosten eines Druckluftsystems durch Systemoptimierung



## Unterschiede im Nutzungsbereich von Verdichterblöcken für Schraubenkompressoren



© Kaeser Kompressoren Bild 17 www.kaeser.com

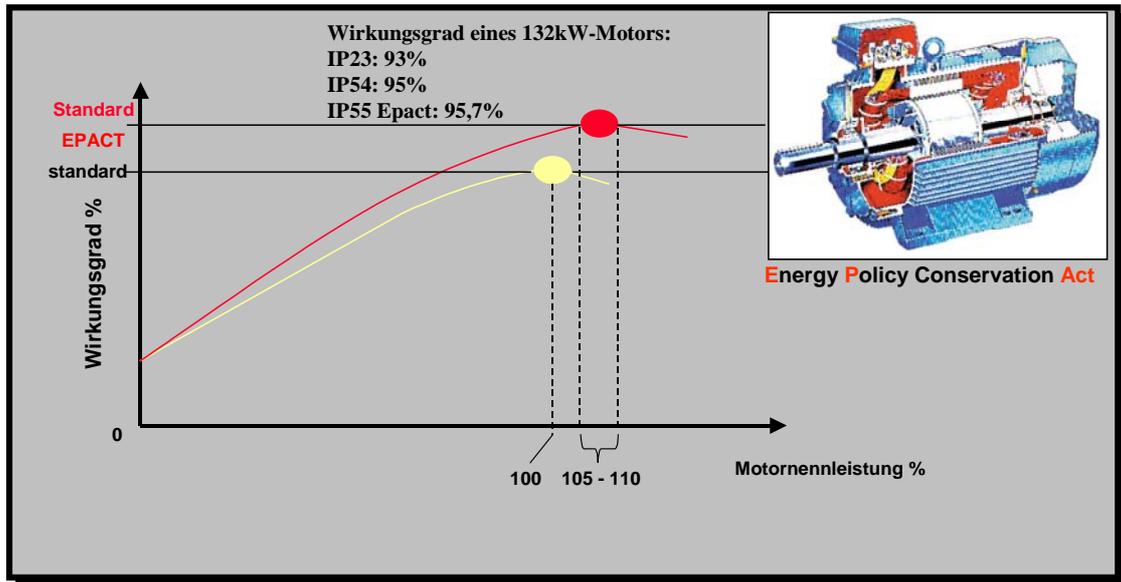
## Direktkupplung von Kompressorblock und Antriebsmotor



Einsparung von ca. **2,5% Energie** durch Vermeiden von Übertragungsverlusten

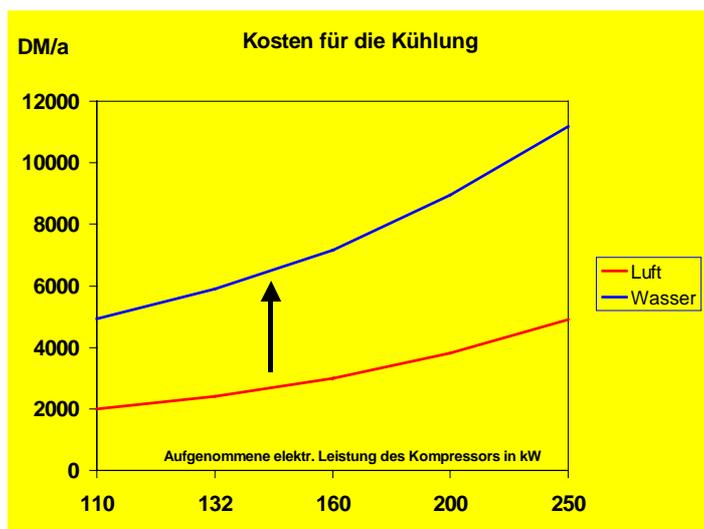
© Kaeser Kompressoren Bild 18 www.kaeser.com

### Wirkungsgrad optimierter E-Motoren (EPACT-Motoren)



© Kaeser Kompressoren Bild 19 www.kaeser.com

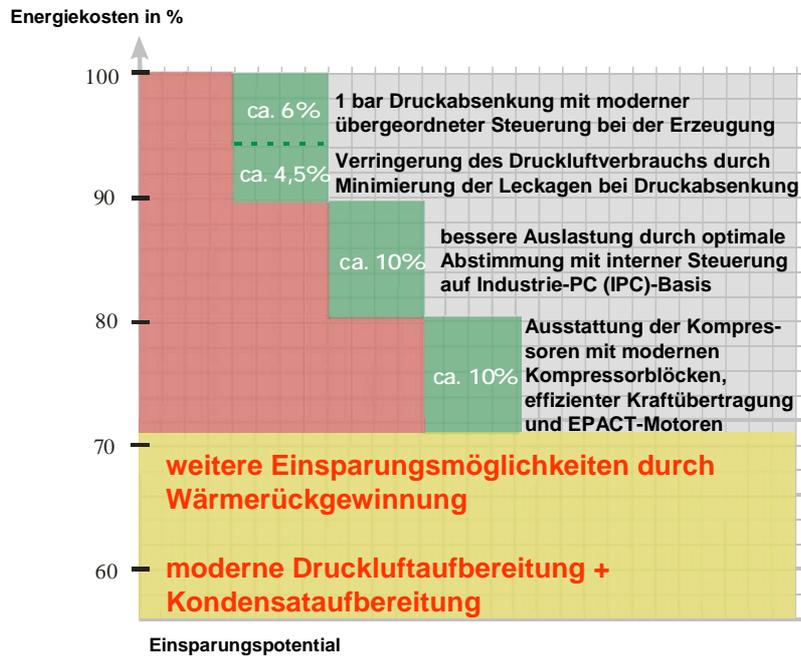
### Optimierte Kühlung: Kosten für Luft- bzw. Wasserkühlung von Kompressoren



Basis:  
 Betriebsstunden 4000 h/a  
 Wasserkosten (ges) 0,20 DM/cbm  
 Preis 0,11 DM/kWh

© Kaeser Kompressoren Bild 20 www.kaeser.com

## Senkung der Energiekosten eines Druckluftsystems durch Systemoptimierung

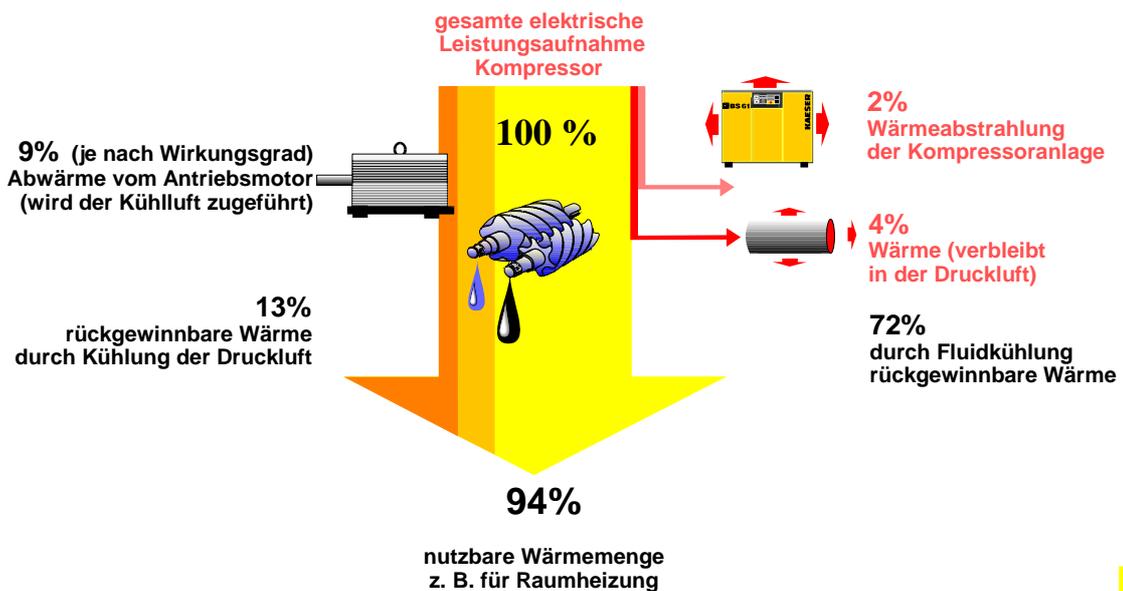


© Kaeser Kompressoren Bild 21 www.kaeser.com

## Einsatz von Wärmerückgewinnung bei der Druckluftherzeugung



### Wärmediagramm



© Kaeser Kompressoren Bild 22 www.kaeser.com

## Druckluftaufbereitung

Wählen Sie je nach Bedarf/Anwendung den gewünschten Aufbereitungsgrad:

Druckluftaufbereitung mit Kältetrockner (Drucktaupunkt +3 °C)

Anwendungsbeispiele:

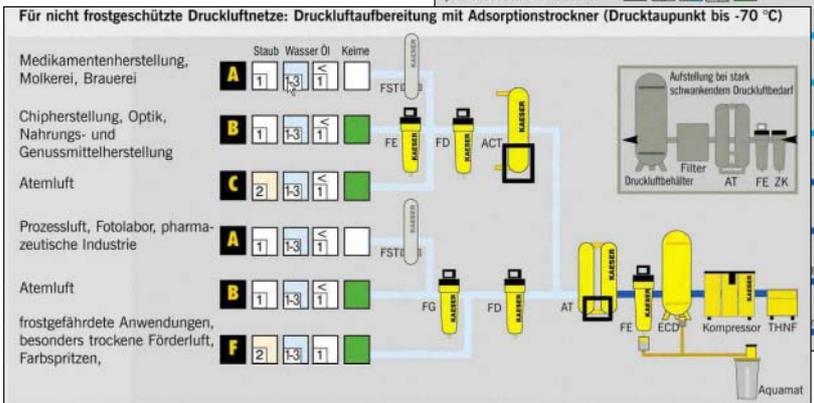
Molkerei, Brauerei

Nahrungs- und Genussmittelherstellung

besonders saubere Förderluft, Chemieanlagen

Krankenhaus, Atemluft

Webmaschinen, Fotolabor, pharmazeutische Industrie



© Kaeser Kompressoren Bild 23 www.kaeser.com

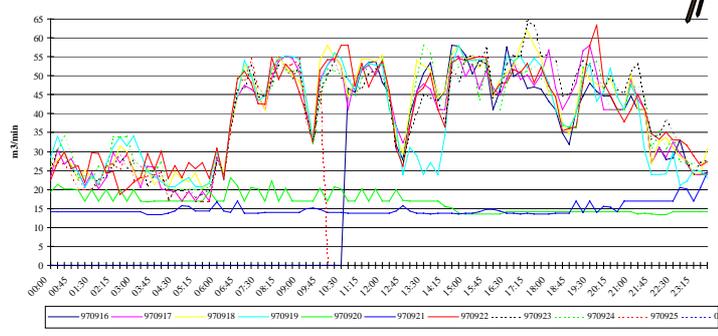
## Moderne Anlagenplanung ist die Voraussetzung

### Analyse des Druckluftverbrauchs



F.A.D.  
970916 - 970925  
Porsche, Stuttgart

Gesamtlast über alle aufgenommenen Kompressoren



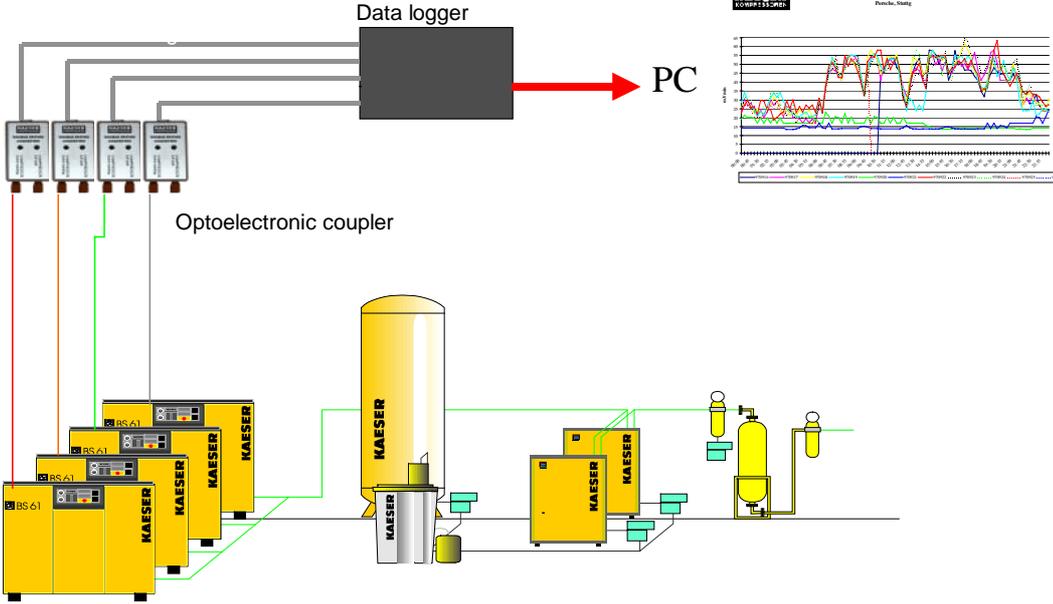
**ADA**  
Air Demand Analysis

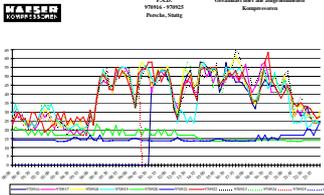
© Kaeser Kompressoren Bild 24 www.kaeser.com



## Verbrauchsanalyse: Messung des Druckluftverbrauchs

### Analyse des Druckluftverbrauchs





© Kaeser Kompressoren Bild 25 www.kaeser.com

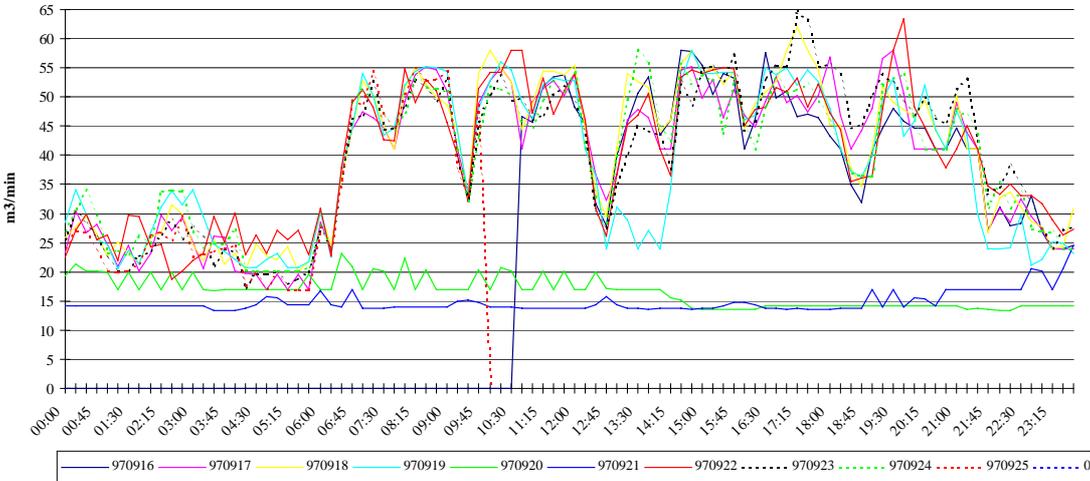


## Druckluftverbrauchsschwankungen über 24 Stunden



F.A.D.  
970916 - 970925  
Porsche, Stuttgart

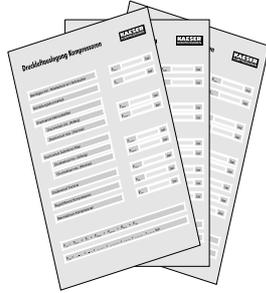
Gesamtlast über alle aufgenommenen  
Kompressoren



© Kaeser Kompressoren Bild 26 www.kaeser.com

## KESS bietet die optimalen Lösungswege

**INPUT:**  
alle verfügbaren technischen  
Daten eines Lösungskonzeptes



**INPUT:**  
Daten aus einer Verbrauchsanalyse



**OUTPUT:**  
Wirtschaftlichkeitsvergleich unterschiedlicher Lösungskonzepte

## OUTPUT: elektrische Aufnahmeleistung der Druckluftversorgungsanlage



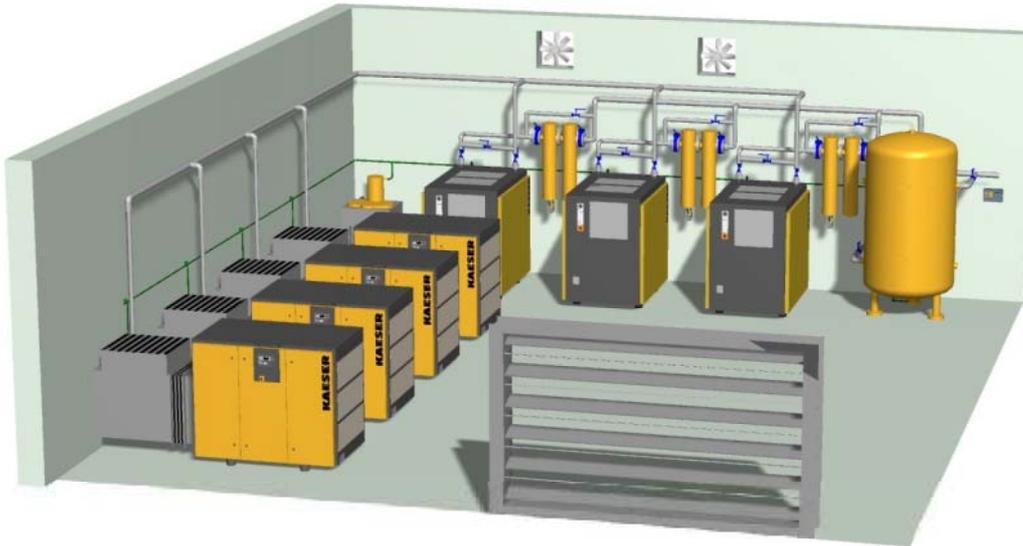
– existierende Druckluftstation

– Neukonzept 1

– Neukonzept 2



## Optimierte Planung und Installation



© Kaeser Kompressoren Bild 31 www.kaeser.com

## SIGMA CONTROL - der PC im Kompressor



Schraubenkompressoren



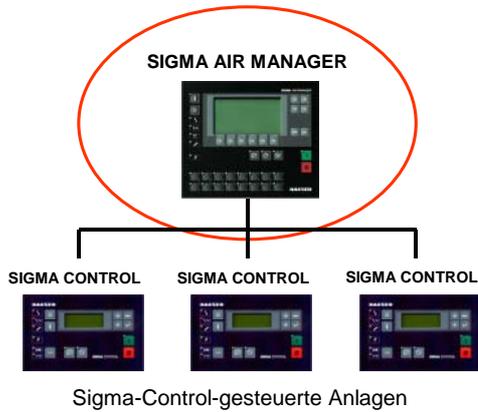
- Kompaktsteuerung zum Einbau in die Bedienungstafel unserer Kompressoren
- 5 gespeicherte unterschiedliche Kompressorsteuerungssysteme für KAESER-Kompressoren



- 21 gespeicherte Sprachen, austauschbar, einschließlich länderspezifischer Maßeinheiten
- Datenerfassung  
Schnittstellen für Datenübertragung zur Verbundsteuerung und Teleservice

© Kaeser Kompressoren Bild 32 www.kaeser.com

## SIGMA AIR MANAGER - der PC in der Kompressorstation



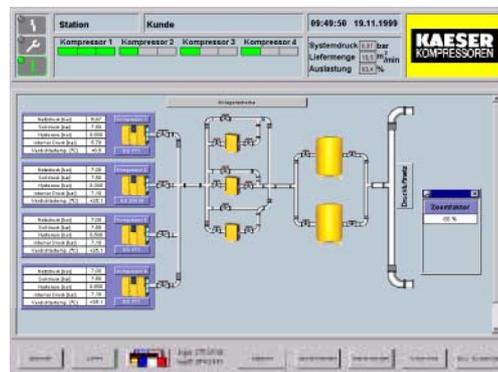
© Kaeser Kompressoren Bild 33 www.kaeser.com

- Optimierung der Station
- Anpassung an Produktionsbedarf
- Datenerfassung
- Überwachung
- Datenweiterleitung

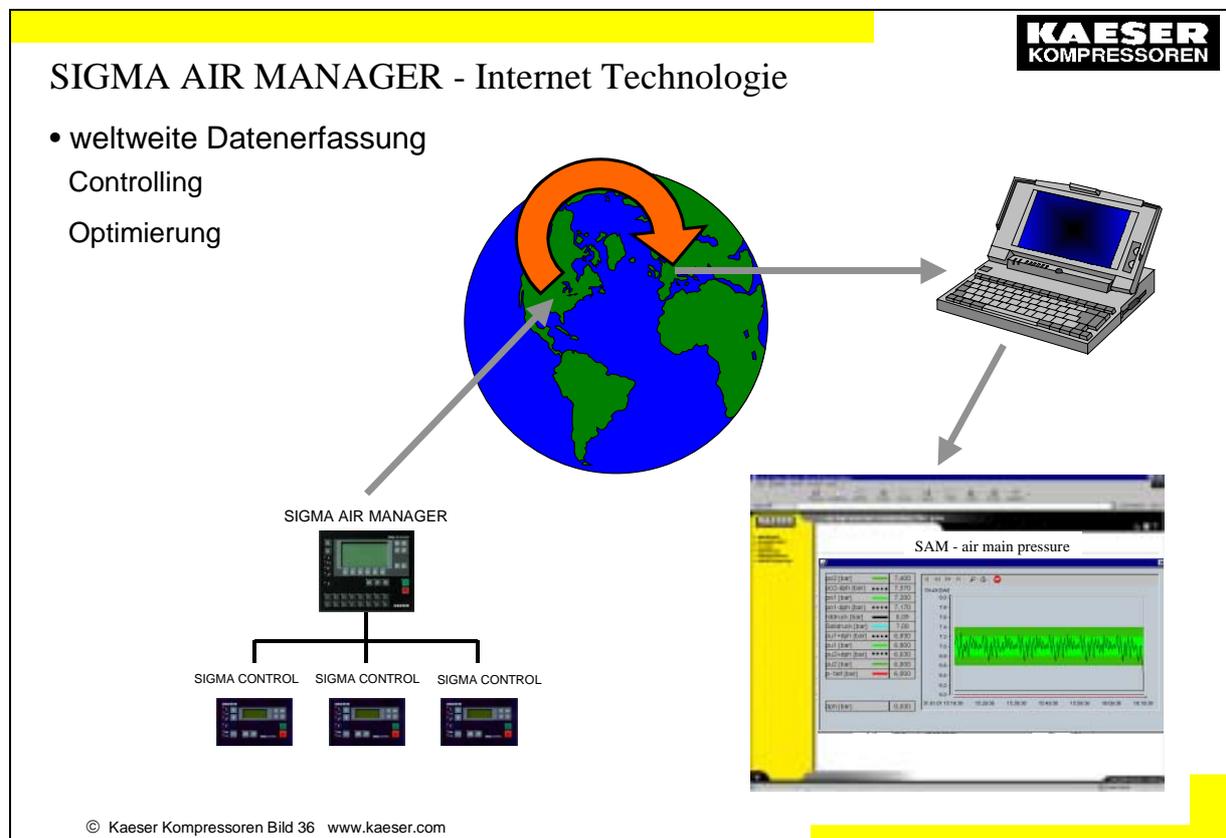
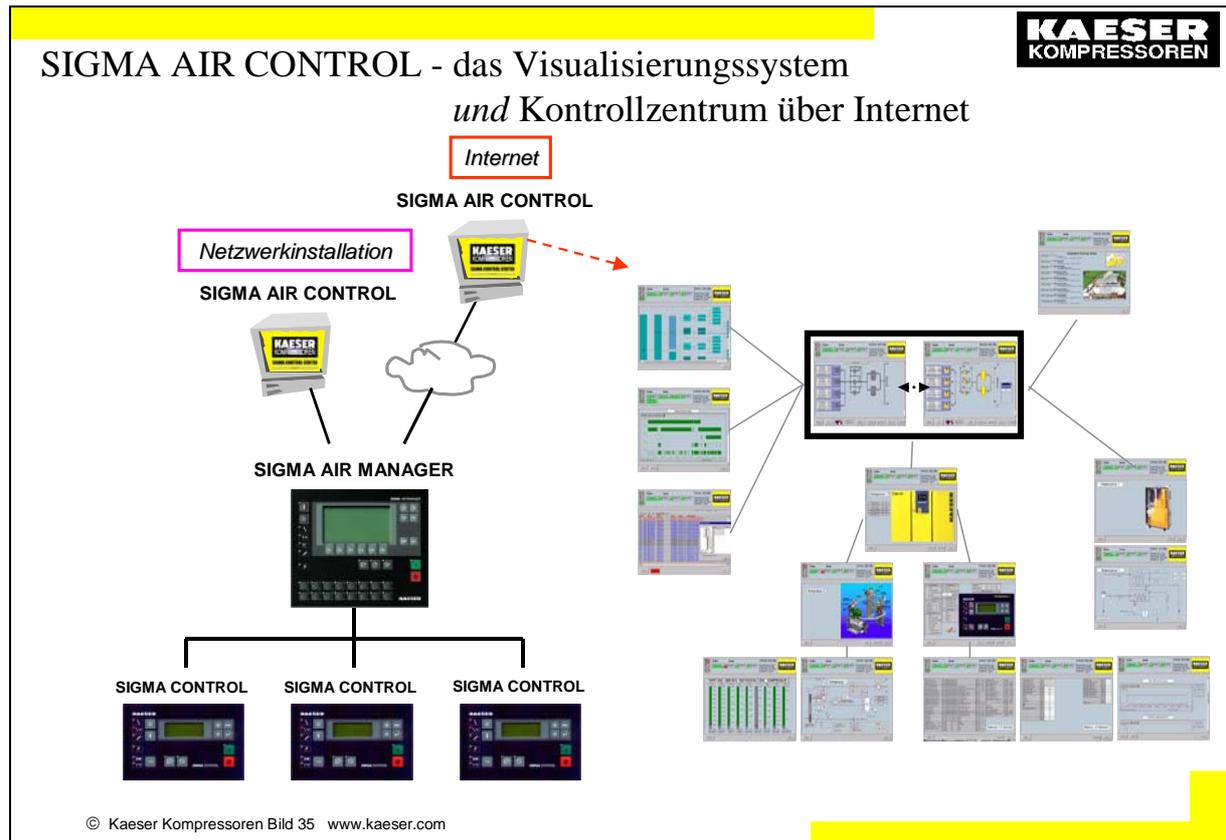
## SIGMA CONTROL CENTER - das System Leitwarte



- Datenmanagementkontrolle
- lokales Kontrollzentrum für Druckluftanlagen, bestehend aus PC und Software für Anschluss „Sigma Air Manager Controller“
- Anschluss über Ethernet, netzwerkfähig!

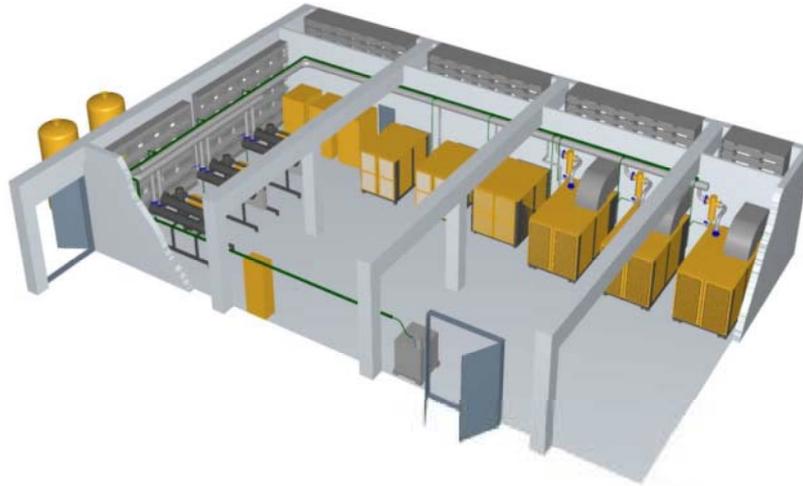


© Kaeser Kompressoren Bild 34 www.kaeser.com



## *Kostenreduktion durch*

O  
P  
T  
I  
M  
I  
E  
R  
U  
N  
G



C  
O  
N  
T  
R  
O  
L  
L  
I  
N  
G

[www.kaeser.com](http://www.kaeser.com)

© Kaeser Kompressoren Bild 37 [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com)

# Fördermöglichkeiten im Bereich der rationellen Energienutzung

**Dipl.-Geol. Sabine Stallmann , Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH**

## Vorbemerkung

Im Folgenden finden Sie eine kurze Übersicht über die Förderprogramme des Bundes und des Freistaates Bayern in den Bereichen rationelle Energienutzung / Umwelt, die (u.a.) von Unternehmen in Anspruch genommen werden können.

Diese Auflistung kann nur einen Überblick geben, im Text finden Sie die Ansprechpartner für weitere detaillierte Informationen (Adressliste s. Punkt 4.).

Gewähr für die Angaben kann nicht übernommen werden!

## 1. Allgemeines

Wenige Förderprogramme sehen eine Unterstützung in Form von einmaligen Zuschüssen vor. Häufiger werden durch die derzeitigen Förderprogramme Darlehen zur Verfügung gestellt, die vergünstigte Zinsen, tilgungsfreie Anlaufjahre oder auch Restschuldenerlaß gewähren können. Verschiedene Laufzeitvarianten sind meist vorgesehen.

Generell ist bei allen Förderprogrammen zu beachten:

- Mit der Maßnahme darf i.d.R. vor Antragstellung nicht begonnen werden! Als Beginn gilt der Abschluss eines der Leistung oder Lieferung zuzurechnenden Vertrages bzw. der erste Spatenstich bei Bauvorhaben. (Planungsleistungen sowie rechtliche und organisatorische Vorbereitungen dürfen normalerweise im Vorab erbracht werden.)
- Bei Zuschüssen besteht in der Regel ein Kumulierungsverbot! (Auch gegenüber regionalen Förderungen.)
- Zuschüsse müssen bei den jeweiligen Bewilligungsbehörden beantragt werden.
- Zinsverbilligte Darlehen können zum Teil miteinander kombiniert werden, eine Finanzierung kann aber meist nicht ausschließlich über subventionierte öffentliche Darlehen erfolgen, Eigenmittel bzw. nicht subventionierte Darlehen oder Fremdmittel sind i.d.R. notwendig.  
Die Zinssätze der Darlehen werden der Marktsituation angepasst, die genauen Konditionen sind daher jeweils aktuell zu erfragen.  
Für die Inanspruchnahme der Darlehen sind in der Regel die banküblichen Sicherheiten erforderlich, teilweise sind Haftungsfreistellungen möglich.
- Darlehen werden i.d.R. bei der jeweiligen Hausbank oder Sparkasse des Antragstellers beantragt (Auskunft und Beratung auch direkt bei den Förderbanken, Adressen s.u.).
- Bestimmte Beihilfen werden nur zugunsten der KMU – kleiner und mittelständischer Unternehmen gewährt. Im Sinne der EU Definition sind dies Unternehmen, die: a) weniger als 250 Arbeitskräfte beschäftigen und b) deren Jahresumsatz maximal 40 Mio € oder Jahresbilanzsumme höchstens 27 Mio € erreicht und c) deren Kapital oder Stimmanteile zu weniger als 25% im Besitz von Unternehmen stehen, welche die KMU Definition nicht erfüllen. Einzelne Programme fassen diese Kriterien allerdings weiter bzw. enger.

## 2. Förderprogramme Energieeinsparung / rationeller Energieeinsatz

### 2.1 ERP – Umwelt und Energiesparprogramm

Einsparung und rationelle Verwendung von Energie sowie Nutzung erneuerbarer Energiequellen, Abfallvermeidung / -verringerung, Abwasserreinigung, Luftreinhaltung, Öko-Audits,

Antragsteller: Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (Jahresumsatz max. 250 Mio €), Freiberufler, Public Private Partnership (ppp) - Projekte

Förderung: Darlehen, maximal 50% der Investitionssumme, Höchstbetrag i.d.R. 0,5 Mio €,

Auskunft: DtA

## 2.2 DtA – Umweltprogramm

Ergänzung zu 2.1

Förderung: Darlehen, In Ergänzung zum ERP – Programm lassen sich bis zu 75% der Investitionen, für KMU bis zu 100% der Investitionen, fördern.

KMU mit weniger als 100 Beschäftigten können in bestimmtem Rahmen eine 50%ige Haftungsfreistellung für Kredite bis 1 Mio € beantragen.

Auskunft: DtA

## 2.3 Zusatzprogramm der LfA – Umweltschutz -

Energieeinsparung, Nutzung erneuerbarer Energien, Boden- und Grundwasserschutz, Umweltschutzmaßnahmen in den Gebieten Abwasserreinigung, Luftreinhaltung, Lärmschutz, Abfallwirtschaft,

Antragsteller: kleine und mittlere gewerbliche Unternehmen (KMU)

Förderung: Darlehen, Finanzierungsanteil bis zu 50%, i.d.R. nicht mehr als 1,02 Mio €. (Auch gültig für integrierte Vorhaben, bei denen der umweltrelevante Investitionsteil nicht herausgerechnet werden kann.)

Auskunft: LfA

## 2.4 KfW - Umweltprogramm

Langfristige Investitionen, die zu einer wesentlichen Verbesserung der Umweltsituation beitragen. Contracting-Vorhaben sind förderfähig, sofern Energieeinsparung elementarer Bestandteil ist.

Antragsteller: Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Freiberuflich Tätige, Betreibermodelle der Entsorgungswirtschaft, Unternehmen an denen die öffentliche Hand, Kirchen oder karitative Organisationen beteiligt sind.

Förderung: Darlehen, Höchstbetrag i.d.R. 5 Mio €. Liegt der Umsatz des Unternehmens unter 50 Mio € beträgt der KfW Anteil maximal  $\frac{3}{4}$  der Investitionskosten, bei höheren Umsätzen maximal  $\frac{2}{3}$ . Für kleine Unternehmen bis 100 Beschäftigte ist eine 50%ige Haftungsfreistellung möglich.

Auskunft: KfW

## 2.5 Agrarinvestitionsförderungsprogramm

Förderung von Maßnahmen, die der Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen dienen. U.a. Energieeinsparung und –umstellung.

Antragsteller: Unternehmen der Landwirtschaft

Förderung: Zinsverbilligtes Darlehen oder Zuschuss

Auskunft: StMLF und Landwirtschaftsämter

## 2.6 Demonstrationsvorhaben zur Verminderung von Umweltbelastungen (BMU)

Demonstrationsvorhaben in den Bereichen Energieeinsparung, rationelle Energiegewinnung und Nutzung erneuerbarer Energien, umweltfreundliche Energieversorgung und –verteilung / Vermeidung von Störfällen, Abwasserreinigung / Wasserbau, Abfallvermeidung –verwertung – beseitigung, Sanierung von Altablagerungen, Bodenschutz, Luftreinhaltung,

Antragsteller: Unternehmen, Gemeinde, Kreise, Zweckverbände usw, KMU werden bevorzugt gefördert.

Förderung: Zinszuschuss zur Verbilligung eines Kredites (bis zu 70% der förderfähigen Ausgaben) oder Investitionszuschuss (bis zu 30% Anteilfinanzierung).

Auskunft: DtA und BMU (auch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unterstützt Demonstrationsvorhaben)

## 2.7 Bayerisches Umweltberatungs- und Auditprogramm

Umweltberatungen im Rahmen betrieblicher Umweltprüfungen und weitere Maßnahmen, die den Aufbau von Umweltmanagementsystemen in kleinen und mittleren Unternehmen unterstützen.

Förderung: Zuschuss, für Umweltberatungen bis zu 1013,00 €, für Umweltmanagementsysteme bis 3068,00 €.

Antragsteller: KMU der gewerblichen Wirtschaft sowie Dienstleistungsunternehmen und Freiberufler. Der Umsatz darf 30 Mio., die Beschäftigtenzahl 150 nicht überschreiten.

Auskunft: LGA, (Handwerkskammern, Industrie- u. Handelskammern)

## 3. Weitere Programme

Die oben genannten Darlehensprogramme können i.d.R. mit weiteren Förderprogrammen kombiniert werden (z.B. mit dem Mittelstandskreditprogramm). Gefördert werden beispielsweise Existenzgründung, Neuerrichtung und Einrichtung von Betrieben, Betriebsübernahmen, Investitionen zur Rationalisierung und Modernisierung etc. Weitere Auskünfte und Beratung bieten KfW, DtA und LfA sowie Banken und Sparkassen.

## 4. Kontaktadressen

Im vorangegangenen Text genannte Auskunftsstellen bzw. Bewilligungsbehörden:

### **BMU** – Bundesumweltministerium

Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Antragseinreichung und Auskünfte über das Umweltbundesamt

Postfach 33 00 22

14191 Berlin

Tel: 030 – 89 030

Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### **DtA** – Deutsche Ausgleichsbank

53170 Bonn

Tel: 01801 – 24 24 00

Internet: [www.dta.de](http://www.dta.de) (Förderproduktberater)

### **KfW** – Kreditanstalt für Wiederaufbau

Postfach 040345

10062 Berlin

Tel: 018 01 – 33 55 77

Fax: 069 – 7 43 16 43 55

Internet: [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

### **LfA** – Förderbank Bayern

Kundencenter

Königinstraße 17

München

Tel: 018 01 – 21 24 24

Fax: 089 – 21 24 22 16

Internet: [www.lfa.de](http://www.lfa.de)

### **LGA** – Landesgewerbeanstalt Bayern

Tillystraße 2

90431 Nürnberg

Tel: 09 11 – 6 55 50

Fax: 09 11 – 6 55 42 35

Internet: [www.lga.de](http://www.lga.de)

**StMLF** – Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten  
Postfach 22 00 12  
80535 München  
Tel: 089 – 21 82 0  
Fax: 089 – 21 82 26 77  
Internet: [www.stmlf.de](http://www.stmlf.de) (Auflistung der Landwirtschaftsämter in Bayern)

Weitere Auskünfte zu Förderprogrammen auch bei:

**BMWi** - Bundesministerium für Wirtschaft  
Förderberatung des BMWi  
Tel: 018 88 – 6 15 76 55  
Fax: 018 88 – 6 15 70 33  
Internet: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de) (u.a. Förderdatenbank!)

**Bayerisches Energie-Forum**  
Bayern Innovativ GmbH  
Gewerbemuseumsplatz 2  
90403 Nürnberg (kein Kundencentrum)  
Tel: 0 18 05 - 35 70 35  
Fax: 09 11 – 20 671 66  
e-mail: [energie@bayern-innovativ.de](mailto:energie@bayern-innovativ.de)

# **Möglichkeiten und Potenziale rationeller Energienutzung in industriellen Anlagen des Maschinenbaus am Beispiel der Fa. AGCO GmbH & Co. Zweigniederlassung Asbach-Bäumenheim**

**Dr. Stefan Blüm, Energieconsulting Heidelberg GmbH**

## **1 Einleitung**

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studie vorgestellt, die im Rahmen des Projekts „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ erarbeitet wurden.

In einem exemplarisch ausgewählten Betrieb des Maschinenbaus wurde dazu eine Analyse der derzeitigen Energienutzung und der möglichen Verbesserungen und Einsparpotenziale hinsichtlich Energieverbrauch und Kosten sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgeführt. Daraus werden allgemein auf andere Betriebe der Branche übertragbare Charakteristika der Energieverwendung und typischer Einsparpotenziale abgeleitet.

## **2 Energie-Nutzungsanalyse des untersuchten Betriebs**

Für die Studie wurde an dem untersuchten Standort zunächst in einer Energie-Nutzungs-Analyse die derzeitige betriebliche Situation hinsichtlich Energiebezug, -umwandlung und -verbrauch erfasst durch

- ⇒ die Auswertung vorhandener Daten und Aufzeichnungen (Verbrauchsabrechnungen, interne Aufzeichnungen, Daten von Energiezählern, Betriebsstundenzählern...)
- ⇒ die Erfassung von technischen und Betriebsdaten von wesentlichen Verbrauchern / Verbrauchergruppen (Leistungs- und Medienverbrauchsdaten, Nutzungszeiten, Auslastung...)
- ⇒ Messungen (elektrische Leistung, Temperaturen, Drücke, Wärme-/Durchflussmengen, Betriebszeiten...)

### **2.1 Ist-Analyse: Betriebliche Daten, Energiebezug**

Es werden jährlich die Kabinen und fast alle anderen Blechteile für rund 10.000 Schlepper der Marke Fendt hergestellt, oberflächenbehandelt und montiert.

Insgesamt sind am Standort rund 730 Mitarbeiter beschäftigt in den Betriebsbereichen

- ⇒ Teilefertigung
- ⇒ Kabinenschweißerei
- ⇒ Teileschweißerei
- ⇒ Montage / Vormontage
- ⇒ Oberflächenbehandlung
- ⇒ Logistik
- ⇒ Hilfsbetriebe / Werkzeugbau
- ⇒ Verwaltung

Je nach Bereich wird im Ein-, Zwei oder Dreischichtbetrieb produziert.

In den Produktionsbereichen wird ein weites Spektrum an Bearbeitungsprozessen eingesetzt:

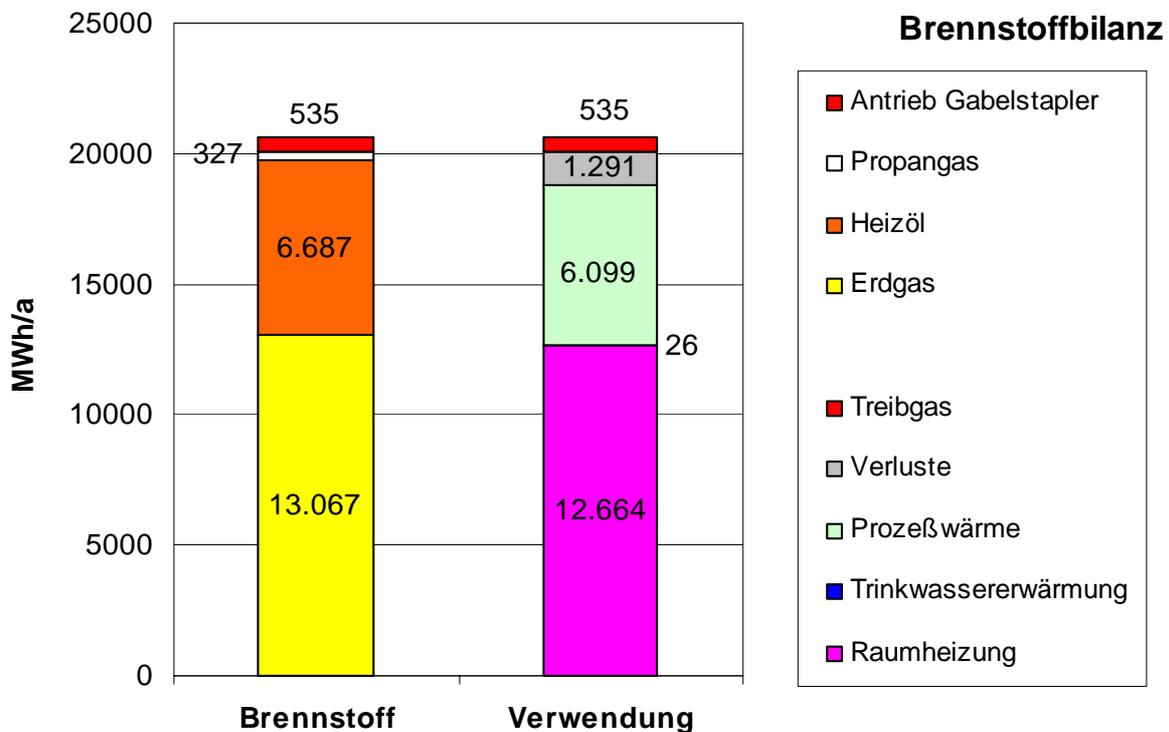
- ⇒ Laser- und Brennschneiden
- ⇒ Sägen
- ⇒ Pressen / Tiefziehen
- ⇒ Profilbearbeitung
- ⇒ Abkanten / Stanzen
- ⇒ spangebende Bearbeitung
- ⇒ Schweißen
- ⇒ Oberflächenbehandlung
- ⇒ Montage

## 2.2 Brennstoffeinsatz

Der Erdgasbezug beträgt rund 13.000 MWh/a (Hu). Das Erdgas wird zum Einen in einer Anlage zur Thermischen Abgasreinigung eingesetzt mit einem relativ gleichmäßigen Gasverbrauch von rund 400 MWh/Monat; die dort erzeugte Wärme wird zur Lacktrocknung verwendet. Zum Anderen wird Erdgas in der Heizzentrale verfeuert mit einen deutlichen witterungsbedingten Verlauf des Monatsverbrauchs. Darüber hinaus wird Propangas für die Brennschneidanlagen sowie Flüssiggas als Treibstoff für Gabelstapler eingesetzt.

Ein Teil der Gebäude über dezentrale Luftheizgeräte beheizt, die mit Heizöl EL befeuert werden. Auch hier ist ein deutlicher Jahresgang des Verbrauchs zu erkennen. Insgesamt wird Heizöl EL mit einer Brennstoffenergie von rund 6.700 MWh/a (Hu) eingesetzt.

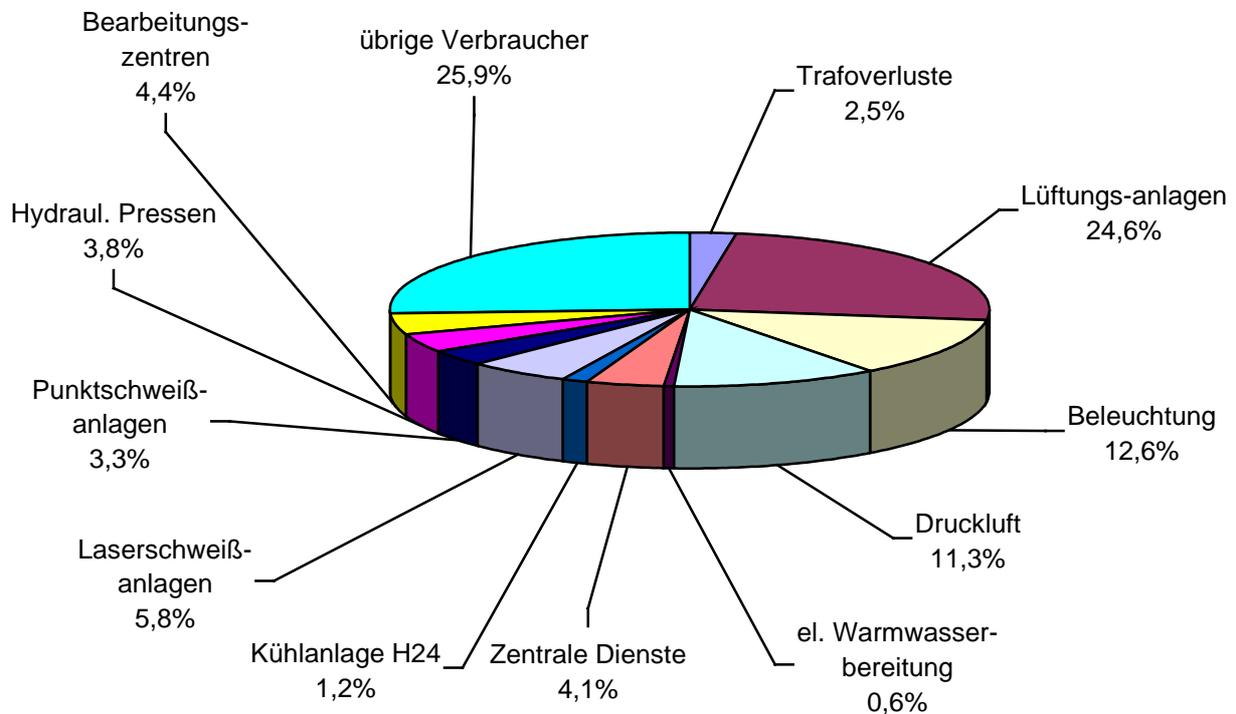
Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über Brennstoffeinsatz und Verwendung im Betrieb.



### 2.3 Stromeinsatz

Der jährliche Strombezug beträgt rund 8.600 MWh/a. Der Wochenlastgang zeigt einen sehr gleichmäßigen Lastverlauf über die Wochentage Montag bis Freitag mit einer maximalen Leistung von ca. 2.000 kW am Vormittag und einem Abfall bis zu den frühen Morgenstunden auf rund 1.400 kW. Am Samstag vormittag ist noch ein Leistungsbedarf von rund 800 kW vorhanden, der nachmittags und am Sonntag auf das Grundlastniveau von etwa 300 kW absinkt.

Im Gegensatz zur Brennstoff- bzw. Wärmeverwendung ist der Stromeinsatz geprägt von einer großen Zahl sehr unterschiedlicher Anwendungen. Wichtige zentrale Verbrauchergruppen sind Beleuchtungs- und Lüftungsanlagen, sowie die Druckluftherzeugung. Über die Hälfte des Jahresverbrauchs wird für diese und weitere zentrale Dienste aufgewendet. Darüber hinaus wird eine Vielzahl einzelner Produktionsanlagen versorgt; die wichtigsten Verbrauchergruppen sind hier die Schweißanlagen, Hydraulikpressen und Bearbeitungszentren. Die Aufteilung des jährlichen Stromverbrauchs ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



### 2.4 Kennzahlen

Bei der Bildung von betrieblichen Energiekennzahlen kommt der Auswahl der „richtigen“ Bezugsgröße eine hohe Bedeutung zu, um eine Vergleichbarkeit mit externen Daten zu ermöglichen. Gerade im Maschinenbau mit sehr großen Unterschieden zwischen den Betrieben hinsichtlich Produktspektrum, Fertigungstiefe, Prozessen ist hier große Vorsicht beim Kennzahlvergleich mit anderen Betrieben geboten. Selbst bei prozessspezifische Kennzahlen ist eine Vergleichbarkeit wegen unterschiedlicher der Randbedingungen selten gegeben.

Dagegen kann der Zeitreihenvergleich immer der selben Kennzahl des selben Standorts Aufschluss über die zeitliche Entwicklung der Energienutzung geben.

Auf Basis der Erhebung wurden folgende produktionsbezogene Energiekennwerte (bezogen auf die Produktionsmenge) ermittelt:

Energiebezugsmenge		Energiebezugsmenge bezogen auf... Produktionsmenge 10.000 Stück / a
	absolut	
Summe Brennstoffbezug (Gas + HEL)	19.754 MWh/a	1,97 kWh/Stück
Strombezug	8.607 MWh/a	0,86 kWh/ Stück

### 3 Branchenspezifische Merkmale

Im Maschinenbau gibt es ein weites Spektrum unterschiedlichster Betriebe. Die Gründe liegen in unterschiedlichen Betriebsgrößen, -Strukturen und Betriebszeiten (Schichtbetrieb), der am Standort vorhandenen Verarbeitungsstufen (Fertigungstiefe), Produktionsanlagen, Produktarten, verschiedenem Mechanisierungsgrad, usw. Durch die sehr weite Palette an Bearbeitungsmethoden und deren Kombinationen entsteht ein sehr inhomogenes Bild der Energieverwendung in der Branche.

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

- ⇒ Der Strombedarf ist stark geprägt durch elektrische Antriebe unterschiedlichster Art und Größe in einer Vielzahl von Anwendungen, die von der mechanischen Bearbeitung der Werkstücke über Montagewerkzeuge bis zu Hilfsantrieben bei der Lagerung, Förderung und Handhabung reichen.
- ⇒ Je nach Anwendungsfall herrscht punktuell ein hoher Bedarf an Prozesswärme für die unterschiedlichen Verfahren der Metallbearbeitung (Schweißen, Löten, Warmumformung...) und Oberflächenbehandlung (Reinigungsbäder, Galvanik, Lackierung, Trocknung usw.). Die eingesetzten Energieträger sind teils stark prozess-spezifisch (z.B. Schweißen, Brennschneiden), teils kann die Prozesswärmeversorgung aber auch durch weitverbreitete übliche Verfahren erfolgen (Warmwasser-Kessel, direktbefeuerte Lufterhitzer ...). Insbesondere bei niedrigen Anwendungstemperaturen ist die Abwärmenutzung hier eine sinnvolle Option.
- ⇒ Der Raumwärmebedarf ist oft innerhalb des Betriebes räumlich sehr inhomogen, da in einigen Betriebsbereichen hohe innere Wärmelasten anfallen (durch Produktionsmaschinen, Öfen, Trocknungsanlagen, usw.), die in anderen Bereichen dagegen sehr gering sind und deshalb dort mehr geheizt werden muss.
- ⇒ Druckluft ist ein wichtiger Energieträger für sehr viele Produktionsanlagen und Montagewerkzeuge. Da die Druckluft ein sehr kostenintensiver Energieträger ist, sollte daher der Erzeugung, Verteilung und Anwendung von Druckluft besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.
- ⇒ Es fallen bereichsweise große Abluftmengen an, die z.B. mit Schweißrauch belastet sind. Wenn im Betrieb lösemittelhaltige Lacke eingesetzt werden, so ist oft eine Anlage zur Behandlung der belasteten Abluft erforderlich. Die Wärme aus einer thermischen Nachverbrennungsanlage (TNV) kann meist ortsnah verwendet werden, z.B. für die Erwärmung der Trockenluft in der Lackieranlage.
- ⇒ Der Kältebedarf beschränkt sich üblicherweise auf die Wärmeabfuhr von Produktionsmaschinen (z.B. Schweißanlagen, Badkühlung). Prozesskälte und Raumkühlung spielen höchstens eine untergeordnete Rolle.

## 4 Verbesserungs- und Einsparpotenziale

Aus der Untersuchung des ausgewählten Betriebs und aus den o.g. allgemeinen Branchenmerkmalen wurden (unter anderen) die folgenden Maßnahmen ausgewählt, die zu einer Verbesserung der Energieversorgung und zur Minderung von Energieverbrauch und -Kosten sowie der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen dienen.

### 4.1 Druckluftverwendung

Druckluft ist ein sehr energieintensives Medium, da der Wirkungsgrad der Erzeugung sehr gering ist. 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.

Wegen der weiten Verbreitung der Druckluftverwendung einerseits und der Komplexität von Druckluftsystemen andererseits bieten sich hier viele Optimierungspotenziale, von denen hier einige beispielhaft beschrieben sind.

- ⇒ Ineffiziente Kompressoren (Überdimensionierung, Alter, Verschleiß) ersetzen: Im untersuchten Betrieb wird über die Hälfte der jährlichen Druckluftmenge von einem älteren Druckluftkompressor geliefert, dessen spezifischer Energiebedarf (0,19 kWh/m<sup>3</sup> taktend, 0,135 kWh/m<sup>3</sup> im Dauerbetrieb) deutlich über dem Stand der Technik liegt (bis 0,10 kWh/m<sup>3</sup> erreichbar). Dadurch der Stromverbrauch um ca. 110 MWh/a vermindert (bei gleicher Lieferleistung)
- ⇒ Abwärme der Druckluftkompressoren nutzen (rund 75% der elektrischen Leistung sind als Wärmeleistung nutzbar): entweder durch Nachrüstung eines Wärmetauschers (z.B. zur Warmwasserbereitung; viele Kompressoren sind bereits werksseitig dafür vorbereitet) oder die Verwendung der warmen Kompressorkühlluft z.B. zur Hallenheizung, wie im untersuchten Betrieb; geschätztes Brennstoff-Einsparpotenzial hier rund 250 MWh/a (entspr. 25 m<sup>3</sup>/a Heizöl EL)
- ⇒ Verminderung von Leckageverlusten ist häufig das größte Einsparpotenzial im Druckluftbereich; erfahrungsgemäß wirtschaftlich sinnvoll bis zu einer verbleibenden Leckagemenge von 10% bis 15% der erzeugten Druckluftmenge. Die Verlustmenge kann z.B. durch Messung des Druckluftverbrauchs am Wochenende bestimmt werden. Typische Schwachstellen liegen bei den Abnehmeranschlüssen (Kupplungen, Armaturen und Anschlussleitungen), Stopfbuchsen, Rohrverzweigungs- und Verbindungsstellen. Die Aufspürung von Lecks ist oft schon akustisch möglich (oder Lecksuchspray, Ultraschall-Leckdetektor). Ein regelmäßig durchgeführter „Tag der Druckluft“ dient zur Erhaltung des Wartungszustandes.
- ⇒ Ansaugbedingungen optimieren: niedrige Ansaugtemperatur (um 10°C höhere Temperatur der Ansaugluft erfordert 2-4% mehr Energieeinsatz); saugseitige Druckverluste vermeiden (Ansaugöffnungen, Luftklappen, Filter, Kanalführung, Ansaugung aus verschlossenen Räumen...)
- ⇒ Netzdruck und Luftaufbereitung auf das geringste erforderliche Niveau reduzieren (Einsparpotenzial etwa 6% pro bar Netzdruckreduzierung)
- ⇒ Kompressorsteuerung / Verbundregelung, um nur die tatsächlich benötigte Druckluftmenge zu erzeugen (Leerlaufzeiten minimieren, drehzahl geregelter Kompressor)
- ⇒ Nicht benötigte Leitungsteile absperren, z.B. nachts oder am Wochenende
- ⇒ Druckverlust durch lange Rohrleitungen / Engstellen in Rohrnetz vermeiden
- ⇒ Druckluft(Puffer)speicher richtig dimensionieren
- ⇒ Alternativen zur Druckluftanwendung: Ersatz durch andere Energieformen
- ⇒ Druckverlust im Anschluss reduzieren (dünner Schlauch, Kupplung)
- ⇒ Unnötigen Druckluftverbrauch vermeiden (Beispiele: Pneumatikventile getaktet geöffnet statt Dauerbetrieb, Lichtschranke zur Ventilöffnung nur bei Vorhandensein eines Werkstücks, pneumatische Filterabreinigung nur bei Differenzdrucküberschreitung,...)
- ⇒ bei mehreren Maßnahmen: zuerst Verbrauch reduzieren, dann (mit vermindertem Bedarf) Erzeugung optimieren!

## 4.2 Wärmerückgewinnung aus Absaugluft

Eine oft vorkommende lufttechnische Situation ist die Abfuhr belasteter Abluftmengen ins Freie; wenn in diesem Fall eine entsprechende Luftzuführung fehlt oder nicht mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet ist, sind damit erhebliche Wärmeverluste verbunden. Die Beschaffenheit und der Wärmeinhalt der Abluft bestimmen den erforderlichen Anlagenaufwand; bei vielen dezentralen Anlagen (wie im untersuchten Betrieb) ist eine Sammlung und gemeinsame Aufbereitung und Wärmerückgewinnung der Luftmengen sinnvoll.

Hier wird schweißrauchbelastete Abluft von den Schweißarbeitsplätzen und Schweißrobotern durch insgesamt rund 15 Absauganlagen mit einem gesamten Fördervolumenstrom von rund 70.000 m<sup>3</sup>/h über Dach abgeführt; die Hallenluft wird durch Nachströmung der entsprechenden Außenluftmenge ergänzt. Durch diese Nachströmung entstehen bei niedrigen Aussen-temperaturen erhebliche Lüftungswärmeverluste sowie Zugerscheinungen. Der jährliche Lüftungswärmeverlust durch die Abluft entspricht einem Brennstoffverbrauch von 1.400 MWh<sub>HU</sub>/a (oder 140 m<sup>3</sup>/a Heizöl EL).

Ein großer Teil (65% bis 85% je nach Anlagentyp) dieser Lüftungsabwärmemenge läßt sich zurückgewinnen durch eine Sammlung der Abluftmengen, deren Filterung und eine Anlage zur Wärmerückgewinnung (entweder im Umluftverfahren oder Zuluftanlage mit regenerativem Wärmetauscher)

## 4.3 Kühlwasserversorgung

In vielen Betrieben wird Kühlwasser auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt. Die Auswahl der Kühlmethode hängt unter anderem von den abzuführenden Wärmeleistungen (im jahreszeitlichen Verlauf) und insbesondere von den benötigten Temperaturen des Kühlmittelvorlaufs ab.

Zu der hier vorliegenden Frischwasserkühlung gibt es meisten Fällen wirtschaftlichere Alternativen (hier geordnet nach Kühlwasser-Temperaturniveau):

- ⇒ Nutzung der abzuführenden Wärme durch Übertragung auf zu erwärmende Medien, z.B. Hallenluft, Warmwasser (nur bei höheren Kühlmitteltemperaturen)
- ⇒ Freie Kühlung (Adiabatische Kühlung) durch Außenluft (bis knapp über Außenluft-Temperatur)
- ⇒ Nasskühlturm unter Ausnutzung des Verdunstungseffekts (bis zur Feuchtkugeltemperatur, einige Grad unterhalb der Außenlufttemperatur); erfordert Aufbereitung des Nachspeisewassers
- ⇒ Brunnenwasserkühlung bei ausreichender Wasserverfügbarkeit, wasserbehördlicher Genehmigung erforderlich (bis knapp über Grundwassertemperatur, ca. 10°C)
- ⇒ Kältemaschine (Kompression oder Absorption) ; hier gilt das bisher Gesagte analog für die Rückkühlung der Kälteanlage.
- ⇒ Kombinationen aus den o.g. Möglichkeiten, z.B. in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Im untersuchten Betrieb besteht Kühlbedarf z.B. für verschiedene Schweißgeräte, Hydraulikpressen und ein Elektrotauchlackbad. (Wärmeeinträge durch Werkstücke und Lack-Umwälzpumpe). Hier wird durch einen trinkwassergespeisten Wärmetauscher gekühlt (fast die Hälfte des gesamten jährlichen Wasserbezugs). Durch Umstellung der Kühlung auf Brunnenwasserkühlung läßt sich der Frischwasserverbrauch um ca 22.000 m<sup>3</sup>/a reduzieren. Dem steht allerdings ein elektrischer Mehrverbrauch von rund 18 MWh/a für die Brunnenwasserpumpen gegenüber.

## 4.4 Nutzung warmer Abluft

Bei hohen inneren Lasten in einzelnen Produktionsbereichen fällt oft auch in der Heizperiode eine überschüssige Wärmemenge an, die teilweise zur Beheizung anderer Bereiche verwendet werden kann. Dies ist im untersuchten Betrieb bei zwei benachbarten Hallen der Fall, die durch

einen Luftkanal mit Filter und Ventilator miteinander verbunden werden können, um die warme Hallenluft von der warmen zur kühleren Halle zu fördern. Durch die Abwärmenutzung lässt sich eine Brennstoffmenge von rund 700 MWh<sub>Hu</sub>/a einsparen; dafür entsteht ein jährlicher Strom-Mehrbedarf von rund 185 MWh<sub>el</sub>/a für die Ventilatoren.

Besonderheiten: Bei der Planung sind vorhandene Lüftungsanlagen in beiden Hallen zu berücksichtigen. Diese Maßnahme und die in Kapitel 4.2 vorgeschlagene Wärmeückgewinnung aus der Absaugluft beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirtschaftlichkeit. Vor Umsetzung dieser Maßnahmen sind daher in einem Gesamtkonzept Vor- und Nachteile der verschiedenen Maßnahmen abzuwägen.

#### 4.5 Wärmedämmung

Die Wärmedämmung von Prozesswärmeanlagen ist eine branchentypische Maßnahme, die um so lohnender ist, je höher die Betriebstemperaturen bzw. die Betriebsdauer ist. Eine nachträgliche Dämmung ist generell aufwändiger als eine entsprechende Ausrüstung bei der Erstbeschaffung.

Im untersuchten Betrieb wird eine Teilwaschmaschine mit mehreren Teilbädern auf einer Solltemperatur von 80°C betrieben. Die Wände der Bäder sind wärmegeklämmt und mit Blechabdeckungen ausgestattet. Eine zusätzliche Wärmedämmung der Deckel vermindert die Wärmeverluste und damit die zu deren Ausgleich erforderliche Wärmeleistung. Damit lassen sich Erdgas-Einsparungen von knapp 15 MWh/a realisieren.

#### 4.6 Antriebe

Elektrische Antriebe machen einen großen Teil des industriellen Stromverbrauchs aus. Bei einem besserem 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.

Eine neue europaweite Regelung sieht eine Kennzeichnung hinsichtlich des Wirkungsgrades vor, eingeteilt in 3 Wirkungsgradklassen: Standard (eff3); verbesserter Wirkungsgrad (eff2); Hochwirkungsgrad (eff1). 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.

Wirkungsgrade von Motoren unterschiedlicher Hersteller sind in einer Datenbank „EuroDEEM“ der Europäischen Kommission zusammengestellt und können abgerufen werden unter <http://iaemst.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>.

#### 4.7 Transformatorenverluste

Wegen der hohen Leistungsspitzen z.B. bei Schweißanwendungen sind entsprechend hohe Nennleistungen der Transformatoren erforderlich. Daher ist die Auslastung der Transformatoren gering, was zu einem relativ hohen Anteil an Leerlaufverlusten führt. Diese hängen nicht von der Abnahmeleistung, sondern nur von Bauart und -größe des Transformators 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, gerade bei geringer Transformatorenauslastung. Im untersuchten Betrieb ist dies bereits bei der Transformatorbeschaffung berücksichtigt worden.

#### **4.8 Energiemanagement-System**

Der Begriff Energiemanagementsystem beschreibt Einrichtungen und Maßnahmen, deren primäres Ziel die rationelle betriebliche Energieversorgung und –Verwendung ist. Ausgehend von einer Erstanalyse der Energiesituation des Betriebs zielt das System auf eine kontinuierliche Erfassung und Bewertung der betrieblichen Energieströme vom Bezug über Energieumwandlungsanlagen bis zum Endverbrauch. Um daraus mögliche Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten, sind Schwachstellen anhand von auffälligen Merkmalen aus der Datenanalyse (ungewöhnlich hohe Energiekennzahlen, Abweichungen im Lastgangverhalten...), zu identifizieren.

Dem stetig erforderlichen Aufwand für regelmäßige Datenerfassung und Auswertung (ob manuell oder durch automatisierte Systeme) stehen erfahrungsgemäß Einsparpotenziale von 5 bis 15% über alle Verbrauchsbereiche gegenüber.

# Energieeinsparung bei der industriellen Lackierung

Wolfgang Klein, IPA, Stuttgart

## 1 Energiereduzierung, ein Schwerpunktthema für die Zukunft

Seit Anfang der 80er Jahre fordert die Öffentlichkeit zunehmend Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastungen. Diese Forderungen spiegeln sich nun in vielen Gesetzestexten und Verordnungen wieder. Zunächst waren Maßnahmen zur Eingrenzung von Emissionen organischer Lösemittel der Schwerpunkt. Emissionsarme Technologien wurden weiterentwickelt (z.B. Pulverbeschichtung) und Sekundärmaßnahmen, wie z.B. Abluftreinigungsmaßnahmen, Lösemittelrückgewinnung, realisiert. Diese Maßnahmen haben oft Mehrkosten sowie einen höheren Energieeinsatz verursacht.

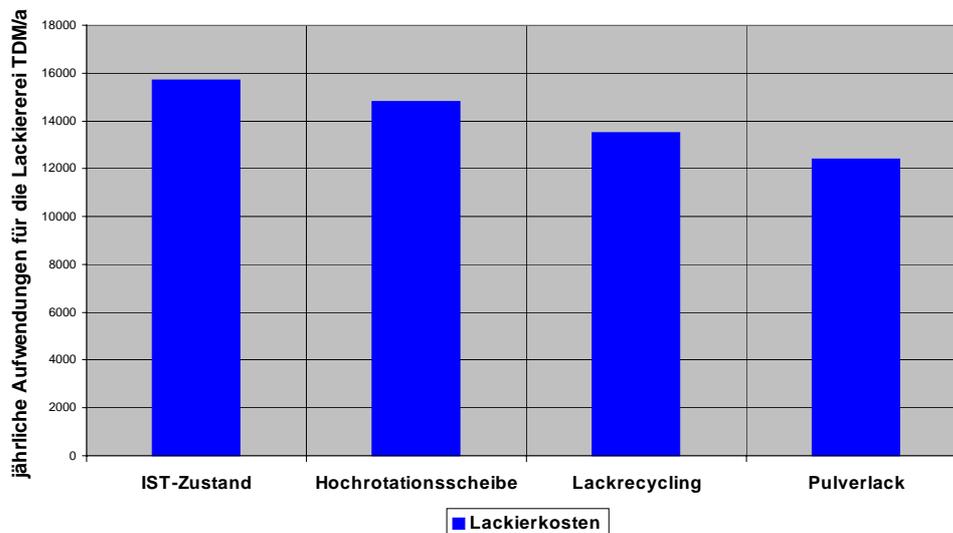


Bild 1: Einsparpotentiale bei einem Fallbeispiel

Die im 2. Abschnitt der Umweltschutzphase zunehmend geforderten Maßnahmen zur Reduzierung von Sonderabfällen haben dagegen auch enorme wirtschaftliche Gewinne erzielt (Bild 1). Zu diesen Maßnahmen gehören z.B.

- die Vermeidung bzw. Verminderung der Lackierarbeit durch den Wegfall der Grundierung bzw. Füllerbeschichtung, Fehlervermeidung (Nachlackierung) und durch Anwendung des Spot-repairs,
- Erhöhung der Lackmaterialausbeute durch lacknebelarme Zerstäubung (z.B. HVLP), Automatisierung (mit Spritzstrahlsteuerung) und elektrostatisches Lackieren (auch Kunststoffe),
- Lackoverspray-Recycling (z.B. Auffangen auf Bändern, Ultrafiltration, Lack-in-Lackkabine sowie
- Weiterentwicklung der Pulverlackierung auch für neue Anwendungen.

In der dritten Umweltschutzphase wird die Öffentlichkeit und der Gesetzgeber Maßnahmen zur Reduzierung des Energieeinsatzes verstärkt einfordern. Lackieranlagen verbrauchen sehr viel Energie. Zur Zeit sind die Energiekosten noch günstig. Bei Optimierungs- und Planungsprojekten fällt auch aus diesem Grund immer wieder auf, daß Angaben zum Energieverbrauch und zu den Energiekosten nicht oder nur unzureichend von den Lackieranlagenbetreibern gemacht werden können. Oft erscheinen sie im Betriebsabrechnungsbogen nur als Umlage in den Fixkosten. Zukünftig ist mit steigenden Energiepreisen und evtl. auch mit Abgaben zu rechnen. Im Sinne des Umweltschutzes und zur Nutzung der Einsparpotentiale sollten die notwendigen organisatorischen Maßnahmen ergriffen werden, um die Basis für technische Einsparmaßnahmen

men und technologische Entwicklungen durch die Gegenüberstellung einer definierten Kostenrechnung zu schaffen. Bei vielen Lackieranlagen haben die Energiekosten an dem gesamten jährlichen Aufwand für die Lackierung einen Anteil von bis zu 20 %. Somit ist auch wie beim Thema Abfallreduzierung die Vereinigung von Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit gegeben.

Das Thema Energiereduzierung in Lackieranlagen wird wie bei der Lösemittelreduzierung nicht nur Neuanlagen, sondern mit entsprechenden Fristenregelungen auch vorhandene Anlagen betreffen. Wie bei den Maßnahmen zur Reduzierung von Sonderabfällen bringt die Schonung von Rohstoffen Einsparpotentiale an Produktionskosten.

Bei vorhandenen Lackieranlagen empfiehlt es sich eine IST-Zustandsaufnahme durchzuführen, bei der speziell die energiebeeinflussende Parameter erfasst werden. Als Ergebnis sollte ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden, dessen schrittweisen Realisierung mit einer entsprechenden Wirtschaftlichkeitsrechnung zu hinterlegen ist. Besonders in Nasslackieranlagen sind Energiekostenreduzierung von 50 % und mehr realistisch, z.B. im Zusammenhang mit Verfahren, wo ein höherer Lackauftragwirkungsgrad erreicht wird. Vergleicht man in einem Betrieb die Energiekosten mit dem Gewinn, wird die Betrachtung der Energiekosten interessant.

## 2 Energiefluss einer typischen Anlage

Der Energiefluss einer Lackieranlage ist in elektrischen Strom und Wärmeenergie einzuteilen. Der elektrische Strom wird hauptsächlich zum Antrieb von Motoren, für elektrophoretische Abscheidungen und für Beleuchtungszwecke benötigt. Nur in Ausnahmefällen wird mit elektrischem Strom beheizt. Wärmeenergie ist zum Erwärmen von festen, flüssigen und gasförmigen Medien notwendig. Verbreitete Wärmeträger sind Heißwasser, Dampf, Heizöl und Gas. Einige Betriebe verwenden Wärmeträgeröl.

Innerhalb der Gesamtanlage sind die Verfahrensschritte Grundieren, Vorlackieren und Decklackieren die Hauptenergieverbraucher. Der hohe Energieverbrauch wird durch das Aufheizen der Frischluft für die Spritzkabinenbelüftung verursacht.

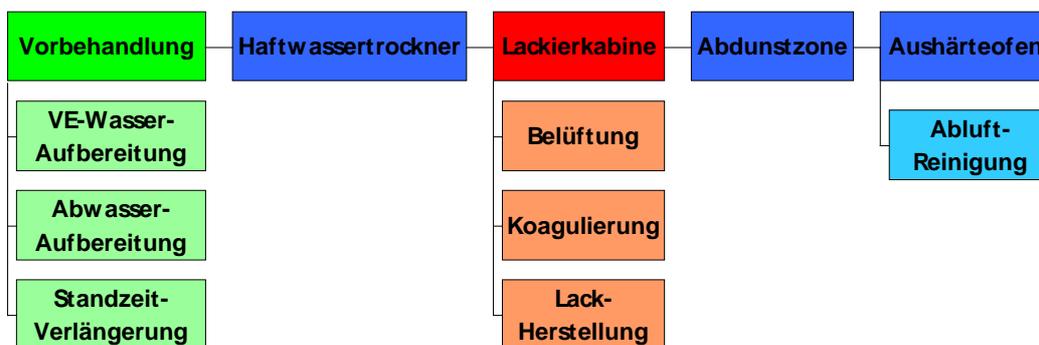


Bild 2: Anlagenteile für den Lackierprozess

Die Beschreibung des Energieflusses in Lackieranlagen erfolgt am Beispiel einer Anlage für einen Stahlmöbelhersteller. Die Anlage besteht vorwiegend aus den in Bild 2 dargestellten Komponenten. Insgesamt werden die Werkstücke dreimal aufgeheizt, bei der Entfettung auf 60 °C, im Haftwassertrockner auf ca. 120 °C und beim Aushärten des Lacksystems auf 130 bis 200 °C.

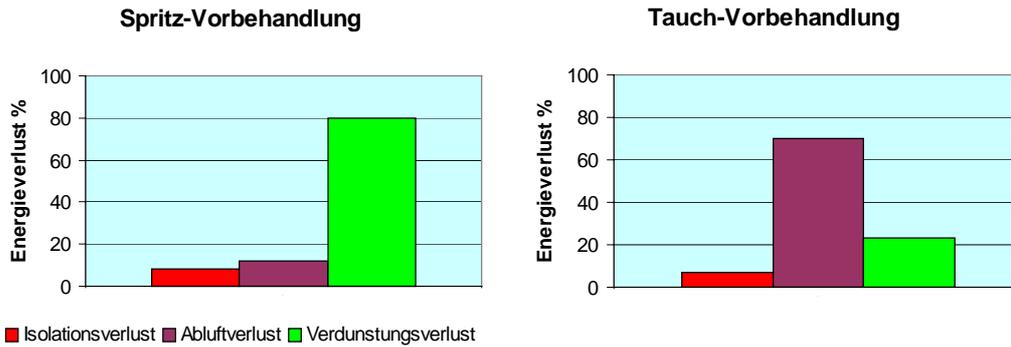


Bild 3: Vergleich des Energieverlustes in Spritz- und Tauchvorbehandlungen

**Energiebilanz in Vorbehandlungsanlagen**

Im Fallbeispiel werden für die Vorbehandlung ca. 15 - 20 %, je nach Einsatz einer Eisen- oder Zink-Phosphatierung, der gesamten Energiemenge verbraucht. Dabei wird:

- elektrische Energie zum Antrieb von Pumpen, Ventilatoren und Förderern und
- Wärmeenergie zum Beheizen von Entfettungs- und Phosphatierungsbädern benötigt.

Die zugeführte Wärmeenergie dient der Aufrechterhaltung der Temperatur für den Reinigungs- und Phosphatierungsprozess und gleicht die Wärmeverluste aus.

Der Vergleich von Tauch- und Spritzvorbehandlungsanlagen zeigt unterschiedliche prozentuale Verteilungen beim Energieverlust (Bild 3). Der Energieverlust durch Aufheizung der Werkstücke ist hier nicht betrachtet, da dieser in allen Anlagen gleich ist. In den Spritzanlagen geht ein Großteil der Wärmeenergie über das Abwasser verloren, in den Tauchanlagen über die Abluft.

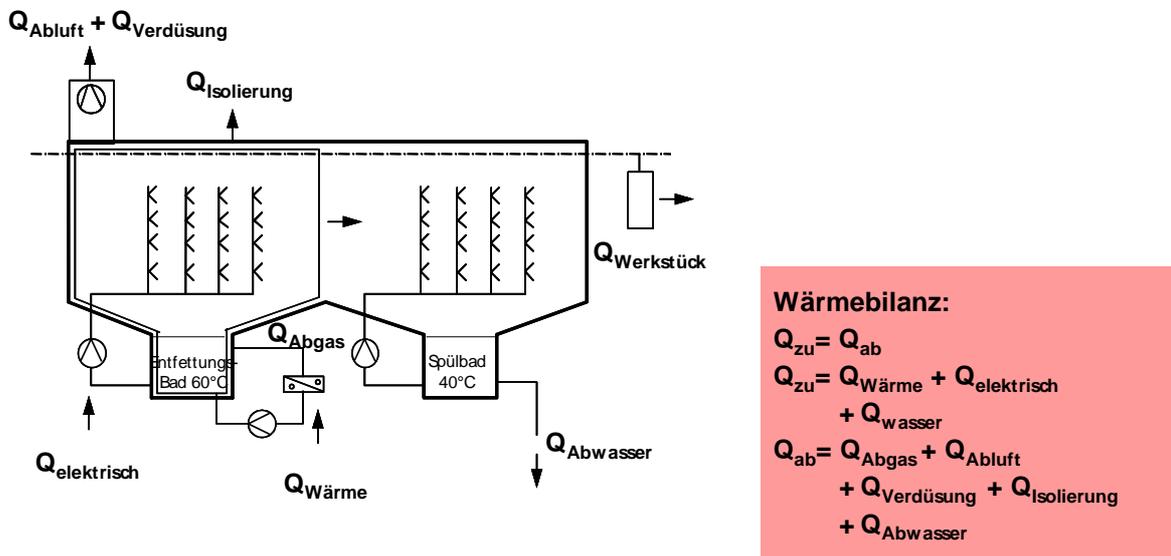


Bild 4: Energiefluss in der Vorbehandlungsanlage

In der beim Stahlmöbelhersteller eingesetzten Spritzvorbehandlungsanlage wandert ein großer Teil der zugeführten Energie von den beheizten Zonen in die kälteren Spülbäder (Bild 4). Ursache ist die Luftzirkulation in den neutralen Zonen. Im Bereich der beheizten Zone erwärmt sich die Luft und nimmt Wasserdampf auf. Im kühleren Spülbad wird die Luft gekühlt und gibt den Wasserdampf wieder ab. Unterstützt wird der Austausch durch die Oberflächenvergrößerung beim Verdüsen der Badflüssigkeiten. Dieser Verlust an Wärmeenergie ist vom Tunnelquerschnitt und der Temperaturdifferenz der Zonen abhängig. Weitere Verluste entstehen durch die Schwadenabsaugung im Ein- und Auslauf der Vorbehandlungsanlage.

In die Energiebetrachtung mit einzubeziehen ist in neuerer Zeit auch die Abwasseraufbereitung. Die konventionelle Chargenabwasseranlage wird u.a. zur Vermeidung von Wassereinleitungs-gesuchen durch Schmutzwassereindampfanlagen ersetzt. Während in einer Chargenanlage nur elektrische Energie erforderlich ist, wird in der Eindampfanlage zusätzlich noch Wärmeenergie zur Verdampfung benötigt. Die Kosten für den Betrieb derartiger Anlagen betragen ca. 100,- bis 150,- DM/m<sup>3</sup> Destillat.

### Energiebilanz in Haftwassertrocknern

Zur Trocknung der Werkstücke aus der Vorbehandlung werden in der Praxis sämtliche Systeme von der einfachen Warmblaszone bis zum aufwendigen Düsentrockner eingesetzt. In unserem Fallbeispiel ist ein Haftwassertrockner (Bild 5) eingesetzt. Eine wesentliche Beeinflussung des Energieverbrauches ist durch die Trocknertemperatur gegeben. Niedrige Trocknungstemperaturen z.B. von chromatierten Teilen bei 60 bis 90 °C erfordern lange Verweilzeiten und damit entsprechend lange Trocknungsanlagen. Der Energieverbrauch durch die Abluftmenge ist durch die Einstellung auf die durchgesetzte Wassermenge vorgegeben. Wesentlichen Einfluß auf den Energieverbrauch hat die Konstruktion des Trocknerabschlusses. Übliche Ausführungen sind:

- 1 gezielte Luftströmung durch Einblasung der Umluft an den Trocknerenden,
- 2 umluftbetriebene Luftschleusen,
- 3 A-Schleusen (Warenein- und austritt von unten) und
- 4 Schiebetore.

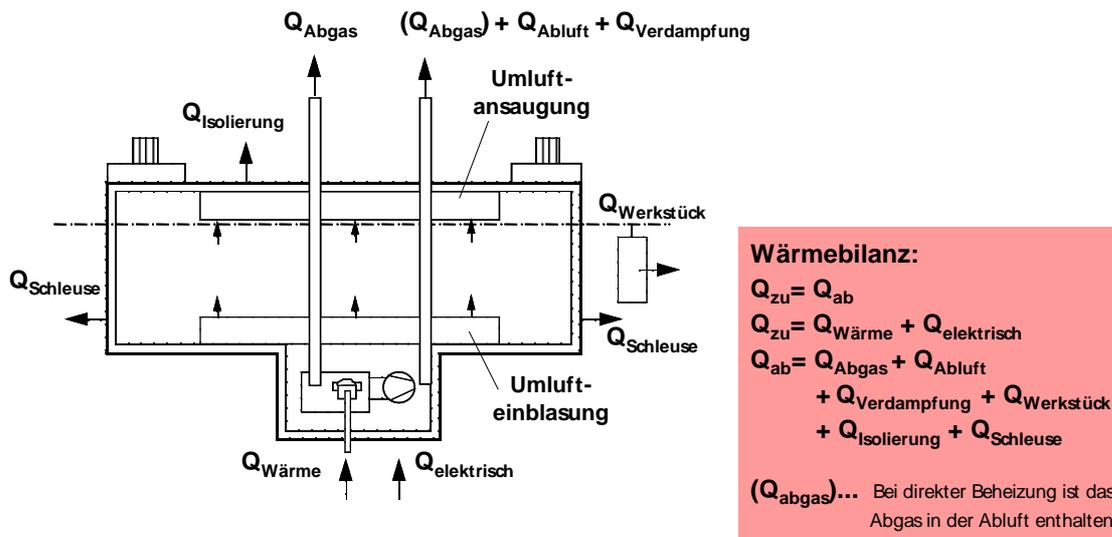


Bild 5: Energiefluss im Umlufttrockner

Die Ausführung 1 eignet sich nur bei niedrigen Trocknertemperaturen und kleinen Materialdurchlässen. Zum Ausgleich des thermischen Druckes muss der Unterdruck im Trocknerkanal relativ hoch sein. Dazu muß die Abluftklappe entsprechend geöffnet sein, wodurch Energieverluste durch eine hohe Abluftmenge entstehen. Wesentlich wirksamer ist die Ausführung 2, da die Warmluft besser zurückgehalten werden kann. Pulverbeschichtungsanlagen erfordern eine sorgfältige Auslegung der Luftschleuse am Trocknereinlauf, da die Gefahr des Abblasens der elektrostatisch anhaftenden Pulverschicht besteht. Ausführung 3 ist für den kontinuierlichen Betrieb die beste Lösung, setzt aber eine ausreichende Raumhöhe voraus. Ausführung 4 hat einen geringeren Energieverlust, ist aber nur für einen Taktbetrieb möglich. Die Isolierungsverluste von modernen Trocknungsanlagen sind bei ordentlicher Konstruktion und Montage vergleichsweise gering. Bei gasbeheizten Trocknern besteht die Möglichkeit der direkten Beheizung, d. h. die Umluft wird über die Gasflamme geführt, wodurch 10 bis 15 % der Heizenergie eingespart wird, die sonst im Wärmetauscher (bei indirekter Beheizung) verloren geht. Im Fallbeispiel wurde aus Qualitätsgründen die indirekte Beheizung gewählt.

### Energiebilanz in Lackierkabinen

In den Lackierkabinen werden Nasslacke im Spritzverfahren aufgetragen. Um die Lackierung vor Aerosolen und Lösemitteldämpfen zu schützen ist es notwendig, die Kabineninnenräume mit beheizten und teilweise befeuchteten, relativ hohen Luftmengen zu be- und entlüften. Für die Be- und Entlüftung der Kabineninnenräume werden derzeit Luftsinkgeschwindigkeiten zwischen 0,25 bis 0,6 m/s eingestellt. Für die Beheizung der Luft von 9°C durchschnittlicher Jahrestemperatur auf 22°C Arbeitstemperatur werden je 0,1 m/s Luftsinkgeschwindigkeit etwa 1,7 KW Energie pro 1 m<sup>2</sup> Kabinenfläche benötigt. Soll die Luft zusätzlich noch auf ca. 60 % relative Luftfeuchte gebracht werden, steigt der Energieverbrauch um rund 80 % an. Für die Be- und Entlüftung mit erwärmter und befeuchteter Luft von 1 m<sup>2</sup> Kabinenfläche ist im Schnitt eine Wärmeenergie von ca. 53 000 kWh pro Jahr notwendig. Lackierkabinen sind lüftungstechnisch zu unterscheiden in

- Hand-Spritzkabinen und Spritzstände mit reinem Frisch-Abluft-Betrieb,
- Automatik-Spritzkabinen mit einem Teilstrom im Frisch-Abluft- und im Umluft-Betrieb und
- Automatik-Pulversprühkabinen mit reinem Umluftbetrieb.

Die Energiebilanz einer Spritzkabine ist in der Bild 6 dargestellt.

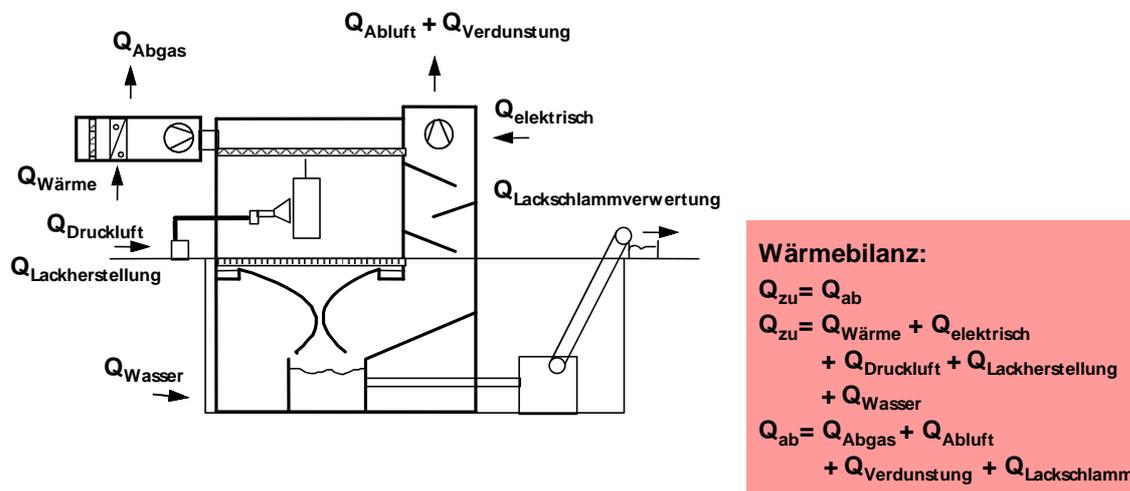


Bild 6: Energiefluss in der Spritzkabine

In der Energiebilanz für die Lackierkabine ist auch die Herstellung des Lackmaterials zu berücksichtigen. Zur Herstellung von 1 kg Lack ist eine Energiemenge von ca. 28 kWh notwendig.

### Energiebilanz einer Abdunstzone

In Abdunstzonen wird für lösemittelhaltige Lacksysteme ausschließlich elektrische Antriebsenergie für Ventilatoren benötigt. Einige Wasserlackanwendungen erfordern eine temperierte Abdunstzone, die alternativ durch ein eigenes Heizregister oder durch Abwärme aus dem nachfolgenden Lacktrockner beheizt wird.

### Energiebilanz von Aushärtungsöfen

Für Aushärtungsanlagen gelten die beim Haftwassertrockner dargestellten Beziehungen. Der Energiebedarf zur Verdunstung/Verdampfung von Lösemittel ist für die Aufstellung der Energiebilanz nicht relevant. Für die Aushärtung von lösemittelhaltigen Lacksystemen schreibt der Gesetzgeber ab einer festgelegten Lösemitteldurchsatzmenge eine Abluftreinigungsanlage, z.B. thermische Nachverbrennung vor. Die anfallenden Lösemittel aus dem Lackierprozess reichen bei der Verbrennung als Brennstoff nicht aus, so dass für den Anlauf und den Betrieb Wärmeenergie zugeführt werden muss.

### 3 Stand der Technik zur Energiereduzierung

#### 3.1 Energiereduzierung bei Anlagenneuplanung

Der Energieverbrauch ist für die Planung einer Neuanlage ein wichtiges Kriterium zur Auswahl der geeigneten Lackiertechnologie. Die Aufgabenstellung bei der Untersuchung von Technologiealternativen ist abhängig von den gegebenen Umständen eines Betreibers wie z.B

- räumliche Verhältnisse,
- Beschaffenheit der Werkstücke (Werkstoff, Konfiguration, Materialdicken),
- Farbgebung und Lackaufbau (Farbwechsel),
- Qualitätsanforderungen,
- wirtschaftliche Situation und
- örtliche Vorschriften.

Zur Kostenermittlung bei einer Planung stellt die Energiebilanz für die Technologiealternativen ein wichtiges Entscheidungskriterium dar. Für die Bewertung der Alternativen steht das im Fraunhofer IPA aufgebaute CoaTplan zur Verfügung. Zur Ermittlung der Energie- und Medienbilanz wurde das Programm "Anlagenplanung" ebenfalls im IPA entwickelt und berechnet für Planungen und speziell auch für vorhandene Anlagen die Stoffmengen. Nach Eingabe der Ergebnisse aus diesem Programm wird im CoaTplan eine Energiebilanz als Teil des ganzheitlichen Planungs- und Optimierungssystems erstellt und ausgewertet.

Über 60 % des Gesamtenergieeinsatzes wird mit der Abluft und den Rauchgasen abgeführt und ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben. Wesentlich geringer ist der Energieverlust durch unzureichende Isolation (5 %) oder durch abgeführte flüssige Medien (4 %). Die restlichen 31 % des Gesamtenergieeinsatzes werden zum einen beim Betrieb der Elektromotoren in Wärme- und mechanische Energie umgewandelt, zum anderen enthält dieser Wert die an den Trockneröffnungen austretende sowie die mit den Werkstücken und Fördereinrichtungen ausgetragene Wärmeenergie.

Elektrische Energie und Wärmeenergie verhalten sich mengenmäßig wie 1:4. Da die elektrische Energie etwa viermal so teuer ist wie die fossilen Brennstoffe, ist das Kostenverhältnis nahezu 1:1. Daraus lässt sich ableiten, dass es sinnvoll ist, nicht nur Wärmeenergie sondern auch elektrische Energie einzusparen. Durch den Einsatz oversprayermer Applikationsgeräte zur Reduzierung des Luftdurchsatzes in Spritzkabinen oder durch Einsatz von automatischen Lackauftragsystemen, können auch kleinere Antriebsmotoren für Ventilatoren verwendet werden. Grundsätzlich bewirkt jede Art der Überdimensionierung aus Kenntnismangel oder übertriebener Sicherheitsdenkweise unnötige Energiekosten. Ein weiterer Weg, elektrische Energie einzusparen, ist die Verwendung von Frequenzregler anstelle von Drosselklappen. Bei den Kosten für die Investition einer Frequenzregelung erreicht man mit einem Motor, der ständig nur 75 % seiner Anschlussleistung benötigt, eine Amortisationszeit von ca. 3 Jahre.

<b>Vorbehandlungsanlage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abluftfreier Betrieb</li><li>• Niedrigtemperaturprozesse</li><li>• Verwendung einer Tauchvorbehandlung</li><li>• Tunnelquerschnitt möglichst gering</li></ul>
<b>Haftwassertrockner</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Direkte Beheizung</li><li>• Beheizung durch Abluft aus dem Lacktrockner</li><li>• A-Schleusen</li><li>• Niedrige Temperaturen durch Entfeuchtung der Umluft</li></ul>
<b>Lackmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lack mit geringer Aushärtungstemperatur einsetzen</li><li>• Verarbeiten von wasserlöslichem Lackmaterial ohne Befeuchtung</li></ul>
<b>Lackierkabine</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lackierprozess auf Pulver umstellen</li><li>• Luftsinkgeschwindigkeit reduzieren durch ESTA und HVLP</li><li>• Wärmerückgewinnung aus der Abluft, z.B. durch Wärmerad</li><li>• Umluftbetrieb mit Teilstrom Frisch-/Abluft</li></ul>
<b>Abdunstzone</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umluftsystem nachrüsten</li><li>• Luftentfeuchtung</li></ul>
<b>Lackrockner</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schiebetore in Verbindung mit Power und Free-Förderer</li><li>• Entfeuchtung der Umluft bei Wasserlacken</li><li>• Aushärtung durch Strahlung (IR, UV)</li><li>• A-Schleusen</li></ul>
<b>Fördertechnik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Optimale Behängung der Förderanlage</li><li>• Power und Free-Förderer (Schiebetore für Trocknern möglich)</li><li>• Flachbeschichtung (Coil-Coating, bzw. Precoat-Line) einsetzen</li></ul>
<b>Thermische Nachverbrennung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher</li></ul>

Bild 7: Energieeinsparungsmöglichkeiten bei der Neuplanung von Lackieranlagen

Allgemein sind Ansatzpunkte zum Einsparen von Energie in allen Anlagenteilen, in denen gasförmige Medien erwärmt und ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden, vorhanden. Dies ist vor allem bei zwangsbelüfteten Spritzkabinen und bei Umlufttrocknern der Fall. Auch die richtige Auslegung von Brennern ist ein wichtiges Kriterium. Brenner mit hohen Heizleistung und geringer Auslastung haben einen schlechten Wirkungsgrad, wenn sie ständig nur auf niedriger Last betrieben werden. Übertriebenes Sicherheitsdenken bei der Auslegung schadet auch hier. Bild 7 zeigt die nach dem Stand der Technik üblichen Energieeinsparmöglichkeiten.

### 3.2 Energiereduzierung bei bestehenden Lackieranlagen

Um die Möglichkeiten der Energieeinsparung in bestehenden Lackieranlagenentsprechend dem Stand der Technik auszuschöpfen, empfiehlt es sich eine IST-Zustandsaufnahme zur Erfassung der energierelevanten Parameter durchzuführen. Deren Erfassung erfolgt üblicherweise mit den in Bild 8 beschriebenen Geräten.

Messgröße	Messgeräte	Anwendung
Elektrische Wirkleistung	Zangenleistungsmessgerät mit wattmetrischem Messwerk	3-Phasen-Drehstrom, 1-Phasen-Wechselstrom bis max. 300 kW
Beschichtungsenergie in KTL-Anlagen	Strom-, Spannungsmessgerät	Erfassung auf Messschreibern
Temperatur an festen, flüssigen und gasförmigen Medien	Glas-, Widerstandsthermometer oder Thermoelemente	In beheizten Anlagenbereichen
Geschwindigkeit von gasförmigen Medien	Staurohr nach Prandtl DIN 1946	In Rohrleitungen nach der Bernoullischen Gleichung
Luftfeuchtigkeit	Aspirationspsychrometer nach Aßmann	In Spritzkabinen, Abdunstzonen und Lacktrocknern
Durchflussmenge bei flüssigen Medien	Wasserzähler oder manuelles Auslitern	In Rohrleitungen von Vorbehandlungen und Lackleitungen
Durchflussmenge bei gasförmigen Medien	Gaszähler	In Rohrleitungen
Kohlendioxid-Konzentration	Rauchgastester RGT-01	Verbrennungswirkungsgrad von Heizeinrichtungen

Bild 8: Messgeräte für die IST-Zustandsaufnahme bei bestehenden Lackieranlagen

Einige Messwertaufnahmen führen zu direkt verwertbaren Ergebnissen. Vielfach können Parameter nur durch Hilfsmessungen und über physikalische Zusammenhänge ermittelt werden.

Die Ergebnisse werden zusammengefasst und auf deren Basis ein Maßnahmenkatalog erstellt, wo beginnend mit den Werkstücken, Werkstückaufhängung, Warenträger bis zu den einzelnen Anlagenkomponenten Verbesserungsvorschläge ausgearbeitet werden. In Bild 9 ist ein Auszug der Energieeinsparungsmöglichkeiten bei Anlagenteilen nach einer sorgfältigen IST-Zustandsaufnahme dargestellt.

<b>Vorbehandlungsanlage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Isolieren von Tunnel, Badbehälter, Rohrleitungen</li><li>• Niedrigtemperaturprozesse</li><li>• Tunneleinlauf verlängern</li><li>• Bleche zwischen den Zonen als „Wärmefallen“</li></ul>
<b>Haftwassertrockner</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umbau auf direkte Beheizung</li><li>• Abluft reduzieren</li><li>• A-Schleusen nachrüsten</li><li>• Optimale Aufhängung der Werkstücke (Wasserablauf)</li></ul>
<b>Lackmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lack mit geringer Aushärtungstemperatur einsetzen</li><li>• Verarbeiten von wasserlöslichem Lackmaterial ohne Befeuchtung</li></ul>
<b>Lackierkabine</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lackierprozess auf Pulver umstellen</li><li>• Lackierprozess automatisieren und Luftsinkgeschwindigkeit reduzieren</li><li>• Wärmerückgewinnung aus der Abluft, z.B. durch Wärmerad</li><li>• Automatische Abschaltung in den Arbeitspausen</li><li>• Hochrotationsscheibe einsetzen</li></ul>
<b>Abdunstzone</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umluftsystem nachrüsten</li></ul>
<b>Lackrockner</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umbau auf direkte Beheizung</li><li>• Abluft reduzieren</li><li>• A-Schleusen nachrüsten</li><li>• Wärmerückgewinnung zur Beheizung des Haftwassertrockners</li></ul>

Bild 9: Energieeinsparmöglichkeiten bei bestehenden Lackieranlagen

Die Aufhängung der Werkstücke leistet einen wesentlichen Beitrag zum Energieverbrauch. Die Teile sollten so aufgegeben werden, daß in der Vorbehandlung das Wasser ablaufen kann. Falls erforderlich und machbar, sollte eine Blaszone nachgerüstet werden. Die Masse der Warenträger ist möglichst gering zu halten.

Der Abluftbedarf und damit der Energiebedarf von beheizten Anlageteilen kann durch Reduzierung des Anlagenquerschnittes bei einer vorhandenen Überdimensionierung, bzw. bei nur geringer Ausnutzung des Anlagenquerschnitts durch entsprechende Verblindungen gesenkt werden.

Auch in vorhandenen Anlagen ist zu überprüfen, ob anstelle Drosselklappen (Energievernichter) Frequenzregler für Motoren von Pumpen und Ventilatoren nachrüstbar sind.

## 4 Entwicklungen und Zukunftskonzepte

Da die Energiekosten bisher oft nicht transparent waren, bestehen bisher für einzelne Anlagenkomponenten nur Detaillösungen. Zukünftig ist aber die Entwicklung hin zu neuen Konzepten dringend erforderlich, damit die Energiekosten und -umweltbelastungen nicht nur in Prozentschritten, sondern möglichst umfassend reduziert werden können.

Eine dieser möglichen Konzepte ist die Coil- und Platinenbeschichtung. Bei diesen Verfahren wird die Lackiertechnik vor die Umformprozesse verlagert. Ergebnis ist, daß die Vorbehandlung und Lackierung auf völlig ebenen und großen Flächen ausgeführt werden kann. Es besteht die Möglichkeit, die umweltfreundlicheren und kostengünstigeren nicht zerstäubende Lackierverfahren (z.B. Walzen, Gießen) einzusetzen, wodurch keine hohen Luftmengen - wie in den Spritzkabinen - benötigt werden. Auch kann auf das umfangreiche und energieverzehrende Versprühen von wässrigen Medien in der Vorbehandlung verzichtet werden, da die Vorbehandlung mit Walzen erfolgen kann.

Die Coilbeschichtung wird beim Coilhersteller ausgeführt. Beim Einsatz beschichteten Coils könnte oft die komplette Lackiertechnik im Unternehmen entfallen.

Die derzeit realisierten Naßlack- und Pulverlack-Kabinenbelüftungen sind empirisch und damit großflächig ausgelegt. Ein weiteres wesentliches Konzept stellt daher die Reduzierung der Spritzkabinenflächen durch systematische Neuentwicklungen an den Spritzkabinen dar. Grundsätzlich ist immer zu klären, ob die Bewegungseinrichtungen der Spritz- und Spühaggregate bzw. der Spritzlackierer in der Lackierkabine stehen müssen. Weiterhin ist die Frage zu stellen, ob die komplette Kabinenfläche mit einer konstanten Luftsinkgeschwindigkeit zu belüftet ist. Für diese energierelevanten Fragestellungen bestehen bisher keine Grundlagen. Im Fraunhofer IPA werden hierzu z.Z. Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Mit verschiedenen Lackauftragsverfahren wird der Einfluß der Luftsinkgeschwindigkeit sowie auch die Wirkung von unterschiedlichen Werkstückkonfigurationen (z.B. an Förderern vertikal oder horizontal aufgehängte Flachteile und Körper bzw. auf Transportbänder aufgelegte Flachteile, wie z. B. in der Holzindustrie) in einem Rechenmodell erfaßt und simuliert. Weitere Untersuchungen befassen sich mit den Auswirkungen von automatischen Beschichtungsanlagen, wie Hubautomaten und Roboter, innerhalb des be- und entlüfteten Kabineninnenraumes. Dabei wird ermittelt, welche Einflußgrößen Bewegungsabläufe der Beschichtungsgeräte in Verbindung mit der Werkstückform auf die Luftströmung haben. Die Be- und Entlüftung von Kabineninnenräumen soll optimiert werden, indem festgestellt wird, in welchem Kabinenbereich in Abhängigkeit vom Spritzstrahl eine Luftströmung überhaupt erforderlich ist. Kabinenbelegungen, bei denen erhebliche Störungen der Luftströmung, z.B. durch Turbulenzen und Toträume auftreten, erfordern Maßnahmen zur Erzeugung laminarer Strömungen. Dies wird durch über den Kabinenquerschnitt veränderbare Luftsinkgeschwindigkeiten erreicht.

## **Innovative Konzepte der Absaugung von Schweißrauch und anderer Schadgase**

**Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein, Herding GmbH Filtertechnik, Amberg**

Die bei Schweißprozessen anfallenden Schadstoffe müssen für den Menschen, die Maschine und die Umwelt schadenslos erfasst und abgeführt werden. Hierzu werden im nachfolgenden Beitrag die Schadstoffe genauer untersucht. Ferner sind die Unterschiede der Erfassungseinrichtungen aufgeführt. Die Ausführung der Rohrleitung für den Transport der Schadstoffe zum Filter, sowie das Filtermedium mit kompletter Anlagentechnik werden abschließend behandelt.

Die beim Schweißen entstehenden Schadstoffe sind der Schweißrauch und die Schadgase. Der Schweißrauch mit einer Teilchengröße von  $90\% < 1\mu\text{m}$  hat aerosolartigen Charakter und ist alveolengängig. Diese Partikel können vom Menschen neben der orale Aufnahme (Magen-Darm-Trakt) und der Hautresorption auch über die Inhalation (Mund-Nase) aufgenommen werden.

Neben dem Schweißrauch treten beim Schweißprozess auch Schadgase auf, die aus der thermischen Umsetzung der organischen Stoffe herrührt. Diese Stoffe sind Öle und Fette (z.B. Zieh-fette) aus vorgelagerten Verfahren. Lackreste von endbehandelten Produkten oder Schutzfolien (z.B. Edelstahl mit PVC-Schutzfolie) werden beim Schweißen ebenfalls umgesetzt.

Bei der Erfassung der Schadstoffe sind die konventionellen Hauben vielfältigst im Einsatz. Neueste Erkenntnisse haben gezeigt, dass bei diesen Erfassungselementen ein nur unzureichender Gütegrad vorliegt. Eine Verbesserung stellen die Düsenplatten dar. Dieses Rohr mit einer ange-setzten Platte hat gegenüber anderen Erfassungseinrichtungen eine große Tiefenwirkung, da-durch kann diese Einrichtung bei gleicher Erfassungsgüte weiter entfernt vom abzusaugenden Objekt positioniert werden. Dies hat erheblichen Vorteil für den Bewegungsfreiraum des Schweißers vor Ort. Ferner weist die Düsenplatte einen stabile Absaugung gegenüber Quer-strömungen auf, die durch die Bewegung des Schweißers vor Ort oder durch andere den Ar-beitsplatz umgebenden Einflüsse stören.

Die Düsenplatte ist ein effektives Erfassungselement, das bei verbesserter Schadstoffeffassung mit geringerer Absaugluftmenge und somit niedrigen Betriebskosten arbeitet.

Die Erfassung der Schadstoffe wird häufig durch einfache Mittel unterstützt. So ist es oft schon ausreichend, mit einfachen PVC-Vorhängen, eine Art Kabine zu erzeugen. Querströmung treten bei der Erfassung nicht mehr auf und eine gezielt Luft- bzw. Strömungsführung ist möglich.

Die Rohrleitung für den Transport der Schadstoffe muss strömungsgünstig ausgelegt werden. Hierzu ist es notwendig, dass eine möglichst kurze Rohrleitungen mit wenig Richtungsände-rungen vorliegt. Die Dimensionierung wird für eine Strömungsgeschwindigkeit von 15 – 20 m/s durchgeführt. Für die flexible Gestaltung der Erfassung beim Schweißer vor Ort werden häufig Wellschläuche eingesetzt. Diese haben aufgrund ihres nicht formstabilen Verhaltens größere Widerstandsbeiwerte und die Rohrrauhigkeit ist ebenfalls größer. Durch diese Rohrrauhigkeit werden diese Schläuche häufig mit größeren Strömungsgeschwindigkeiten beaufschlagt, was dann einen noch größeren Druckverlust bedeutet. Der 2 bis 2,5 fache Wert kann hier angesetzt werden, was sich wiederum in hohe Betriebskosten niederschlägt. Der Einsatz von Schläuche ist auf ein Minimum zu beschränken.

Kurze Rohrleitung bedingt aber auch eine dezentrale Absaugung. Hier sind kompakte Filterge-rät mit einem geringen Flächen-, bzw. Raumbedarf gefordert.

Die im Filtergerät zum Einsatz kommenden Filtermedien können als Tiefen- oder Oberflächenfil-ter arbeiten. Die Tiefenfiltration arbeitet nach dem Prinzip der Staubeinlagerung ins Filtergewe-be, was einen steigenden Druckverlust zur Folge hat und somit eine stetige Abnahme der Luft-menge. Ein Ersetzen der Filterelement durch Neue und somit ein Produktionsausfall, bzw. Stillstandszeit muss in Kauf genommen werden. Bei der Oberflächenfiltration, wird durch eine Beschichtung des Filtermediums der Staub direkt an der Oberfläche abgehalten. Es erfolgt kei-ne Einlagerung ins Filtermedium selbst. Die Oberflächenfiltration arbeitet mit einem konstanten

Druckverlust, was auch eine konstante Absaugung zur Folge hat. Filtermedien als Starrkörper (z.B. Sinterlamellenfilter) haben im Vergleich zu Gewebe- oder Papierfilter den Vorteil, dass weder beim Saugbetrieb noch bei der Abreinigung z.B. mit Druckluft (Jet-Pulse) keine Bewegung des Filtermediums stattfinden. Somit ist auch hier kein Verschleiß zu erwarten, der sich bei den Gewebe- bzw. Papierfilter schon nach kurzer Standzeit einstellt. Starrkörper mit mikroporöser Beschichtung, als Oberflächenfilter ausgeführt (Sinterlamellenfilter) stellen eine sichere Absaugung dar.

Die Abreinigung der Sinterlamellenfilter mit Druckluft (Jet-Pulse) kann zeittakt- oder differenzdruckgesteuert erfolgen. Die zeittaktgesteuerte Abreinigung führt bei Oberflächenfiltern zu einem konstanten Druckverlust der Filterelemente mit Staub, bedingt aber einen großen Druckluftverbrauch – große Betriebskosten. Die differenzdruckgesteuerte Abreinigung arbeitet mit wesentlich geringerem Druckluftverbrauch, führt aber zu großen Druckschwankungen und somit zu Schwankungen in der Absaugeluftmenge. Eine Weiterentwicklung stellt hier die differenzdruckgesteuerte Zyklus-Abreinigung dar. Hier wird nach Erreichen eines definierten Druckverlusts die Abreinigung nur für 2 oder 3 Zyklen aktiviert. Diese prozessorientierte Form der Abreinigung stellt sich selbst auf die Staubparameter ein. Ein schlecht abreinigbarer Staub benötigt somit mehr Druckluft als ein leicht abreinigbarer.

Schlecht abreinigbare Stäube entstehen u.a. durch die organischen Komponenten beim Schweißvorgang. Die Öle, Fette, Schutzfolien oder Lackreste erzeugen aus dem sonst körnigen Metallstaub einen adhäsiven Staub. Die Filtermedien (Sinterlamellenfilter, Gewebe- und Papierfilter) können nicht mehr zufriedenstellend abgereinigt werden. Die Standzeiten der Filterelemente werden wesentlich beeinträchtigt. Hier schafft das Verfahren Precoating Abhilfe. Beim Verfahren Precoating werden auf den Oberflächenfiltern ein körniger Staub (Precoatmaterial) angesaugt. Anschließend kann die Absaugung des Schweißprozesses erfolgen (adhäsiver Staub). Bei der Abreinigung des Staubgemisches (körniges Precoatmaterial und adhäsiver Staub) werden die Filterelemente mit sehr gutem Erfolg wieder gereinigt.

Die organischen Zusätze auf den Metallen beim Schweißen führen wie oben angeführt zur Bildung von Schadgasen und bewirken die adhäsive Staubeigenschaft. Neben diesen beiden Punkten besteht noch die Gefahr, dass durch eine chemische Umsetzung im abgelagerten Staub eine exotherme Reaktion stattfindet. Parameter hierfür sind die Lagermenge, Lagerzeit und die Umgebungstemperatur. Die Selbsterhitzung führt beim Erreichen der Zündtemperatur des Staubes zu einer Selbstentzündung, somit zu einem Brand des abgelagerten Staubes. Hier muss mit geeigneter Detektion, Steuerung und Löscheinrichtung sowie mit geeignetem Löschmittel ein Brandschutz im Filtergerät verwendet werden. Diese Brandschutzeinrichtung dient zur frühzeitigen Branderkennung, der anschließenden Brandlöschung und Alarmierung. Eine Schadensminimierung und somit Risikominimierung wird dadurch angestrebt. Die Gefahr von Lieferverzug, Umsatzeinbußen und Imageverluste werden durch den Einsatz einer Brandschutzeinrichtung minimiert.



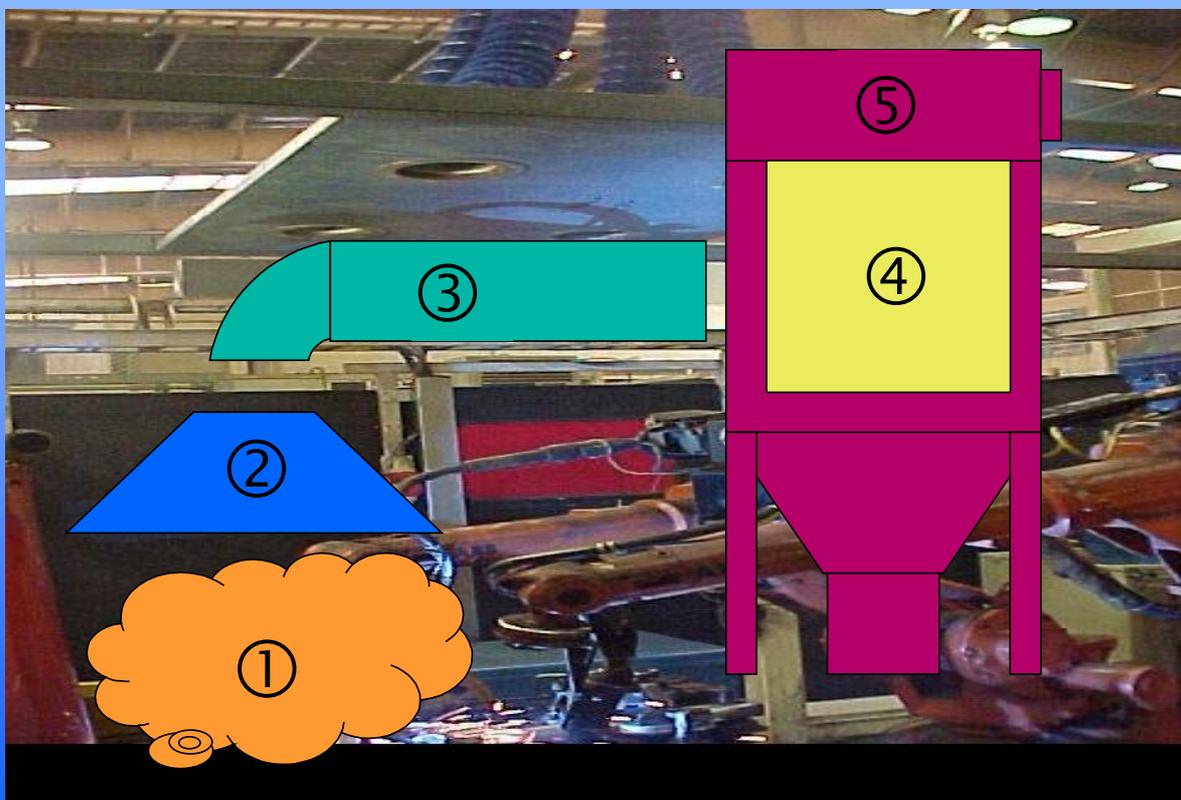
Mitglied im

Arbeitskreis Aerosole  
Fachverband  
Allgemeine Lufttechnik  
im VDMA



(Arbeitskreis Schweißrauch)

Vorstellung



Einleitung



# Schadstoffe:



## Schweißrauch

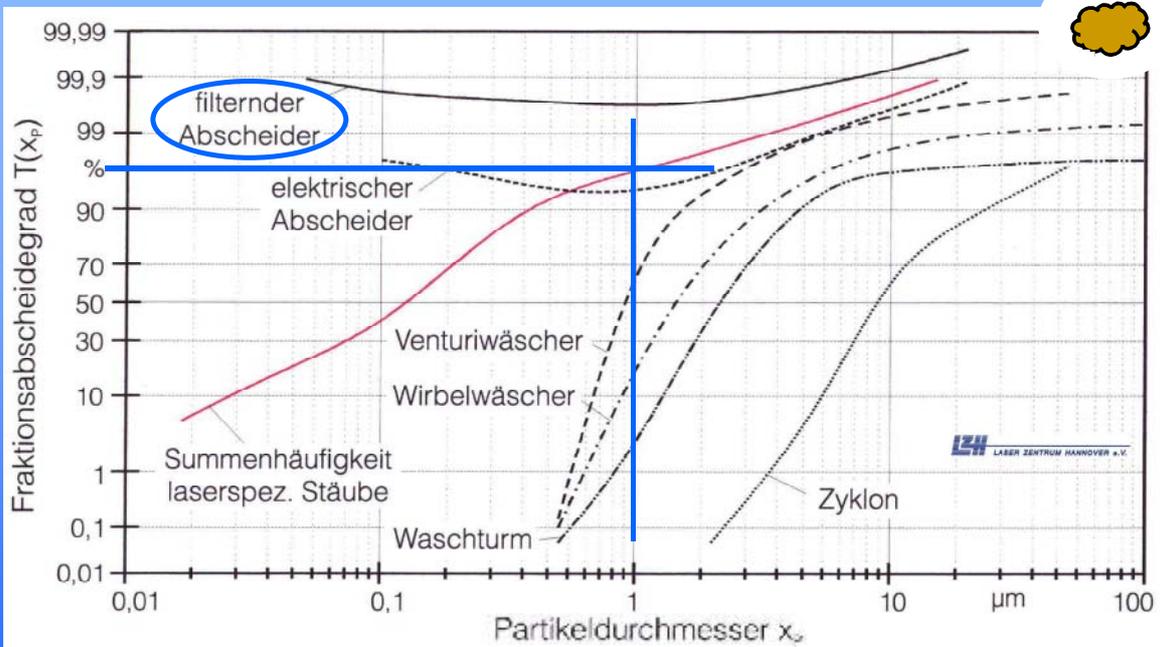
Rauche:  
 Partikel < 1 µm  
 aerosolartigen Charakter  
 alveolengängig



## Schadgase

entstehen durch  
 thermische Umsetzung  
 von organischen Stoffen  
 (Öle, Fette, Lackreste)

① Schadstoffe - Definition



## Schweißrauch

Partikel < 1 µm

① Schadstoffe - Schweißrauch

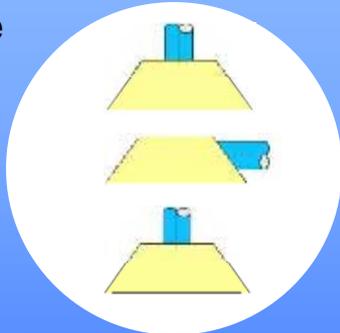


# Erfassung:



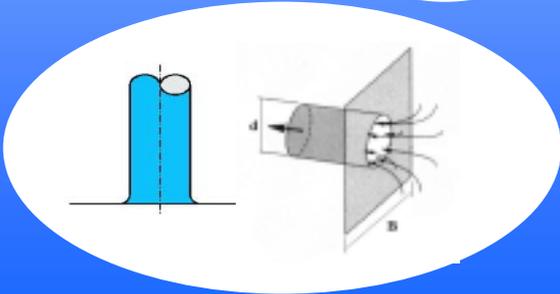
herkömmliche Erfassungselemente

- Haube - Anschluss oben
- Haube - Anschluss seitlich
- Haube - mit Randabsaugung



## Weiterentwicklung

- Düsenplatte



© Erfassungselement

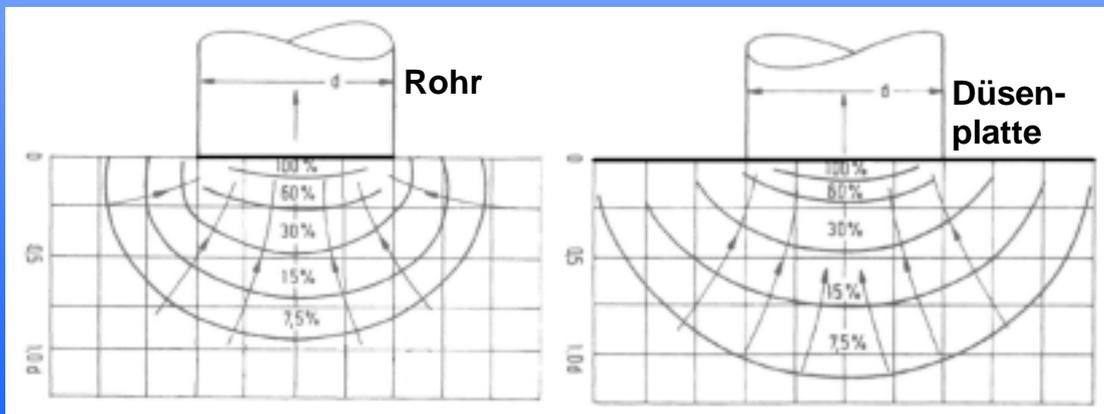


**Isotachen** Linie gleicher Strömungsgeschwindigkeit



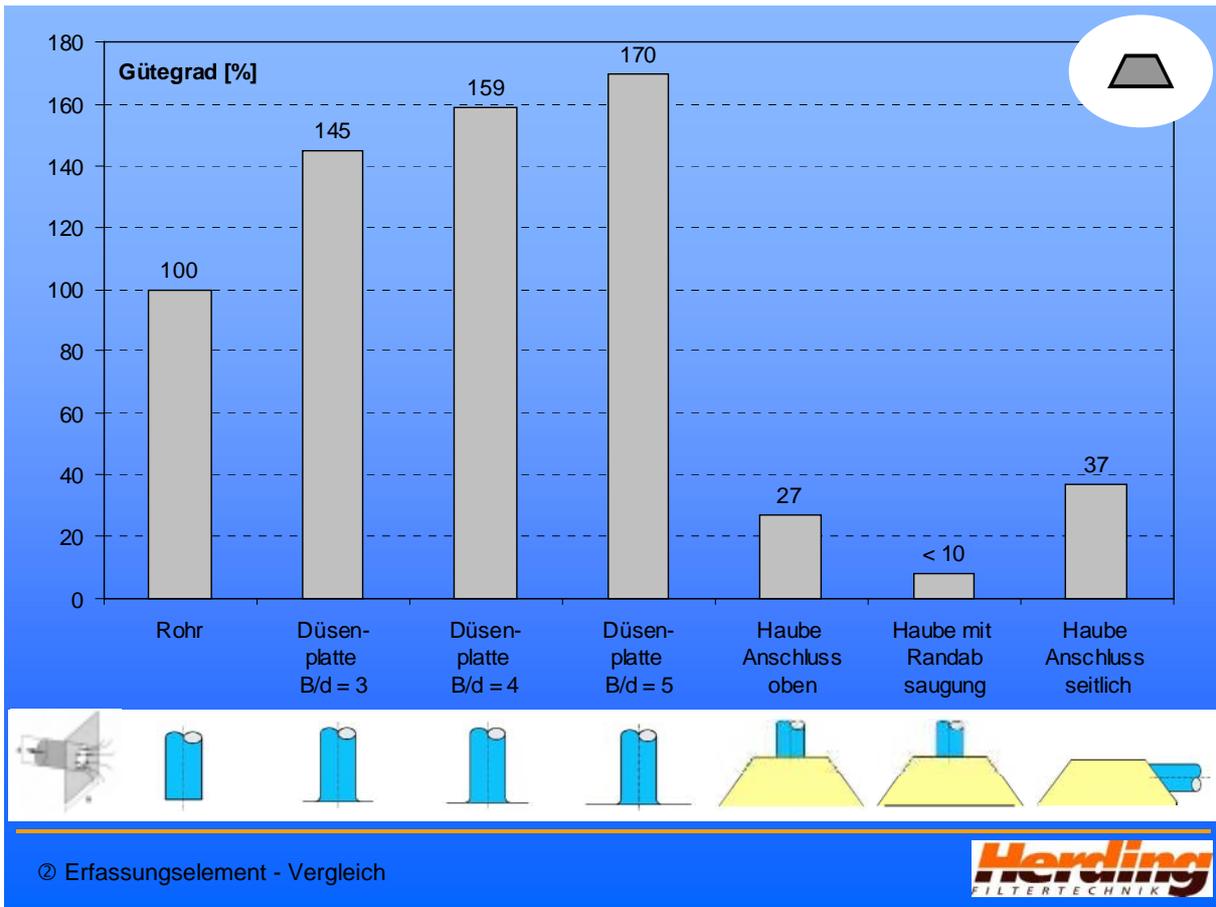
**Gütegrad** Aussage über den Wirkungsbereich eines Erfassungselements

*Verhältnis der integrierten Fläche unter der 5%-Isotache eines Erfassungselements zu der integrierten Fläche unter der 5%-Isotache vor einer Rohröffnung (Gütegrad Rohröffnung = 100 %)*



© Erfassungselement - Definition Gütegrad





## Düsenplatte

- **Große Tiefenwirkung**
- punktförmige Absaugung
- hohe Geschwindigkeitsgradienten quer zur Saugachse, bündeln den Schadstoffstrom **stabil gegen Querströmung**



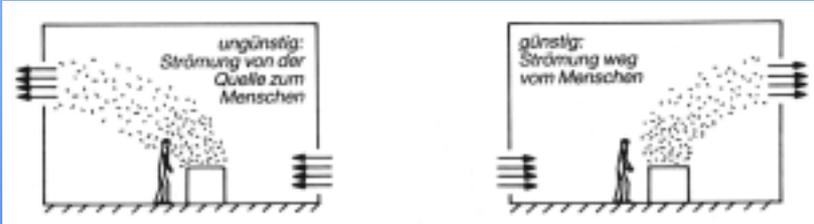
## Betriebskostensparnis

durch geringere Absaugeluftmenge

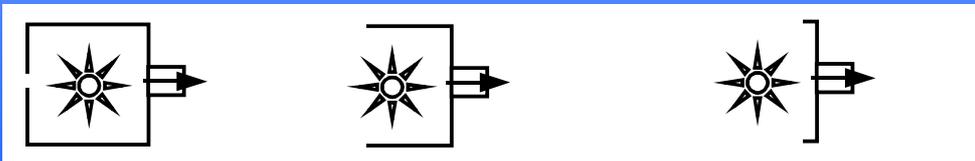
© Erfassungselement - Düsenplatte



Unterstützung der Schadstoff-Erfassung durch  
**gezielte Luftführung am Arbeitsplatz**  
- Schadstoffe weg vom Menschen -



Schutz der erzeugten Erfassungsströmung durch  
**Kapselung oder Teileinkleidung** (PVC-Vorhänge etc.)



(offene-) Absaugung

② Erfassungselement - Unterstützung der Erfassung



Absaugung bei  
**Schweißrobotern**  
in der Automobilindustrie

Erfassungselement:  
**parallelgeschaltete  
Düsenplatten**

Einhausung:  
**Teileinhausung  
mit PVC-Vorhänge**

Luftmenge **3000 m<sup>3</sup>/h**  
**(5100 m<sup>3</sup>/h)**



② Erfassungselement - Anwendungsbeispiel



# Rohrleitung:

## Druckverlust gerade Rohrleitung

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

Parameter u. a. sind:

- Länge  $l$
- Durchmesser  $d$

## Einzelwiderstände (Krümmer, etc.)

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

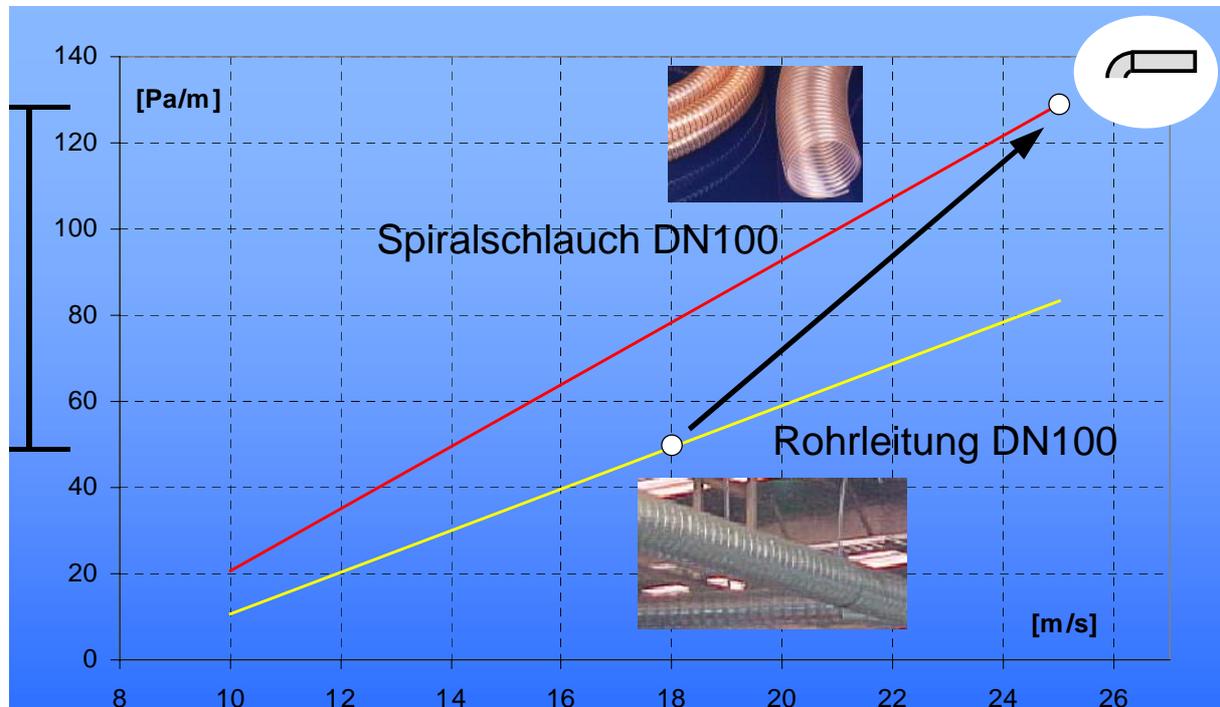
Parameter ist:

- Widerstandsbeiwert  $\zeta$

**Ergebnis**  $\Rightarrow$  **kurze** Rohrleitung mit **wenig** Richtungsänderung

© Rohrleitung - Theorie

**Herding**  
FILTERTECHNIK



## Vergleich Spiralschlauch zu Rohrleitung

© Rohrleitung - Rohrrauigkeit  $\lambda$

**Herding**  
FILTERTECHNIK

## Forderung an die Filtertechnik:



- Dezentrale Absaugung
- Aufstellung direkt bei „stauberzeugender Maschine“
- **kompakte Filtergeräte**
- **geringer Raumbedarf**
- Flexibilität im Maschinenpark



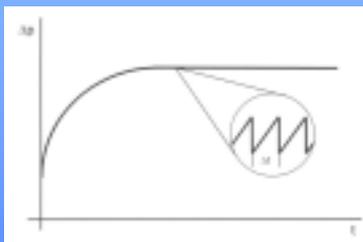
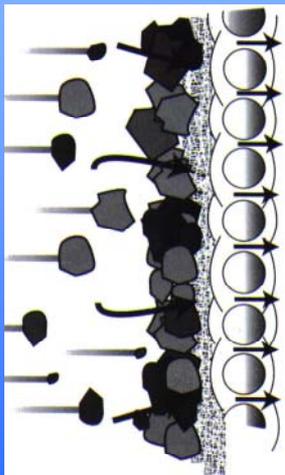
③ Rohrleitung - Forderung für Filtertechnik



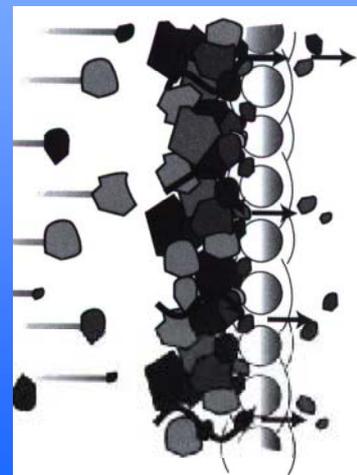
## Filtration:



### Oberflächenfiltration



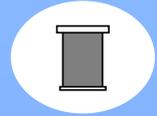
### Tiefenfiltration



④ Filtermedium - Filtration

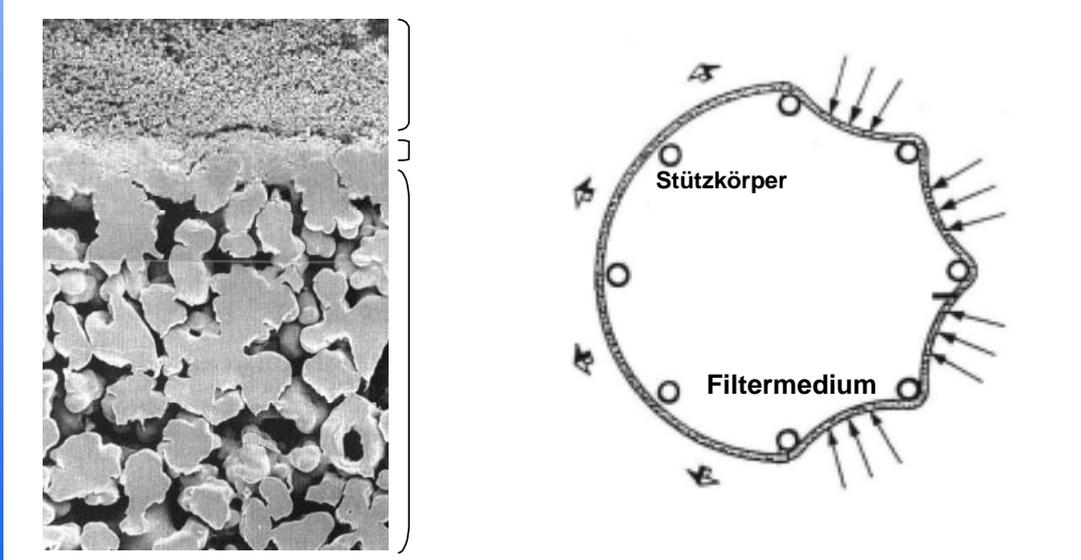


# Filtermedium:



**Starrkörper**

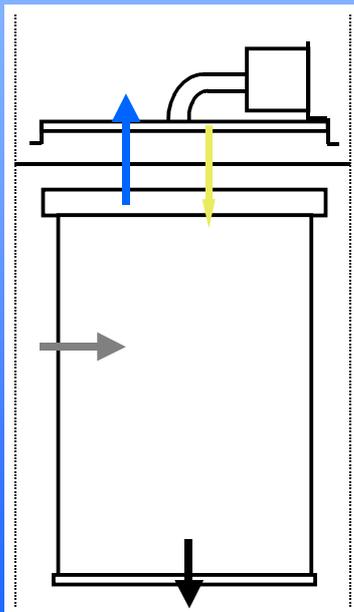
**Textil- oder Papierfilter  
mit Stützkörper**



④ Filtermedium - Werkstoffe



# Filtergerät:



**Filtration erfolgt am Filterelement**  
**Trennung fest - gasförmig**  
**Austrag des abgeschiedenen**  
**Staubs durch Abreinigung**

**On-line-Abreinigung mit Jet-Pulse**  
**(Druckluftstöße ins Filterelement)**

- Staub/Luft-Gemisch
- Staub
- Reingas
- Abreinigung

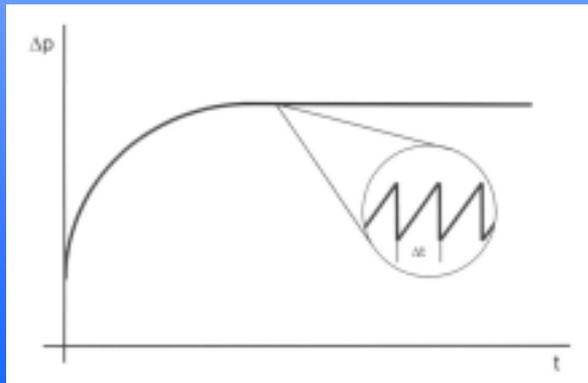
⑤ Filtergerät Abreinigung



## Klassische Abreinigung

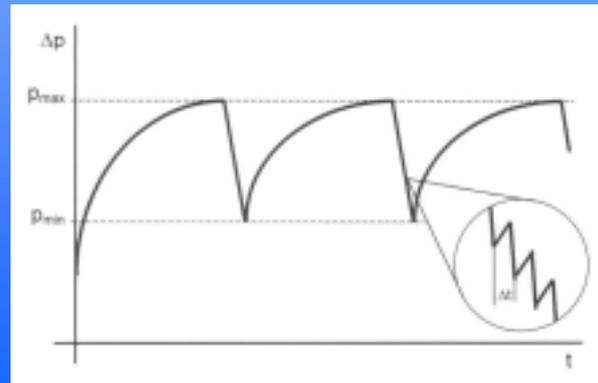
### zeittaktgesteuerte Abreinigung

konstanter Druckverlust  
gleichbleibende Luftmenge  
großer Druckluftverbrauch



### differenzdruckgesteuerte Abreinigung

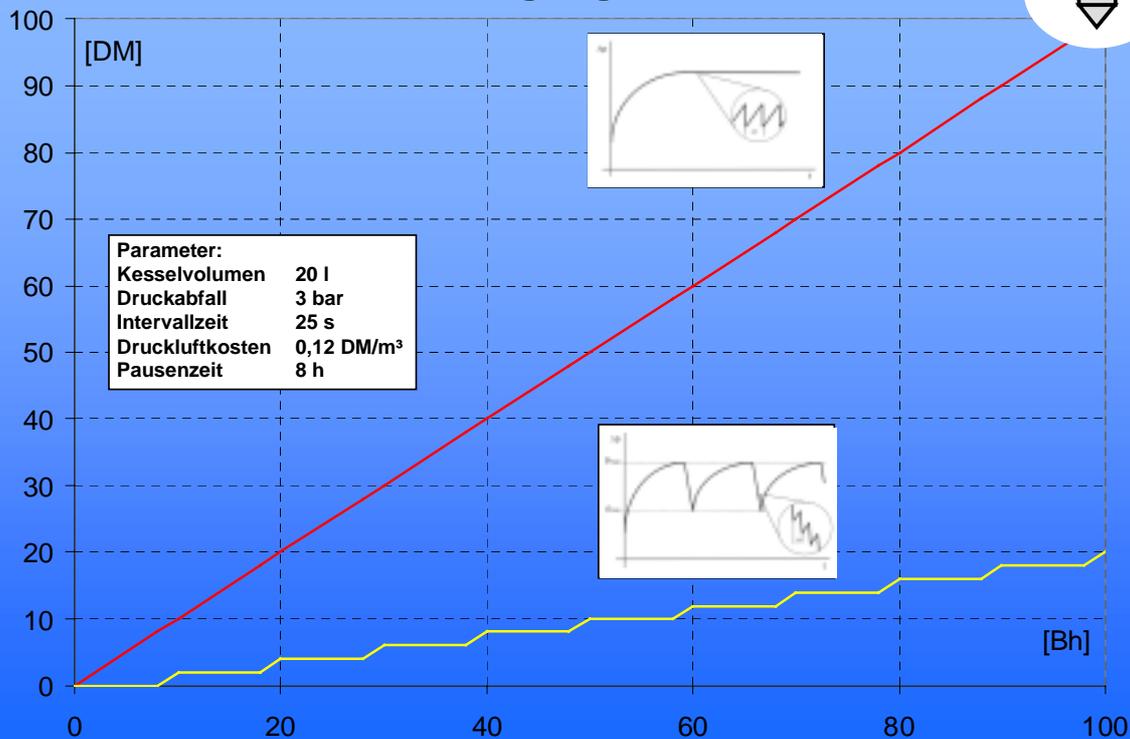
Druckverlust-Bereich  
schwankende Luftmenge  
geringerer Druckluftverbrauch



© Filtergerät Abreinigung - Klassische Abreinigung



## Betriebskosten Abreinigung



© Filtergerät Abreinigung - Druckluftverbrauch

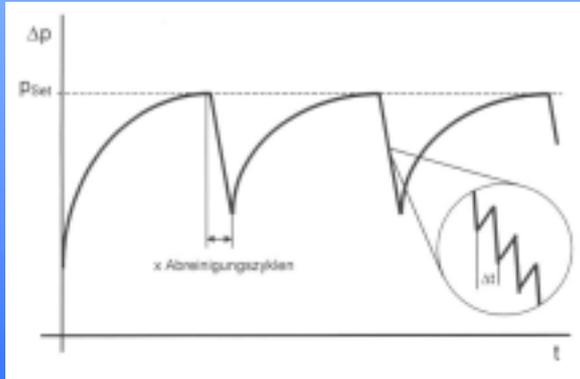


## Weiterentwicklung - prozessorientiert

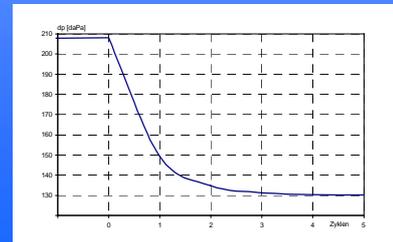


### differenzdruckgesteuerte Zyklus-Abreinigung

Druckluftverbrauch auf Staubeigenschaften abgestimmt



- **schlecht** abreinigbarer Staub benötigt **mehr Druckluft**
- **leicht** abreinigbarer Staub benötigt **weniger Druckluft**



© Filtergerät Abreinigung - Weiterentwicklung



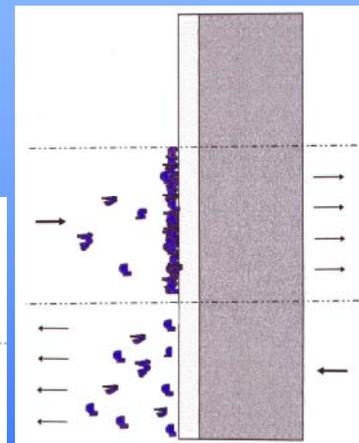
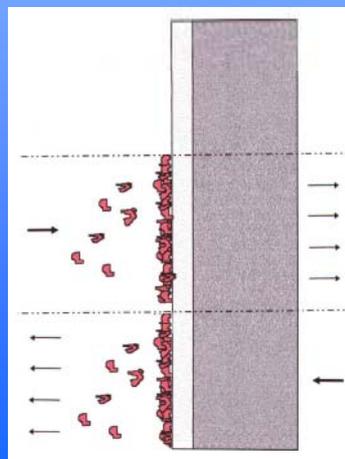
## Schlecht abreinigbare Stäube



**Schweißverfahren an Blechen mit organischen Komponenten, wie:**

- Öle
- Fette
- Lackreste
- Schutzfolien

klebrige Stäube belegen das Filtermedium und können nicht mehr abgereinigt werden



körniger Staub

klebriger Staub

© Filtergerät Abreinigung - klebriger Staub

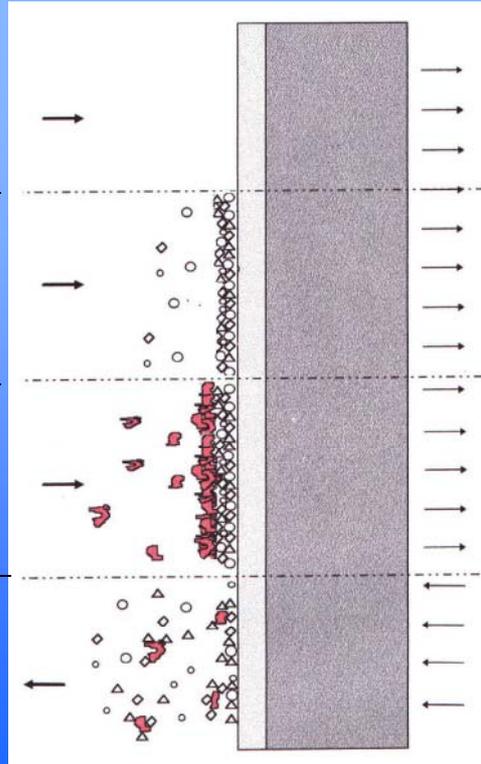


## Precoating

körniger Staub als  
PRECOATMATERIAL  
(Hilfsfilterschicht)  
verwenden

Abscheidung  
des klebrigen Staubs

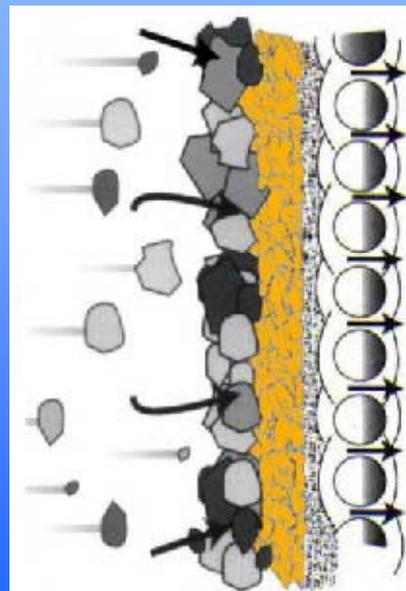
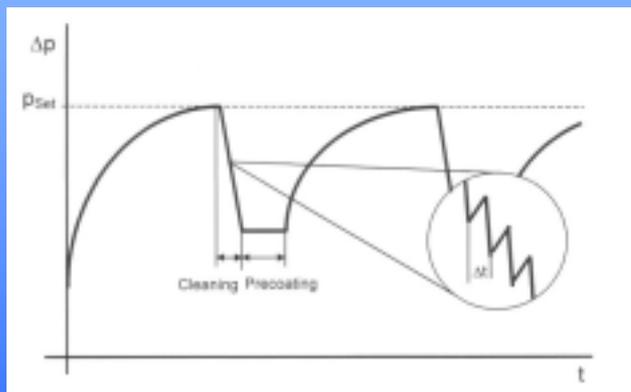
Abreinigung  
des Staubgemischs



© Filtergerät Abreinigung - PRECOATING



## differenzdruckgesteuerte Zyklus-Abreinigung mit Precoating



© Filtergerät Abreinigung - Weiterentwicklung - Precoating



## Precoating-Einrichtung AUTOCOATER



© Filtergerät Abreinigung - Precoating-Einrichtung



## Arbeitskreis Aerosole FV Allgemeine Lufttechnik im VDMA

## Nachfolger vom Arbeitskreis Schweißrauch



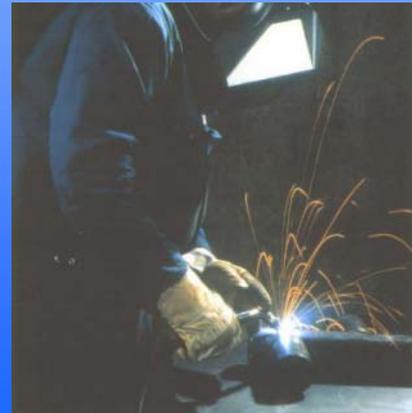
Hinweis auf VDMA





Verfahren Schweißen  
⇒ mechanisch erzeugte Funken entstehen

Feine Teilchen aus metallischen und organischen Bestandteilen können oxidieren



Brandschutz



Brandschutzkonzept  
im

Filtergerät mit:

- Detektion
- Steuerung
- Löscheinrichtung

zur

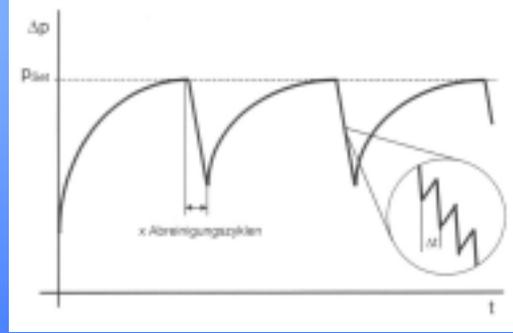
- frühzeitige Branderkennung
- Alarmweitschaltung
- Schadensminimierung
- Risikominimierung
- Minimierung Ausfallzeiten
- Kein Lieferverzug
- Keine Umsatzeinbußen
- Kein Imageverlust



Brandschutz



## Innovative Konzepte der Absaugung von Schweißrauch und anderer Schadgase



**Erfassung**    **Filtergerät**  
**(Anlagentechnik)**

**Abreinigungs-**  
**verfahren**

Ausblick

**Herding**  
FILTERTECHNIK

## Energieteams zur Umsetzung des innerbetrieblichen Energiemanagements

Dipl.-Ing. Andre Dietz, Robert Bosch GmbH, Bamberg

	<h3>Energie-Management Team, Teil 1</h3> <h4>Einführung und Voraussetzungen</h4>	
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Einführung<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Vorstellung des Referenten</li><li>▶ Robert Bosch GmbH, Bamberger Werk (BaW)</li><li>▶ Umweltschutz im BaW (Zertifizierung nach EMAS und ISO14000ff)<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Bewertung der Umweltauswirkungen</li><li>▶ Energieeffizienz</li><li>▶ Relationen I u. II</li></ul></li></ul></li><li>▶ Voraussetzungen<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Das Team (Zusammensetzung)</li><li>▶ Aufgabengebiete</li><li>▶ Rückblick Energieinfo, Meilensteine</li><li>▶ Energiedaten<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Stromverbrauch</li><li>▶ Wärmeverbrauch</li></ul></li></ul></li></ul>		
	SHI, 11/01	© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

	<h3>Energie-Management Team, Teil 2</h3> <h4>Aktivitäten</h4>	
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Kick-Off Meeting, Einsparpotenziale</li><li>▶ Einsparerfolge des Energieteams<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Austausch der Beleuchtungsanlage</li><li>▶ Druckluftaktionen</li><li>▶ Energiewochen</li><li>▶ Abstellung unnötig betriebener MAE, Aktion „gelber Zettel“</li><li>▶ Optimierung der zentralen Leittechnik<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Stromverbrauch in den Pausen</li><li>▶ Stromverbrauch an Wochenenden</li></ul></li><li>▶ Energieverantwortliche in den Werkstätten</li></ul></li><li>▶ Aktuelle Projekte (2001)</li><li>▶ Fazit</li></ul>		
	SHI, 11/01	© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



# Einführung und Voraussetzungen

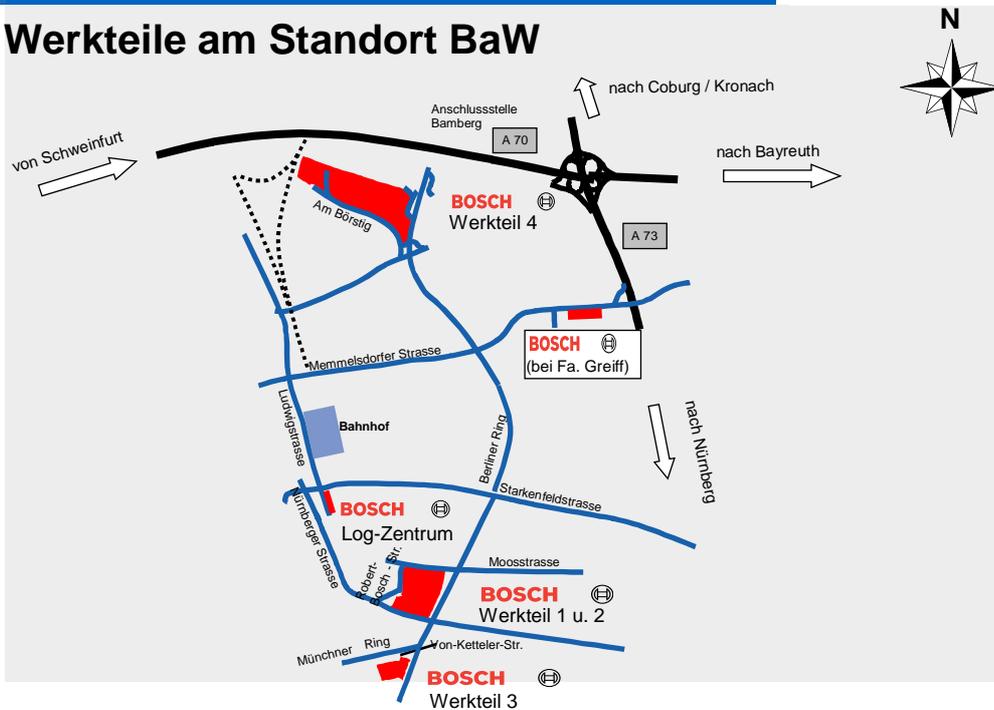


SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Werkteile am Standort BaW



BKW/BTW

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.




## Unternehmensbereich Kraftfahrzeugtechnik





**GS: Gasoline Systems**

- Zündkerzen
- Einspritzventile
- Hochdruckeinspritzventile
- Sensorelemente

**DS: Diesel Systems**

- Düsen
- Düsenhalterkombinationen
- Common Rail Injektoren
- Druckregelventile





■ GS  
■ DS

Qualität  
 Innovation  
 Kundenorientierung  
**Be Better Be Bosch**
BKW/BTW
5

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.




## Auto ohne Produkte aus BaW ....



- ⇒ keine Zündkerzen !
- ⇒ keine elektronische Einspritzung !
- ⇒ keine Lambda-Sonden !
- ⇒ keine Dieselhochdruckeinspritzung!
- ⇒ keine Benzindirekteinspritzung!

*KEIN MODERNES AUTOMOBIL !!*

**BeQIK**  
 Qualität  
 Innovation  
 Kundenorientierung  
**Be Better Be Bosch**
BKW/BTW
6

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



Unsere Mitarbeiter/-innen



<b>Gewerbliche:</b>	<b>7.298</b>
Facharbeiteranteil:	rd. 50%
Frauen/Männer:	rd. 25% / 75%
Durchschnittsalter:	rd. 38 Jahre
<b>Angestellte: 944</b>	

---

<b>Gesamt:</b>	<b>8. 242</b>
<b>Auszubildende 2001:</b>	<b>230</b>



Stand: 1.6.2001



SHK/BKW/BTW

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

7



Umweltschutz im BaW



BESCHEINIGUNG ÜBER DIE STANDORTEINTRAGUNG (EG-Öko-Audit)



SYSTEM FÜR DIE UMWELTMANAGEMENT UND DIE UMWELTBETRIEBS-PRÜFUNG

Dieser Standort verfügt über ein Umweltmanagementsystem. Die Öffentlichkeit wird im Einklang mit dem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung über den betrieblichen Umweltschutz dieses Standorts unterrichtet.

Register-Nr. DE-S-106-00033

Das Unternehmen **Robert Bosch GmbH**  
**Robert-Bosch-Platz 1**  
**D-70839 Gerlingen-Schillerhöhe**

Ist mit dem Standort **Robert Bosch GmbH**  
**Werk Bamberg**  
**Robert-Bosch-Strasse 40**  
**D-96050 Bamberg**

am 17. Februar 2000

in das Verzeichnis der Registerführenden Stelle der Industrie- und Handelskammer für Oberfranken Bayreuth gemäß Artikel 8 Absatz 1 der Verordnung (EWG) Nr. 1836/93 vom 29.06.1993 mit der

Registernummer: **DE-S-106-00033**

eingetragen worden.

Damit ist die Berechtigung verbunden, eine Teilnahmeerklärung gemäß Anhang IV der Verordnung (EWG) 1836/93 zu verwenden.

Bayreuth, den 17. Februar 2000



Dr. Wolfgang Wagner  
Präsident





Dr. Hans F. Trunzer  
stellv. Hauptgeschäftsführer

Industrie- und Handelskammer für Oberfranken Bayreuth, 95440 Bayreuth, Betriebsstrasse 25/27, Tel. 0021.895-0

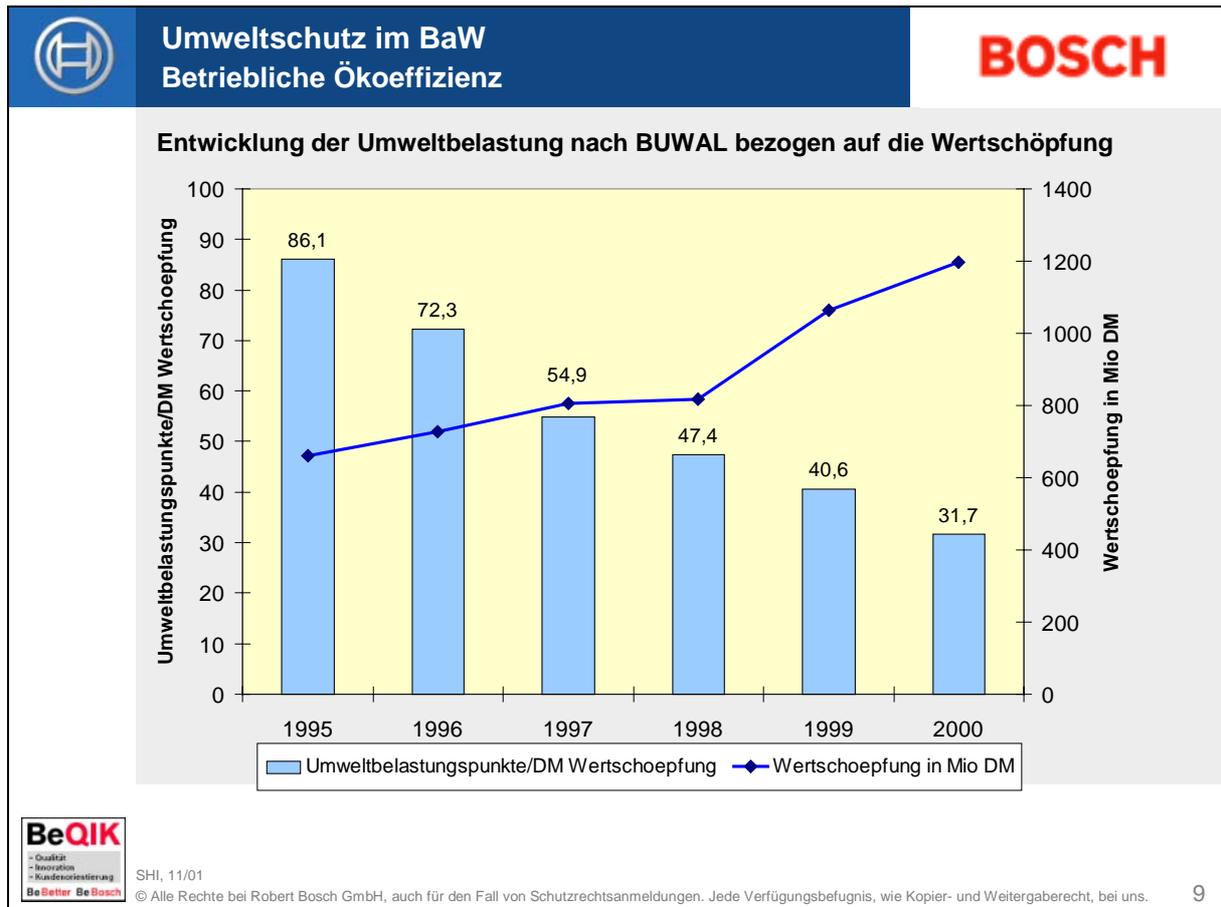
- Zertifiziertes Umweltmanagement-System
- Umweltbetriebsprüfung (Bosch-Auditoren) in 11.97 und 12.00
- ISO 14001 in 12.99
- EU-Umwelt-Audit VO in 12.99
- ISO 14001-Überwachungsaudit ohne Abweichungen in 01.01
- strukturierter Umwelt-Ziele-Prozess mit gutem Erledigungsstand



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

8





SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

9



## Energie-Management Team Energieeffizienz



▸ CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich mit der Entwicklung der Wertschöpfung

	1990 in t	2000 in t	Abweichung 2000/90 in %
CO <sub>2</sub> aus Erdgas/Hel	28.900	24.350	-15%
CO <sub>2</sub> Strom (indirekt)	73.600	106.190	+44%
Wertschöpfung			+25%

Basis: Emissionsfaktoren nach UBA

Begründungen bei Strom:

- Energieintensive Fertigung CRI Werkteil 4 (mehr Bearbeitungsmaschinen)
- Werkteil 4 erweitert (Neubau Ba402 27.000m<sup>2</sup>)
- Werkteile 5 u. 6 zusätzlich
- Mehr Schichten (von 15 Schichtmodell auf 17/18 Schichten)
- Containerflächen (3800m<sup>2</sup>)
- Druckluftverbrauchssteigerung (24,4% ab 96)



SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team Relationen I

**BOSCH**

▶ BaW Energieverbräuche im Vergleich mit denen der Stadt Bamberg (Haushalte und andere Industriebetriebe):

- |               |              |               |
|---------------|--------------|---------------|
| ▶ 133.933 MWh | entsprechend | 26% bei Strom |
| ▶ 116.800 MWh | “ “          | 15% bei Gas   |

Basis: 1998



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team Relationen II

**BOSCH**

„Neue Produkte Common Rail Injektor und Hochdruckeinspritzventil lassen den Treibstoffverbrauch bei PKW um >15% sinken.

Rechnet man diesen auf den gesamten PKW-Flottenverbrauch und die damit verbundenen Kohlendioxid Emissionen in Deutschland hoch, so kompensiert sich die bei der Herstellung der Produkte durch Heizenergieträger freigesetzte Kohlendioxid Menge auf ein Verhältnis von etwa:

1:100 bei Diesel u.

1:500 bei Benzinern“

aus BaW Umwelterklärung 1999



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team

### Das Team, Zusammensetzung



- ▶ Abteilungsleiter Werkerhaltung, Anlagen- und Elektrotechnik
- ▶ Gruppenleiter
  - Werkerhaltung, Anlagentechnik
  - Koordination Werkerhaltung und Maschinen, Anlagen und Einrichtungen, elektr. Instandsetzung
  - Arbeitssicherheit und Umweltschutz
- ▶ Sachbearbeiter
  - Druckluftherzeugungen, zentrale Leittechnik, Zentralversorgungsanlagen
  - Heizungs- und Kältetechnik, Rückkühlwasser, Energietrassen
  - Klima- und Lüftungstechnik, Absauganlagen
  - Umweltschutzingenieur
- ▶ Meister
  - ▶ Elektroabteilungen
  - ▶ Mechanische Werkstätten
- ▶ Werkschutzdienst





SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team

### Aufgabengebiete



- ▶ Energieverbrauch unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten zu reduzieren
- ▶ Kompetente Projektbegleitung
- ▶ Koordination technischer und organisatorischer Maßnahmen
- ▶ Schulung und Kommunikation (Bewusstseinsbildung)
- ▶ Koordinierung der Energiewochen und der Druckluftaktionen



SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team Rückblick Energieprojekte I

**BOSCH**

	Maßnahme	Bemerkung
ab 1985	Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen	Mit Rotationswärmetauschern, wird der Wärmebedarf der Klimaanlage reduziert
1900-1992	Umstellung der Heizwerke von Heizöl auf Erdgas	
1996	Stromkosteneinsparung durch Spitzenlastbegrenzung und kurzzeit. Abschalten von haustechnischen Anlagen	Optimierung der ZLT und Einsatz von Notstromaggregaten Einsparung: ca. 370 TDM
03/96	TEF-Ratioansätze	Druckluftverbrauchsverringern, Energieverbrauch Strom überprüfen
10/96	Stromvertrag mit den Stadtwerken Bamberg	Gegenseitige Hilfe beim Auftreten von Stromspritzen
04/97	Energiesparinformation	Alle MA mittels Tafeln und Gesprächen werkweit informieren
05/97	Anschreiben an die Fertigung bez. Energieverantwortlichen	MA-Erfragung aus den Werkstätten als Energieverantwortliche
10/97	VV-Aktion mit Preisen abschließen	VV-Aktion von 04.10.97
10/97	Schulung für Energieverantwortliche	
10/97	Ausscheiden Mahlerofen (WT3)	Einsparung ca. 30.000m <sup>3</sup> Erdgas
1997-2000	TEF2 Verfahrensanweisung Checkliste zu Konstruktionsmerkmalen und Energieverbrauch	Neukonstruktion verstärkt Einsatz von E-Motoren statt Pneumatik



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team Rückblick Energieprojekte II

**BOSCH**

	Maßnahme	Bemerkung
1998	18.10.- 15.11.98 Energiewochen des WSD	> 1100 unnötige Energieverbraucher
1999	11.10.-23.10.99 Druckluftaktion des WSD	
1999	Energieteamprojekte über BaW-News kommunizieren	
2000	12.02.-12.03.00 Energiewochen des WSD	> 1100 unnötige Energieverbraucher
2000	Ausscheiden energieintensiver MAE	Vertikalpressen, Sonderanlage, Topfglühanlagen
2000	Neuer Tunnelofen für das Brennen der Zündkerzenkeramik	10m <sup>3</sup> /h weniger Gasverbrauch
2000	HDEV Montage, Reduzierung des Prüfdruckes von 150bar auf 6bar	Verringerung des Stromverbrauches um 5000 MWh
2001	Neues Heizwerk für Werkteil 4	höherer Gesamtwirkungsgrad der Kesselanlage von 4% Emission NOx < 100mg/m <sup>3</sup>



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team Verbrauchsreduzierung Keramikbrennöfen

**BOSCH**



### Anlagendaten:

- Einführung eines neuen Tunnelofens zum Brennen der Zündkerzensteinkeramik
- Einsparung: um ca. 10m<sup>3</sup>/h (88.000m<sup>3</sup>/a) im Vergleich zu bisherigen Tunnelöfen
- Verringerung des Gasverbrauches um 1600MWh



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

17



## Energie-Management Team Hochdruck-Einspritzventil Montage

**BOSCH**



### Anlagendaten:

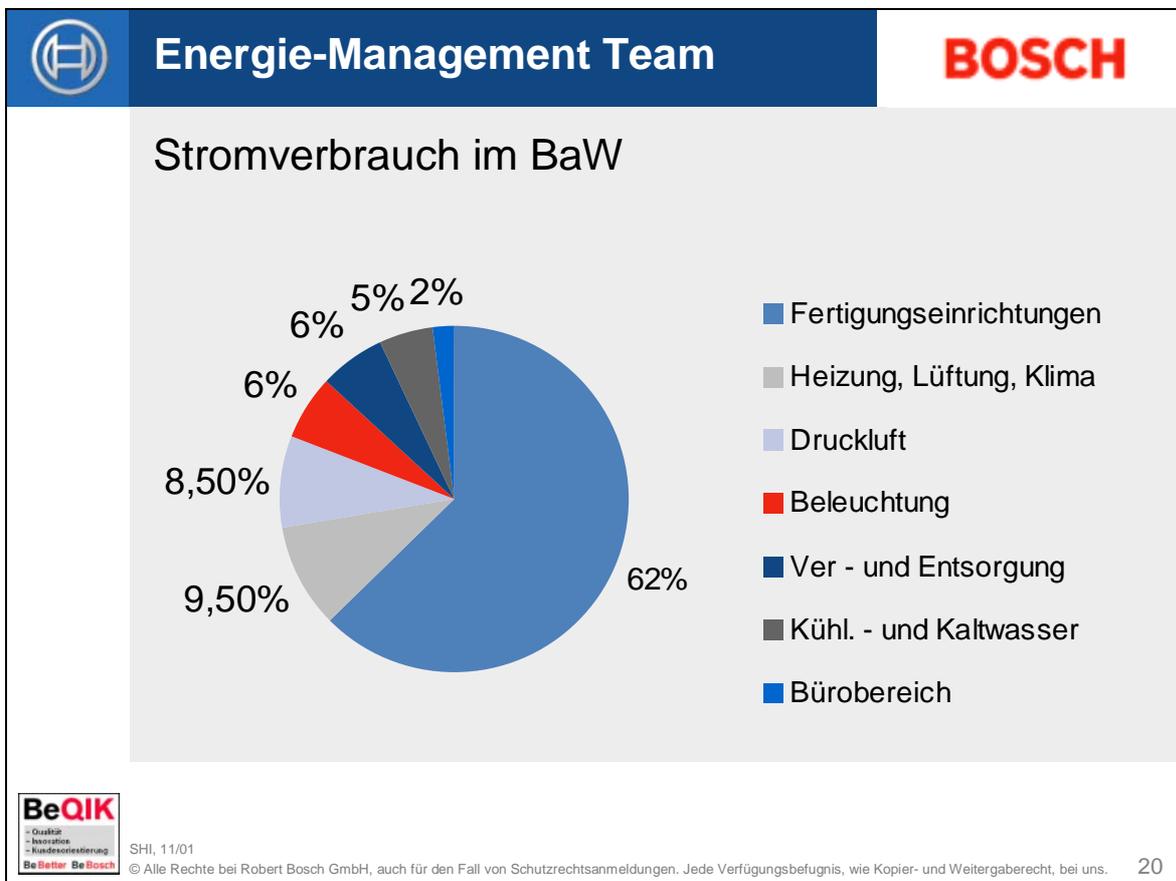
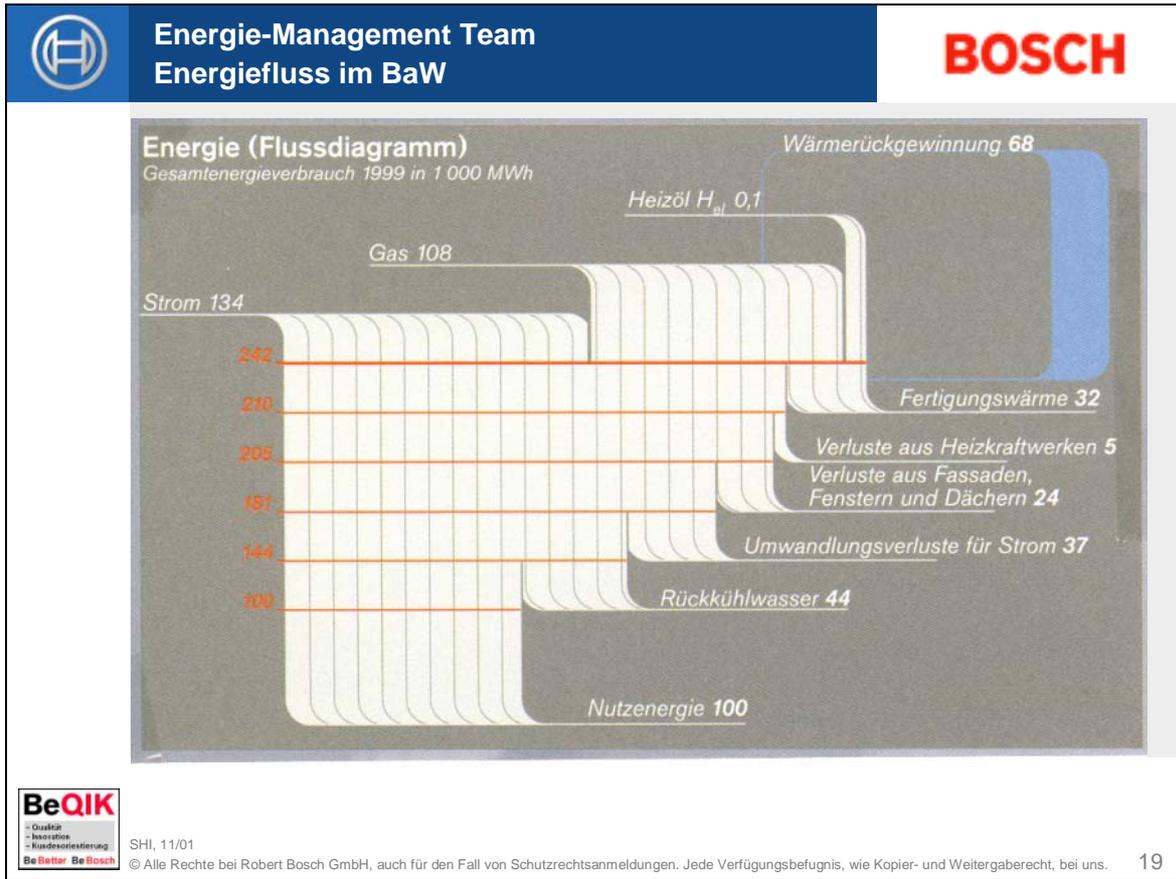
- Verringerung des Stromverbrauches um 5000MWh
- Reduzierung des Prüfdruckes bei der Hochdruckeinspritzventilmontage von 150bar auf 6bar
- DL-Stände in Kleinserie und in Pilotlinie sind von Hochdruck 100bar auf Niederdruck 6bar umgestellt.



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

18



Das betrifft auch das Kreisdiagramm.  
Zusätzlich zur Veränderung der Daten, können auch bestimmte Werte besonders hervorgehoben werden. Dafür wird das Bosch-Rot verwendet.

	<b>Energie-Management Team Teil 2</b>	<b>BOSCH</b>
<h1>Aktivitäten</h1>		
	<small>SHI, 11/01 © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.</small>	

	<b>Energie-Management Team Kick-off-Meeting, Potenziale -1-</b>	<b>BOSCH</b>
<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="336 1267 1310 1301">▶ Druckluftaktionen <span style="float: right;">☺</span></li><li data-bbox="336 1368 1310 1402">▶ Energiewochen <span style="float: right;">☺</span></li><li data-bbox="336 1469 1310 1536">▶ Optimierung der Zentralen Leittechnik (ZLT) und Einrichtung eines TEF3 Katasters <span style="float: right;">☺</span></li><li data-bbox="336 1603 1310 1637">▶ Schulung von Energieverantwortlichen, Kommunikation <span style="float: right;">☺</span></li><li data-bbox="336 1704 1310 1738">▶ Abstellung unnötig betriebener MAE, insbes. am WE <span style="float: right;">☺</span></li></ul>		
	<small>SHI, 11/01 © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.</small>	



## Energie-Management Team

### Kick-off-Meeting, Potenziale -2-

BOSCH

- H
▶
 Einrichtung eines Prozesskatasters ☹
  - ▶ Anlagen mit Anschlussleistung für
    - ▶ Strom >100kW
    - ▶ Heißwasser und Dampf >50kW
    - ▶ Kühlwasser >50kW
    - ▶ Gas >50kW
    - ▶ Druckluft >100m<sup>3</sup>/h
- ▶
 Verfahrensanweisungen für MAE-Beschaffung ☹
- ▶
 Nutzung von Energiemanagementchecklisten ☹
- ▶
 Prüfung Nutzwärmebereitstellung für planare Lambda-Sonde ☹



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team

### Kick-off-Meeting, Potenziale -3-

BOSCH

- ▶
 GK-Umlageschlüssel objektivieren, Energieverbrauchskosten ☹
- ▶
 Grundversorgung kleinere Abschaltintervalle ☹
- ▶
 Anschlußleistung für MAE mit zu hohen Sicherheitsfaktoren (Messung n. erf.; 2. Pilotlinie für HDEV im Voraus angepasst) ☹
- ▶
 Kaltwassersätze Sommer/Winter Anpassung ☹
- ▶
 Abwärmenutzung Tunnelöfen Werkteil 1 (Eckdaten erfasst) ☹
- ▶
 Optimierung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft von Objektabsaugungen ☹



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

## Energie-Management Team

### Aktivitäten

- ▶ **Ba401 Austausch der alten Beleuchtungsanlage mittels moderner Beleuchtungstechnik** 😊
  - ▶ Lichtverhältnisse verbessert u.
  - ▶ **127.000DM/a** Stromkosten gespart
- ▶ **Druckluftaktionen** 😊
  - ▶ bis 30.09.2000 2500 Undichtigkeiten im Druckluftnetz entdeckt u. 2200 behoben.
  - ▶ Relation: bei Leckagedurchmesser von 1mm, (0,03DM/m<sup>3</sup>) Einsparung von **2.574DM/8h; 103.000DM/Monat & 2 Schichten**
  - ▶ Dz. 1/3 der Fertigungsfläche auf Undichtigkeiten im Druckluftnetz zu prüfen (lfd. Aufgabe)
  - ▶ Leckagen im Druckluftnetz; Preis ausloben
- ▶ **Energiewochen der WSD** 😊
  - ▶ 18.10.- 15.11.98 **1131 unnötige Energieverbraucher**
  - ▶ 12.02.- 12.03.00 **1123 unnötige Energieverbraucher**
  - ▶ Verluste an Beleuchtung, Druckluft und Stromschienen behoben.

SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

## Energie-Management Team

### Ergebnisse der WSD Energiewochen 2000

- **Zeitraum**  
– 12.Feb. - 12.Mrz. 2000
- **Statistik (Anzahl)**  
– Gesamt: **1123 Mängel**  
– **125x Strom**  
– **35x Druckluft**  
– **131x Wasser**  
– **832x Wärme**

Kategorie	Anzahl
Strom	125
Druckluft	35
Wasser	131
Wärme	832

### Beanstandungen:

- ▶ Strom: v.a. Beleuchtungen, eingeschaltete Arbeitsplatzrechner, Maschinen, Kopierer u. Stromschienen
- ▶ Druckluft: häufigsten Undichtigkeiten an Pneumatik an Maschinen
- ▶ Wasser: Tropfende Hähne Handwaschplätzen und Duschen
- ▶ Wärme: Transporttore, Außentüren und Fenster geöffnet und Thermostate voll auf gedreht
- ▶ Kommunikation der Mängel über WSD Info.

SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



**Energie-Management Team**  
Aktion „gelber Zettel“, unnötig betriebene MAE

BOSCH

Energie sparen

Diese Einrichtung verbraucht unnötig Energie!

**Strom**      **Wärme**  
 **Druckluft**    **Wasser**

Ihre Name: \_\_\_\_\_

Ort: (Bau, Werkstatt, Maschine, Inv.-Nr., Anlage, ZED-Bez.) \_\_\_\_\_

**Gemeldet:**

VON: Abt./Machst. Name Telefon

BIB: Abt./Machst. Name Telefon

AM: Tag \_\_\_\_\_ Uhrzeit \_\_\_\_\_

1 - Werkstatt

---

NICHT AUSSCHALTEN

Grund: \_\_\_\_\_

Fa./W.: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Name/Tel.: \_\_\_\_\_

### Gelber Zettel:

- ▶ Unnötige Verbraucher in den Pausen, bei Arbeitsunterbrechungen und bei Arbeitsende abzuschalten
- ▶ Bei Kontrollgängen von TEF3 und WSD Einrichtungen, die unnötig Energie verbrauchen, mit Gelben Zettel versehen
- ▶ Verluste bei Beleuchtung, Wärme, Stromschienen, Wasser, Druckluft
- ▶ Original an Werkstatt;
  1. Durchschlag an Elektroabt.;
  2. Durchschlag an der Einrichtung
- ▶ „Weisser Zettel“



SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

27



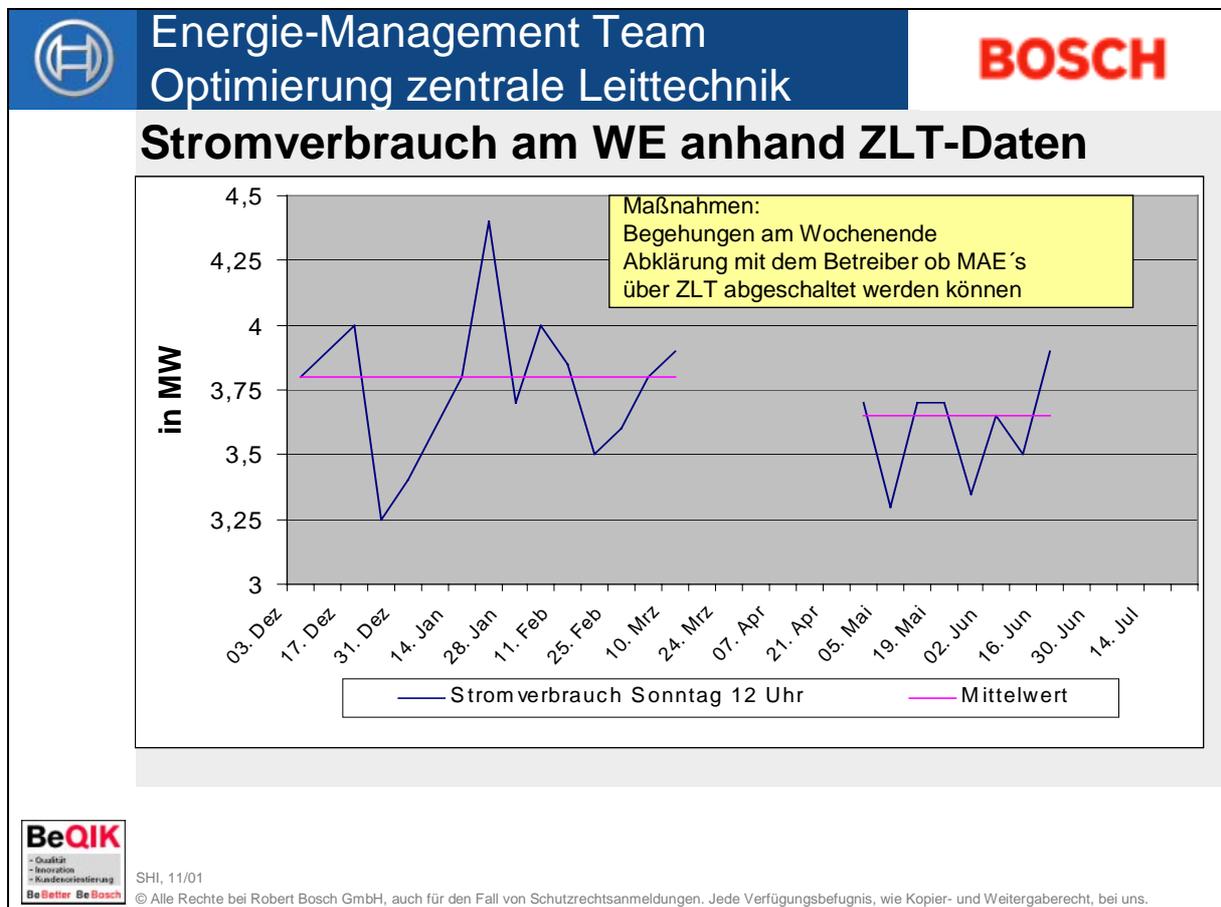
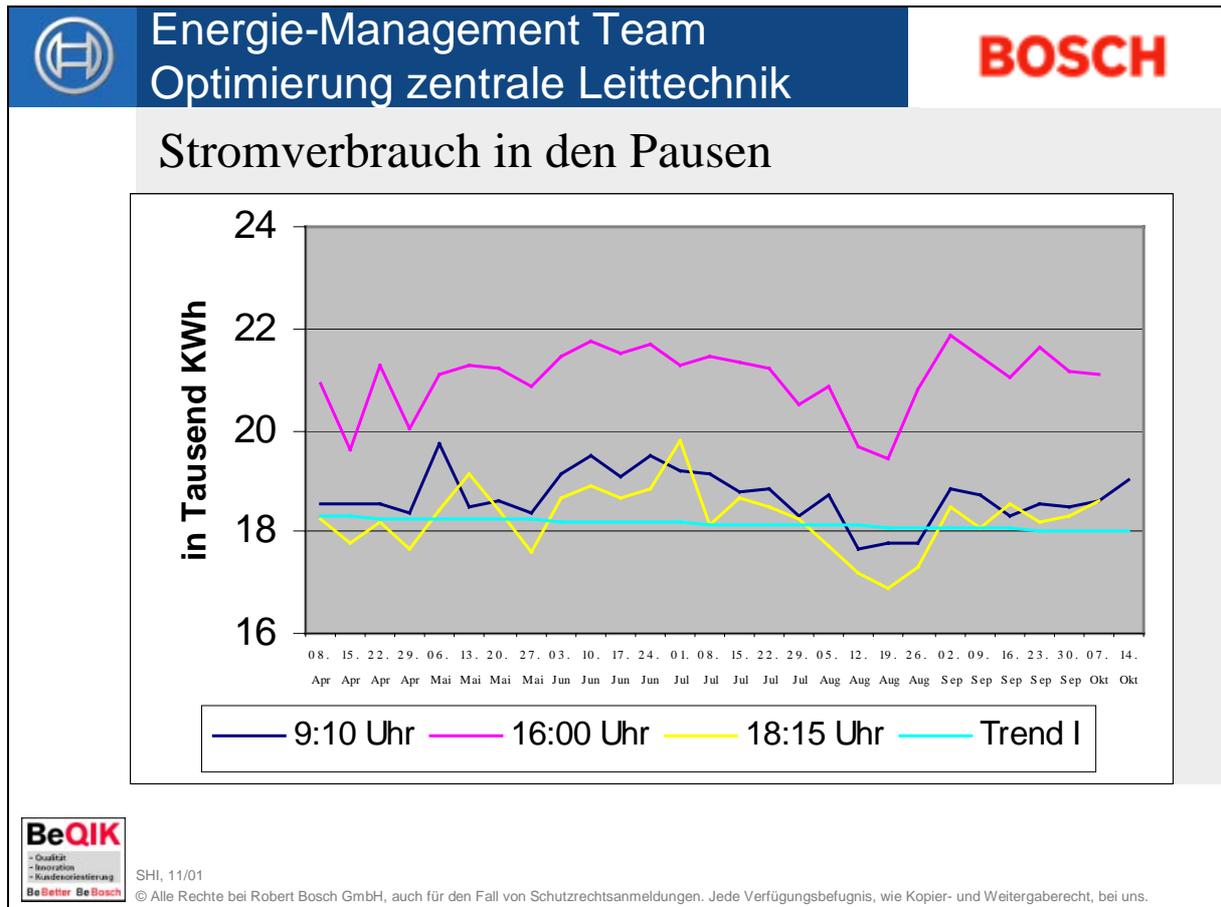
**Energie-Management Team**  
Optimierung zentrale Leittechnik

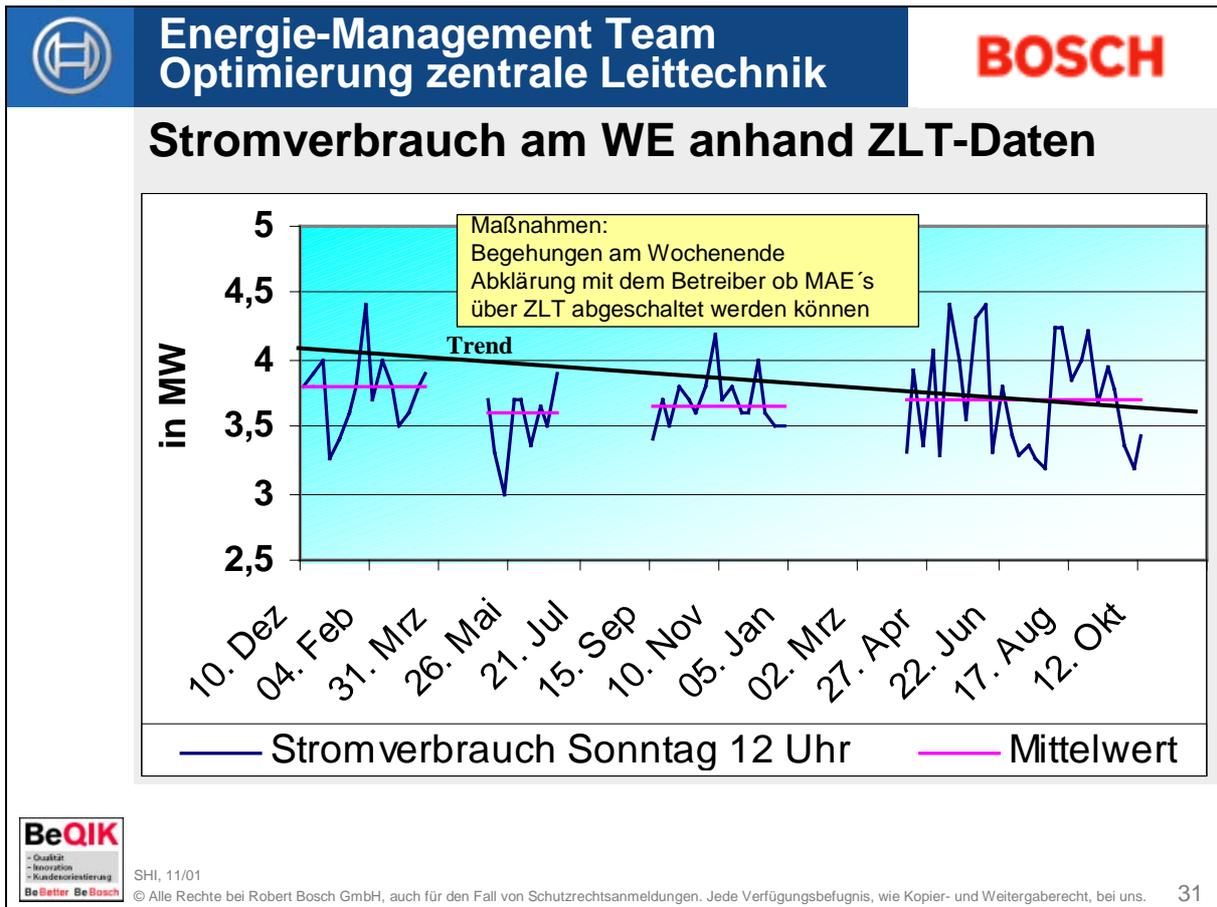
BOSCH

- ▶ Gezieltes Schalten von Versorgungseinrichtungen nach Bereichen und Werkstattbelegung
- ▶ Zu- u. Abschaltung von Anlagen nach Bedarf über Durchfluss, Druck u. Temperatur, usw.
- ▶ Drehzahlregelung von Pumpen bei stark unterschiedlichen Verbrauchsmengen
- ▶ Spezielle Anfahrprogramme bei Lüftungsanlagen unter Berücksichtigung der Restwärme
- ▶ Bei Umzügen Anpassung der Anschlussleistungen
- ▶ Werkstätten geben Energieverbrauchsdaten vor



SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.







**Energie-Management Team**  
**Energieverantwortliche (EV)**



- ▶ Schulung von ca. 80 Energie-Verantwortlichen:
  - ▶ Inhalte:
    - ▶ Klimaschutz
    - ▶ Energieformen und -verbräuche BaW
    - ▶ Tipps zum Sparen von Strom, Beleuchtung, Druckluft u. Wärme
    - ▶ geplante Maßnahmen EMT-Team, ZLT
    - ▶ Motivation für aktive Beteiligung
    - ▶ Ansprechpartner des EMT
  - ▶ Aufgaben:
    - ▶ Energieverschwendung aufdecken und Beseitigung veranlassen
    - ▶ Mitarbeiter beraten und informieren
    - ▶ Sensibilisierung der Mitarbeiter zum Thema Energieeinsparung
  - ▶ Erfolge:
    - ▶ auf Initiative der EV hin konnte bei einer Betriebsversammlung 5.000kWh Strom eingespart werden
    - ▶ Meldung über gelbe Zettel



SHI, 11/01  
© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

	<h2 style="margin: 0;">Energie-Management Team</h2> <h3 style="margin: 0;">Aktuelle Projekte 2001 -1-</h3>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Aufbau und Erweiterung des Heizwerkes WT4 <span style="float: right;">😊</span> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verbesserter Gesamtwirkungsgrad der Kesselanlage von 4% (Einbau eines Abgaswärmetauschers, Einbau einer O2-Regelung)</li> <li>▶ Emission von NOx &lt; 100mg/m<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>▶ Reduzierung von Ölleckagen an Bearbeitungsmaschinen                     <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Vorentölung Sonderchargen Zündkerzengehäuse -20m<sup>3</sup>/a <span style="float: right;">😊</span></li> <li>▶ Rückgewinnung über MAZE-Sauger -350m<sup>3</sup>/a <span style="float: right;">😊</span></li> <li>▶ TPM-Projekt</li> </ul> </li> <li>▶ Energieteam im Intranet, Energieverantwortliche mit Intranet <span style="float: right;">😊</span></li> <li>▶ Druckluft Hauptschieber kennzeichnen für WE-Betrieb <span style="float: right;">😊</span></li> <li>▶ Info an Meister über Energiebereitstellung bei Überzeit (Ild.) <span style="float: right;">😊</span></li> </ul>		
	<p style="font-size: small;">SHI, 11/01 © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.</p>	

	<h2 style="margin: 0;">Energie-Management Team</h2> <h3 style="margin: 0;">Aktuelle Projekte 2001 -2-</h3>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Aufschlüsselung Stromverbrauch auf Containerflächen <span style="float: right;">😊</span></li> <li>▶ Druckluftverluste an Retco Transferstraße 8 <span style="float: right;">😊</span> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Optimierung Kompressoren und Kaltwasserbetrieb</li> <li>▶ Separater Kompressor für Versuchszwecke (Sa./So. Überzeit) <span style="float: right;">in Arb.</span></li> </ul> </li> <li>▶ Fortführung Energiewochen und Druckluftaktionen im WT 4 <span style="float: right;">in Arb.</span></li> <li>▶ Planung neuerliche Unterrichtung Energieverantwortliche <span style="float: right;">in Arb.</span></li> <li>▶ Plasmahärten statt klassisches Aufkohlen bei Düsen, Einsparung von 820.000 KWh/a (40%) <span style="float: right;">in Arb.</span></li> <li>▶ Ersatz TEM Entgratanlagen durch Chemisches Entgraten (Reduktionspotenzial: von 184.000m<sup>3</sup> Erdgas; 6.100m<sup>3</sup> Druckluft; 65.848kg Sauerstoff, 5.000m<sup>3</sup> Kühlwasser) <span style="float: right;">in Arb.</span></li> <li>▶ Verminderung der Emission an NMVOC um -60t <span style="float: right;">in Arb.</span></li> </ul>		
	<p style="font-size: small;">SHI, 11/01 © Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.</p>	



## Energie-Management Team Fazit

**BOSCH**

- ▶ Einsparpotenziale vorhanden
- ▶ häufig lfd. Aufgaben
- ▶ „Energieprojekte“ von einzelnen Sachbearbeitern im Rahmen von Sanierungsprojekten koordiniert
- ▶ Kommunikation mit Energieverantwortlichen
- ▶ Unterstützung Externer hilfreich



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.



## Energie-Management Team im Intranet

**BOSCH**

### *Energiemanagement*

#### □ Wußten Sie schon, dass...



- das BaW ca. 16% Erdgas (25% Strom) der Stadt Bamberg verbraucht?
- der Heizenergieverbrauch im BaW bei ca. 127.000 MWh liegt?
- ein 1mm großes Loch in der Druckluftleitung ca. 660 DM/Jahr kostet?
- Zehn unnötige betriebene 60 Watt-Lampen Strom für ca. 1000 DM/Jahr verbrauchen?
- eine Energiesparlampe bis zu 100 DM/Jahr einsparen kann?
- das BaW rund 390000 m<sup>3</sup> Trinkwasser und 30000 m<sup>3</sup> Brauchwasser benötigt?



SHI, 11/01

© Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

## **Aktivitäten der Maschinenbauindustrie im Bereich rationeller Energienutzung**

**Dipl.-Ing. Erhard Ledwon, VDMA, Dillenburg**

Energiekosten sind Bestandteil einer jeden Betriebsabrechnung. Normalerweise werden sie den Materialkosten zugeordnet, wobei die Definition der Energiekosten in der Regel von der Betriebsgröße und Art der Fertigung abhängt.

Da, abgesehen von wenigen energieintensiven Branchen (beispielsweise in der Grundstoffindustrie), der Energiekostenanteil unter 2 Prozent liegt, wird der Energiefrage meist wenig Beachtung geschenkt. Wichtig ist es daher ein Instrument zur Verfügung zu haben, mit dem die Geschäftsleitung erkennen kann, wie hoch die möglichen Einsparpotentiale sind. Große Energieeinsparpotentiale sind insbesondere in Betrieben mit

- 1) relativ geringen Energiekostenanteilen an den Produktionskosten, d.h. weniger als 2 Prozent,
- 2) wenig Beschäftigten, z.B. weniger als 500, mit geringen Möglichkeiten der Spezialisierung der Betriebsingenieure,
- 3) relativ vielfältigen Produktionsprozessen, z.B. Metall- und Kunststoffverarbeitung zu finden.

Zur Beurteilung und zum Messen eines Unternehmens im Vergleich mit anderen Unternehmen und dem eigenen im Zeitverlauf ist das Vorhandensein aktueller, unternehmensbezogener Kennzahlen eine bedeutende Voraussetzung. Das Vorhandensein aktueller Kennzahlen bestimmt den eigenen Standort als Mitbewerber auf dem Markt und zeigt die Stärken und Schwächen des Unternehmens im Vergleich mit anderen. Im vorwiegend mittelständisch geprägten und weniger energieintensiven Betrieben wird den Energiekosten oft eine zu geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Die Durchleuchtung des Energiekostenblocks liefert Kennzahlen und damit Ansatzpunkte für eine wirkungsvolle Optimierung und Überwachung der Energiekosten für den Controller.

Ein angewandtes Energiekosten-Controlling ermöglicht das Aufdecken von Schwachstellen beim Einsatz von Energie, z.B. von zu teuer eingekauften Energiearten, Einsparungsmöglichkeiten beim Energieverbrauch und zeigt schlecht arbeitende Anlagen auf. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass sich durch ein systematisches Energie-Controlling unmittelbar erhebliche Kosteneinsparungen realisieren lassen.

Damit sind wir eigentlich schon beim Energiemanagement. Ein Unternehmen benötigt bei rationaler Energienutzung eine gesicherte und preiswerte Energieversorgung.

Ein Energiemanagementsystem beinhaltet die Aufbauorganisation und regelt die erforderlichen Abläufe, um ein effizientes Energiemanagement zu gewährleisten. Dieses System ist demnach ein organisatorisches Mittel und von einzelnen Personen unabhängig.

Wenn es in einem Unternehmen um rationelle Energienutzung geht, sind sowohl die Technik als auch die Mitarbeiter entscheidend. Es ist falsch anzunehmen, dass die beste Technik zu gewünschten Einsparerfolgen führen kann. Die beste Technik nützt nichts, wenn sie nicht richtig angewendet wird, nicht mehr richtig funktioniert oder vielleicht sogar von den Mitarbeitern manipuliert wird, weil ihnen der Sinn dieser Technik nicht richtig erklärt wurde.

Der Einstieg in das Energie-management erfolgt am besten mit der Anfertigung einer Bestandsaufnahme der „IST –Analyse“.

Es gilt das Motto:

**Erst analysieren – dann rationalisieren !**

Das folgende Ablaufschema zeigt wie auch nebenamtlich mit Energieeinsparung Beschäftigte ans Ziel kommen: nach der „20/80 Regel“ d.h.mit **20 % Aufwand 80 % Nutzen realisieren**.

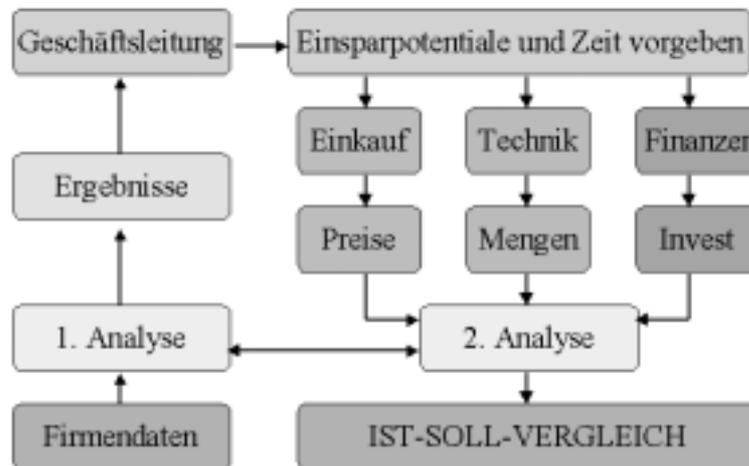


Bild: Energiemanagement

In Abhängigkeit der Daten-Qualität werden mit der

### 1. (Übersichts-) Analyse

Kennzahlen und Benchmarks für den Einkauf (Preise) die Technik (Verbrauch) und die Finanzen (Effizienz) geliefert.

Ist das Einsparpotential überzeugend werden in der

### 2. (Fein-) Analyse

Kennzahlen und Benchmarks zum **IST-SOLL-Vergleich** herangezogen.

Das hier kurz aufgezeigte Energiemanagement Verfahren ist branchenübergreifend und basiert auf dem NACE Branchenverzeichnis (WZ 93 ).

Weitere Informationen sind über [www.tip-energie.de](http://www.tip-energie.de) abrufbar.

ZENTRALEINKAUF	
<b><u>In 2001 durchgeführte Energieanalysen</u></b>	
<b>Werke Hemer / Lahr / Herzberg / Haldensleben</b>	
<b><u>Analysierte Bereiche:</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strom / Gas</li> <li>• Frischwasser / Abwasser</li> <li>• Druckluft</li> <li>• Beleuchtung</li> <li>• Kälte / Klimatisierung (Werk Hemer - Verwaltungen bereits in Realisierung)</li> <li>• Trafostationen</li> <li>• Lüftung</li> <li>• Energiemanagement für Induktionsöfen</li> </ul>	
<b>Gesamteinsparpotenzial:</b>	<b>ca. 1 Mio €/ anno</b>

ZENTRALEINKAUF



## Beispiel Erdgasoptimierung Werk Hemer

1. Automation der Regeltechnik	2.500.000	76.000	160.000	7.800	80.000	15.000	1.	1.
2. Wärmerückgewinnung aus der Druckluft	900.000	27.000	200.000	10.000	50.000	10.000	1.	1.
3. Wärmerückgewinnung aus den Gießerei-Schmelzöfen	2.000.000 bis 4.000.000	58.000 bis 116.000	321.000	6.000	100.000	20.000	2.	2.
4. Optimierung der Lüftungsanlagen Gießerei	1.000.000	60.000	100.000	5.200	wird noch ermittelt		3.	3.
5. Schulungsmaßnahmen						5.000 bis 7.000	1. bis 2.	
<b>Summen</b>	6.400.000 bis 8.400.000	221.000 bis 279.000	781.000	29.000	230.000	50.000 bis 52.000		

### Zusammenfassung

Einsparpotential ca. **300.000 EUR**

Investitionen / Aufwendungen ca. **280.000 EUR**

Amortisationszeit **< 1 Jahr**

ZENTRALEINKAUF



## Beispiel Beleuchtung Herzberger Armaturen

### Erhöhung des Leuchtwirkungsgrades durch Einsatz spezieller Vorschaltgeräte und Tageslichtregelung

Hallen-Nr. Bezeichnung	Gesamtkosten Nachrüstung Gesamtanl. EVG + Lampe [DM]	Gesamtkosten Nachrüstung Reflektor + EVG [DM]	Gesamtkosten tageslicht- abhängige Konstantlicht- regelung [DM]	Energiekosten- einsparung je Jahr EVG [DM]	Kosten- einsparung je Jahr tageslicht- abhängige Regelung [DM]
<b>Summen</b>	<b>63.706,48</b>	<b>142.607,97</b>	<b>130.750,58</b>	<b>33.721,20</b>	<b>53.729,25</b>

Amortisationszeit Umrüstung EVG und Dreibandenableuchte **< 2 Jahre**

Amortisationszeit Umrüstung EVG, Dreibandenableuchte und Reflektor **> 4 Jahre**

Amortisationszeit Umrüstung Tageslichtregelung **< 3 Jahre**

ZENTRALEINKAUF

**Beispiel:**

## Elektrische Anlagen Fa. Grohe Haldensleben

**Ist-Situation:**

2 x 800 kVA Trafos  
 Jahreshöchstleistung 363 kW => 430 kVA  
 Verlustleistung durch Überdimensionierung: 170.000 kWh/a

**Soll-Situation:**

Reduzierung der Leistung um 30 kVA  
 Ausbau der zwei 800 kVA Trafo's  
 Einbau eines gebrauchten 400 kVA Trafos's durch RWE Plus  
 Einsparung: ca. 200.000 kWh/a => 30.000 DM/a  
 Investition: ca. 15.000 DM/a

**Amortisationszeit Umrüstung elektrische Anlagen: 0,5 a**

[www.meisterlich-energiesparen.de](http://www.meisterlich-energiesparen.de)



Partner des Maschinenbau-Instituts im VDMA

In ganz Deutschland und Europa Musteranalysen  
 über [www.masterlux.de](http://www.masterlux.de) für 105 Euro  
 für alle Branchen der **Industrie**  
 für das **Gewerbe**  
 für **Verwaltungen**  
 im **Privatbereich**

Feinanalysen nach Bestellung für 1.300 Euro

09.2001

## Multi-Utility in der VDMA Rahmenvereinbarung



Partner des Maschinenbau-Instituts im VDMA



In zwei Schritten zu einem Multi-Utility Angebot

1. Schritt: Masterlux Musteranalyse
2. Schritt: *Energy-Master* Feinanalyse

Diskussion der Ergebniskennzahlen im Unternehmen.  
Besichtigung der energierelevanten Anlagen mit  
Bewertung und Kritik der Energiemengen.

Monitoringentwurf: Einsparziel und Verantwortung  
Umsetzung und Ergebnis

09.2001

## Preis Controlling



Partner des Maschinenbau-Instituts im VDMA



Preistransparenz ist nur dann gegeben, wenn Preise für

- Stromlieferung und EEG,
- Netznutzung und KWK,
- Messung,
- Energiesteuer und
- Konzessionsabgabe

bekannt sind.

09.2001

## Energieeinsparung durch optimierten Einsatz von Kühltürmen – Ein Pilotprojekt der Sulzer Escher Wyss GmbH, Lindau und der Emil Frei GmbH & Co., Bräunlingen

Dipl.-Ing. Hans-Peter Frei, Bräunlingen

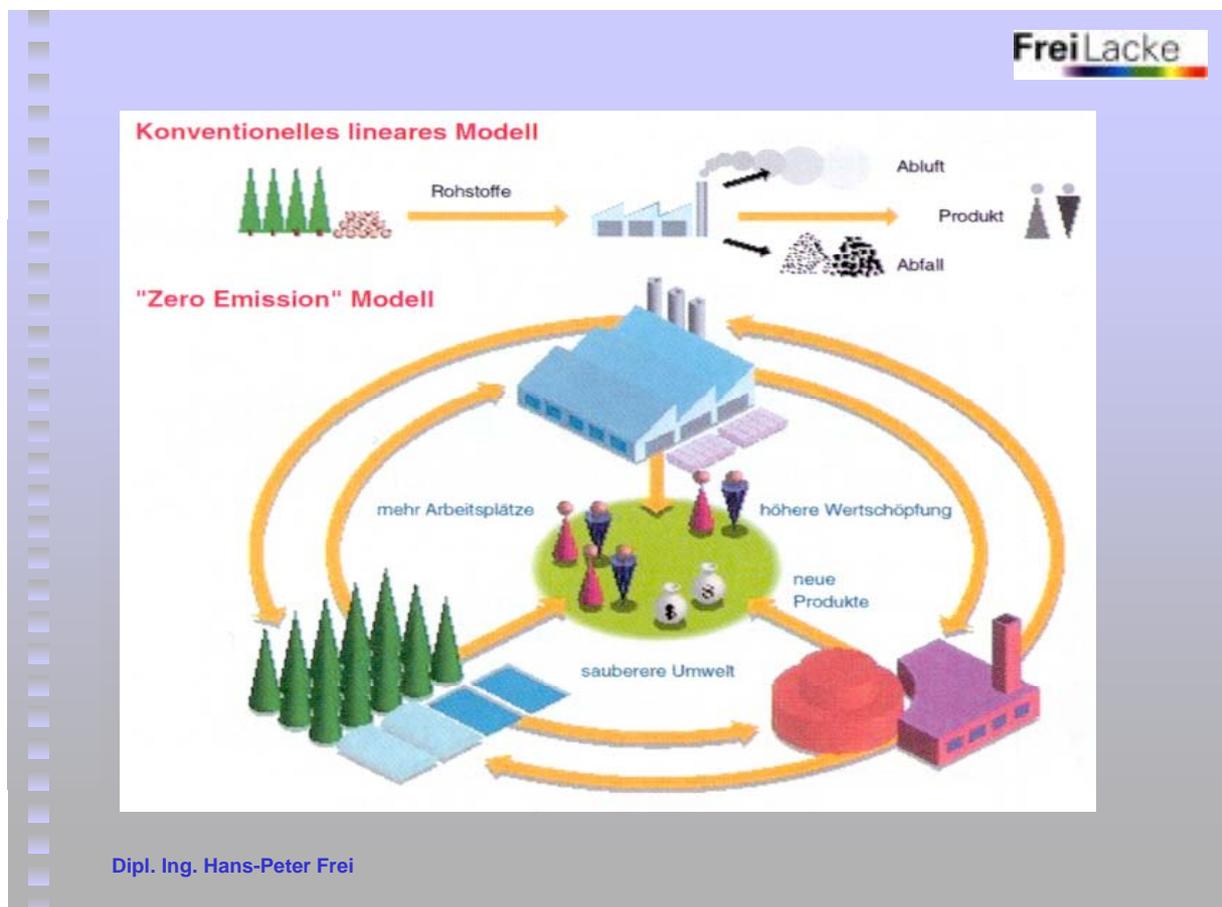
### Vorstellung der Fa. FreiLacke

Die Fa. Emil Frei GmbH & Co. als mittelständisches Familienunternehmen entwickelt, produziert und vermarktet seit 1926 Lacke und Beschichtungsmaterialien für industrielle Anwendungen. Zudem beschäftigt sich die Produktgruppe Durelastic mit duroplastischen Kunststoffen, die vor allem in glasfaserverstärkten Bauteilen (GFK) zum Einsatz kommen. Mit diesen Produkten wurden 1960 die ersten serienreifen Kühltürme für die Fa. Sulzer Escher Wyss gebaut, die bis heute eine bedeutende Rolle bei den Kühlprozessen in industriellen Produktionsabläufen eingenommen haben.

Für die Herstellung von Pulverlacken werden leistungsstarke Extruder und Kühlbänder eingesetzt, die mit Hilfe eines Kühlwasserkreislaufes auf einem konstanten Temperaturniveau gehalten werden müssen.

Nach der zweimaligen Öko-Zertifizierung nach Verordnung 1836/93 EWG besteht ein weiteres Ziel des Unternehmens in der effektiven Nutzung aller Ressourcen, die im sogenannten "Zero Emission Modell" bis im Jahr 2010 erreicht werden sollten.

Durch die gesamte Rohstoffnutzung im Kreislauf soll die Umwelt geschont, die Produktivität verbessert und die Zahl der Arbeitsplätze erhöht werden.



**„Zero Emission“ Modell  
Zielsetzung bis 2010**

**FreiLacke**

Ressourcen	2000 (= 100 %)	2005	2010
Energieverbrauch	4.452 mWh	- 20 %	- 30 %
Abfall	350 t	100 t	0 t
Emissionen	150mg/m <sup>3</sup>	- 20 %	- 30 %
Wasser- verbrauch	8.737 m <sup>3</sup>	- 60 %	- 90 %
Arbeitsunfälle	7	2	0
Kosteneinsparung (Mio. DM)	--	1,8	2,5

Dipl. Ing. Hans-Peter Frei

## Einleitung

Wie bei allen technischen Investitionen spielen sowohl die Investitionskosten als auch vor allem die ständig anfallenden Betriebskosten eine entscheidende Rolle. Bei der Planung einer neuen Kühlwasseranlage für die Maschinen der Pulverlackproduktion waren vor allem die Bewertung der Betriebskosten ein ausschlaggebendes Entscheidungskriterium.

### 1. Ausgangssituation

Der bestehende geschlossene Kühlwasserkreislauf - bestehend aus einem Kühlturm und einem Kaltwassersatz- wurde seit 1990 mit folgenden technischen Kenndaten betrieben:

Technische Daten	<u>Vorhandener Kühl-</u> <u>turm</u>	<u>Vorhandener Kaltwas-</u> <u>ersatz KWS</u>
	( Sommer// Winter )	
Kühlleistung (kW)	320 // 240	241,9
Wasserdurchsatz (m <sup>3</sup> /h)	46 // 34,5	34,6
Warm-/ Kaltwassertemperatur (°C)	32/26 // 18/12	16 / 10
Elektrische Anschlussleistung (kW)	2 x 7,5	62,5

Diese Anlage gab seit 1998 aus folgenden Gründen Anlass zu einer intensiven Wirtschaftlichkeitsbetrachtung :

1. Kühlleistung erschöpft ➤ geringere Produktionsleistung / Produktqualität
2. Pufferbecken (Stahl) total korrodiert
3. Hohe Betriebs- und Instandhaltungskosten
4. Sehr hoher Wasserverbrauch
5. Störanfällige Steuerung
6. Keine konstante Wasserqualität
7. Lärmbelästigung der Nachbarn
8. Nicht genügend Produktionskapazität

Aufgrund dieser groben Mängel lag die Herausforderung in der Planung und der Investition einer neuen Kühlwasseranlage, die idealerweise parallel mit der Planung einer notwendigen Produktionserweiterung zur Pulverlackherstellung durchgeführt werden konnte.

## 2. Definition und Quantifizierung der Ziele für die Prozessoptimierung

Bei der Definition und Quantifizierung der Ziele galt die höchste Priorität den jährlich anfallenden Betriebskosten. Dabei sollten speziell Energiekosten als auch die personalintensiven Instandhaltungskosten deutlich reduziert werden.

Relevante Verbesserungen	Ziele
1. Kühlleistung	Steigerung von 320 kW auf 560 kW
2. Störanfällige Steuerung	Höchste Betriebssicherheit
3. Betriebskosten, IH-Kosten	Von 36.700 DM/a auf < 16.000 DM/a
4. Wasserverbrauch	Wasserverbrauch von 980 m <sup>3</sup> /a auf 0 m <sup>3</sup> /a
5. Kühlwasseranlage	Korrosionssichere Gesamtanlage
6. Wasserqualität	Konstante Wasserqualität ohne Eingriffe
7. Lärmbelästigung der Nachbarn	Sichere Entfernung zur Nachbarschaft
8. Produktionskapazität	Bis 2007 Steigerung auf 11.000 t (+ 58 %)
9. "Zero Emission"-Modell (Öko-Audit)	Bis 2010: 0 Unfälle / 0 Abfälle / 0 Emissionen Energie: - 30 % / Wasser: - 80 %

### **3. Anlagenplanung / Konzept**

Die Anlagenplanung sowie auch die spätere Installation wurde zusammen mit der Fa. Sulzer Escher Wyss in Lindau durchgeführt, wobei die Konzeption ein absolutes Novum für beide Firmen darstellte.

Die örtlichen Gegebenheiten in Form von ausreichender Grundstücksfläche und der Erfahrung aus früher installierten Kühlkreisläufen waren ideale Voraussetzungen und hatten entscheidenden Einfluss auf die vorgestellte Konzeption. Die Herausforderung bestand darin, die vorhandenen Anlagenteile der bestehenden Kühlanlage in den neuen Kühlkreislauf sinnvoll zu integrieren.

Nach Erarbeitung einiger Grundmodelle kristallisierte sich ein Kühlkreislauf heraus, der gerade hinsichtlich der Betriebskosten mit Schwerpunkt der Energiekosten deutliche Vorteile aufweisen konnte:



The slide features a light blue background with a vertical bar of small squares on the left side. The title '3. Planung / Konzept' is in red. The 'FreiLacke' logo is in the top right corner. The list of points is in blue text.

**3. Planung / Konzept**

**1. Erfahrungen von Kühlkreisläufen seit 1970**

**2. Offener Kühlkreislauf mit neuem Kühlturm und KWS aus Bestand**

**3. Ausschließliche Nutzung von Regenwasser :**  
Dachfläche mit 4300 m<sup>2</sup> und ein 90 m<sup>3</sup> Auffangbecken

**4. Großes Wasserbecken (400m<sup>3</sup>) aus Beton als Speicher**

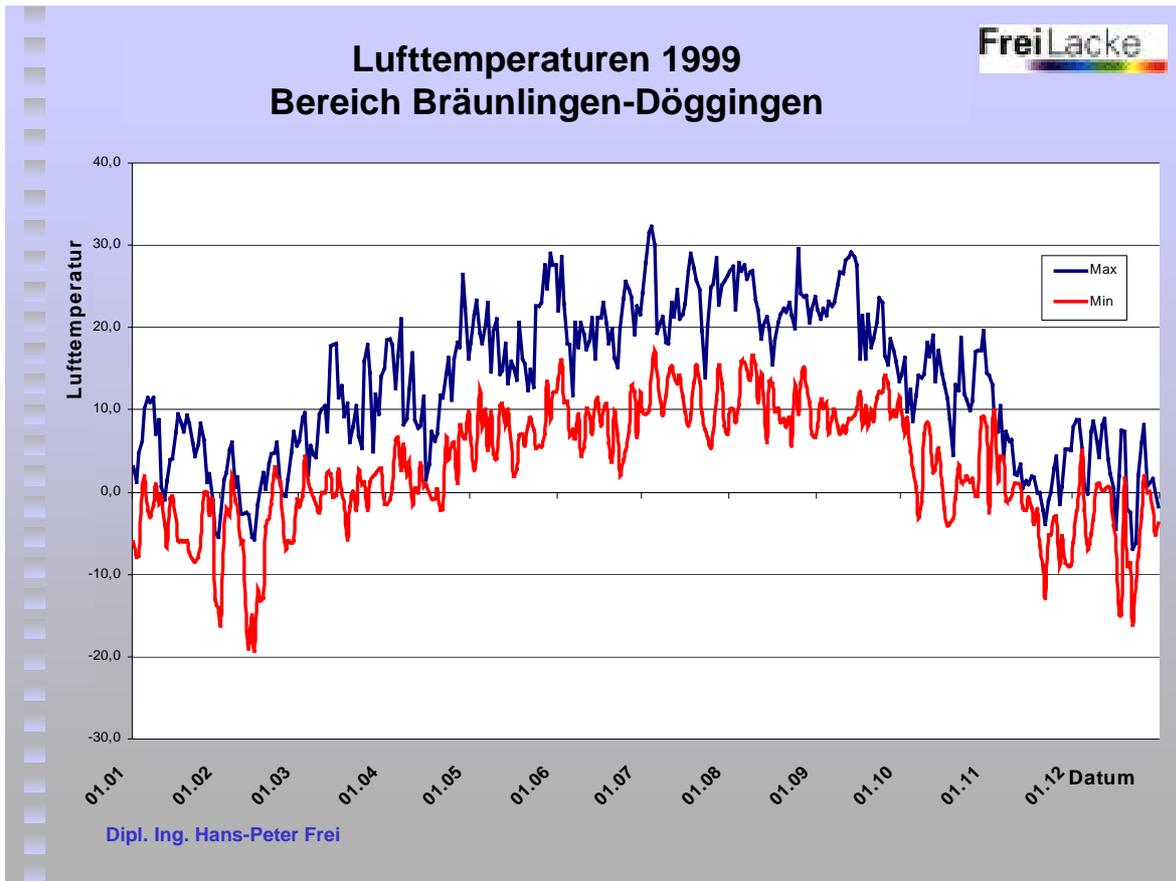
**5. Rohrleitungen komplett aus Kunststoff (PE HD) inkl. Filter**

**6. Nutzung der geographischen Lage mit kühlen Nachttemperaturen**

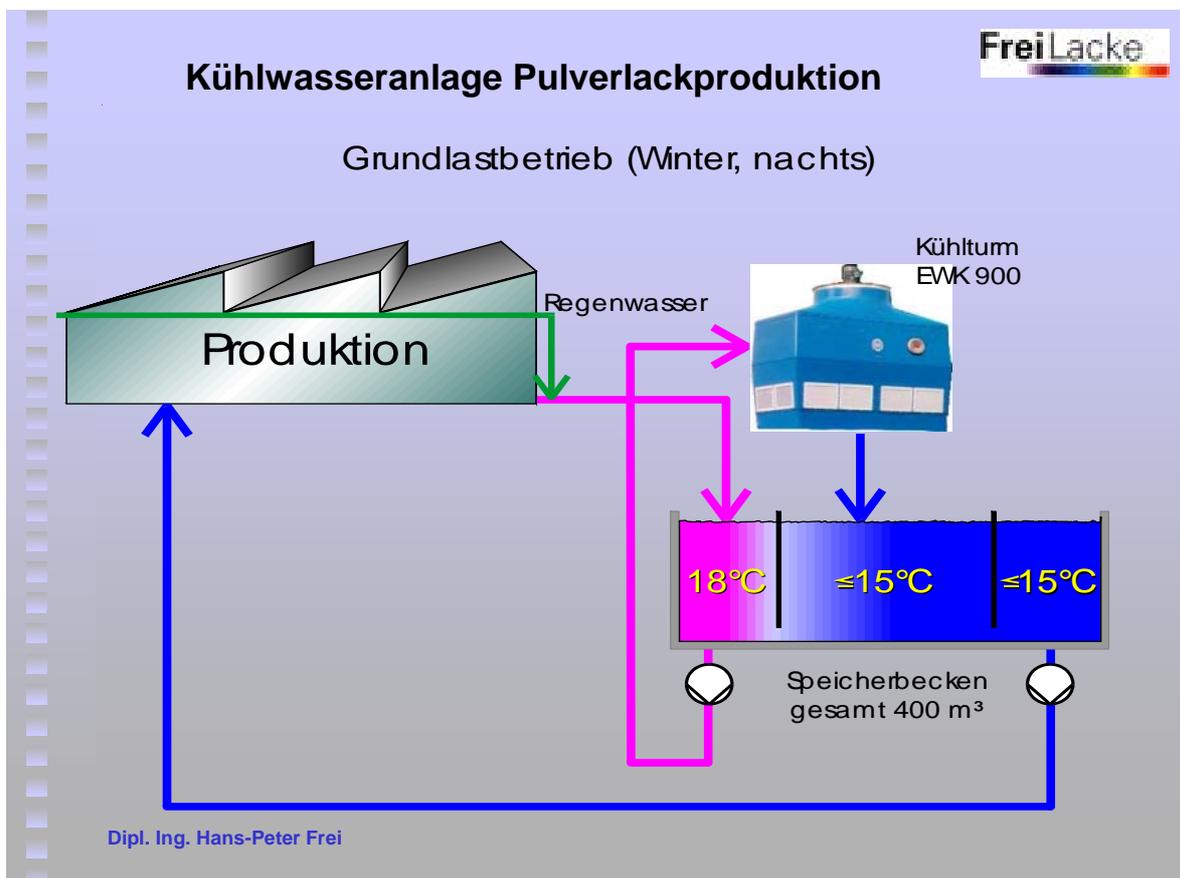
**7. Steuerung für Sommer und Winterbetrieb**

Dipl. Ing. Hans-Peter Frei

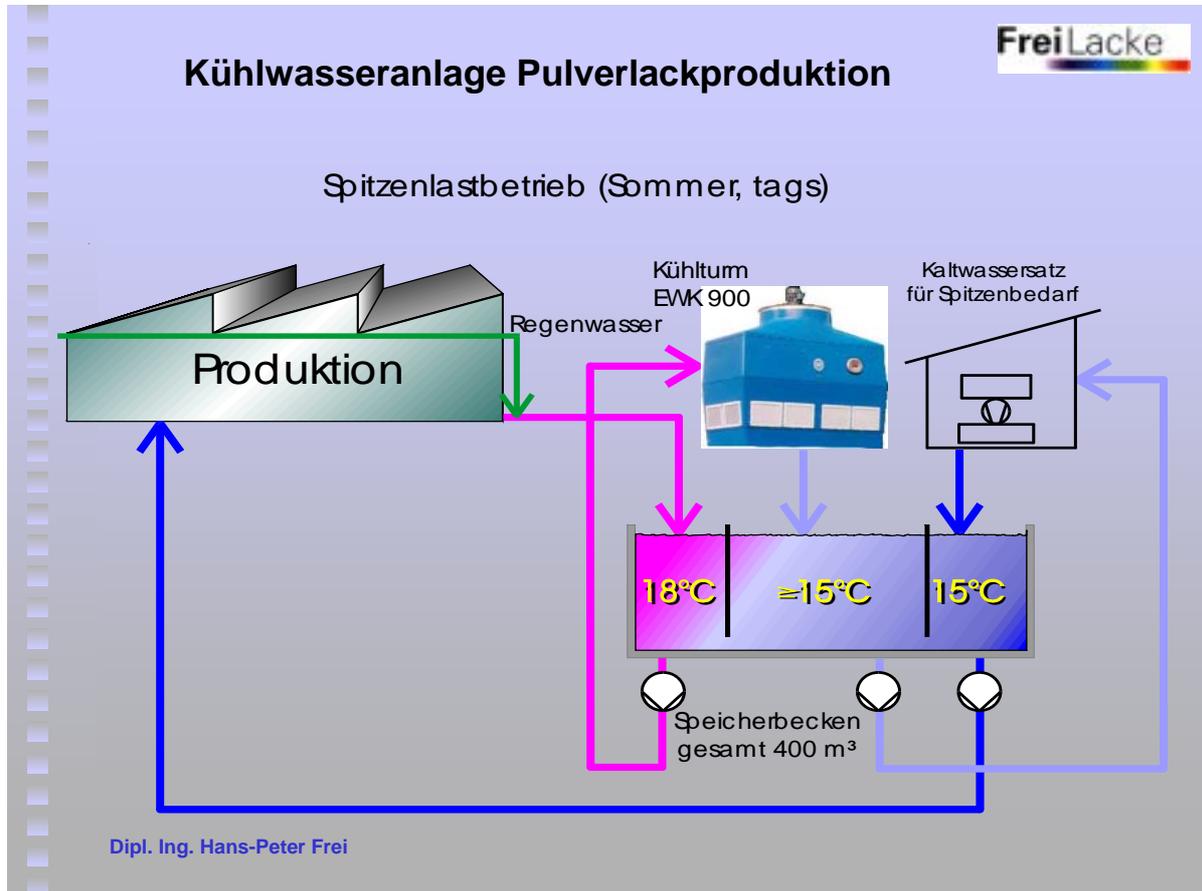
Die geographische Lage im Südschwarzwald ergibt auch in den wärmeren Sommermonaten kühle Nachttemperaturen, die sich sehr gut eignen, um das vorhandene Kühlwasservolumen von 400 m<sup>3</sup> in der betriebsfreien Nachtzeit ausschließlich mit den Kühltürmen auf eine Kaltwassertemperatur von 15 °C herunterzukühlen.



Die Zuschaltung der Kühltürme erfolgt dabei in Abhängigkeit der Kühlwassertemperatur. Dieser Ablauf entspricht der Steuerung, wie in dem Fließdiagramm Grundlastbetrieb (Winter, nachts) skizziert wurde.



Reicht bei extrem warmen Außentemperaturen die Kühlleistung nicht mehr aus, so wird auf Spitzenlast umgeschaltet, bei dem das bereits über Kühlturm vorgekühlte Wasser zusätzlich mit einem Kaltwassersatz auf die notwendige Temperatur von 15 °C heruntergekühlt wird. Das Kühlwasserbecken ist in 3 Zonen eingeteilt, welche untereinander an der tiefsten Stelle durch eine Öffnung miteinander verbunden sind. Die Volumen sind von der Warmwasserseite mit 40 m<sup>3</sup>, dem eigentlichen Pufferbecken mit 260 m<sup>3</sup> und der Kaltwasserseite mit 100 m<sup>3</sup> ausgelegt.



**Die technischen Daten des neuen Kühlkreislaufes:**

Technische Daten	Kühlturm neu SEW	Kühlturm vor- handen (Sommer//Winter)	Kaltwassersatz KWS vorhanden
	EWK 900/09		
Kühlleistung (kW)	558	320 // 240	241,9
Wasserdurchsatz (m <sup>3</sup> /h) bei p = 4 bar	80,0	46 // 34,5	34,6
Warm-Kaltwassertemperatur (°C)	18 / 12	32/26 // 18/12	16 / 10
Motoranschlussleistung (kW)	3 / 11 kW	2 x 7,5	62,5
Feuchtkugeltemperatur t <sub>F</sub>	21 °C	21 °C	

#### 4. Realisierung

Nach Genehmigung des Konzeptes und dem Abschluss der Detailplanung wurde mit dem Bau des neuen Kühlbeckens und des Pumpenraumes im August 1999 begonnen. Nach Vorbereitung der Rohrleitungsinstallation musste der bestehende Kühlkreislauf innerhalb eines Wochenendes abgebaut werden. Zeitgleich erfolgte die Verbindung der Zu- und Ablaufrohre, so dass am 01.02.2000 die steuerungstechnische Inbetriebnahme der neuen Anlage erfolgen konnte. Seit diesem Zeitpunkt ist die Anlage voll funktionsfähig und arbeitet hinsichtlich der gestellten Anforderungen zur vollsten Zufriedenheit.

#### 5. Soll- / Ist-Vergleich

Nach nunmehr 1jährigem Praxiseinsatz konnten die Zielvorgaben mit den tatsächlichen Ist-Werten verglichen werden

	
<b>5. Soll / Ist-Vergleich</b>	
<b>Ziele (Soll) bis 2006</b>	<b>Ist (von 1.2.2000 bis 1.2.2001)</b>
1. Kühlleistung Steigerung auf 560 kW	560 kW plus KWS 242 kW
2. Korrosionssichere Kühlanlage	Stahlbeton, Kunststoffrohre, Edelstahl
3. Wasserverbrauch	Verbrauch = 0 m <sup>3</sup> (1999: 980 m <sup>3</sup> )
4. Lärmbelästigung der Nachbarn	Keine Störung
5. Produktionskapazität 11.000 t (+ 58 %)	2000: 7.812 t (+11,2 %)
6. Steuerung höchste Betriebssicherheit	Problemloser Ablauf
7. Sichere Wasserqualität ohne Eingriffe	siehe Details
8. Betriebs-, IH-Kosten	13.200 DM (1999: 36.700 DM)
9. „Zero Emissions“ Modell / Öko-Audit	Umsetzung bis 2010

Dipl. Ing. Hans-Peter Frei

Einige der genannten Vergleichspunkte bedürfen einer genaueren Betrachtung zur Beurteilung der Anlagenqualität:

##### zu Punkt 6. Steuerung

Die steuerungstechnischen Parameter wurden in den Monaten Juni bis August 2000 mit einem Messwerterfassungssystem der Fa. Sulzer Escher Wyss ermittelt und sollten einen Aufschluss über die Temperaturverläufe und die Laufzeiten der Pumpen und Anlagenteile geben.

Damit konnte nachgewiesen werden, dass in den kühlen Nächten ausschließlich mit den beiden Kühltürmen die Grundlast erfolgt und während extrem warmen Nachttemperaturen der Kaltwassersatz mit sehr kurzen Laufzeiten von ca. 3 bis 4 Stunden die geforderte Kaltwassertemperatur beisteuert.

### **zu Punkt 7. Wasserqualität**

Bei offenen Kühlkreisläufen wird das im Kreislauf geführte Kühlwasser durch Aufsalzen, Eintragen von Schmutzstoffen, Austreiben von Kohlensäure und Erwärmen in seinen Eigenschaften nachteilig verändert.

Die Folge können verstärkte Korrosion und die Bildung von mineralischen und mikrobiologischen Belägen sein. Normalerweise werden hier sehr aufwendige Maßnahmen zur Aufbereitung und Behandlung des Kreislaufwassers mit Hilfe von chemischen oder physikalischen Verfahren ergriffen.

Die Praxiserfahrung bei dem neuen Kühlkreislauf zeigte, wie sich der ausschließliche Einsatz von Regenwasser, das kontinuierlich in das Kühlbecken im Überschuss eingeleitet wird, auf die Wasserqualität auswirkt. Bei der jährlichen Niederschlagsmenge wird ein 8facher Austausch (turn over) der Kühlwassermenge erreicht. Sowohl die Bauart des Kühlbeckens aus Stahlbeton (mit abschließendem Betondeckel) als auch die komplette Rohrleitungsführung aus Kunststoff (HDPE) wirkt sich äußerst vorteilhaft auf die Wasserqualität aus. Sowohl der pH-Wert, der Härtegrad als auch der Leitwert bewegen sich in einem sehr guten Bereich. Die Analyse des Bakterientests zeigt dagegen eine sehr starke Schwankung im Bereich von  $10^3$  bis  $10^5$  KBE/ml. Die Ergebnisse geben allerdings keinen Grund zur Beunruhigung, da sich diese für unseren Anwendungsfall nicht negativ auswirken. Die optimale Rohqualität des Regenwassers –Probe direkt aus dem Kühlbecken- spiegelt sich in einer aktuellen Wasseranalyse vom Institut Berghof vom 22.01.2001 wieder, bei der im direkten Vergleich zu der Trinkwasserverordnung (TVO) hervorragende Ergebnisse bei dem geprüften Parametern erzielt wurden. Dieses Resultat untermauert die richtige Grundsatzentscheidung für den Einsatz von Regenwasser als Kühlmedium.



**Kühlwasseranlage**

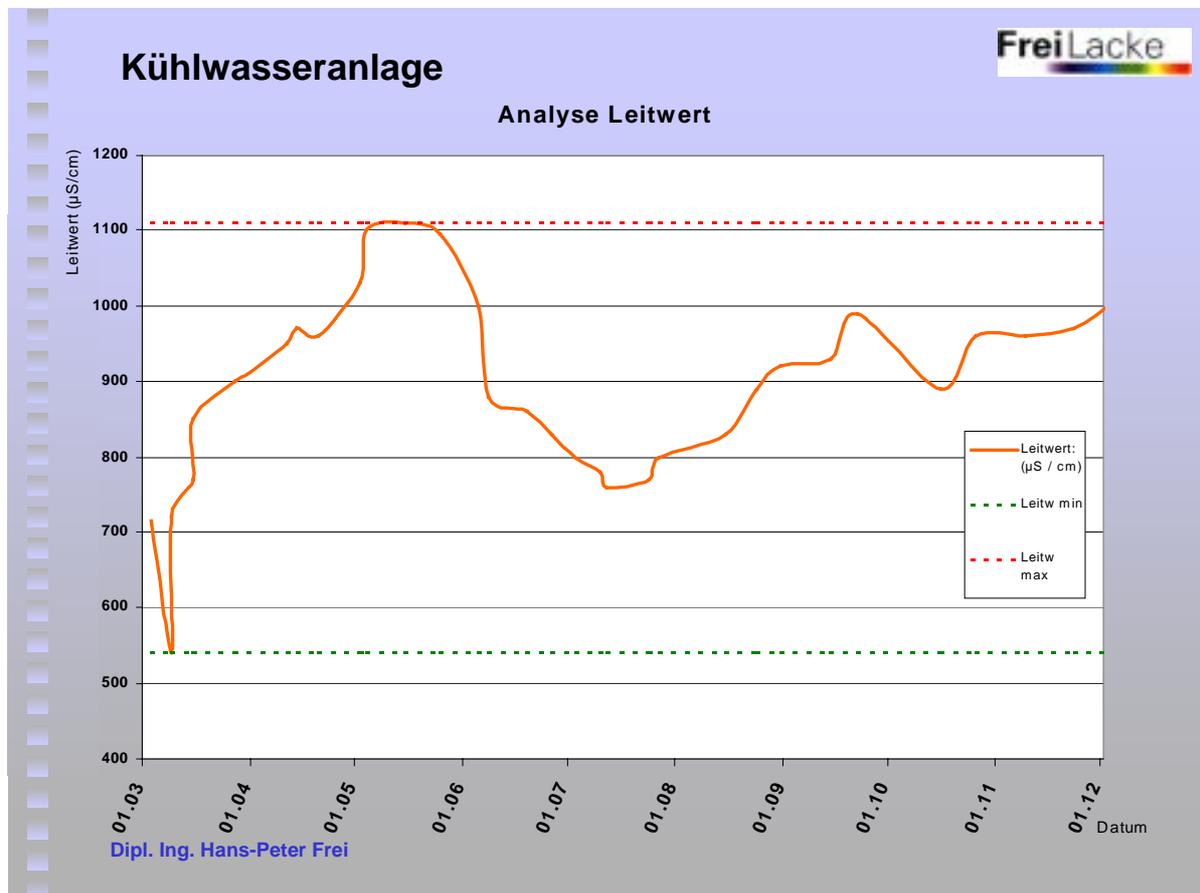
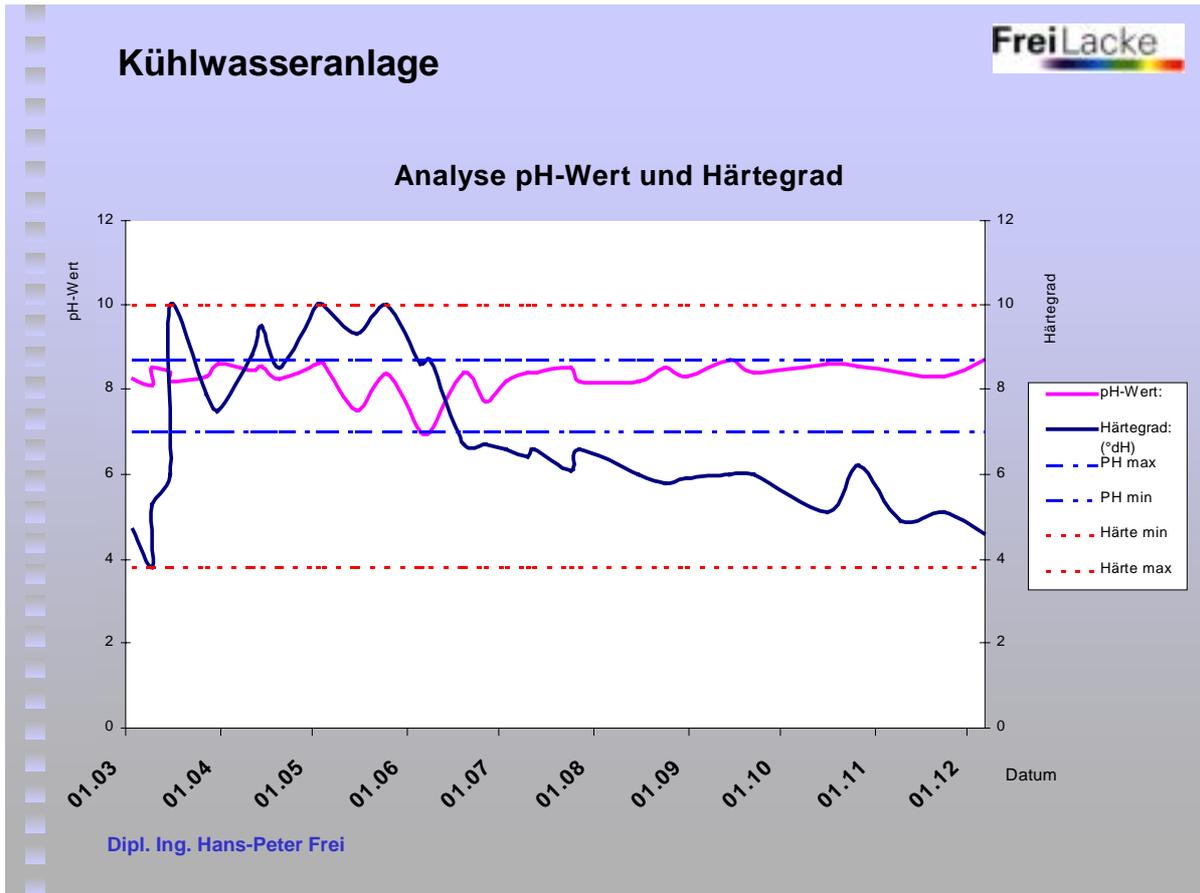
**Regenwassernutzung**

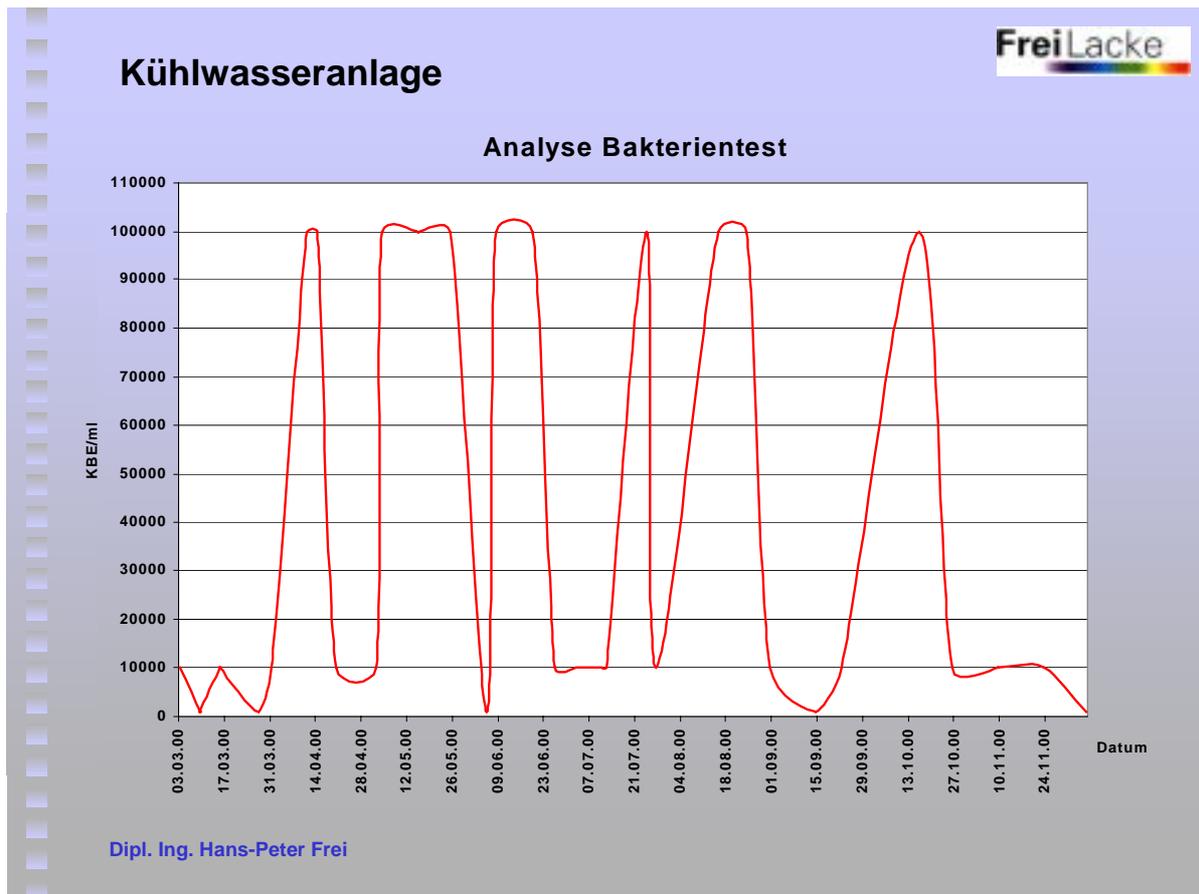
**Wasserqualität**

1. Wasserqualitätsvorgaben von Produktionsmaschinen ( Hohe Forderungen)
2. Regenwassermenge
  - Dachfläche :  $A = 4.300 \text{ m}^2$
  - Mittlere Niederschlagsmenge pro Jahr :  $m = 765 \text{ l/m}^2$
  - Volumen :  $V = 3.289 \text{ m}^3/\text{a}$

⇒ bei Beckenvolumen von  $400 \text{ m}^3$ : Turn over von 8,2 pro Jahr

Dipl. Ing. Hans-Peter Frei





## Kühlwasseranlage

### Wasseranalyse



Parameter	Methode	Einheit	Ergebnisse FreiLacke**	Grenzwerte TVO
pH-Wert (20 °C)	DIN 38404-C5	-	8,47	6,5-9,5
El. Leitfähigkeit (25 °C)	DIN EN 27888	µS/cm	835	2000
TOC	DIN 38409-H3	mg/l	1,2	
Fluorid	DIN 38405-D4-1	mg/l	0,08	1,5
Natrium	DIN 38406-E22	mg/l	3,67	150
Magnesium	DIN 38406-E22	mg/l	0,6	50
Calcium	DIN 38406-E22	mg/l	4,39	400
Gesamthärte	berechnet	mmol/l	0,13	
Chlorid	EN ISO 10304	mg/l	6,45	250
Sulfat	EN ISO 10304	mg/l	172	240
Nitrat	EN ISO 10304	mg/l	11,4	50
Ortho-Phosphat	DIN EN 1189	mg/l	0,5	6,7
Silicium	ICP-OES	mg/l	3,05	
Farbe, qual.	EN ISO 7887		farblos	
Trübung, qual.	IB 1		klar	
Geruch, qual.	DEV B 1/2		geruchlos	

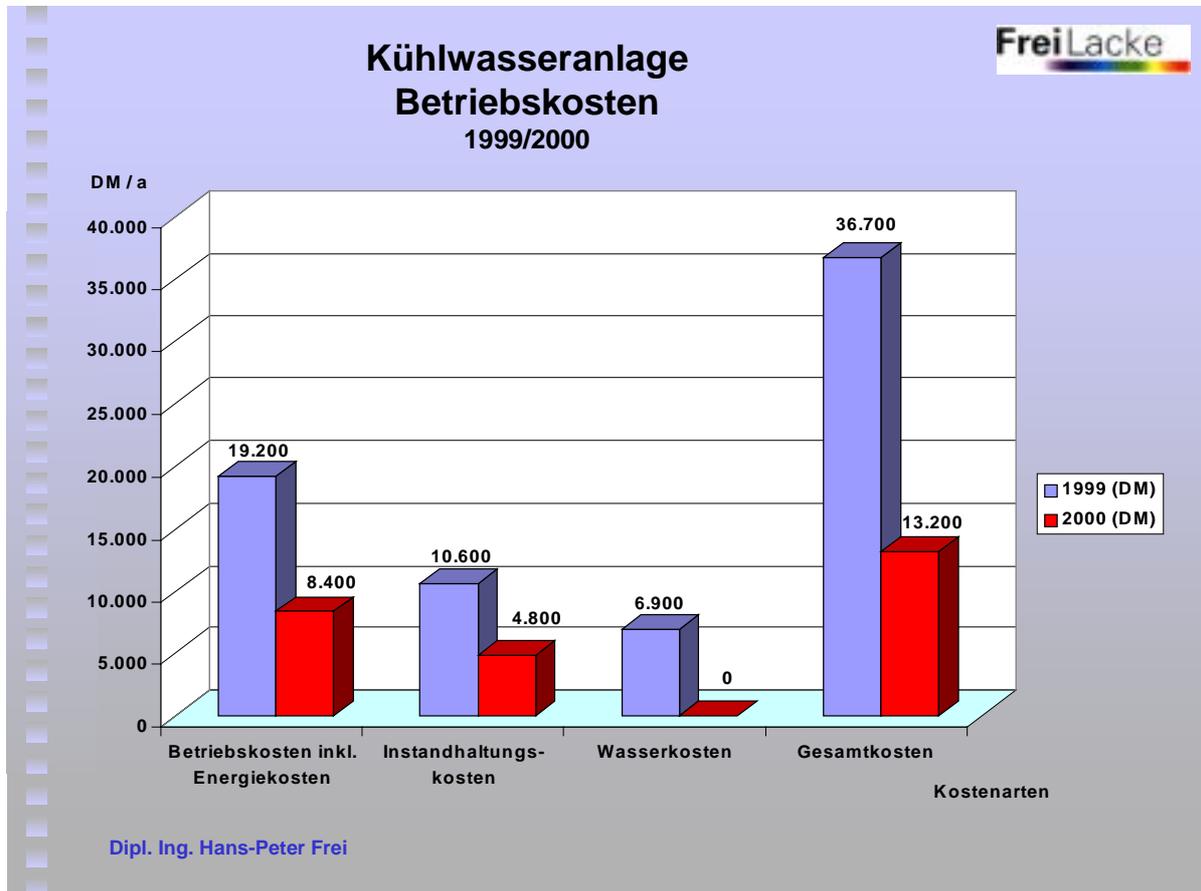
Dipl. Ing. Hans-Peter Frei

\*\*Analyse Institut Berghof, Tübingen vom 22.01.2001

### zu Punkt 8. Betriebs- und Instandhaltungskosten

Der Vergleich zeigt deutlich, welche Kosteneinsparungen mit der neuen Kühlanlage möglich wurden. Dabei ist die Reduzierung der Energiekosten besonders hervorzuheben, die bei einer gleichzeitigen Steigerung der Produktionsleistung von + 11,2 % noch stärker zu bewerten sind.

Erfreulich wirkt sich zudem die Reduzierung der Instandhaltungskosten aus, die aufgrund der einfachen Anlagensteuerung und der Betriebssicherheit möglich wurde.



## 6. Zusammenfassung

Die bestehende Kühlanlage wurde aufgrund schwerwiegender Mängel durch einen neuen Kühlwasserkreislauf ersetzt.

Die Herausforderung an die Planung und die Realisierung wurde nach einem Jahr des Praxis-einsatzes vorgestellt. Es konnte aufgezeigt werden, dass die geographische Lage mit kühlen Nachttemperaturen eine wichtige Basis für den vorgestellten Kühlkreislauf darstellt.

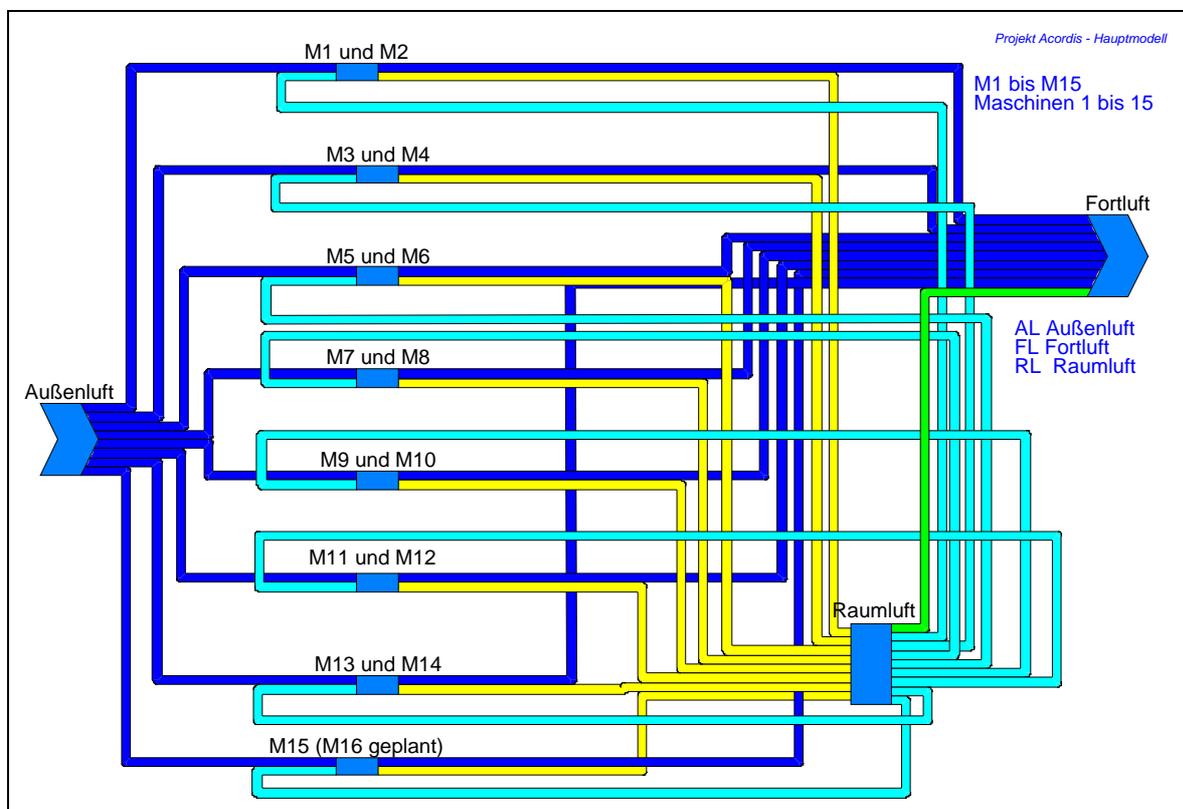
Die richtige Auslegung des Kühlwasservolumens, der Überschuss an kostenlosem Regenwasser und eine prozessorientierte Steuerung haben es ermöglicht, dass sich die Installation des vorgestellten Kühlkreislaufes nach einjähriger Praxis absolut bewährt hat. Der Betrieb dieser neuen Anlage ist im Vergleich zur vorhergehenden Anlage störungsfrei und erweist sich aufgrund der geringeren Betriebskosten als wirtschaftlicher. Gewisse Skepsis hinsichtlich der Wasserqualität und daraus resultierender Störanfälligkeiten konnten aufgrund des hohen Umschlages an Regenwasser (turn over: 8 mal pro Jahr) absolut widerlegt werden, was durch ständige Kontrollen der Wasserqualität analytisch überprüft wird.

# Lüftung und Klimatisierung in Betriebsgebäuden der Kunststoffindustrie

Dipl. Ing. (TU) Martin Zuckermaier, Duschl Ingenieure, Rosenheim

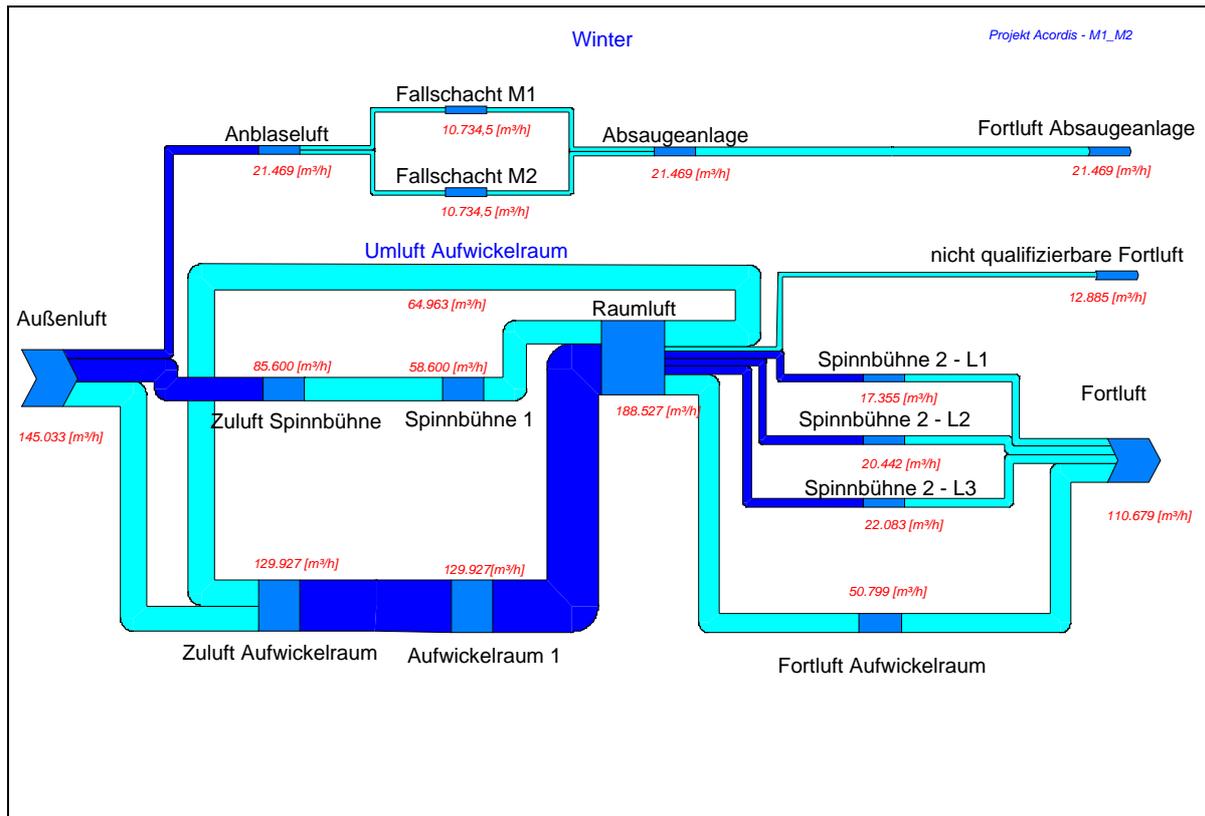
## Einleitung

Kunststoffe (Duroplaste, Thermoplaste, Elastomere) besitzen unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften, werden über verschiedene chemische Verfahren hergestellt (Polymerisation, Polykondensation, Polyaddition) und weiterverarbeitet. Um nur einige der wichtigsten maschinellen Kunststoffverarbeitungsverfahren zu nennen: Extrudieren, Kalandrieren, Spritzgießen, Schäumen, Warmformen, ... Entsprechend vielfältig ist die Produktpalette und das Erscheinungsbild der Betriebsgebäude hinsichtlich Ausstattung und Größenordnungen.



Beispiel: Fa. Acordis, Obernburg, mit 15 Maschinen zur Fadenherstellung in einem Gebäude

Ebenso vielfältig sind die Anforderungen an die **luft**technischen (**LT**) Anlagen in Betriebsgebäuden der Kunststoffindustrie. Das Spektrum des LT-Einsatzes reicht erfahrungsgemäß von „nicht vorhanden“ bis „Vollklimatisierung“. Die Auslegung der LT-Anlage wird beeinflusst von den Anforderungen die aus Prozessen, Produkteigenschaften, Normen- und Regelwerke, klimatische Bedingungen, etc. resultieren.



Beispiel: Fa. Acordis, Obernburg, LT-Anlagen zur Versorgung von Produktionsmaschinen und -räumen

**Definition des Anforderungsprofils**

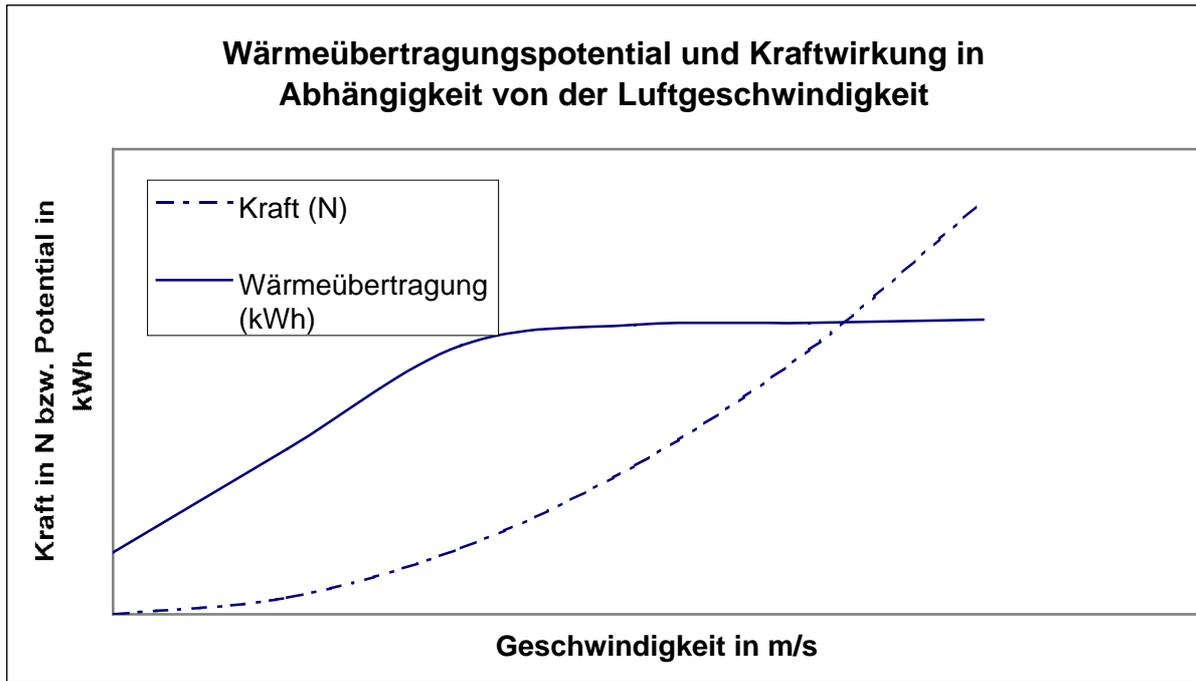
In industriellen Betriebsgebäuden können die Anforderungen an die Klimatisierung verschiedenen Gründen entwachsen, d.h. die LT-Anlage soll optimale Bedingungen schaffen für:

- Prozesse (Herstellung, Verarbeitung, Weiterverarbeitung)
- Produkte, Rohstoffe
- Belegschaft, Personen

In Abhängigkeit von Prozessen oder Stoffen entsteht eine Reihe von zu berücksichtigenden Parametern die im Zusammenhang mit „Luft“ (Raumluft, Prozessluft, Außenluft) stehen und deren Betrachtung letztendlich das Anforderungsprofil für die LT-Anlage vorgibt. Relevante Parameter können z.B. sein:

Wärmeströme	Feuchte	Stäube
Luftdrücke	Fremdgase	Ionen
Luftgeschwindigkeit	Temperatur	Elektrostatik

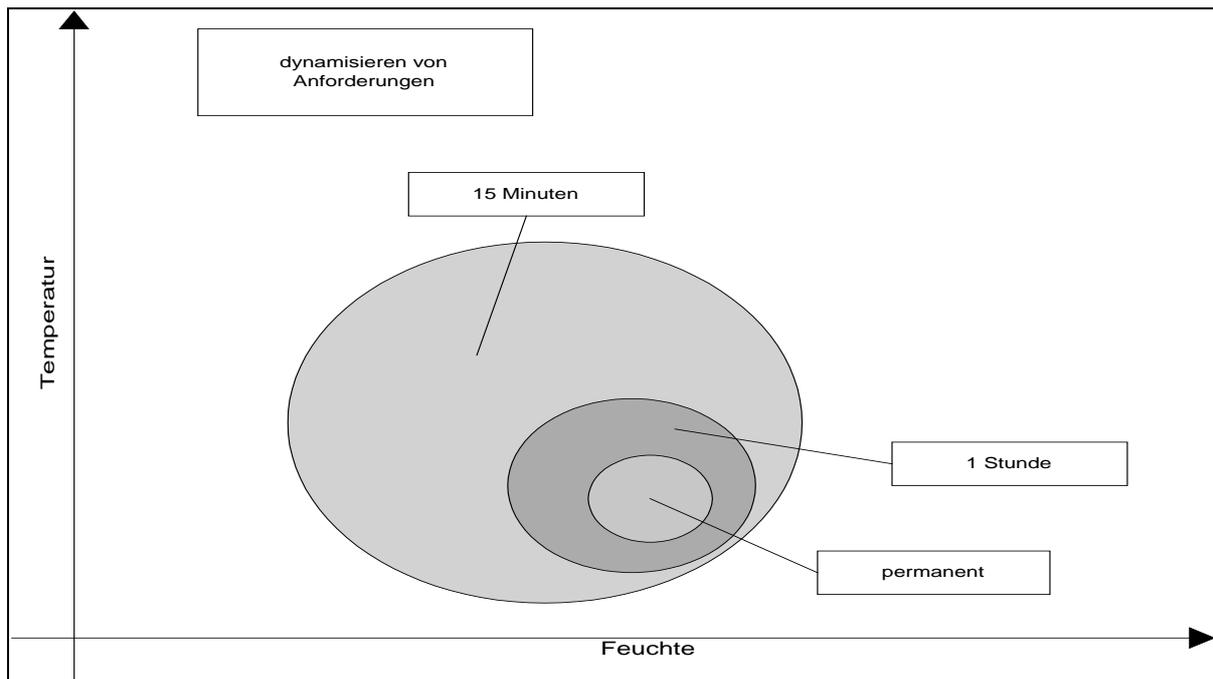
Diese Parameter sind eng verknüpft mit Wirkungen; diese können erwünscht, unerwünscht, nur in bestimmten Größenordnungen erwünscht oder bedeutungslos sein. Oft kommt es dabei zur Überlagerung von Vorgängen. Beispiel Kühlluft: Um eine bestimmte Wärmemenge abzuführen ist eine gewisse Luftmenge bei einer bestimmten Temperatur erforderlich. Gleichzeitig wirkt durch den Luftstrom eine Kraft auf das Produkt.



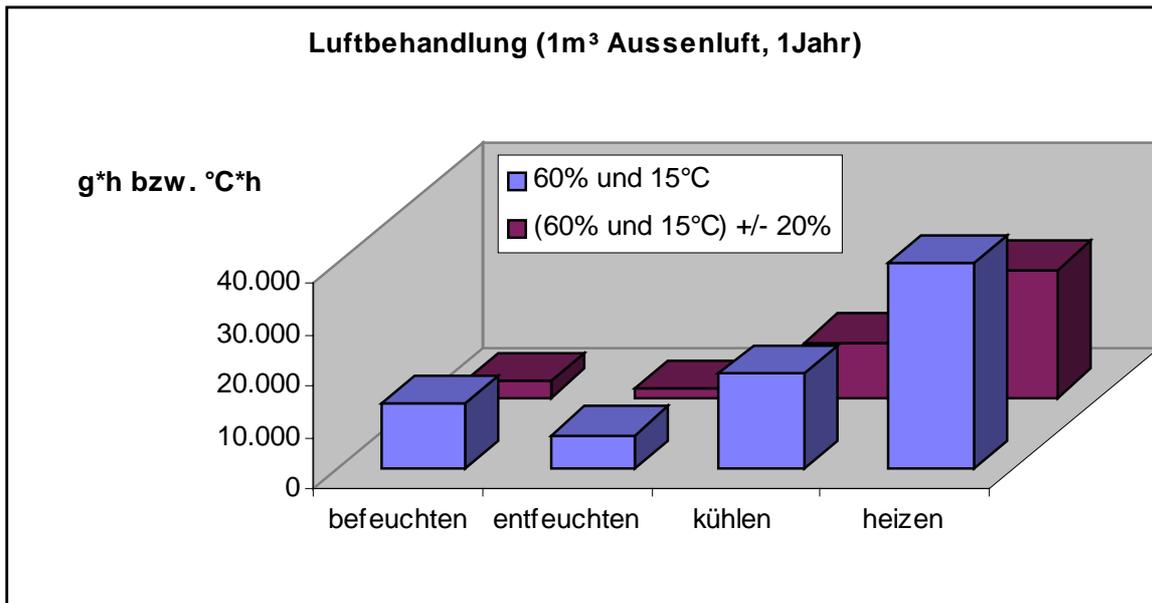
Wärmeübergangspotential und Kraft in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit

Ziel der Definition des Anforderungsprofils ist es den optimalen Bereich der relevanten Parameter festzulegen. Dazu muss eine Betrachtungstiefe (zeitlich, räumlich, wirksame Querschnitte, etc.) gefunden werden, die es erlaubt Wirkungsmechanismen zu erkennen (zum Beispiel Genauigkeitsanforderung anhand der Änderungsgeschwindigkeit und -höhe natürlicher atmosphärischer Vorgänge: Bildung von 6h-Mittelwerten).

Der nächste Schritt ist die Erweiterung des starren Profils hin zu einem dynamischen Profil, d.h. eine Festlegung wie oft und/oder wie lange von einem Sollwert bzw. Sollwertbereich abgewichen werden darf.



Dynamisieren von Anforderungen



Beispiel: Außenluftbehandlung über ein Jahr (Behandlung auf Sollwert und Behandlung auf Sollwertbereich)

### Technische Umsetzung unter wirtschaftlich-energetischen Aspekten

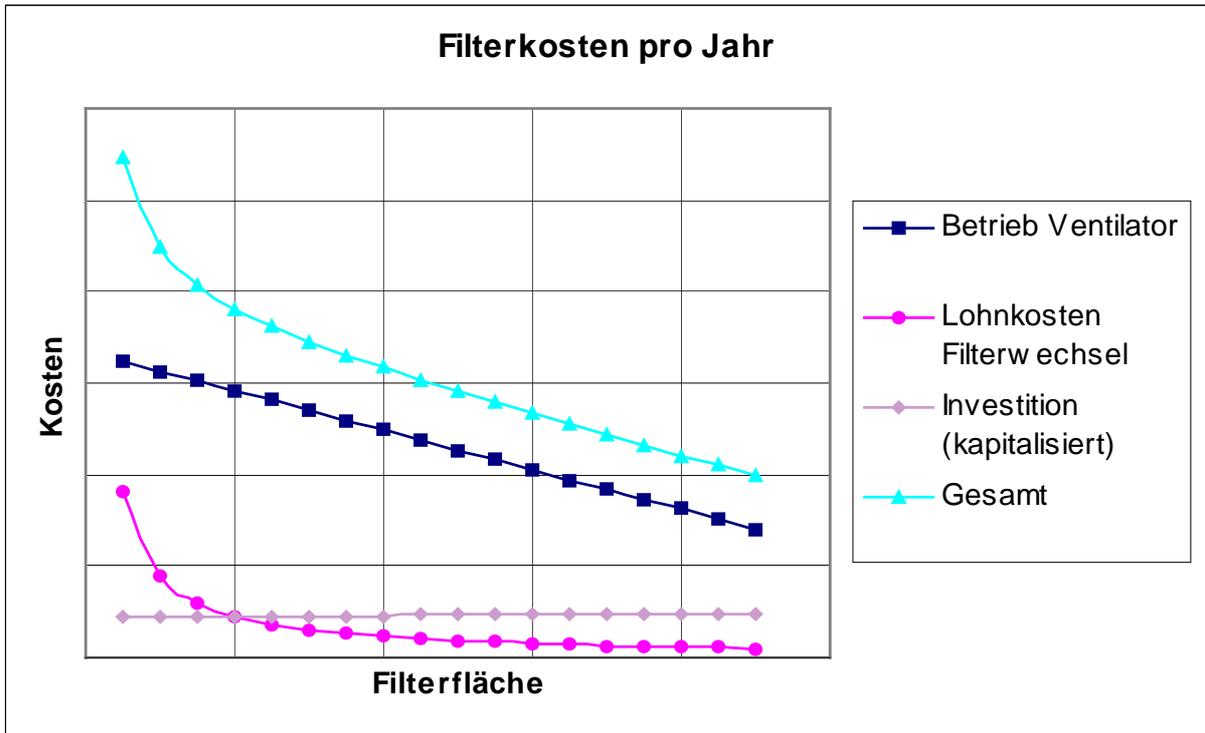
Letztendlich verbleiben für die lufttechnische Anlage die Aufgaben

- Fördern (Volumenstrom, Druck)
- Behandeln (filtern, befeuchten, entfeuchten, heizen, kühlen)

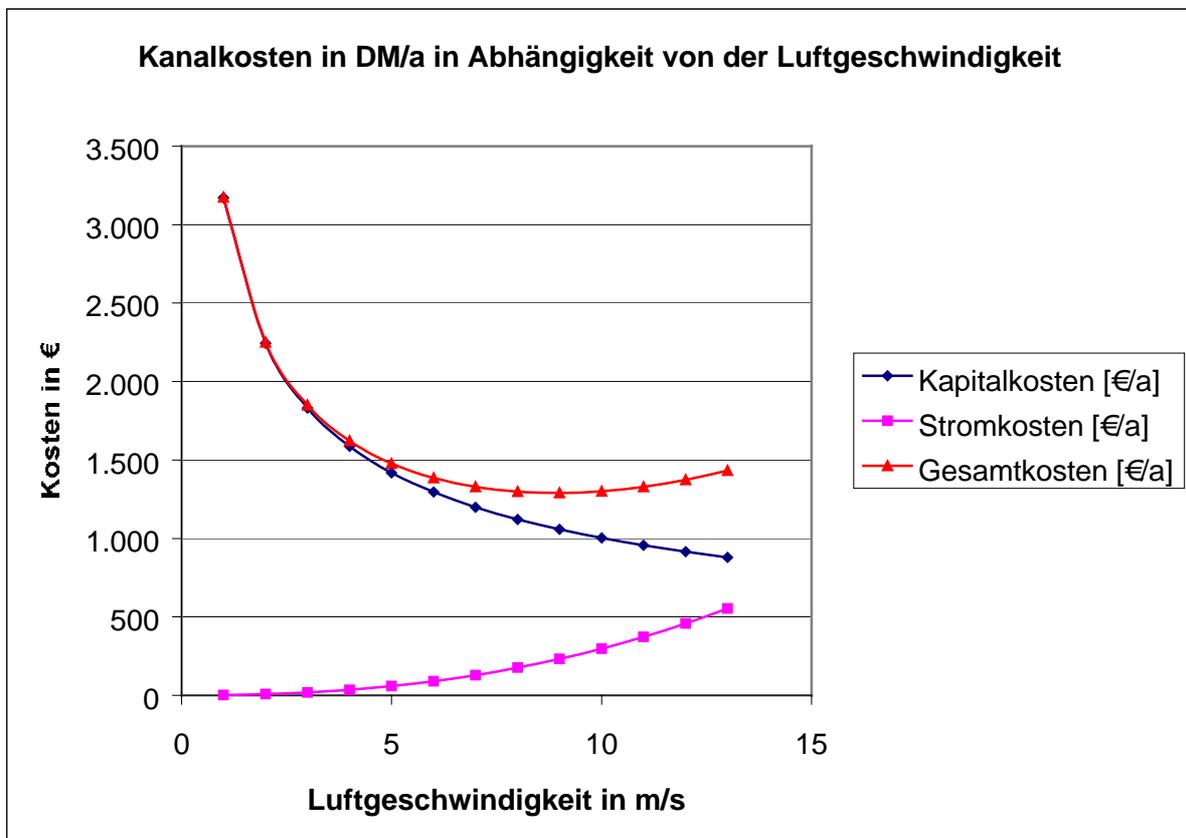
In welchem Ausmaß Verbräuche und Kosten entstehen, ist abhängig vom Anforderungsprofil, den Rahmenbedingungen vor Ort (Preise und Verfügbarkeit von Energieträgern) und der technischen Umsetzung. Erfahrungsgemäß liegt der Schwerpunkt bei industriellen Anlagen in der Betriebsphase. Kostenminimierende Maßnahmen können sein:

- Anstatt aufwendiger Behandlungsstufen: Ersatz möglich? (z.B. Wasserkühlung statt Luftkühlung über LT-Anlagen) Verzicht möglich?
- Einsatz intelligenter Steuer- und Regelungen (bedarfsgeregelt, Sensorik)
- Mikroreaktoren (geringere Anforderungen an die Peripherie)
- Energierückgewinnung
- Lastenverschiebung
- Definition von Toleranzbändern
- Nutzen von Gleichzeitigkeiten (z.B. kühlen und befeuchten durch Verdunstungskühlung)

Bildung von Modellen; Life-Cycle-Costs und komponentenspezifische Kostenbetrachtungen zur optimalen Anlagenauslegung

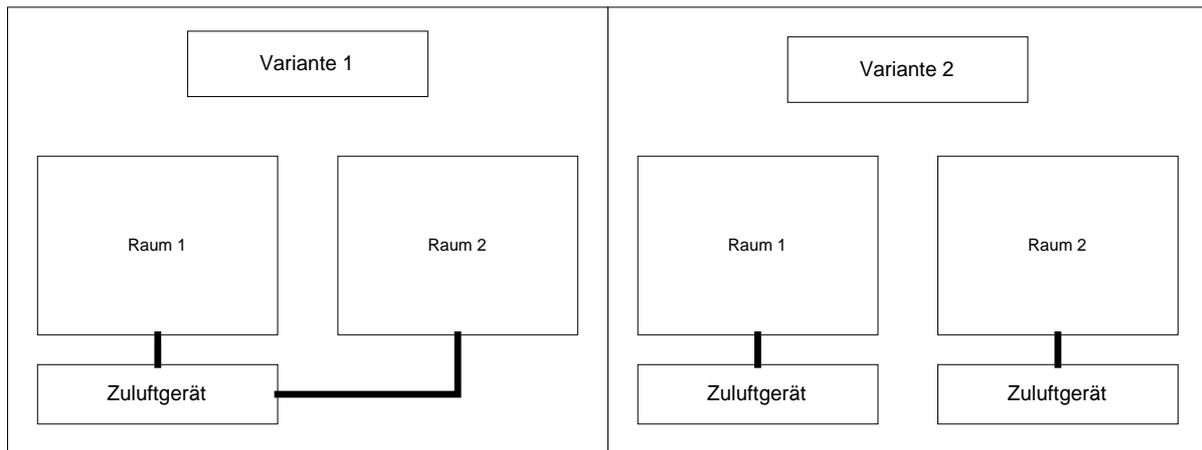


Betrachtung der Filterkosten in Abhängigkeit von der Filterfläche (konstanter Volumenstrom)



Kanalkosten in DM/a in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Kanallängen, Widerstandsbeiwerten, etc.

Durchführung von Variantenvergleichen

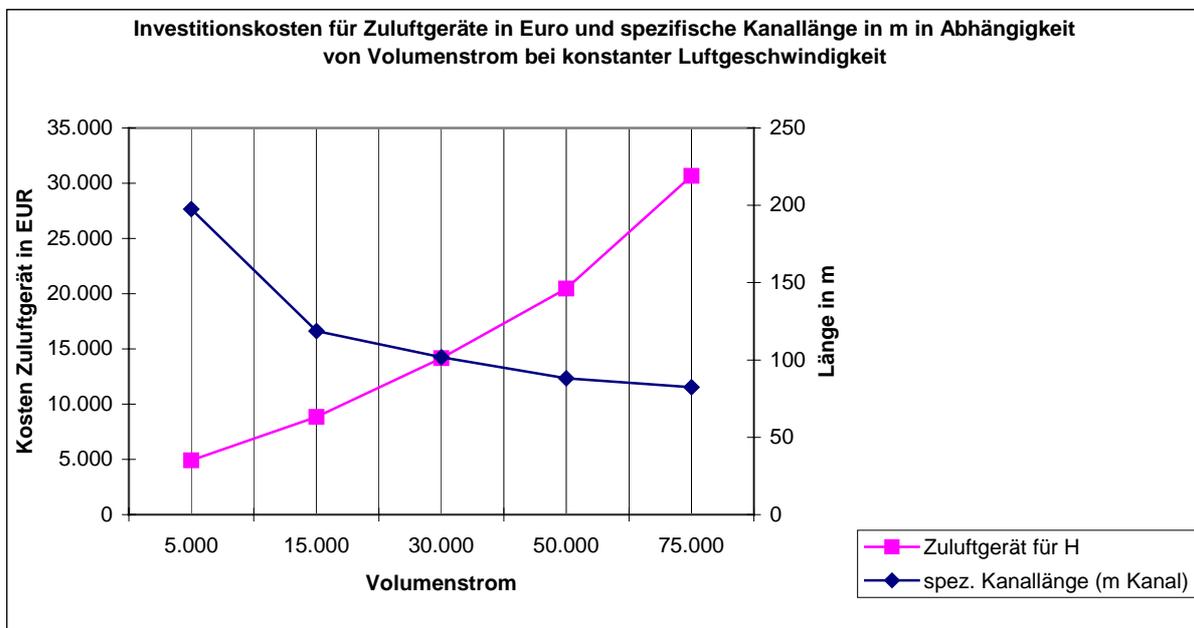


Schematische Darstellung von Varianten

Vorteile Variante 2

- Redundanz
- Regelbarkeit
- Bauliche Einfachheit
- Evtl. weitere Einsparungen (z.B. Brandschutzklappen)

Bei den Vorteilen von Variante 2 handelt es sich zum Teil um schwer quantifizierbare Qualitätszuwächse. Bei einer bestimmten eingesparten Kanallänge kann evtl. ein zusätzliches Zuluftgerät finanziert werden:



Investitionskosten für Zuluftgeräte und Kanäle bei konstanten Luftgeschwindigkeiten und variablen Kanalquerschnitten

Der Schritt von Variante 1 zu Variante 2 ist nicht rückwirkungsfrei: Wirkungsgrade ändern sich, Kanalquerschnitte, Platzbedarf...

Die Dimensionierung von LT-Anlagen wird dadurch zu einem iterativen Verfahren, d.h. die Veränderung eines Parameters hat Auswirkungen auf mehrere Komponenten der Anlage.

# **Möglichkeiten und Potenziale rationeller Energienutzung in industriellen Anlagen der Kunststoffverarbeitung am Beispiel der Fa. Fränkische Rohrwerke, Königsberg/Bayern**

**Dr. Stefan Blüm, Energieconsulting Heidelberg GmbH**

## **1 Einleitung**

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studie vorgestellt, die im Rahmen des Projekts „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ erarbeitet wurden.

In einem exemplarisch ausgewählten kunststoffverarbeitenden Betrieb wurde dazu eine Analyse der derzeitigen Energienutzung und der möglichen Verbesserungen und Einsparpotenziale hinsichtlich Energieverbrauch und Kosten sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgeführt. Daraus werden allgemein auf andere Betriebe der Branche übertragbare Charakteristika der Energieverwendung und typischer Einsparpotenziale abgeleitet.

## **2 Energie-Nutzungsanalyse des untersuchten Betriebs**

Für die Studie wurde an dem untersuchten Standort zunächst in einer Energie-Nutzungs-Analyse die derzeitige betriebliche Situation hinsichtlich Energiebezug, -umwandlung und -verbrauch erfaßt durch

- ⇒ die Auswertung vorhandener Daten und Aufzeichnungen (Verbrauchsabrechnungen, interne Aufzeichnungen, Daten von Energiezählern, Betriebsstundenzählern...)
- ⇒ die Erfassung von technischen und Betriebsdaten von wesentlichen Verbrauchern / Verbrauchergruppen (Leistungs- und Medienverbrauchsdaten, Nutzungszeiten, Auslastung...)
- ⇒ Messungen (elektrische Leistung, Temperaturen, Drücke, Wärme-/Durchflussmengen, Betriebszeiten...)

### **2.1 Ist-Analyse: Betriebliche Daten, Energiebezug**

Es werden jährlich rund 32.000 Tonnen Kunststoffrohre und -zubehörteile gefertigt in den Produktionsbereichen

- ⇒ Dränrohr
- ⇒ Elektrorohr
- ⇒ Heizungs- und Sanitärrohr
- ⇒ Industrieprodukte

Darüber hinaus werden in einer eigenen Abteilung Produktionsmaschinen, Werkzeuge und Formen entwickelt und hergestellt (hier nicht berücksichtigt).

Am Standort Königsberg sind in den oben genannten Produktionsbereichen sowie in der Verwaltung, Logistik und Technischen Diensten insgesamt über 1.100 Mitarbeiter beschäftigt. Je nach Bereich wird im Ein-, Zwei oder Dreischichtbetrieb produziert.

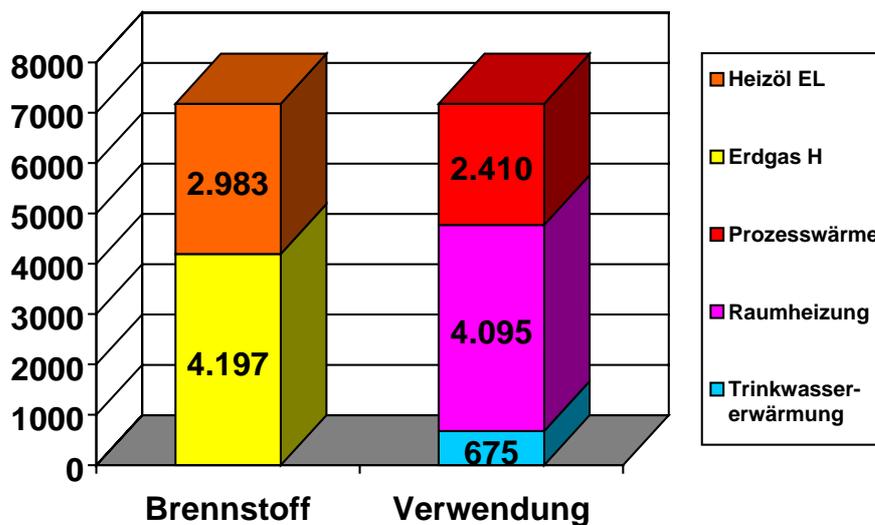
In den Produktionsbereichen werden folgende Bearbeitungsprozesse eingesetzt:

- ⇒ Extrusion (Erhitzen und Plastifizieren des Kunststoffgranulats, Vorformung des Rohrs)
- ⇒ Kalibrator (Durchmesser-Formgebung)
- ⇒ Corrugator (Wellen-Profilierung durch gekühlte Metall-Profilbacken)
- ⇒ Beispritzextrusion (zusätzliche Schichten bei mehrlagigen Rohren)

- ⇒ Hilfseinrichtungen zum Mischen, Kühlen, Fördern, Trennen, Aufwickeln, Verpacken
- ⇒ Locher (zum Perforieren von Dränagerohren)

## 2.2 Brennstoffeinsatz

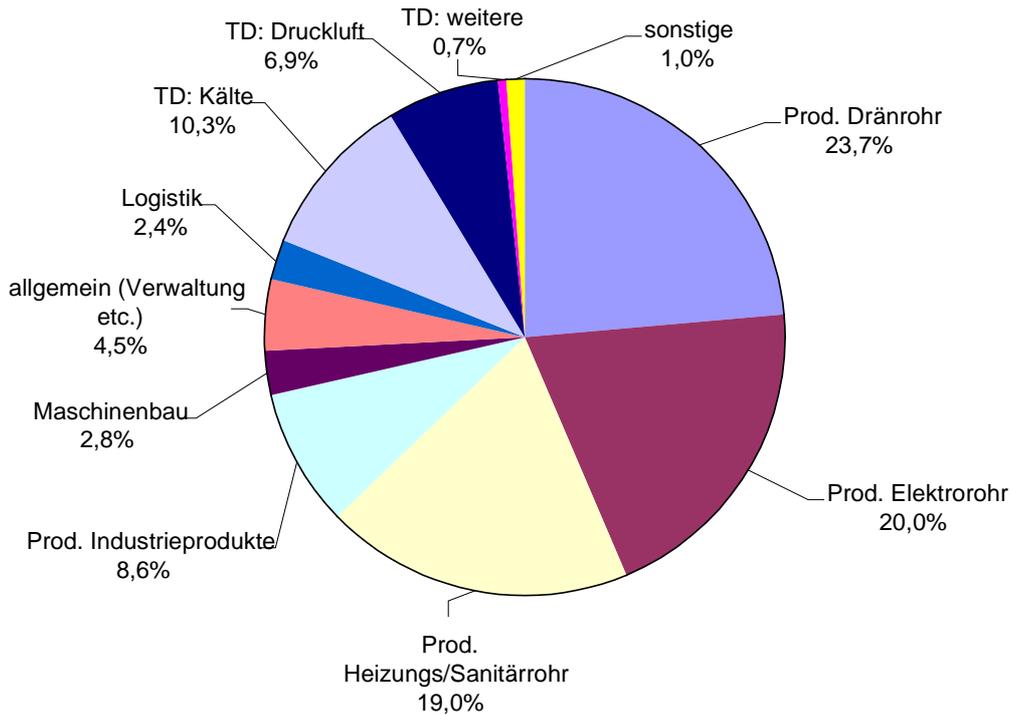
Der Erdgaseinsatz beträgt rund 4.200 MWh/a (Hu); weiter wird Heizöl EL jährlich rund 3.000 MWh/a eingesetzt. Die in den rund 15 Kesseln des Betriebes erzeugte Wärme wird einerseits für Raumheizung und Trinkwassererwärmung verwendet, andererseits für Prozesswärme in Form von Dampf und Heißluft. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über Brennstoffeinsatz und Verwendung im Betrieb.



## 2.3 Stromeinsatz

Der jährliche Strombezug beträgt rund 25.000 MWh/a. Der Wochenlastgang zeigt an den Wochentagen Montag bis Freitag jeweils einen ähnlichen Verlauf mit einem relativ breiten Maximum von rund 5.000 kW am späten Vormittag, einem stetigen 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 Stromeinsatz ist sehr stark geprägt durch die Produktionsmaschinen, siehe untenstehende Abbildung. Die fünf Produktionsbereiche verbrauchen nahezu drei Viertel der gesamten Elektroenergie. Die Versorgungseinrichtungen im Bereich Technische Dienste (Kälte und Druckluft) machen weitere ca. 18% aus.



## 2.4 Kennzahlen

Bei der Bildung von betrieblichen Energiekennzahlen kommt der Auswahl der „richtigen“ Bezugsgröße eine hohe Bedeutung zu, um eine Vergleichbarkeit mit externen Daten zu ermöglichen. Auch in der Kunststoffverarbeitung gibt es große Unterschiede zwischen den Betrieben hinsichtlich Produktspektrum, Fertigungstiefe, Prozessen; daher ist hier große Vorsicht beim Kennzahlvergleich mit anderen Betrieben geboten. 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 wurden folgende betriebsweite Energiekennwerte (bezogen auf die Produktionsmenge) ermittelt:

	Energiebezugsmenge	
	absolut	bezogen auf Produktionsmenge
Brennstoffbezug (Gas + HEL)	7.028 MWh/a	0,23 MWh/t
Strombezug	24.913 MWh/a	0,78 MWh/t
Wasserbezug	24.044 m <sup>3</sup> /a	0,75 m <sup>3</sup> /t

Aus Messungen von Energieverbrauch und Prozessparametern wurden auch prozessspezifische Kennzahlen gebildet, die für unterschiedliche Produktgruppen und Materialien aufgeschlüsselt wurden:

Produktgruppe	Material	spez. Leistung
Elektrohr	PE	0,348 kWh/kg
Dränrohr	PVC	0,178 kWh/kg
Heizungsrohr	PE-Xa	0,474 kWh/kg
Verbundrohr	PE	0,335 kWh/kg
Spritzguss	PVC-U	0,823 kWh/kg

### 3 Branchenspezifische Merkmale

In der Kunststoffverarbeitenden 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 durch eine Reihe gebräuchlicher Verfahren (Extrusion, Spritzguss, Blasformung,...). 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, wodurch sich eine möglichst weit gehende Kühlung durch Außenluft (Freie Kühlung) anbietet; bei sehr hohen inneren Wärmelasten müssen auch Produktionsräume gekühlt / klimatisiert 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 Luftheritzer ...). 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 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.

## **4 Verbesserungs- und Einsparpotenziale**

Aus der Untersuchung des ausgewählten Betriebs und aus den o.g. allgemeinen Branchenmerkmalen wurden (unter anderen) die folgenden Maßnahmen ausgewählt, die zu einer Verbesserung der Energieversorgung und zur Minderung von Energieverbrauch und -Kosten sowie der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen dienen.

### **4.1 Erneuerung / Erweiterung der Kälteanlagen**

In vielen Betrieben wird Kühlwasser auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt. Die Kälteversorgung bzw. Wasserrückkühlung ist – nach den Produktionsmaschinen – oft die größte versorgungstechnische Verbrauchergruppe. Die Auswahl der Kühlmethode hängt unter anderem von den abzuführenden Wärmeleistungen (im jahreszeitlichen Verlauf) und insbesondere von den benötigten Temperaturen des Kühlmittelvorlaufs ab.

- ⇒ Nutzung der abzuführenden Wärme durch Übertragung auf zu erwärmende Medien, z.B. Hallenluft, Warmwasser (nur bei höheren Kühlmitteltemperaturen)
- ⇒ Freie Kühlung (Adiabatische Kühlung) durch Außenluft (bis knapp über Außenluft-Temperatur)
- ⇒ Nasskühlturm unter Ausnutzung des Verdunstungseffekts (bis zur Feuchtkugeltemperatur, einige Grad unterhalb der Außenlufttemperatur); erfordert Aufbereitung des Nachspeisewassers
- ⇒ Brunnenwasserkühlung bei ausreichender Wasserverfügbarkeit, wasserbehördlicher Genehmigung erforderlich (bis knapp über Grundwassertemperatur, ca. 10°C)
- ⇒ Wasserkühlung aus dem Trinkwassernetz ist wegen des hohen Wasserverbrauchs ungünstig, wenn das Wasser nach der Kühlung nicht zu anderen Zwecken verwendet werden kann (bis knapp über Frischwassertemperatur, ca. 10°C)
- ⇒ Kältemaschine (Kompression oder Absorption) ; hier gilt das bisher Gesagte analog für die Rückkühlung der Kälteanlage.
- ⇒ Kombinationen aus den o.g. Möglichkeiten, z.B. in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Im untersuchten Betrieb besteht Kühlbedarf vor allem zur Rückkühlung des zur Wärmeabfuhr aus den Produktionslinien (Extruder, Corrugator-/Formkühlung) eingesetzten Kühlwassers. Aus betriebstechnischen Gründen wird eine Ergänzung bzw. Erneuerung der Kälteversorgung erwogen, die bisher aus rund 10 Einzelanlagen besteht. Das neue Anlagenkonzept sieht eine zweikreisige Kältezentrale mit zwei Kältemaschinen zur Grundlastabdeckung, mit kombinierter freier Kühlung (Außenluftkühlung) und Rückkühlung der Kältemaschinen durch Nass- oder Trockenkühltürme vor. Vorteile gegenüber der Erneuerung von Einzelanlagen sind: die zentrale Anlage mit relativ großen Aggregaten ermöglicht wegen effizienterer Anlagentechnik und einer besseren Kälteleistungszahl einen geringeren Energieverbrauch, sowie eine verbesserte Wartung / Instandhaltung. Die Freikühlung ermöglicht (bei entsprechenden Außentemperaturen) eine Kühlung nur über den Kühlturm mit erheblich geringerem Energieaufwand ohne Kältemaschinen-Betrieb. Die erreichbare Energieeinsparung wurde bei dieser Variante auf ca. 867 MWh/a abgeschätzt.

## 4.2 Temperaturspreizung des Kühlwassers

Die Kühlleistung eines Medienstroms ergibt sich aus dem Massenstrom und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf. Durch Anhebung der Rücklauftemperatur auf den betriebstechnisch maximal möglichen Wert kann die Temperaturspreizung erhöht und damit bei gleicher Kühlleistung der Kühlwasserdurchfluss reduziert werden; dadurch wird die erforderliche Pumpenleistung ebenso vermindert wie der Wärmeeintrag der Pumpen in das Kühlsystem. Gleichzeitig wird mit höherer Rücklauftemperatur auch die Wasserrückkühlung effizienter durch Wirkungsgradsteigerung der Kältemaschinen und höheren Deckungsanteil der Freikühlung.

Im untersuchten Betrieb liegen die Rücklauftemperaturen der verschiedenen Kühlwasserströme der Produktionslinien (Extruder, Corrugator, Sprühbad) teilweise nur wenig über der Vorlauf-temperatur; eine Anhebung des Temperaturhubs von rund 2,5 auf 4 K ist möglich, ohne Produktqualität zu beeinflussen. Damit läßt sich eine Stromeinsparung von rund 410 MWh<sub>el</sub>/a erzielen. Zur Realisierung sind folgende Lösungen möglich:

- ⇒ zentrale Absenkung der Pumpenleistung bis minimal erforderlichen Durchflussmenge
- ⇒ individuelle Einstellung des Kühlwasserstroms für die einzelnen Produktionslinien
- ⇒ automatische Volumenstromregelung des Kühlwassers durch die Prozessleittechnik der Produktionslinie mit der prozesstechnisch entscheidenden Temperatur als Führungsgröße

## 4.3 Wärmedämmung der Extruder

Da am Extruderkopf hohe Temperaturen (ca. 200°C) auftreten, entstehen hier hohe Wärmeverluste. 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. Durch das Anbringen einer Wärmedämmung kann die Verlustleistung vermindert werden; damit ist auch eine Reduzierung der zu deren Ausgleich erforderlichen Heizleistung möglich.

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. Zusätzlich kann durch die Absenkung der Strombezugs-Spitzenleistung eine weitere Einsparung bei den Leistungskosten erzielt werden.

## 4.4 Abwärmenutzung bei der Rohrbedampfung

Im Bereich Heizung/Sanitärrohre wird Dampf durch die Rohre geblasen, um sie zu reinigen und desinfizieren. Dabei entweicht der Dampf nach Durchgang durch die Rohre in die Umgebung, wodurch erhebliche Energieverluste entstehen. Hier gibt es zwei Ansatzpunkte für Einsparungen:

- ⇒ Überprüfung der Machbarkeit einer Mehrfachnutzung des Dampfes durch Hintereinanderschaltung der zu bedampfenden Rohr-Ringbündel (wichtige Begrenzungsfaktoren: Druckdifferenzen, Wärmeverluste, Kondensatbildung bei Aufheizphase; leitungsmäßige Verbindung der einzelnen Ringbündel).
- ⇒ Abwärmenutzung des Dampfes in einem Heizkondensatur zur Vorwärmung des Kesselspeisewassers; darüber hinaus kann überschüssige Abwärme eventuell zu Heizzwecken genutzt werden.

#### 4.5 Druckluftverwendung

Druckluft ist ein sehr energieintensives Medium, da der Wirkungsgrad der Erzeugung sehr gering ist. 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.

Wegen der weiten Verbreitung der Druckluftverwendung einerseits und der Komplexität von Druckluftsystemen andererseits bieten sich hier viele Optimierungspotenziale, von denen hier einige beispielhaft beschrieben sind.

- ⇒ Verminderung von Leckageverlusten ist häufig das größte Einsparpotenzial im Druckluftbereich; erfahrungsgemäß wirtschaftlich sinnvoll bis zu einer verbleibenden Leckagemenge von 10% bis 15% der erzeugten Druckluftmenge. Die Verlustmenge kann z.B. durch Messung des Druckluftverbrauchs am Wochenende bestimmt werden. Typische Schwachstellen liegen bei den Abnehmeranschlüssen (Kupplungen, Armaturen und Anschlussleitungen), Stopfbuchsen, Rohrverzweigungs- und Verbindungsstellen. Die Aufspürung von Lecks ist oft schon akustisch möglich (oder Lecksuchspray, Ultraschall-Leckdetektor). Ein regelmäßig durchgeführter „Tag der Druckluft“ dient zur Erhaltung des Wartungszustandes. Im untersuchten Betrieb wurde eine Leckrate von 361 m<sup>3</sup>/h gemessen; die Gesamt-Leckagemenge entspricht rund 26,9% der jährlich erzeugten Liefermenge.
- ⇒ Abwärme der Druckluftkompressoren nutzen (rund 75% der elektrischen Leistung sind als Wärmeleistung nutzbar): entweder durch die Verwendung der warmen Kompressorkühlluft z.B. zur Hallenheizung oder durch Einbau eines Wärmetauschers (z.B. Einspeisung ins Wärmenetz; viele Kompressoren sind bereits werksseitig dafür vorbereitet). Diese Art der Abwärmennutzung ist im untersuchten Betrieb bereits realisiert; (installierte Wärmeleistung rund 500 kW, Rückwärmemenge ca. 67% der eingesetzten elektrischen Leistung; genutzte Abwärmemenge ca. 500 MWh/a). Bei der Einbindung ist eine Einspeisung der Abwärme in den Rücklauf des Heizsystems empfehlenswert, dadurch ist i.A. eine ganzjährige Einspeisung möglich; in der Übergangszeit können bei ausreichender Abwärmeleistung die Kessel und Kesselpumpen vollständig abgeschaltet werden.
- ⇒ Ineffiziente Kompressoren (Überdimensionierung, Alter, Verschleiß) ersetzen; spezifischer Energiebedarf bis 0,10 kWh/m<sup>3</sup> erreichbar
- ⇒ Ansaugbedingungen optimieren: niedrige Ansaugtemperatur (um 10°C höhere Temperatur der Ansaugluft erfordert 2-4% mehr Energieeinsatz); saugseitige Druckverluste vermeiden (Ansaugöffnungen, Luftklappen, Filter, Kanalführung, Ansaugung aus verschlossenen Räumen...)
- ⇒ Netzdruck und Luftaufbereitung auf das geringste erforderliche Niveau reduzieren (Einsparungspotenzial etwa 6% pro bar Netzdruckreduzierung)
- ⇒ Kompressorsteuerung / Verbundregelung, um nur die tatsächlich benötigte Druckluftmenge zu erzeugen (Leerlaufzeiten minimieren, drehzahl geregelter Kompressor)
- ⇒ Nicht benötigte Leitungsteile absperren, z.B. nachts oder am Wochenende
- ⇒ Druckverlust durch lange Rohrleitungen / Engstellen in Rohrnetz vermeiden
- ⇒ Druckluft(Puffer)speicher richtig dimensionieren
- ⇒ Alternativen zur Druckluftanwendung: Ersatz durch andere Energieformen
- ⇒ Druckverlust im Anschluss reduzieren (dünner Schlauch, Kupplung)
- ⇒ Unnötigen Druckluftverbrauch vermeiden (Beispiele: Pneumatikventile getaktet geöffnet statt Dauerbetrieb, Lichtschranke zur Ventilöffnung nur bei Vorhandensein eines Werkstücks, pneumatische Filterabreinigung nur bei Differenzdrucküberschreitung,...)
- ⇒ bei mehreren Maßnahmen: zuerst Verbrauch reduzieren, dann (mit vermindertem Bedarf) Erzeugung optimieren!

## Rationelle Energienutzung Kunststoffverarbeitung

### Möglichkeiten und Potenziale rationeller Energienutzung in industriellen Anlagen der Kunststoffverarbeitung am Beispiel der Fa. Fränkische Rohrwerke, Königsberg/Bay.

Fachtagung Rationelle Energienutzung in der Industrie

Projekt: Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus  
industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung in der  
Kunststoff-verarbeitenden Industrie

Dr. Stefan Blüm, Energieconsulting Heidelberg GmbH



Bayerisches Landesamt  
für Umweltschutz

**FRANKISCHE**

OVM|ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## Inhalt

- > Einleitung
- > Methodik
- > Energienutzung im Betrieb
- > Branchencharakteristika
- > Verbesserungs- und Einsparpotenziale

OVM|ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## Vorgehensweise

### Vorgehen

- > Datenermittlung: Bestandsaufnahme der Ist-Situation
- > Identifikation von Maßnahmen
- > Übertragbarkeit auf andere Betriebe der Branche
- > Bewertung



## Datenermittlung

- > Vorhandene Dokumente auswerten
  - Verbrauchsabrechnungen
  - Betriebsdatenerfassung, Zählerablesungen
  - Anlagendokumentation
- > Anlagenbestand erfassen
  - Leistungswerte
  - Betriebsdauer
- > Ergänzende Messungen durchführen
  - Elektrische Verbrauchergruppen
  - Wärmeverbrauch



## Betriebliche Daten

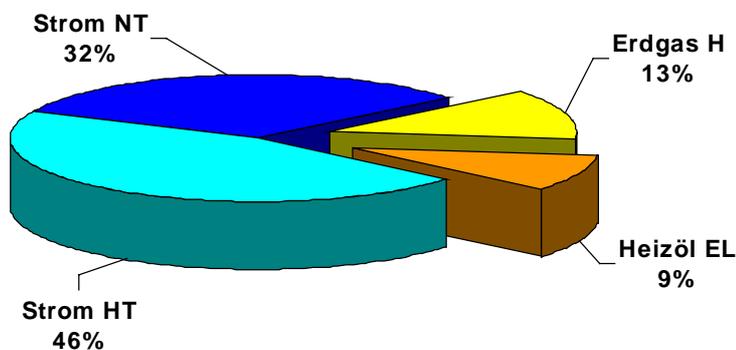
- > Produkte: Kunststoffrohre, Verbundrohre, Zubehörteile (Spritzguss), Industrieprodukte;
- > Jahresausstoßmenge Kunststoffe: ca. 32.000 t/a
- > Ca. 1.100 Mitarbeiter
- > Betriebsbereiche:
  - Dränrohr
  - Elektrorohr
  - Heizungs- und Sanitärrohr
  - Industrieprodukte
  - Maschinenbau
  - Allgemein/Verwaltung
  - Technische Dienste
  - Logistik
- > Prozesse:
  - Extrusion
  - Beispritzextrusion
  - Spritzguss
  - Salzbadhärtung (PE-X)
  - Hilfsprozesse

**FRANKISCHE**

OVM|E|CH  
CONSULTING ENGINEERS

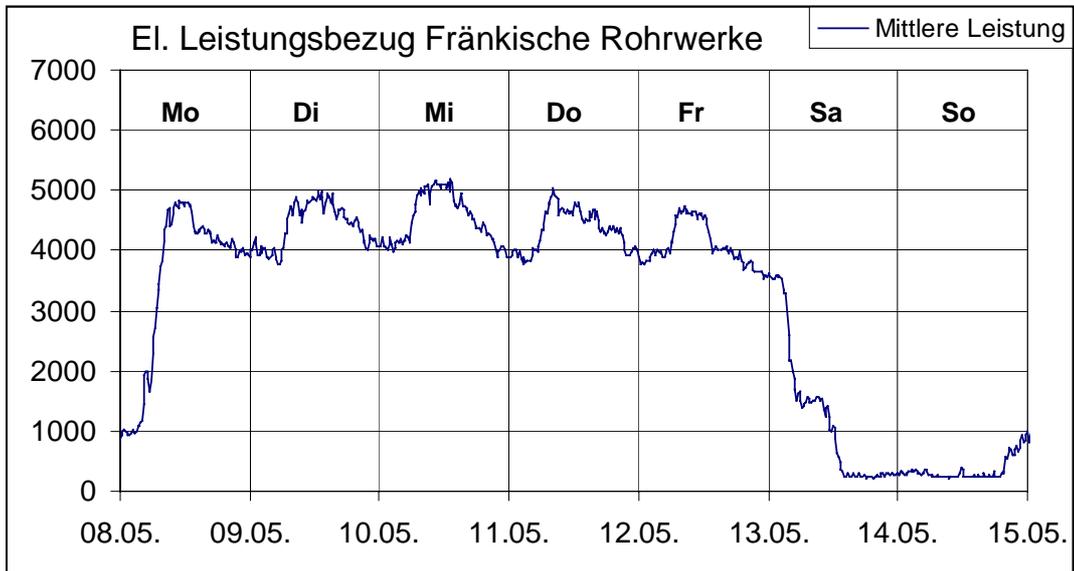
## Energiebezug

- > Strombezug: ca. 25.000 MWh/a
- > Erdgasbezug: ca. 4.000 MWh<sub>Hu</sub>/a
- > Heizöl EL: ca. 300 m<sup>3</sup>/a ≈ 3.000 MWh<sub>Hu</sub>/a



OVM|E|CH  
CONSULTING ENGINEERS

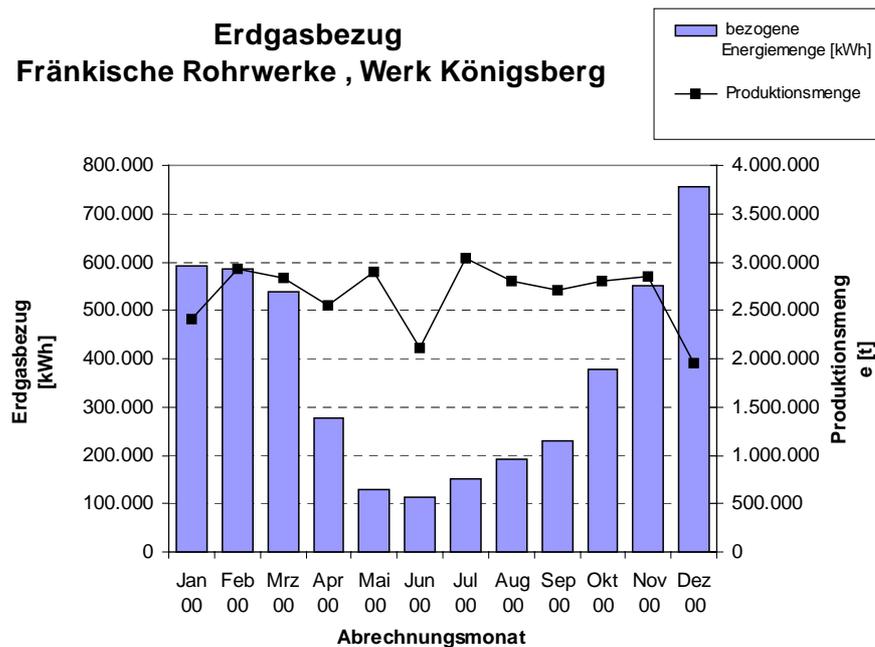
## Strombezug : Wochenlastgang



OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS

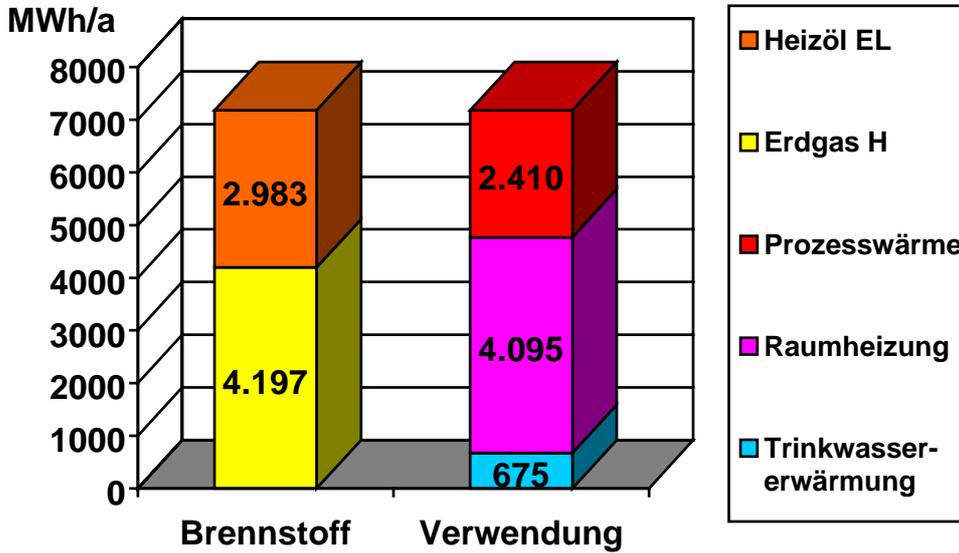
## Gasbezug: Monatswerte

Erdgasbezug  
Fränkische Rohrwerke, Werk Königsberg



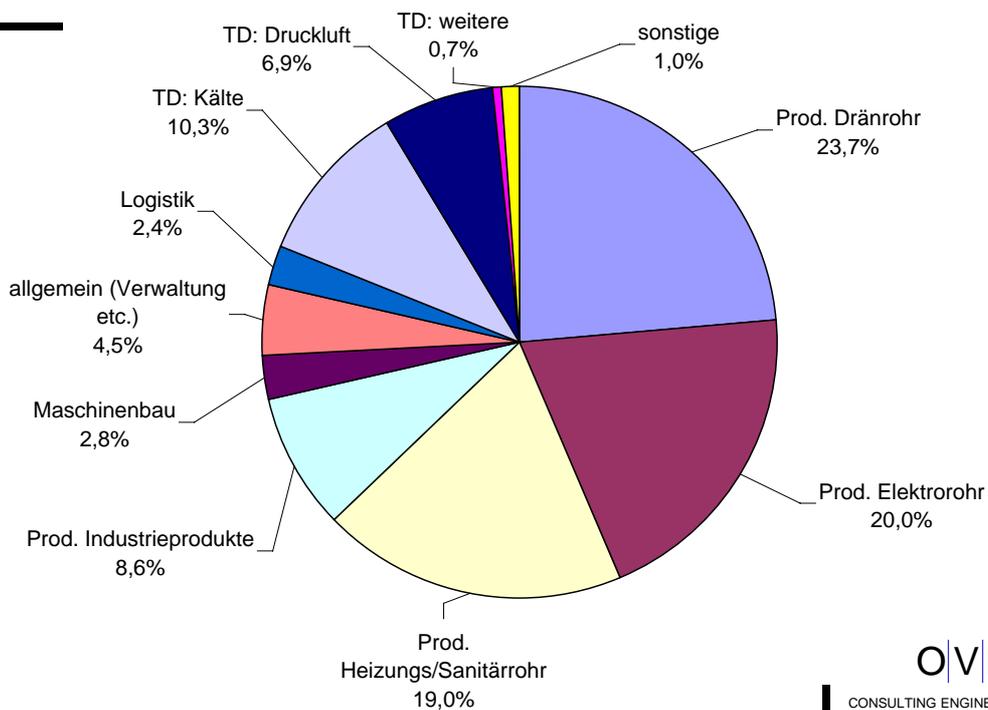
OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## Brennstoffe und Verwendung

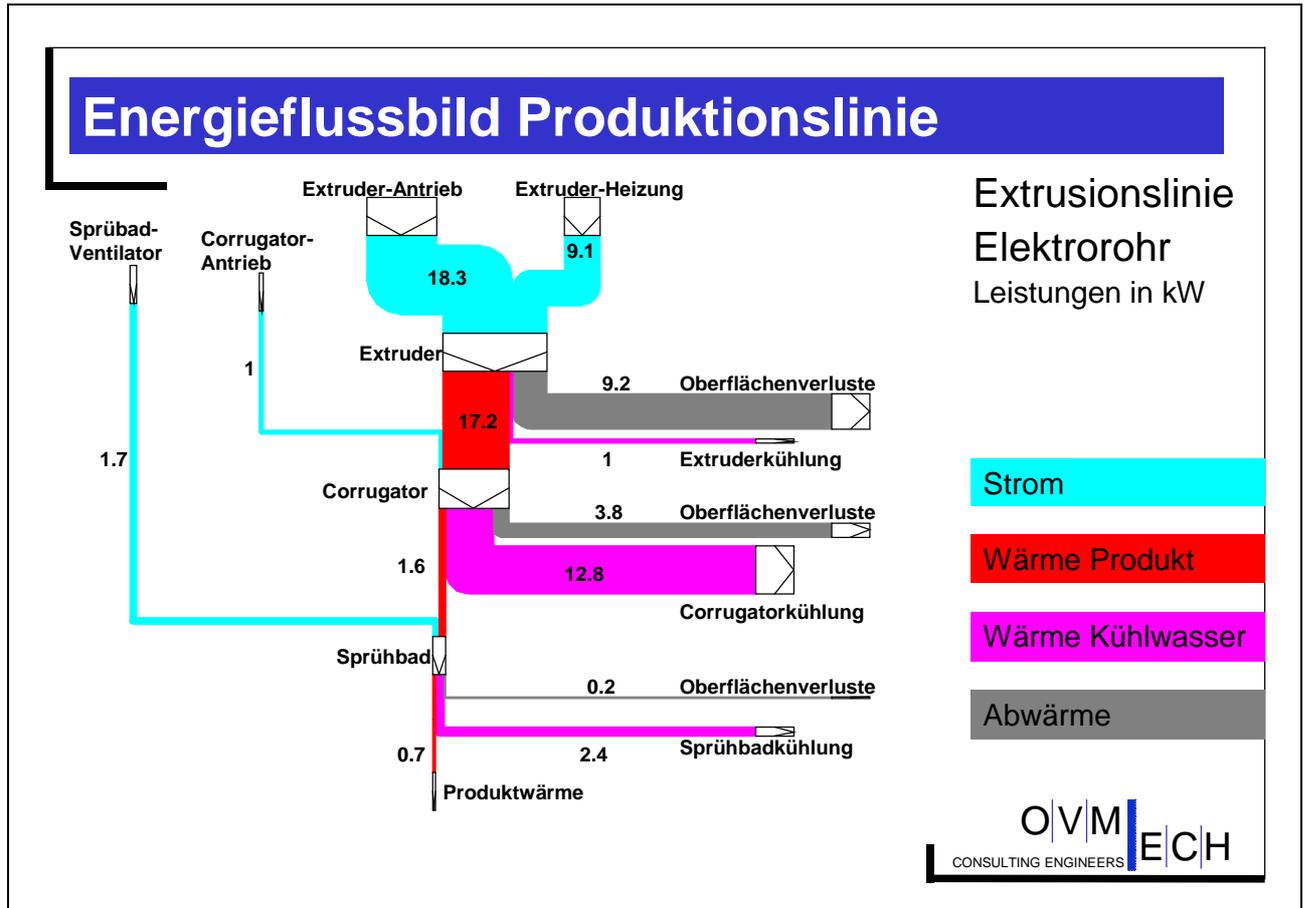


OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## Stromverbraucher



OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS



## Kennzahlen Energiebezug

Energiebezugsmenge absolut		bezogen auf Produktionsmenge 32.000 t/a
<b>Brennstoffbezug</b>	<b>7.028 MWh/a</b>	<b>0,23 MWh/t</b>
<b>Strombezug</b>	<b>24.913 MWh/a</b>	<b>0,78 MWh/t</b>
<b>Wasserbezug</b>	<b>24.044 m³/a</b>	<b>0,75 m³/t</b>

**O|V|M|E|C|H**  
CONSULTING ENGINEERS

## Kennzahlen Fertigung

Produktgruppe	Material	Spezifischer el. Leistungsbedarf
Elektrorohr	PE	0,348 kWh / kg
Dränrohr	PVC	0,178 kWh / kg
Heizungs / Sanitärrohr	PE-Xa	0,474 kWh / kg
Verbundrohr	PE	0,335 kWh / kg
Spritzguss	PVC-U	0,823 kWh / kg

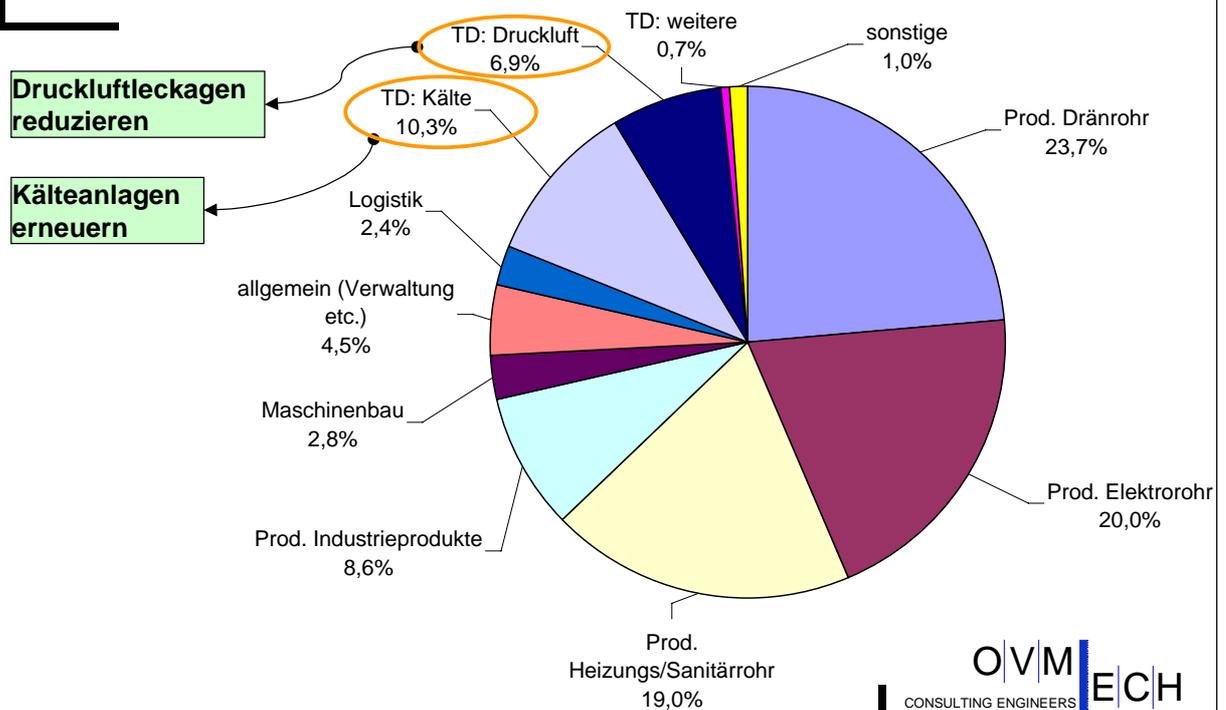
## Energie- und CO<sub>2</sub>- Emissionsbilanzen

Energieträger	Energiebezug		CO <sub>2</sub> -Emissionen...			
			...mit Bundesmix		...mit bayerischem Strommix	
	gesamt MWh/a	spezifisch MWh/t	gesamt t CO <sub>2</sub> /a	spezifisch t CO <sub>2</sub> /t	gesamt t CO <sub>2</sub> /a	spezifisch t CO <sub>2</sub> /t
<b>Strom</b>	24.913	<b>0,23</b>	16.617	<b>0,521</b>	4.160	<b>0,131</b>
<b>Erdgas</b>	4.045	<b>0,78</b>	805	<b>0,025</b>	805	<b>0,025</b>
<b>Heizöl EL</b>	2.983	<b>0,75</b>	823	<b>0,026</b>	823	<b>0,026</b>
<b>Summe</b>	(31.941)	<b>(1,00)</b>	18.245	<b>0,572</b>	5.788	<b>0,182</b>

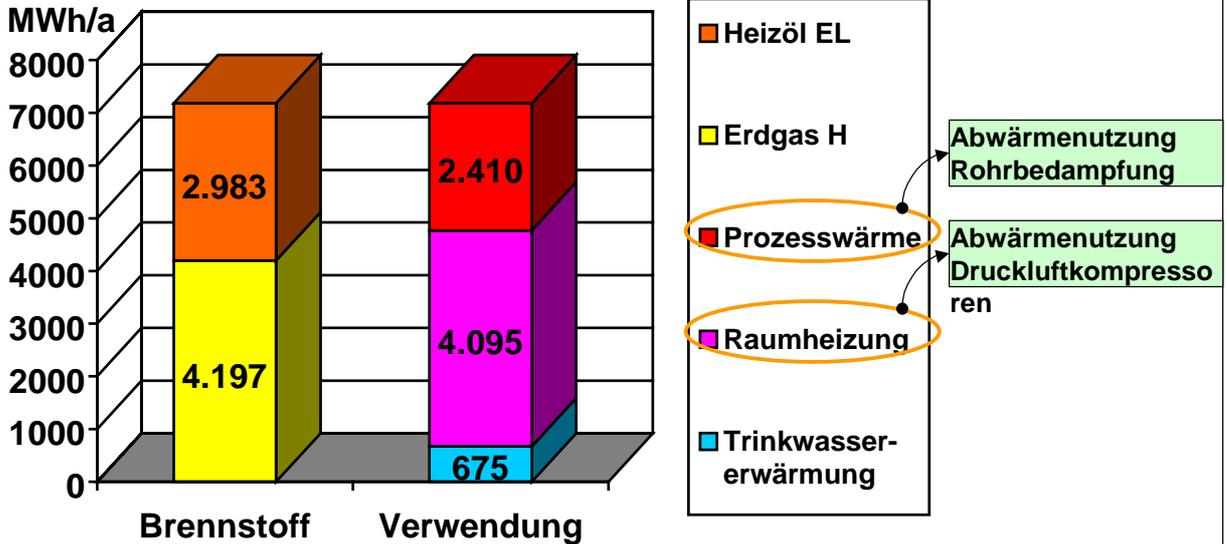
## Branchenspezifische Merkmale

- > größter Teil des Stromverbrauchs bedingt durch Kunststoff-**Umformprozess** (Heizung und Extruderantrieb)
- > mechanische Energie zur **Formgebung** (Extrusion, Spritzguss, Blasformung,...).
- > **Druckluft** und **Vakuum** zur Umformung, Produktfixierung, Kühlung
- > **Kühlsystem** zur Wärmeabfuhr nach Umformung, Maschinenkühlung
- > Produktionsspezifische **Prozesswärmeanwendungen** (Granulattrocknung, Warmumformung, Aufschäumung, Oberflächenbehandlung (Lackierung, Trocknung usw.).)
- > **Raumwärmebedarf** oft räumlich inhomogen
- > **Druckluft** wichtiger Energieträger für Produktionsanlagen
- > **Abluftmengen** aus Maschinenabsaugungen oder Hallenabluftanlagen, teils belastet mit Schadstoffen / Wärme

## Ansatzpunkte Versorgungstechnik

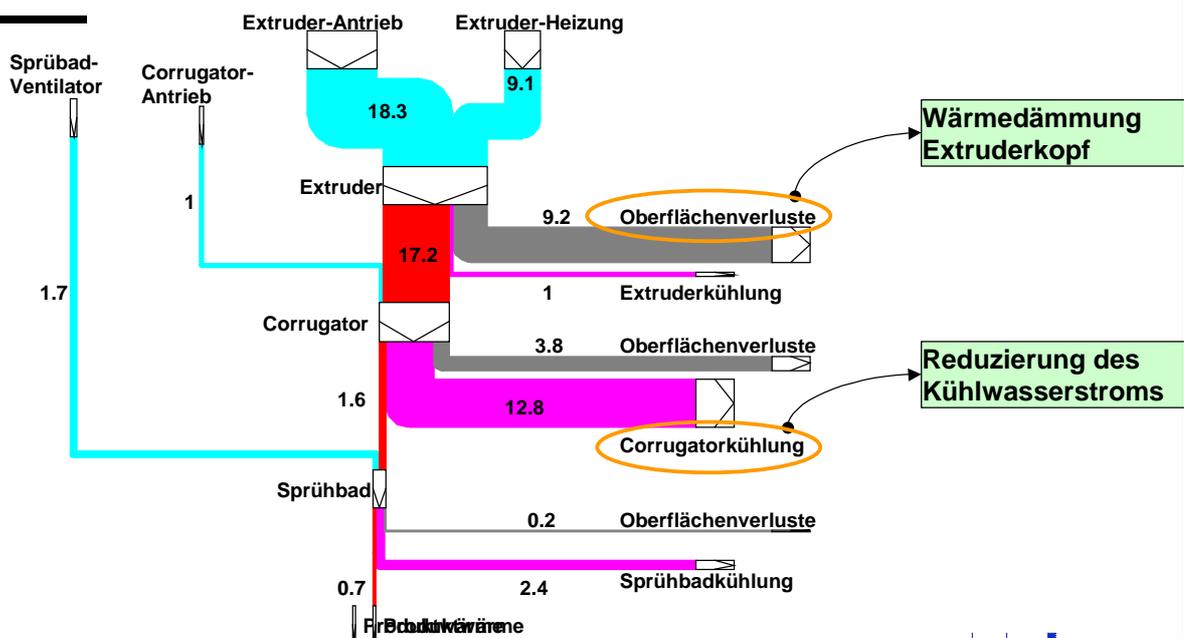


## Ansatzpunkte Wärme



OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## Ansatzpunkte Produktion



OVM ECH  
CONSULTING ENGINEERS

## **Aktivitäten der Kunststoff-verarbeitenden Industrie im Bereich rationaler Energienutzung**

**Dipl.-Ing. Gerhard Loos, GKV /IBÜLO Ingenieur Consulting**

### **Begrüßung**

Danke für die Einführung.

Mit einem freundlichen Größ Gott ermuntere ich Sie mir zuzuhören und verspreche Ihnen einige Neuigkeiten.

Diese zu Neudeutsch bezeichneten „Headlines“ fand ich beim Durchblättern der Zeitschriften an einem Vormittag.

Wenn sich unsere Gesellschaft so intensiv mit einem Thema befasst, muss es hierfür Gründe geben.

Diese sind

- die Endlichkeit unserer Energievorräte,
- der sorglose Umgang mit bzw. die Verschwendung dieses wertvollen Gutes,
- der heutige und künftige Preis.

Wir alle haben wegen der politischen Energiepreisanhebung vor drei Jahren geschimpft.

Was haben Sie in Ihrem Betrieb zur Energieeinsparung unternommen?

99% von Ihnen nichts oder nur wenig.

Denn nach landläufiger Meinung in den Betrieben gilt

- die Energiekosten zählen zu den Fix- bzw. Variablenkosten,
- zu einer Kostengruppe, die der Betrieb nicht beeinflussen kann,
- zu einer Kostengruppe, die teilweise oder ganz an den Kunden weitergegeben werden kann.

Hinzu kommt, dass es in den meisten Betrieben kein klares Energiemanagement gibt und dieses Problem zwischen Einkauf und Technik hin- und hergeschoben wird.

Dass die geschilderte Situation zutrifft, können wir an einem einfachen Beispiel feststellen.

Wer von Ihnen kennt die innerbetriebliche Energiekostensituation?

Wer kennt seine Kosten für Kühlung, Druckluft und Klimatisierung?

Wer kennt seine Wasser-, Gas-, Wärme- und Strompreise?

Wie setzen sich diese Preise zusammen, denn sie bestehen aus zwei Komponenten, nämlich dem Arbeits- und Leistungspreis.

Arbeit » kWh » Menge z.B. » 2.567.356 kWh/ Mo.

Leistung » kW » Stärke z.B. » 2.535 kW

Welche **Preiskomponente** können Sie beeinflussen?

Zunächst die Menge, das heißt unnötige Verbraucher aufspüren und gegebenenfalls abschalten. Die Anzahl der unnötigen Verbraucher ist größer als sie annehmen.

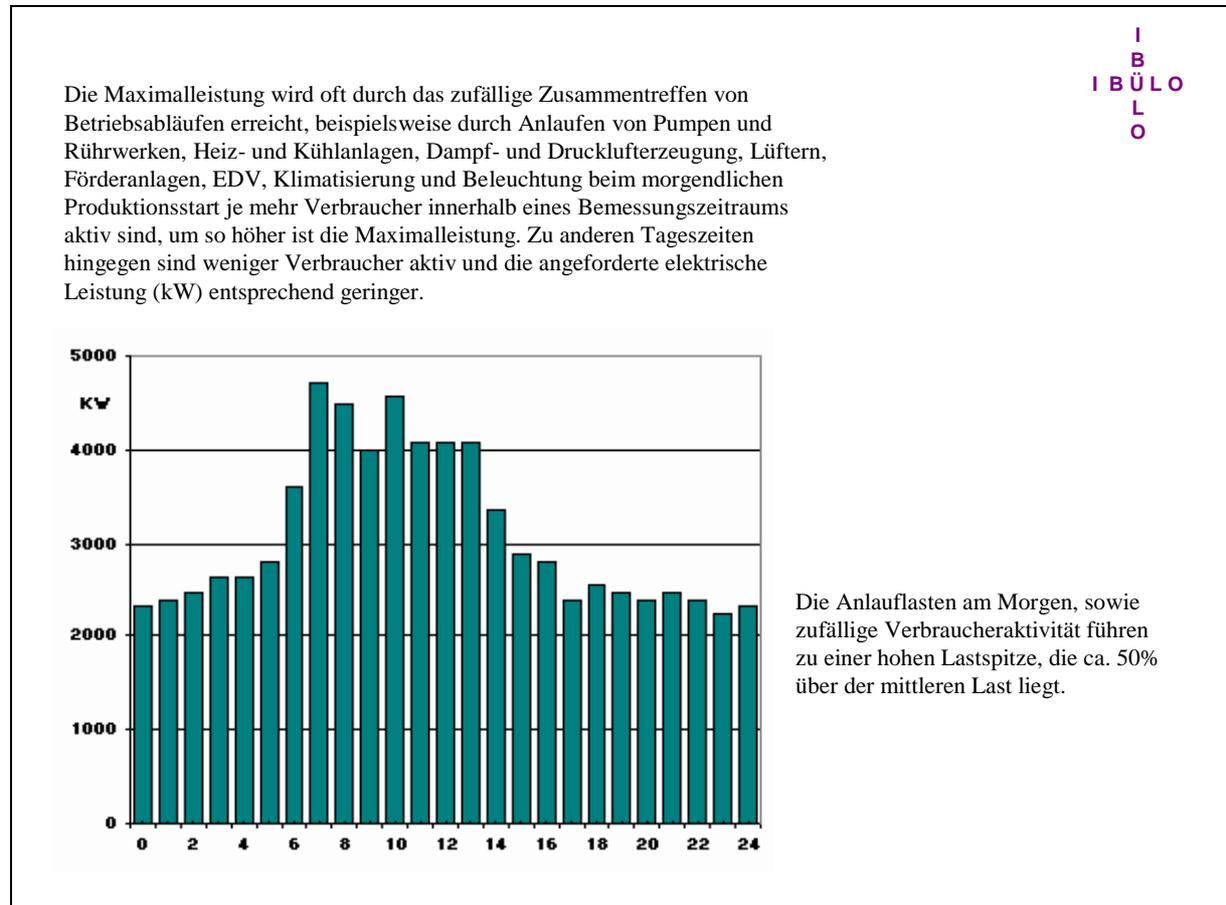
Aber auch die Leistung können Sie verändern.

Es müssen nicht alle Maschinen am Montagmorgen oder bei Schichtwechsel zu gleicher Zeit angefahren werden.

Andererseits können Großverbraucher bei entsprechender Organisation auch zu Schwachlastzeiten betrieben werden.

## Warum diese Hinweise?

Ist Ihnen bekannt, wie Ihre Energieverbräuche gemessen, abgefragt, gespeichert und/oder fernübertragen werden?



Ihr Drehstromzähler, der große schwarze Kasten, hat mehrere Messbereiche

- die Arbeit oder Strommenge in kWh
- die maximale Leistung oder Stromstärke in kW
- den Blindstrom in kVar
- den Tag- und Nachttarif.

Dies gilt für alle Energiemesseinrichtungen wie Strom, Gas und Wärme.

Der Zähler misst im 15 Minuten- oder 24 Stundentakt die maximale Leistung und registriert sie. In Ihren Energielieferverträgen sind sowohl die Arbeit als auch die maximale Leistung festgelegt bzw. garantiert und alles was Sie über die maximale Leistung entnehmen, müssen Sie teuer bezahlen.

Angenommen Ihre maximale Leistungsentnahme beträgt 2.000 kW und Ihr Leistungspreis liegt bei 200,- DM/kW, somit müssen Sie einen jährlichen Leistungspreis von

$$2.000 \text{ kW} \times 200,- \text{ DM/kW a} = 400.000 \text{ DM/a bzw. } 1/12 = 33.333 \text{ DM/ Mo bezahlen.}$$

Betrug Ihr maximaler Leistungsbedarf nur 1.890 kW, so müssten Sie einen jährlichen Leistungspreis von

$$1.890 \text{ kW} \times 200,- \text{ DM/kW a} = 378.000 \text{ DM/a bzw. } 1/12 = 31.500 \text{ DM/Mo bezahlen.}$$

Lag Ihr maximaler Leistungsbezug bei 2.395 kW, so betrug der jährliche Leistungspreis

$$2.395 \text{ kW} \times 200,- \text{ DM/kW a} = 479.000 \text{ DM/a bzw. } 1/12 = 39.916 \text{ DM/Mo.}$$

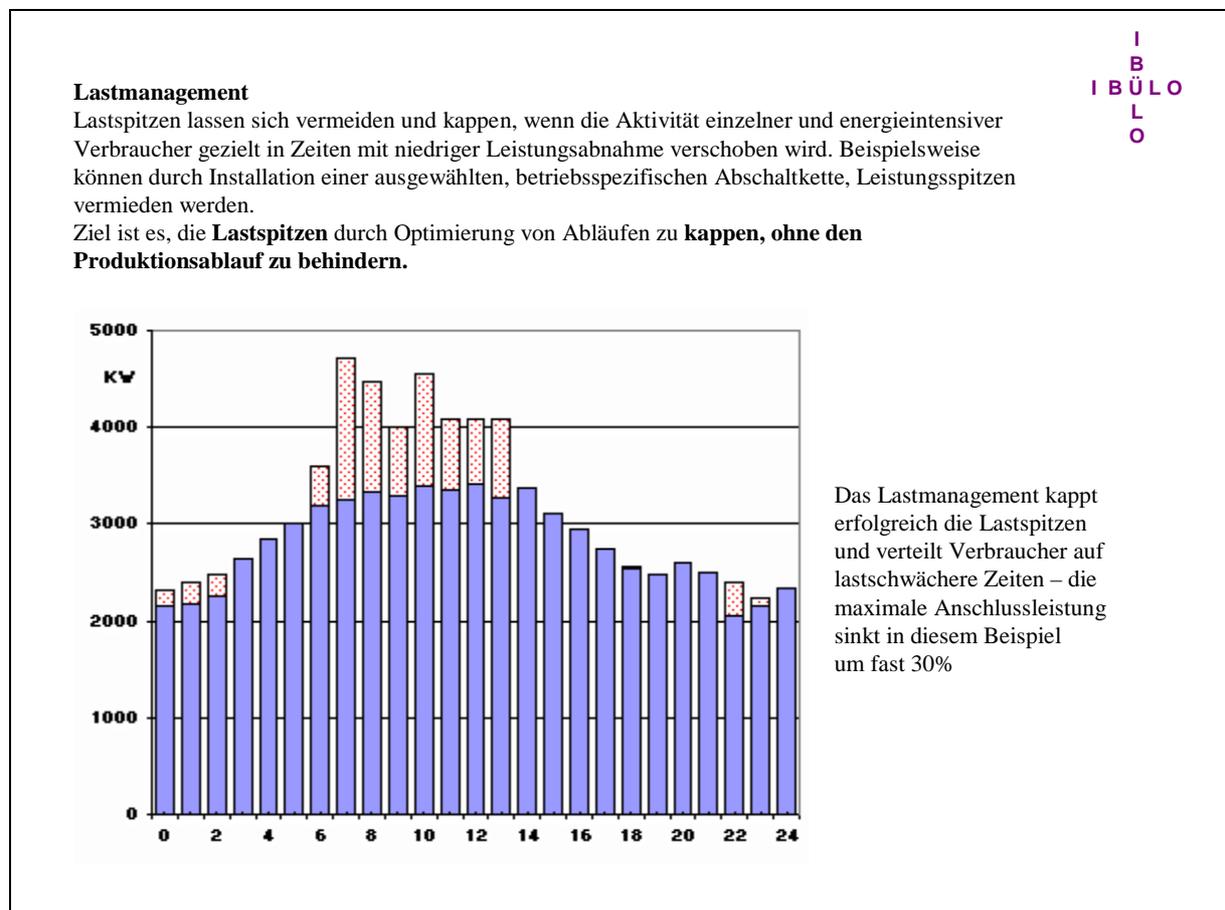
Der Blindstrom entsteht dann, wenn ein Strom und eine Spannung durch eine Wicklung fließen. Das entstehende Magnetfeld ist eine Barriere für den Strom und er hinkt der Spannung hinterher.

Je mehr Wicklungen, sprich Motore, Drosseln und Vorschaltgeräte für Leuchtstoffröhren Sie haben, um so größer wird das Nachhinken des Stromes gegenüber der Spannung. Das heißt der Leiterquerschnitt bzw. das Netz und der Trafo können nicht mehr zu 100 % genutzt werden. Eine Kompensierung des Blindstromes, bzw. der Blindleistung kann durch die Parallelschaltung von kapazitiven Verbrauchern, sogenannten Kondensatoren erfolgen.

In Ihrem Betrieb haben Sie in den Hauptverteilungen oder zentral in der Schaltanlage eine Kondensationsanlage, die automatisch einen  $\cos$  von 0,97 bis 0,99 fährt, so dass Sie keine Blindstromkosten zahlen müssen.

Ist Ihre Kompensationsanlage aber zu klein oder zu groß, müssen Sie nochmals 10 bis 20 % zusätzlich für die dann entstehenden Blindstromkosten bezahlen.

Dieses Beispiel verdeutlicht Ihnen, wie wichtig ein Lastmanagement für den Betrieb ist, denn diese Preisargumentation trifft auch dann zu, wenn Sie es nicht auf Ihrer Rechnung erkennen können.



Zu einem funktionierenden Lastmanagement gehört auch eine sichere Abschaltkette.

Das Spitzenlastmanagement übernimmt folgende Aufgaben

- es beobachtet den Lastverlauf und errechnet einen Lastverlaufstrend
- bei Erreichen der Zielvorgabe schaltet es das erste Kettenglied ab und nach ca. 5 Minuten wieder automatisch zu
- bei Bedarf können auch zwei Kettenglieder abgeschaltet werden, die nach Ablauf der Schonzeit wieder automatisch an das Netz gehen.

Sie sehen, zu einem gesicherten Energiemanagement zählt - außer der preiswerten Versorgung - auch die rationelle Nutzung.

Die hier Anwesenden gehen davon aus (oder glauben), **gute oder die günstigsten Strom-, Gas-, Wärme- und Wasserlieferverträge** mit ihren EVU's abgeschlossen zu haben. Der Trick der EVU's ist doch, dass diese Unternehmen keine transparente Preispolitik betreiben. Ist Ihnen bekannt, wie hoch die vergleichbaren Kosten für eine kWh bei Ihrem Nachbarn oder Mitanbieter liegen?

**Daher die Frage**, welcher Fachmann hat das überprüft?

Ebenso gehen die meisten von Ihnen davon aus, in ihrem Betrieb seien **alle Energiesparmöglichkeiten** weitgehendst ausgeschöpft.

**Welcher Kenner** dieser Materie hat das bestätigt?

Falls jemand unter uns ist, der eine oder beide Fragen mit Ja beantworten kann, möge sich bitte melden und uns berichten:

- Welche Verbesserungen konnten an den Strom-, Gas-, Wärme- und Wasserlieferverträgen vorgenommen werden?
- Welche Energiesparmöglichkeiten gab es in seinem Betrieb?
- Wieviel % der Energiekosten konnten eingespart werden?

Sie haben gehört, was bei **der Firma Xy** eingespart werden konnte.

**Da niemand** hierzu eine **Aussage** machen kann oder will, sage ich ihnen hier und heute, das Energieeinsparpotenzial in der deutschen Industrie auch in der K-Branche **liegt bei ca 35%**.

Eine einfache Milchmädchenrechnung soll ihnen das Sparpotenzial verdeutlichen. Bei monatlichen Energiegesamtkosten von ca. 50.000 DM betragen die Jahreskosten 600.000 DM.

Angenommen nur eine Sparquote von 25% bringt bereits ein Einsparvolumen von 150.000 DM/a.

Ein Betrag, der Ihnen möglicherweise hilft, satte schwarze Zahlen zu schreiben.

**Zur Aktivierung** dieses Betrages muss natürlich auch in Ihrem Betrieb etwas unternommen werden.

**Welche Möglichkeiten** gibt es und wer kann Ihnen die Frage beantworten, wo Ihr Betrieb mit seinen Energiekosten angesiedelt ist:

- Im oberen Drittel, in der Mitte oder im unteren Drittel?
- Ihr EVU, eventuell vielleicht Ihr Materiallieferant?
- Möglicherweise kann Ihr Verband, der GKV, etwas sagen?

Die vorgenannten Adressen können Sie vergessen.

Die sicherste Auskunft kann Ihnen jemand geben, der in Ihrer Branche zu Hause ist, der in verschiedene Betriebe kommt und Vergleiche anstellen kann und dies über Jahre konnte.

Der Energiefachmann schaut nicht nach Ihrem eigenen Know how und wird in den meisten Fällen ein Spritzgusswerkzeug nicht von einem Stanzwerkzeug unterscheiden können.

Er kennt aber die Energieverbräusche Ihrer Mitanbieter und aus der Vielzahl der beratenen Betriebe hat er sich Kennzahlen erarbeitet, zum Beispiel:

- spezifischer Energieverbrauch kWh/kg Fertigware
- spezifischer Energieverbrauch kWh/m Fertigware
- spezifischer Wasserverbrauch ltr/ kg Fertigware
- spezifischer Wasserverbrauch ltr/m Fertigware
- spezifischer Kälteverbrauch kWh/kg Fertigware
- spezifischer Wärmeverbrauch kWh/kg Fertigware.

Diese Größen, zum Teil noch unterschieden in Technische Teile, Konsumware sowie Feinst- und Präzisionsware.

Bereits in den Jahren 1981 und 1982 habe ich als Vorsitzender des GKV- Energieausschusses zusammen mit Herrn Dr. Ackermann, die ersten spezifischen Kennzahlen ermittelt.

Seit dieser Zeit habe ich das Kennzahlen - System aufgebaut und stetig erweitert.

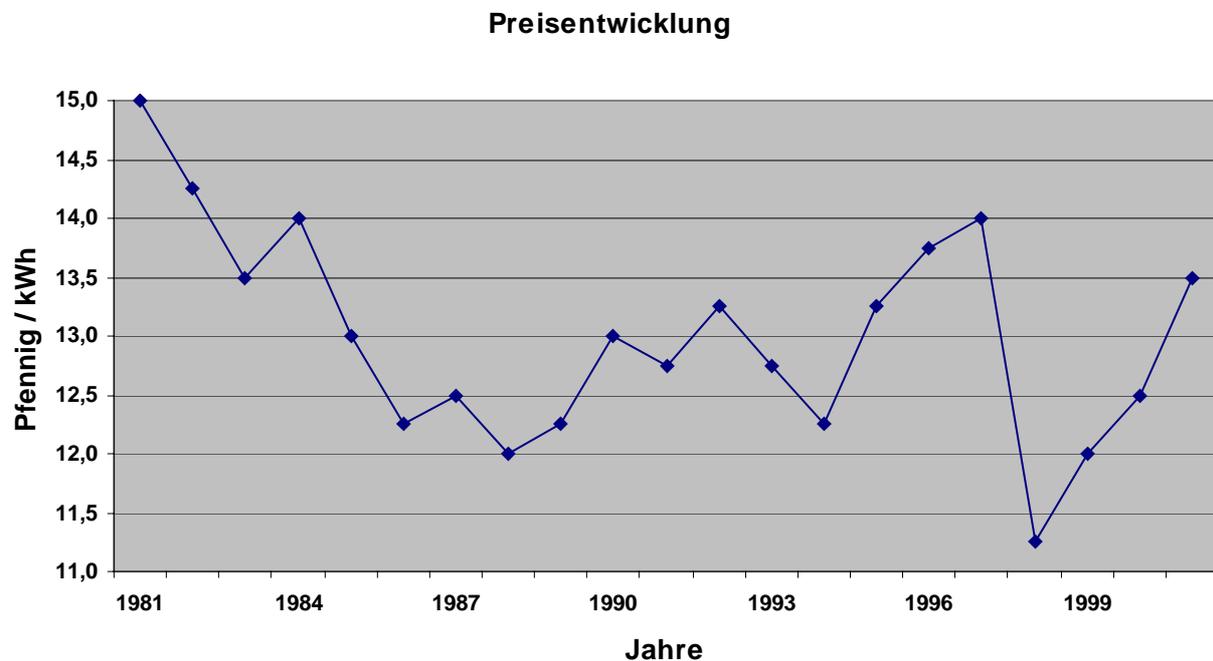
Die erste Erarbeitung von spezifischen Kennzahlen ist ein wichtiges Werkzeug zur überschlägigen Beurteilung der Energieverbräuche eines Unternehmens.

Diese Zahlen sind aber auch ein Hinweis auf Ihre mehr oder weniger gute Wassernutzung und die Güte Ihrer Kälte- oder Kühlanlage.

**Und** noch etwas Nostalgisches!

**Dieses Diagramm** (Preisentwicklungs-Diagramm) zeigt die Preisentwicklung und den -verlauf von 1981 bis heute.

Der Stromverbrauch dieses Unternehmens betrug im Jahresdurchschnitt ca. 8.000.000 kWh.



Pf/kWH	Jahr	Pf/kWH	Jahr
15,00	1981	13,25	1992
14,25	1982	12,75	1993
13,50	1983	12,25	1994
14,00	1984	13,25	1995
13,00	1985	13,75	1996
12,25	1986	14,00	1997
12,50	1987	11,25	1998
12,00	1988	12,00	1999
12,25	1989	12,50	2000
13,00	1990	13,50	2001
12,75	1991		

Für die gleiche Stromabnahmemenge lag die Preisschwankung damals schon zwischen 12,5 und 15,0 Pfg/kWh.

Eine ähnliche Schwankungsbreite wie heute.

Falls Sie nichts zu Gunsten der Energieoptimierung unternehmen, werden Sie im Rahmen der EnEV (Energie Einspar-Verordnung), die Anfang 2002 in Kraft treten wird gezwungen sein, auch in Ihrem Betrieb einen Beitrag zur Energieeinsparung zu leisten.

In Frage kommen innerbetriebliche Optimierungen, verbesserte Maschinen- und Anlagentechniken sowie die Nutzung erneuerbarer Energien.

### **Noch ein Hinweis**

Wer sein Heil zur Bewältigung der vielfachen energetischen Probleme in einem Contracting-Vertrag sucht, ist falsch beraten, **denn**

- wer kennt Ihren Betrieb besser als Sie und Ihre Mitarbeiter?
- bis Sie einem fremden Unternehmen erklärt haben, wie Ihr Betrieb abläuft - und der künftige Dienstleister dies begriffen hat - können die Verbesserungen aus eigener Initiative schon laufen oder vollendet sein.
- nutzen Sie Ihr eigenes Know how und kaufen Sie nötigenfalls fremdes hinzu, bleiben sie aber Herr in Ihrem Hause.

Mit einem **Werbeslogan** der EnBW (Energie Versorgung Baden Württemberg), der da lautet

**„Energie intelligent nutzen“**

beende ich meinen Vortrag.

## **Neuerungen in der Anlagen- und Verfahrenstechnik für rationellen Energieeinsatz in der kunststoffverarbeitenden Industrie – IMC-Spritzgießcompounder erhöht Wertschöpfung**

Reiner Jensen, Erwin Bürkle, Fa. Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, München

*Die Integration eines gleichlaufenden Doppelschneckenextruders in eine Spritzgießmaschine bietet neue Perspektiven für die Direktverarbeitung von Kunststoff mit Zuschlagsstoffen. Der Verarbeiter erhält ein Größtmaß an Flexibilität hinsichtlich der Verbesserung von Bauteilstrukturen und der Qualität des Formteils bei nachweislich geringeren Herstellkosten. Der Energieeinsatz lässt sich deutlich reduzieren.*

Die Einschneckenplastifizierung mit ihren unterschiedlichen Bauarten und geometrischen Ausführungen erfüllt heute ein vielfältiges material- und produktspezifisches Anforderungsspektrum. Anpassungen an immer neue Produktionsaufgaben sind an der Tagesordnung. Aber jedes System hat seine natürlichen Grenzen, die sich nur mit erheblichem Aufwand überwinden lassen.

Diese Anforderungen werden von einem gleichlaufenden Doppelschneckenextruder für die sogenannte Direktverarbeitung in der Extrusion nachgewiesen erfüllt.

Zu seinen Stärken gegenüber der "Einschnecke" zählen :

- Größte Plastifizierströme, die deutlich über denen einer Einschnecken- Plastifizierung liegen
- Einmischen von Farbe, für extrem gute Farbhomogenität
- Compoundieren von Polymerkomponenten (mit Additiven)
- Compoundieren von thermisch sensiblen und scherempfindlichen Polymeren, die in einer Wärme sofort weiterverarbeitet werden müssen
- Compoundieren mit Füllstoffen
- Compoundieren mit Faserverstärkungsstoffen als Schnitt- oder Endlosware

Die Stärken zeigen deutlich, dass der Doppelschneckenextruder auch in der Spritzgießtechnik für eine Reihe von Sonderaufgaben eine ideale Lösung darstellen könnte. Aus diesen Gedanken wurde das neue Verarbeitungskonzept des Spritzgießcompounders entwickelt (Hersteller Krauss-Maffei, München). Die Materialaufbereitung wird dabei nicht von einer herkömmlichen Einschnecken-Plastifizierung übernommen sondern von einem Doppelschneckenextruder.

Die Integration der Direktverarbeitung aus der Extrusion in die Standard-Spritzgießtechnik ist die konsequente Kombination von Systemen, die Leistungsfähigkeit über Jahrzehnte am Markt erworben haben. Die Verheiratung beider Prozesse wurde vor allem dadurch möglich, dass sich die diskontinuierliche Arbeitsweise des Spritzgießens und die kontinuierliche Arbeitsweise des Extrudierens ebenso aufeinander abstimmen ließen wie das Zusammenwirken von zwei unabhängigen Steuerungen. Entscheidend für die Arbeit an der Maschine ist vor allem, dass Bedienung, Wartung und Instandhaltung des IMC-Spritzgießcompounders (IMC: Injection Moulding Compounder) einer Standard-Spritzgießmaschine möglichst nahe kommen. Daher wurde auf Verwendung von Komponenten aus bestehenden Baureihen des Standardprogramms besonderer Wert gelegt. Konsequenterweise ist der IMC deshalb auch eine Ergänzung der Großmaschinenbaureihe mit erweitertem Arbeitsvermögen und neuer Zuordnung der Einspritzvolumina zu den bestehenden Schließkraftgrößen.

## **Spritzgießcompoundieren für vielfältige Aufgaben geeignet**

Das herausragende Merkmal dieses Konzeptes ist, dass Materialien nach eigenen Spezifikationen compoundiert und im Anschluss daran in der gleichen Wärme im Spritzgießverfahren zu einem Kunststoff-Formteil verarbeitet werden. Das gilt ebenso für die Herstellung eines spezifischen Materials aus unterschiedlichen Materialkomponenten wie für die Einarbeitung von Additiven, Füll- und Verstärkungsstoffen, z.B. auch solche Materialien, die in dieser Konstellation am Markt nicht angeboten werden.

Die Möglichkeit eigene Rezepturen zu erstellen eröffnet dem Verarbeiter weitere Einsatzgebiete für seine Produkte, weist ihm aber auch die Verantwortung für eine dauerhaft sichere Lieferqualität seiner speziellen Produkte zu. Die üblicherweise vom Rohstoffhersteller zugesagte Spezifikation für das gelieferte Material geht damit in die Verantwortung des Verarbeiters über. Damit hat er die Pflicht übernommen dem Abnehmer seiner Spritzgieß-Formteile gegenüber den dokumentierten Nachweis über die Zuverlässigkeit der Materialqualität zu erbringen. Dieser Nachweis erfolgt kontinuierlich durch die verfahrenstechnische Kontrolle der Rezeptur im Rahmen der Prozessüberwachung der Gesamtanlage (Spritzgießen, Extrudieren, Dosieren, Verwiegen). Aufgabe dieser Überwachung ist es, die aktuellen Prozessdaten zu erfassen, im Rahmen einer Qualitätsüberwachung zu überprüfen und von Zyklus zu Zyklus zu dokumentieren. Chargen, die außerhalb der Toleranz liegen, leiten die Ausschleusung des Materials aus dem Anfahrventil ein.

Allen Einsatzmöglichkeiten des IMC-Spritzgießcompounders sind technische als auch wirtschaftliche Leistungsmerkmale eigen, die durch die Direktverarbeitung mit dem Doppelschneckenextruder auf der Spritzgießmaschine entstehen:

1. Compoundier-Spritzgießen von Formteilen findet in der gleichen Wärme statt, d.h., in einem einstufigen Prozess. Der Kunststoff wird nur einmal erwärmt.  
Das reduziert die Herstellkosten.
2. Compoundier-Spritzgießen ermöglicht die Spezifizierung eines Materials mit eigenständigen Qualitätsmerkmalen.  
Das sichert Wettbewerbsvorteile
3. Compoundier-Spritzgießen schont die zugeführten Faserlängen weitgehend und gewährleistet gute Faserverteilung im Formteil.  
Eine Cluster-Bildung findet nicht statt.
4. Problemloses Compoundier-Spritzgießen von thermisch sensiblen Compounds bei kurzen Verweilzeiten und schonender Schmelzführung.  
Das ergibt qualitativ hochwertige Formteile und eröffnet neue Einsatzgebiete.
5. Freie Wahl aller Rohstoffe und Zugabematerialien.  
Nutzung günstiger Einkaufsquellen.
6. Kurzfristige Amortisation des Spritzgießcompounders durch die Einsparung von Rohstoffkosten.

## **Maschinenaufbau aus dem Modulsystem**

Die Schließereinheit ist identisch mit der Standard Baureihe (MC, Hersteller Krauss-Maffei). Die Plastifizier- und Einspritzeinheit sind den veränderten Erfordernissen entsprechend neu ausgelegt worden.

Somit gliedert sich der neue Aufbau in die Baugruppen:

- Doppelschneckenextruder
- Anfahrventil
- Schmelze-Zwischenspeicher
- Dosierzylinder/Einspritzaggregat

Zusätzlich werden für das Compoundieren von unterschiedlichen Polymeren, Additiven, Füll- und Verstärkungsstoffen benötigt :

- Dosier-, Verwiege- und Zuführeinrichtungen

### **Funktionsablauf integriert kontinuierlichen und zyklischen Prozess**

Das aufgeschmolzene Material verlässt den Extruder und wird in einen Schmelze- Zwischenspeicher geleitet. Der Speicher dient als Pufferelement zwischen dem kontinuierlich arbeitenden Extruder und dem diskontinuierlich arbeitenden Einspritzzylinder. Lade- und Entleerungsvorgang lösen einander zyklisch ab.

Das Signal "Einspritzzylinder nachladen" öffnet ein Ventil zwischen Speicher und Einspritzzylinder, so dass der Speicherkolben das benötigte Einspritzvolumen eindosieren kann. Dabei weicht der Kolben des Einspritzzylinders zurück bis das eingestellte Volumen für den nächsten Spritzgießzyklus erreicht ist. Anschließend trennt das Ventil wieder beide Räume voneinander. Der nachfolgende Einspritzvorgang findet unabhängig vom gleichzeitig stattfindenden Extrusions-, bzw. Speicherladeprozess statt.

Zwischen Extruder und Zwischenspeicher ist darüber hinaus ein sogenanntes Anfahrventil eingebaut, das beim Anlaufvorgang des Extruders automatisch öffnet und die Schmelze in einen Auffangbehälter abfließen lässt.

### **Compoundierextruder für die Direktverarbeitung sichert die Materialaufbereitung**

Der neuentwickelte Compoundierextruder ist ein gleichsinnig drehender und dichtkämmender, also selbstreinigender Doppelschneckenextruder (Baureihe KMG, Hersteller Krauss-Maffei Extrusionstechnik) und überzeugt durch eine hohe Plastifizierleistung sowie ein gutes Aufschmelz- und Compoundierverhalten aus. Er wurde speziell für die Direktextrusion entwickelt. Schnecken und Zylinder sind modular, d.h., segmentiert aufgebaut, wobei jedes der Segmente einer spezifischen Wirkweise zugeordnet ist. Dieses axial offene System zeichnet sich für die Direktverarbeitung durch eine gute Homogenisier- und Mischwirkung aus, die durch definierte Anordnungen von Zahnscheiben und Knetblöcken erreicht wird. Gegenüber der klassischen Einschnecken- Plastifizierung besitzt der Extruder ein breites Verarbeitungsfenster, da sich die Schmelzequalität sowohl über die Schneckendrehzahl als auch die zudosierte Materialmenge direkt beeinflussen lässt. Außerdem erlaubt der segmentierte Schnecken Aufbau eine weitere Anpassung an die Verarbeitungsaufgabe durch Einsatz spezifischer Geometrielemente.

Der Extruder ist über die gesamte Produktionsdauer kontinuierlich in Betrieb was vor allem bei Compoundieraufgaben von großer Wichtigkeit ist. Kontinuierlich arbeiten auch die beteiligten Dosier- und Fördereinrichtungen, so dass Rezepturschwankungen und Schwankungen im Aufschmelzverhalten ausgeschlossen werden können.

Zusammengefasst lassen sich die besonderen Vorzüge des Doppelschneckenextruders für die Direktverarbeitung wie folgt formulieren :

- Guter Einzug auch von schlecht rieselnden Rohstoffen niedriger Dichte
- Problemlose Förderung pulverförmiger oder "klebriger" Stoffe
- Sehr gutes Aufschmelzen und Homogenisieren unterschiedlicher Polymere, sehr gutes dispersives ( umlagerndes ) und distributives (scherendes ) Mischverhalten
- Intensive Entgasung der Schmelze (Feuchtigkeit, Lufteinschlüsse, Spaltprodukte,..)
- Optimales Einmischen von Additiven, Füll- oder faserförmigen Verstärkungstoffen
- Selbstreinigend durch dichtkämmendes Schneckenprofil
- Hohe Durchsatzleistung, selbst bei vergleichsweise niedriger Schneckendrehzahl

### **Gravimetrische Zudosierung sorgt für konstante Rezepturen**

Die gravimetrische Zudosierung der einzelnen Materialien in den Extruder ist ein wichtiger Bestandteil des gesamten Compoundierprozesses. Entscheidend für die Auslegung und Platzierung der gravimetrischen Dosier-, und Zuführeinrichtungen sind eine Reihe von Faktoren, die sehr produkt-, verarbeitungs- und betriebsspezifisch sind. So ist z.B. entscheidend für die Projektierung um welche Materialien es sich handelt, wie viele verschiedene Arten es sind, in welcher Form sie als Ausgangsmaterial vorliegen, welche Art der Zudosierung / Zuführung jeweils geeignet ist, etc.

Zudosierungen für das Compoundieren, gleich welcher Ausführungen, sind daher von Fall zu Fall individuell zu projektieren. Sie gehören deshalb nicht zum Standard Lieferumfang des IMC-Spritzgießcompounders.

### **Anfahrventil sichert Qualitätsniveau**

Um während der laufenden Produktion ein hohes Qualitätsniveau des Compounds dauerhaft sicher zu stellen ist ein kontinuierlicher Betrieb des Doppelschneckenextruders unumgänglich. Das bedeutet, dass der Extruder bei niedriger Drehzahl kontinuierlich Schmelze fördert und nicht wie bei der Plastifizierung abgeschaltet wird. Bei Produktionsbeginn sowie im Störfall sorgt das Anfahrventil für die Ausschleusung der Schmelze aus dem System um die oben erwähnten Rezepturgenauigkeiten beim Anlauf des Extruders und der Zuführeinrichtungen zu eliminieren. Das Anfahrventil ist deshalb unmittelbar dem Extruder nachgeschaltet, bzw. dem Schmelze- Zwischenspeicher vorgeschaltet.

### **Schmelze-Zwischenspeicher auf Materialschonung optimiert**

Der Speicher ist darauf ausgelegt einen Teil der kontinuierlich extrudierten Schmelze während eines Spritzgießzyklus aufzunehmen. Dieser Auffüllvorgang findet während der Einspritz- und Nachdruckzeit des laufenden Spritzgießprozesses statt. In dieser Phase sind der Schmelzespeicher und der Einspritzzylinder durch ein Schaltventil getrennt, d.h., ein unabhängiges Arbeiten beider Aggregate ist möglich.

Für die Dauer des Auffüllens weicht in dem Speicherzylinder ein mit Staudruck beaufschlagter Tauchkolben zurück und speichert so ca. 30 bis 40% des benötigten Einspritzvolumens. In vorderster Stellung des Kolbens ist die Einspeiseöffnung des Extruders gerade nicht überdeckt. Damit ist sichergestellt, dass das im Speicher verbliebene Restmaterial beim nächsten Zyklus automatisch durch neue Schmelze ersetzt wird. Die Ein- und Auslaufquerschnitte sind groß dimensioniert und nach rheologischen Gesichtspunkten optimiert, so dass die Druckverluste gering bleiben. Ebenso wurden scherende oder faserbrechende Geometrien sowie Totzonen, in denen sich Material ablagern kann, eliminiert.

### **Einspritzaggregat für hohe Spritzdrücke ausgelegt**

Die Einspritzaggregate für die Spritzgießcompounder-Baureihe sind mit Kolbeneinspritzzylindern ausgestattet, die mit Arbeitsvermögen von 6.100 bis 120.000 verfügbar sind.

Die Schmelze-Einspeisung aus dem Speicher erfolgt an der Stirnseite des Einspritzkolbens. Der vollständige Austrag der Schmelze ohne Restbestände gewährleistet Zyklus für Zyklus gute Spülung der Querschnitte und kurze Verweilzeiten. Das ist vor allem für thermisch sensible Materialien von Bedeutung. Um die Faserlängenreduktion niedrig zu halten wurde auch hier auf optimierte geometrische Übergänge und großzügige Querschnitte in allen Schmelze führenden Kanalsystemen geachtet. Scherende oder faserbrechende Vorgänge während des Schmelzetransports werden vermieden. Schmelzespeicher und Einspritzzylinder sind räumlich durch das bereits erwähnte Schaltventil voneinander getrennt. Während dieser Zeit in der das Ventil geschlossen ist, arbeiten beide Aggregate unabhängig von einander. Dadurch ist auch sichergestellt, dass während des Einspritzvorgangs Spritzdrücke bis zum Maximalwert aufgebaut werden können. Während der Kühlzeit wird das Ventil geöffnet, der Schmelzespeicher entleert und damit gleichzeitig der Einspritzzylinder gefüllt.

### **Maschinensteuerung – der Schlüssel zur Integration**

Die Spritzgießmaschinen-Steuerung MC4, bzw. die Extruder-Steuerung C4 (Entwicklung und Herstellung Krauss-Maffei) basieren auf den gleichen Hardware-Komponenten und Software-Programmen (soweit möglich). Die Bedienoberflächen sind sehr ähnlich aufgebaut.

Zur vereinfachten Bedienung und Anzeige des IMC-Spritzgießcompounders hat der Maschinenbediener die Bedientableaus beider Steuerungen an einem gemeinsamen Galgen nebeneinander verfügbar. Die Verknüpfung der Steuerungen MC4 und C4 sorgt dafür, dass sich der Spritzgießcompounder wie eine Standard Spritzgießmaschine bedienen lässt, zumal auch die gravimetrische Dosiereinheit in die C4- Steuerung integriert werden kann.

**Fazit**

Die Entscheidung ein Kunststoff-Bauteil auf bisher nicht praktizierte Art und Weise herzustellen erfordert überzeugende Argumente. Das Risiko des "Neuen" muss abschätzbar niedrig sein. Das betrifft vor allem die verwendeten Einrichtungen, die Instandhaltung, die Bedienung. Je näher sie an Standardgegebenheiten angelehnt sind desto besser. Andererseits setzt sich nur jene Neuerung entschieden durch, die nachweislich zwei Bedingungen sicher erfüllt. Das verwendete Konzept muss Formteile produzieren können, die sowohl qualitativ besser als auch preisgünstiger herstellbar sind. Nur in dieser Zusammensetzung ist eine Akzeptanz ohne Einschränkungen gegeben.

Der Spritzgießcompounder erfüllt diese Kriterien für eine Reihe ganz unterschiedlicher Aufgaben und präsentiert sich so als sinnvolle Ergänzung einer erfolgreichen Großmaschinen- Bau-reihe.

## Referenten

Bayer. Landesamt für Umweltschutz  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Dr. Gerold Hensler  
Tel.: (0821) 90 71 – 51 94  
Fax: (0821) 90 71 – 55 60  
E-mail: [gerold.hensler@lfu.bayern.de](mailto:gerold.hensler@lfu.bayern.de)

Dr. Josef Hochhuber  
Tel.: (0821) 90 71 – 52 39  
Fax: (0821) 90 71 – 55 60  
E-mail: [josef.hochhuber@lfu.bayern.de](mailto:josef.hochhuber@lfu.bayern.de)

Bayerisches Staatsministerium für Landes-  
entwicklung und Umweltfragen  
Postfach 81 01 40  
81901 München

Dr. Rainer Meixlsperger  
Tel.: (089) 92 14 – 33 86  
Fax: (089) 92 14 – 24 51  
E-mail: [rainer.meixlsperger@stmlu.bayern.de](mailto:rainer.meixlsperger@stmlu.bayern.de)

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und  
Innovationsforschung  
Breslauer Straße 48  
76139 Karlsruhe

Dr.-Ing. Peter Radgen  
Tel.: (0721) 68 09 – 295  
Fax: (0721) 68 09 – 272  
E-mail: [peter.radgen@isi.fhg.de](mailto:peter.radgen@isi.fhg.de)

MDE Dezentrale Energiesysteme GmbH  
Franz-Josef-Strauß-Straße 5  
86153 Augsburg

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hermann Kling  
Tel.: (0821) 5 05 03  
Fax: (0821) 5 05 – 20 00  
E-mail: [hermann.kling@mde-augsburg.de](mailto:hermann.kling@mde-augsburg.de)

Fa. Kaeser Kompressoren GmbH  
Postfach 21 43  
96410 Coburg

Dipl.-Ing. Joachim Ernst  
Tel.: (09561) 6 40 –0  
Fax: (09561) 64 01 30  
E-mail: [michael.bahr@kaeser.com](mailto:michael.bahr@kaeser.com)

Bayern Innovativ Gesellschaft für Innovati-  
on und Wissenstransfer mbH  
Gewerbemuseumsplatz 2  
90403 Nürnberg

Dipl.-Geol. Sabine Stallmann  
Tel.: (0911) 20 671 83  
Fax: (0911) 20 671 66  
E-mail: [stallmann@bayern-innovativ.de](mailto:stallmann@bayern-innovativ.de)

**Sektion 1 Maschinenbauindustrie**

Energieconsulting Heidelberg GmbH  
Im Breitspiel 7  
69126 Heidelberg

Dipl.-Phys. Dr. Stefan Blüm  
Tel.: (06221) 94 – 21 64  
Fax: (06221) 94 – 24 10  
E-mail: [bluem@ech-ovm.de](mailto:bluem@ech-ovm.de)

Fraunhofer-Institut für Produktionsplanung  
und Automatisierung  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Wolfgang Klein  
Tel.: (0711) 9 70 – 17 57  
Fax: (0711) 9 70 – 13 99  
E-mail: [wk@ipa.fhg.de](mailto:wk@ipa.fhg.de)

Fa. Herding GmbH  
August-Borsig-Straße 3  
92224 Amberg

Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein  
Tel.: (09621) 6 30 – 137  
Fax: (09621) 6 30 – 137  
E-mail: [klaus.rabenstein@herding.de](mailto:klaus.rabenstein@herding.de)

Robert Bosch GmbH, Abt. BaW/SHI  
Robert-Bosch-Straße 40  
96045 Bamberg

Dipl.-Ing. Andre Dietz  
Tel.: (0951) 1 81 – 17 77  
Fax: (0951) 1 81 – 21 59  
E-mail: [andre.dietz@de.bosch.com](mailto:andre.dietz@de.bosch.com)

VDMA/Ingenieurbüro Ledwon  
Tannenweg 29  
35687 Dillenburg

Dipl.-Ing. Erhard Ledwon  
Tel.: (02771) 82 99 00  
Fax: (02771) 82 99 02  
E-mail: [tip-lux@t-online.de](mailto:tip-lux@t-online.de)

**Sektion 2 Kunststoff-verarbeitende Industrie**

Sulzer Escher Wyss GmbH  
c./o. Emil Frei GmbH & Co. Lackfabrik  
Am Bahnhof 6  
78199 Bräunlingen

Dipl.-Ing. Hans-Peter Frei  
Tel.: (07707) 1 51 – 319  
Fax: (07707) 1 51 – 302  
E-mail: [t-amann@freilacke.de](mailto:t-amann@freilacke.de)

Ingenieurbüro für Technische Ausrüstung  
und Energietechnik  
Dipl.-Ing. Gerhard Duschl  
Äußere Münchener Straße 130  
83026 Rosenheim

Dipl.-Ing. (TU) Martin Zuckermaier  
Tel.: (08031) 2 43 – 0  
Fax: (08031) 2 43 – 244  
E-mail: [ibd@duschl.de](mailto:ibd@duschl.de)

GKV Gesamtverband Kunststoff verarb.  
Industrie  
c./o. IBÜLO Ingenieur Consulting  
Alpenring 17  
64546 Mörfelden-Walldorf

Dipl.-Ing. Gerhard Loos

Tel.: (06105) 4 22 54  
Fax: (06105) 4 22 98  
E-mail: [info@ibuelo.de](mailto:info@ibuelo.de)

Fa. Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH  
Krauss-Maffei-Straße 2  
80992 München

Dr.-Ing. Erwin Bürkle

Tel.: (089) 88 99 – 27 99  
Fax: (089) 88 99 – 40 98  
E-mail: [VSC3-MUC@Krauss-Maffei.de](mailto:VSC3-MUC@Krauss-Maffei.de)