

**Energiedatenerfassung in der Produktion –  
Technologien und Möglichkeiten**  
Joachim Neher

## Energiedatenerfassung in der Produktion Technologien und Möglichkeiten

06.10.2009, Dipl.-Ing. Joachim Neher

tel: 0711 – 970 1816

mail: Joachim.Neher@ipa.fraunhofer.de



### Agenda

- Einführung
- Aufbau eines Energiemonitorings
  - Definition der Ziele
  - Messsysteme
  - Bussysteme
  - Speichern und Auswerten
- Optimierungsmaßnahmen
- Praxisbeispiele
  - Spritzgießprozess bei Fa. Kärcher
  - Lackiertechnik am Fraunhofer IPA
- Zusammenfassung

2

## Energiedatenerfassung Einführung

### Einführung: „intelligente“ Stromzähler

- Elektronische Messung des Stromverbrauchs inklusive Fernübertragung
    - Wegfall des manuellen Ablesens (Aufwand, Fehlerquelle...)
    - Häufigeres Auslesen möglich, bis zum 15-Minuten-Raster
      - schon heute bei Großkunden mit > 100.000 kWh / Jahr (z.B. Industrie)
      - Grundlage für Lastprofil/Lastgang und kundenspezifische Energiepreise (variable Leistungsentgelte abhängig von Gesamtbedarf und Netzauslastung)
  - Speicherung der Daten aller Messperioden beim EVU
  - Möglichkeit der Anzeige der Verbrauchskurve
    - Erkennen von Spitzenlasten bzw. Verbrauchsschwankungen
    - Identifikation von Geräten bzw. Nutzern anhand von (Verhaltens)Mustern
- „Intelligenz“ sitzt beim Kunden, nicht im Gerät!
- Alle wesentlichen „Aufgaben“ enthalten:  
Messen → Übertragen → Speichern → Auswerten



Quelle: Wikipedia

4

## Aufbau eines Energiemonitorings Notwendige Schritte

### Mobile Energiedatenerfassung

- Transportable Messgeräte → Messkoffer
  - Erstellen von Momentaufnahmen
  - Messung eher qualitativ
  - Grenzen für Messung schnell erreicht:
    - Mehrphasige Stromleitung
    - Rohrgebundene Medien (z.B. Wasser, Gas, Druckluft)
  - Erste Abschätzung über „Hauptverbraucher“ oft anhand von Typenschild, Stromverteiler oder Leitungsquerschnitten möglich
- Grundlage für Zieldefinition und Planung eines Energiemonitorings

Stromzange  
(1phasig)



Quelle: Wikipedia

Leistungsmessgerät  
(3- bzw. 4-phasig)



Quelle: www.yokogawa.com

Wärmebildkamera



Quelle: www.testos/tes.de

Flügelradanemometer



Quelle: www.atp-messtechnik.de

Typenschild



Schaltschrank /  
Stromverteiler



6

## Energiemonitoring: 1.) Ziele und Anforderungen

Feste Messstellen -> Energiemonitoring

„Aufnahme von Messwerten definierter Energie-Messstellen“

**ABER:**

- Wo wird gemessen?
- Was wird gemessen?
- Wie oft wird gemessen?
- Wozu wird gemessen?

→ Definition der Ziele des Energiemonitorings entsprechend eigenen Anforderungen notwendig (Ziele mittelfristig anlegen!)

- Projektkosten: 70% für Sensorik und Messwernerfassung (Quelle: Berg Energiesysteme)
- Grundsatz für Messtechnik: Soviel wie nötig, sowenig wie möglich!

7

## Energiemonitoring: 1.) Ziele und Anforderungen

Exemplarische Ziele

1. Verbrauchsabrechnung einzelner Prozesse, Stockwerke, Hallen, ...

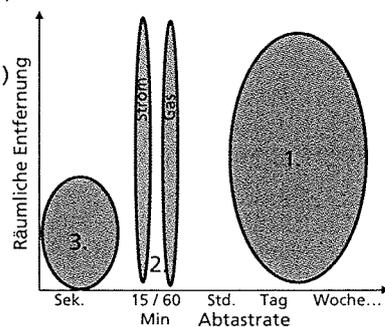
Feste größere räumliche Ausdehnung der Messstellen, feste Intervalle (Tag, Monat...)

2. Zuordnung des Lastprofils zu einzelnen Verbrauchern oder Verursachern

Größere räumliche Ausdehnung, Datenerfassung synchron zum EVU

3. Detailliertes Energieverbrauchsprofil einzelner Prozesse

Lokal begrenzte Ausdehnung und relativ hohe zeitliche Auflösung (Sek. bis Min.)

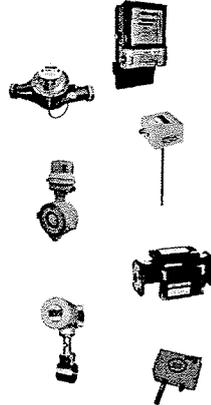


→ Anforderungen an Messtechnik folgen aus den Zielen (Anzahl und Art der Messstellen, Abtasthäufigkeit, räumliche Lage...)

8

## 2.) Was wird gemessen?

- Installation fester Messgeräte
  - Messgeräte für verschiedene Energieströme:
    - Elektrische Leistung (Strom, Spannung)
    - Erdöl oder Erdgas
    - Wärme bzw. Kälteleistung
    - Wasser
    - Druckluft
    - Temperatur / Feuchte
    - ...
- Auswahl entsprechend Ziele und Notwendigkeit
- Sensorik hat entscheidenden Anteil an Projektkosten



Bildquelle: Fa. Hochhuth bzw. Wikipedia

9

## 3.) Messwertübertragung

Messgeräte müssen verknüpft und deren Messwerte übertragen werden

→ Auswahl eines geeigneten Übertragungs- bzw. Bussystems

Auswahl existierender Systeme:

- PSTN
- GSM / GPRS
- LAN (z.B. WLAN, Ethernet...)
- M-Bus
- LON-Bus
- EIB/KNX
- Profibus
- ... sowie Kombinationen!

Unterscheidungskriterien:

- Abtastrate, d.h. Geschwindigkeit
- mögliche Netzausdehnung
- Netztopologie (Ring, Stern, Baum, frei...)
- Verfügbarkeit von Anbietern und Geräten
- Verbreitung
- Kosten
- Komplexität bei Inbetriebnahme und Wartung...
- Zeitversetzte Übertragung (Logger)

→ Nutzung von vorhandener Infrastruktur

→ notwendiges Know-How, Verfügbarkeit von geschultem Personal

10

## 4.) Speichern und Auswerten

Möglichkeiten der Speicherung:

- Letzte Werte in Ringpuffer -> nur Kurzzeitspeicher, zyklisch
- Ablegen in Dateien -> große Datenmengen, aber Gefahr des „Datengrabs“
- Speichern in zentraler Datenbank -> freier Zugriff, Verknüpfung von Werten

Darstellungsformen und Ergebnisse (Auszug):

- Anzeige von Momentanwerten
  - Prozessleitstand
- Zeitreihe über definierbare Intervalle (Schicht, Tag, Woche, Monat...)
  - Identifikation von Lastspitzen, Erkennung von „Mustern“ (Tag / Nacht, WE)
  - Erkennen von Zusammenhängen und Abhängigkeiten
- Bildung von Differenzwerten
  - Energieverbrauch von einzelner Bereiche oder Zeiträume (z.B. Wochenende)
  - Erstellung von Abrechnung
  - Bewertung von Maßnahmen



11

## Nutzen des Energiemonitorings Optimierungsmaßnahmen

## 5.) Ableiten von Optimierungsmaßnahmen

- Energiemonitoring alleine bringt keine Energieeinsparung
- Generierung von Kenntnis und Transparenz

Beispielhafte Maßnahmen:

- Ermittlung der Verursacher von Lastspitzen und Abhilfemaßnahmen
- Gezielte Minimierung von Standby- und Leerlauf
- Zeitliche Entzerrung von Großverbrauchern (z.B. Anheizen von Öfen)
- Optimierungsmaßnahmen an größten Verbrauchern, z.B. frequenzgeregelte Motoren
- „Sich-bewusst-Sein“ ermöglicht neue Denkansätze, z.B. Wärmetauscher, Kopplung von Verbrauchern...
- Optimierung der Prozesseinstellung hinsichtlich Energieverbrauch (neben Qualität und Durchsatz)

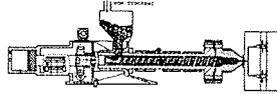
13

Praxisbeispiel

Kunststoffspritzguss Fa. Kärcher

## Funktionsprinzip und Energieströme

- Prozessablauf:
  - Aufschmelzen des Kunststoffgranulats
  - Einspritzen ins formgebende Werkzeug unter hohem Druck
  - Abkühlen bis zur Erstarrung
- wesentliche Prozessparameter:
  - Temperaturen: Schmelze ca. 150 – 300 °C  
Werkzeug 20 – 90 °C
  - Einspritzdruck: > 1000 bar
  - Gewicht: Teile – 2 mg bis 40 kg  
Werkzeug – mehrere Tonnen
  - Zykluszeit 1 Sekunde bis 10 Minuten
- hauptsächliche Energieströme:
  - Heizenergie zum Aufschmelzen
  - Energie für Druck (hydraulisch) und Bewegung (Reibung!)
  - Kühlleistung für Maschine und Werkzeug



## Spritzgießen: mögliche Optimierungsmaßnahmen

- Maschinentechnik:
  - Vollelektrische Maschinen (bis 35% Gesamtenergie<sup>1)</sup>)
  - Wärmeisolierung Aggregat (15-45% Heizenergie<sup>2)</sup>)
  - Isolierplatte für Werkzeugaufspannung (bis 55% Heizenergie Werkzeug<sup>3)</sup>)
- Prozessparameter:
  - Werkzeugtemperatur (bis 5% Gesamtenergie<sup>3)</sup>)
  - Aggregattemperatur (bis 6% Gesamtenergie<sup>2)</sup>)
  - Werkzeuggeschwindigkeit (bis 50% Bewegungsenergie<sup>3)</sup>)
  - Nachdruckhöhe (5-10% hydraulische Energie<sup>3)</sup>)
- organisatorisch:
  - Vermeiden von Stillstandszeiten
  - Ausschalten statt Standby (z.B. am WE)
  - Rüsten parallel zur Fertigung
  - Reduktion von Ausschuss

→ Beachtung der Auswirkungen auf Teilequalität

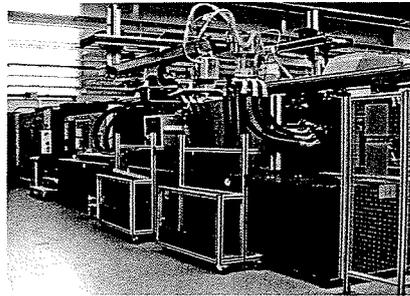
→ abhängig von Bauteil, Werkzeug und Maschineneinstellung

Quelle: 1 – Hersteller / VDI  
2 – EffPro-Studie  
3 – IPA 16

## Großspritzgießmaschine Fa. Kärcher

### Kenndaten der Anlage

- Maße: 17 m x 4,4 m x 2,6 m
- Gesamtgewicht: 138 Tonnen
- Zuhaltung: 13.000 kN
- Teilegewicht: bis 25 kg
- Werkzeuggewicht: bis 25 Tonnen
- Gewicht Schließe: > 50 Tonnen
- Zykluszeit: 3 bis 8 Minuten
- Anschlussleistung: 600 kW elektrisch  
190 kW thermisch



### Ziele

- Identifikation von Potentialen zur Steigerung der Energieeffizienz
- Einfluss einzelner Parameter auf Energieverbrauch

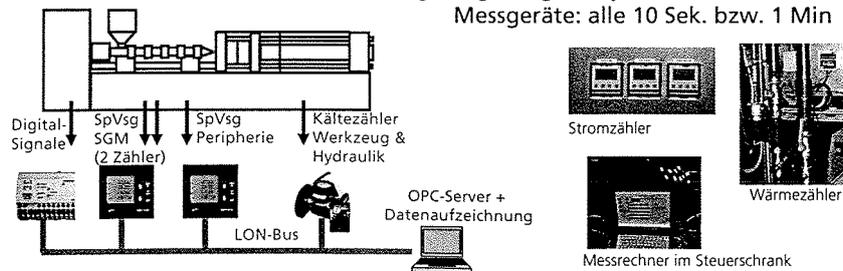
17



Technische  
Informationsverarbeitung

## Aufbau Energiemonitoring

- verwendete Messtechnik:
  - 3 \* Strom (Stromzuleitung 1 & 2 für Maschine, Peripherie inkl. Temperierung und Handling)
  - 2 \* Kühlleistung (Hydraulik und Werkzeug)
  - Digitalsignale für Maschinenzustand / Prozessphasen
  - Verwendung vorhandener LON-Bus-Infrastruktur
  - Aktualisierung: Digitalsignale: jede Sekunde  
Messgeräte: alle 10 Sek. bzw. 1 Min



18

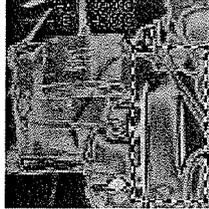


Technische  
Informationsverarbeitung

## Wärmeisolierung der Aggregateheizbänder

- Umbau der Spritzgießmaschine in früherem Projekt bereits 2008  
→ keine quantitative Beurteilung durch Messtechnik möglich
- EffPro-Studie: Einsparung von 15-45% der Heizenergie
- Dokumentation der Wirksamkeit durch Thermographie-Kamera

Ohne Isolierung

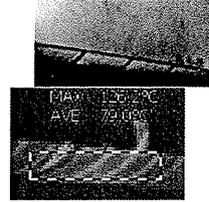


(andere Spritzgießmaschine)

Mit Isolierung



Blick auf Düse

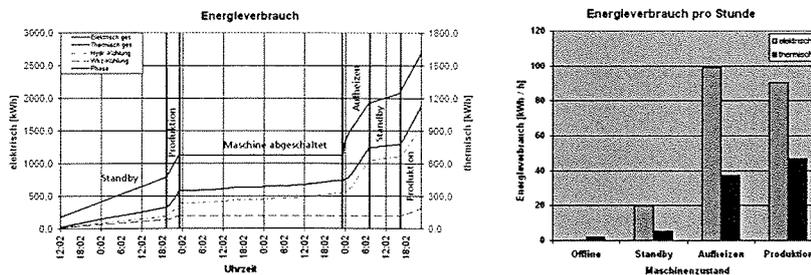


Heizbänder von unten

19

## Ergebnisse Energieverbrauch

- Energiebedarf verschiedener Maschinenzustände (für die Versuchsanlage!)



- Standby benötigt 20% (10%) der elektrischen (thermischen) Energie im Vergleich zur Produktion (trotz isolierter Heizbänder!)
- Beim Ausschalten die Zeit und Energie für Aufheizen berücksichtigen
- Organisation der Fertigung, so dass möglichst wenig Standby-Betrieb entsteht (z.B. Rüstzeiten, Maschinenstörung, Warten auf verkettete Prozesse etc.)

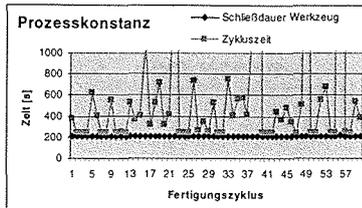
20

## Organisatorische Effizienzmaßnahmen

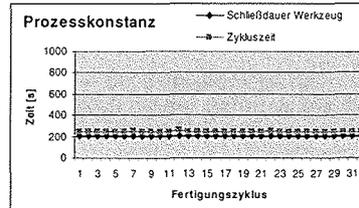
- Auswertung der aufgezeichneten Prozesszustände bezüglich Zykluszeit\*)
  - ➔ Starke Schwankungen
  - ➔ Maschinenstillstand im aufgeheizten Zustand
  - ➔ Potential für Energieeinsparung von > 20% !
- Mögliche Ursachen:
  - Zu kleiner Übergabepuffer an manuelle Folgestation
  - Maschinenstörung
  - Pausenzeiten

\*) Zahlen nur qualitativ (sensible Firmendaten)

Bisheriger Prozess (worst-case-Ausschnitt\*)



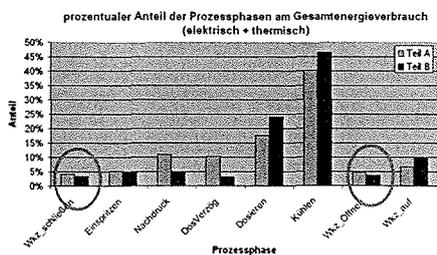
Optimierter Prozessablauf\*)



21

## Energiebedarf der Prozessphasen

- Untersuchung des Energiebedarfs einzelner Prozessphasen (prozentual)



- Zeitdauer der einzelnen Prozessphasen sehr unterschiedlich
- Lange Kühlzeit hat trotz geringer Leistungsaufnahme den größten Anteil

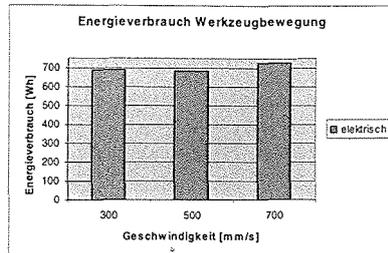
Exemplarisch für Teil A:

- Wkz-Bewegung: 9% der Gesamtenergie
- Reduzierung um 30% (0,7 m/s -> 0,5 m/s)
  - ➔ -51% kinetische Energie
  - ➔ Potential zur Einsparung an Gesamtenergie

22

## Einfluss der Werkzeuggeschwindigkeit

- kinetische Energie bei großen Massen (> 50 Tonnen) relevant
- Vermutung: Reduktion der Wkz-Geschwindigkeit reduziert Energiebedarf



- quasi identischer Verbrauch an elektrischer Energie  
→ keine messbare Energieeinsparung durch Geschwindigkeitsreduktion
- abgeschätzte kinetische Energie (60 to, 700 mm/s) um Faktor 25 kleiner als tatsächlicher Energieverbrauch
- Großteil der Energie wird für Überwindung der Reibung benötigt
- Großes Potential in Maßnahmen zur Reibreduktion

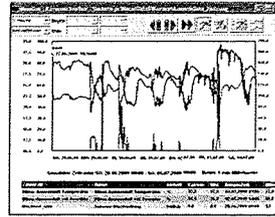
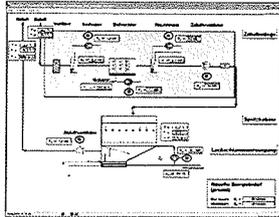
23

Praxisbeispiel

Lackiertechnikum Fraunhofer IPA

## Energiemonitoring Lackieranlage

- Erfassung verschiedener Energiegrößen über 4 Stockwerke hinweg
- zeitliche Erfassung im Minutenraster
- Aufbau einer MBus-Infrastruktur
- Realisierung eines „Energieleitstands“ mit aktueller Zustandsanzeige und Möglichkeit zur Verbrauchsanalyse im Oberflächentechnik (OFT) des IPA



→ Details im nachfolgenden Vortrag, Wolfgang Klein, Fraunhofer IPA

25

Energiedatenerfassung in der Produktion  
Zusammenfassung

## Zusammenfassung

- Komponenten und Technik einer Energiedatenerfassung
  - Messgeräte
  - Datenübertragung und -speichern
- Datenanalyse ist Kernaufgabe und Schlüssel zur Energieeffizienz
- exemplarische Optimierungsmaßnahmen
- Konkrete Umsetzung an Beispielen

27

# Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion

TEEM – Total Energy Efficiency Management