

**ENERGIEDATENERFASSUNG UND -AUSWERTUNG  
SOWIE MÖGLICHKEITEN ZUR STEIGERUNG  
DER RESSOURCENEFFIZIENZ BEIM KUNSTSTOFF-  
SPRITZGIEßEN**

Joachim Neher

---

# Energiedatenerfassung und –auswertung sowie Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz beim Kunststoffspritzgießen

---

**Fraunhofer IPA Tagung  
Energieeffizienz in der  
Produktion**

**Dipl.-Ing. Joachim Neher**  
Fraunhofer-Institut IPA, Stuttgart

Stuttgart, 15. März 2011

---

## Agenda

---

- Einführung
- Aufbau eines Energiemonitorings
  - Definition der Ziele
  - Mess- und Bussysteme
  - Datenverarbeitung und –auswertung
- Optimierungsmaßnahmen
- Ressourceneffizienz beim Kunststoffspritzgießen
  - Definition von Energiekenngrößen
  - Überblick der Möglichkeiten (Maschine, Werkzeug, Peripherie...)
  - Organisatorische Maßnahmen
  - Spritzgießprozess bei Fa. Kärcher
- Aktuelle Forschungsarbeiten am IPA

---

# 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
  - Pflicht bei Neuinstallationen
  - Grundlage für Lastprofil und kundenspezifische Energiepreise (variable Leistungsentgelte abhängig von Gesamtbedarf und Netzauslastung)
- Speicherung der Daten aller Messperioden beim Energieversorger (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!
- Deckt alle wesentlichen „Aufgaben“ ab: Messen, Übertragen, Speichern, Auswerten



Quelle: Wikipedia

## AUFBAU EINES ENERGIEMONITORINGS

# Mobile Energiedatenerfassung

- Transportable Messgeräte
- 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)



Leistungsmessgerät  
(3- bzw. 4-phasig)



Wärmebildkamera



Flügelradanemometer



Typenschild



Schaltschrank /  
Stromverteiler



## Energiemonitoring: 1.) Ziele und Anforderungen (I)

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!)

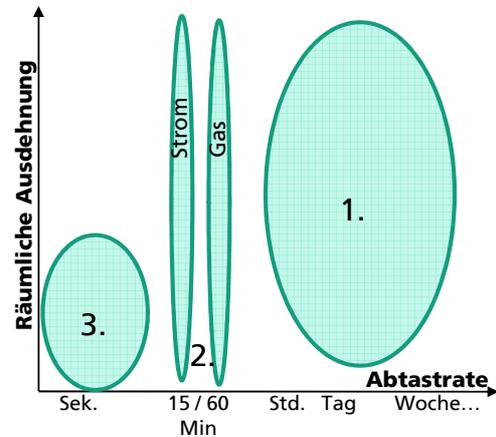
- Projektkosten: 70% für Sensorik und Messwerterfassung (Quelle: Berg Energiesysteme)
- Grundsatz für Messtechnik: Soviel wie nötig, sowenig wie möglich!

# Energiemonitoring:

## 1.) Ziele und Anforderungen (II)

### Exemplarische Ziele

1. Verbrauchsabrechnung einzelner Prozesse, Stockwerke, Hallen, ...
  - 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
  - Relativ hohe zeitliche Auflösung (Sek. bis Min.)



→ Anforderungen an Messtechnik folgen aus den Zielen

(Anzahl und Art der Messstellen, Abtasthäufigkeit, räumliche Lage...)

## 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



---

## 3.) Messwertübertragung (I)

---

- Messgeräte müssen verknüpft und deren Messwerte übertragen werden  
→ Auswahl eines geeigneten Übertragungs- bzw. Bussystems
- Auswahl existierender Systeme:
  - PSTN (Festnetz)
  - GSM / GPRS (Mobilfunk)
  - LAN (z.B. WLAN, Ethernet...)
  - M-Bus (Metering-Bus, seriell)
  - LON-Bus (Gebäudeleittechnik)
  - EIB/KNX (Gebäudeleittechnik, Siemens)
  - Profibus (Automatisierungstechnik)
  - Steuerungsintegrierte Lösungen (Beckhoff, Phoenix Contact, ...)
  - OPC-Kommunikation
  - ... sowie Kombinationen!

---

## 3.) Messwertübertragung (II)

---

- Unterscheidungskriterien
  - Abtastrate, d. h. Geschwindigkeit der Messwertabfrage
  - Mögliche Netzausdehnung (wenige Meter bis km)
  - Mögliche Netztopologie (Ring, Stern, Baum, freie Topologie...)
  - Verfügbarkeit von Anbietern und Messgeräten, Verbreitung
  - Kosten pro Messstelle (z.B. MBus 200€, Profibus 1000€)
  - Zeitversetzte Übertragung (Logger)
  - Komplexität bei Inbetriebnahme und Wartung
- Weitere wichtige Punkte:
  - Nutzung von vorhandener Infrastruktur
  - Notwendiges Know-How, Verfügbarkeit von geschultem Personal

## 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

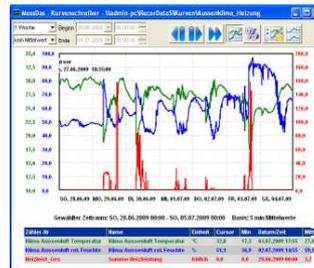
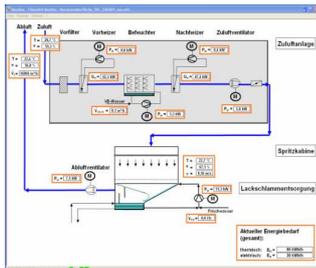
Darstellungsformen und Ergebnisse (Auszug):

- 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



## Praxisbeispiel: Energiemonitoring Lackieranlage

- Erfassung verschiedener Energiegrößen über 4 Stockwerke hinweg
- Aufbau einer MBus-Infrastruktur
- Zeitliche Erfassung im Minutenraster
- Basis der Archivierung und Auswertung bildet SQL-Datenbank
- Realisierung eines „Energieleitstands“ mit aktueller Zustandsanzeige und Möglichkeiten zur Verbrauchsanalyse im Oberflächentechnikum des IPA



→ Details am Nachmittag: Wolfgang Klein, Fraunhofer IPA

# OPTIMIERUNGSMASSNAHMEN

---

---

## 5.) Ableiten von Optimierungsmaßnahmen

---

- Energiemonitoring alleine bringt keine Energieeinsparung
- Ermöglicht Ableitung und Gewinnung von Kenngrößen
  - Generierung von Kenntnis und Transparenz
  - Basis für Entscheidungen
  - Möglichkeit zur Bewertung von Maßnahmen
  - Eingangsdaten für Managementsysteme

Beispielhafte Maßnahmen:

- Identifikation und gezielte Minimierung von Standby- und Leerlauf
  - Ermittlung der Verursacher von Lastspitzen und Abhilfe-Maßnahmen
  - Zeitliche Entzerrung von Großverbrauchern (z.B. Anheizen von Öfen)
  - Optimierungsmaßnahmen an größten Verbrauchern, z.B. geregelte Motoren
  - Neue Denkansätze durch „Sich-bewusst-Sein“ (z.B. Prozesskopplung, KWK,...)
  - Optimierung der Prozesseinstellung hinsichtlich Energieverbrauch
-

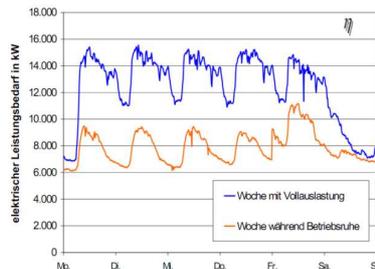
# Grundlast als Großverbraucher „Standby“-Verluste

- Großer Anteil des Strombedarfs entfällt häufig auf die Grundlast
- Effektive Reduzierung durch gezielte Maßnahmen:
  - Abschalten von Beleuchtung
  - Produktionsmaschinen ausschalten statt Standby
  - „Optimierung“ der Druckluft
  - Abschalten elektrischer Kleinverbraucher (Monitore, Rechner, Pumpen)

Beispiel:

Elektrische Leistungsaufnahme  
über eine Woche bei MAN  
(Produktion und Betriebsruhe)

→ Hohe Grundlast von 30-50%



Quelle:  
Dr. Heike Sarstedt, MAN Truck & Bus AG  
2. Kongress Ressourceneffiziente  
Produktion  
Fraunhofer-Verbund Produktion  
2. März 2011 in Leipzig

## Zusammenfassung zum Energiemonitoring

- Definition der Anforderungen und Ziele
- Komponenten und Technik einer Energiedatenerfassung
  - Messgeräte
  - Datenübertragung
  - Systeme zur Speicherung und Analyse
- Datenanalyse ist Kernaufgabe und Schlüssel zur Energieeffizienz
- Exemplarische Optimierungsmaßnahmen
- Grundlast und Standby bergen großes Einsparpotenzial
- Produktionstechnik ist sehr heterogen
  - Kein „Standardkatalog“ möglich wie z. B. Gebäude- oder IT-Technik
  - Maßnahmen sind vielfältig und anwendungsspezifisch
- Im Folgenden exemplarisch am Spritzgießen von Thermoplasten

Kunststoffspritzgießen

# ÜBERBLICK DER MÖGLICHKEITEN ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ

© Fraunhofer IPA



## Einige Zahlen der Kunststoffindustrie

- Gesamtumsatz der deutschen Industrie mit Kunststoffen in 2006 (umfasst Erzeuger, Maschinenhersteller, Verarbeiter, Anwender, Dienstleister) ca. 170 Mrd. €, entspricht ca. 15 % der Industrieproduktion in Deutschland <sup>[1]</sup>
- Davon entfallen auf Verarbeiter ca. 49,4 Mrd. € <sup>[1]</sup>
- Verarbeitete Kunststoffe in 2007: 12,9 Mio. t, durch Spritzgießen ca. 2,5 Mio. t <sup>[2]</sup>
- Energieeinsatz in der kunststoffverarbeitenden Industrie 15,2 Mrd. kWh/Jahr <sup>[3]</sup>
- Energiekosten ca. 5-8 % der Herstellkosten bei Kunststoffverarbeitung <sup>[4]</sup>
- Einsparpotenzial teils 20%
  - Erhöhung Umsatzrendite von bis zu 1,5%
  - Gleicher Effekt bei Umsatzwachstum von ca. 20 % <sup>[4]</sup>

Im Weiteren: Konzentration auf Spritzgießen (von Thermoplasten)

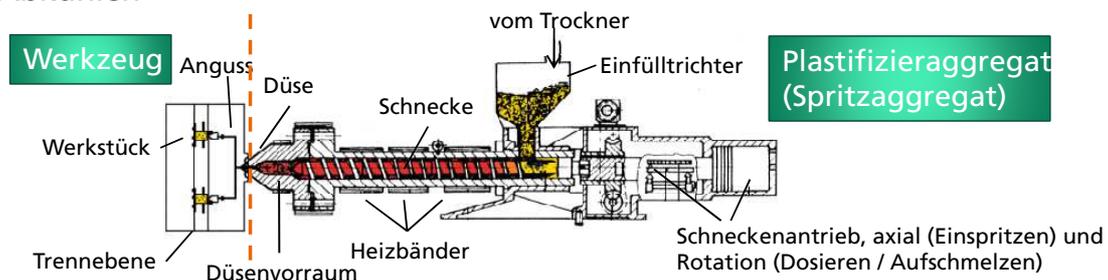
[1] stat. Bundesamt, VDMA  
[2] GKV (Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie)  
[3] Studie Fa. EUtech GmbH, 2000  
[4] A. Gehring, O. Stübs, M. Bastian in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

© Fraunhofer IPA



# Funktionsprinzip Spritzgießen

- Trocknen und Zufördern des Kunststoffgranulats
- Aufschmelzen des Granulats im Plastifizieraggregat, Wärmeeintrag durch Scherung (Schneckendrehung) sowie Heizbänder
- Einspritzen der hochviskosen Schmelze unter hohem Druck ins Werkzeug
- Abkühlen des Werkstücks bis zur Erstarrung und formstabilen Entformung, Unterteilung der Kühlphase in Nachdruck (Ausgleich der Schwindung), Dosieren (Schmelzevolumen für nächsten Schuss), Restkühlzeit
- Teileentnahme durch Öffnen Werkzeug, Anguss-Separierung, weiteres Abkühlen



© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**  
IPA

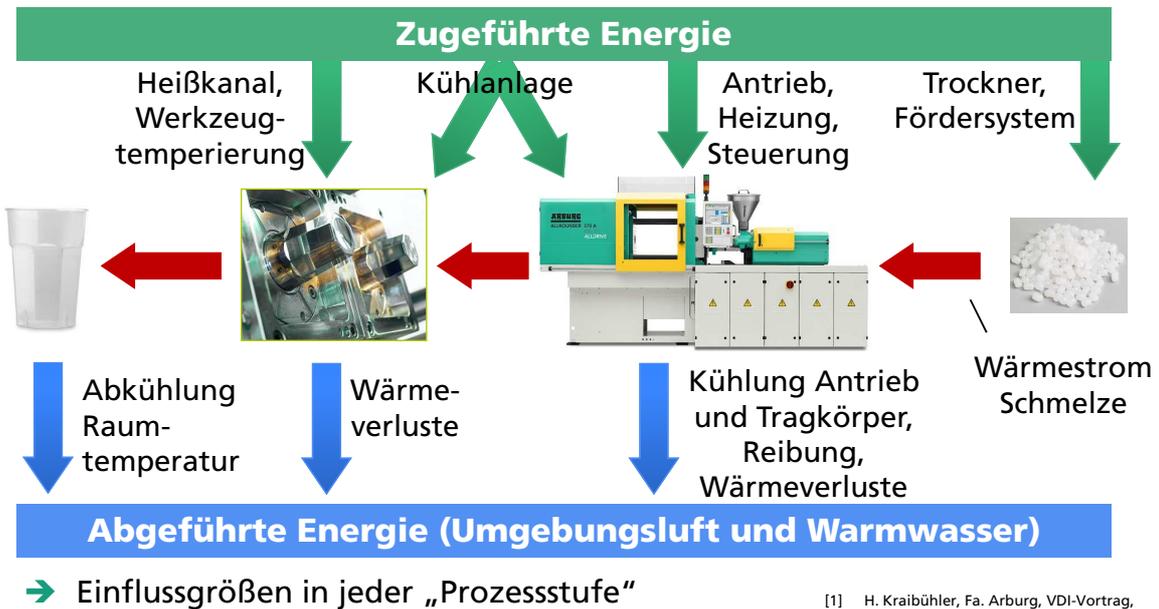
## wesentliche Prozessparameter

- Verwendeter Werkstoff (ABS, PA, PC, PE, PET, PMMA, PP, PPS, PS ...) bestimmt maßgeblich die anderen Parameter
- Trocknungsdauer und -temperatur 0 bis 20 h, 40 – 150 °C
- Aggregat/ Schmelzetemperatur: ca. 150 – 340 °C
- Werkzeugtemperatur: ca. 20 – 140 °C (Medium: Wasser oder Öl) als Medium)
- Einspritzdruck bis > 2000 bar
- Schließkraft 125 – 40.000 kN
- Werkzeuggewicht 20 kg bis mehrere Tonnen
- Teilgewicht 2 mg bis 40 kg
- Zykluszeit 1 Sekunde bis > 10 Minuten
- Sehr breites Spektrum, entsprechend der Vielzahl an Anwendungen

© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**  
IPA

# Energieflüsse beim Spritzgießen [1]



© Fraunhofer IPA

**Fraunhofer**  
IPA

## Anlagen und Komponenten

- Förder- und Trocknersystem
- Spritzgießmaschine mit Hauptkomponenten
  - Plastifizieraggregat
  - Antriebe (Werkzeug auf/zu, Auswerfer, Kernzug, Aggregat, Schnecke linear, Schnecke rotatorisch)
  - Steuerung
- Werkzeug (evtl. inkl. Heißkanalsystem oder lokalen Temperierelementen)
- Temperier- und Kühlsysteme
- Weitere Peripherie
  - Handlingsysteme (für Einlegen, Montage, Zuführen, Entnahme...)
  - Mühlen
  - Inspektionssysteme
  - etc.



Quelle: koch-technik.com



Quelle: gwk.com



Quelle: arburg.de

© Fraunhofer IPA

**Fraunhofer**  
IPA

# Potenziale

## ■ Effizienzverbesserung durch

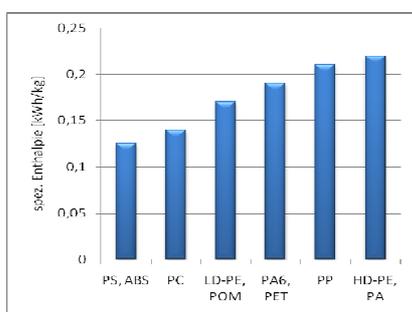
- Erhöhung der Einzelwirkungsgrade von Komponenten, Maschinen und Anlagen
- Optimierung der Prozesseinstellung
- Nutzung der Abwärme durch intelligente Maßnahmen
- Organisatorische Maßnahmen, z.B. paralleles Rüsten, Standby, Puffer etc.

## Folgen

- Höhere Komplexität von Energienutzungskonzepten
- Abhängigkeiten zwischen Gebäudenutzung und Produktionsbetrieb
- Engere Zusammenarbeit verschiedener Bereiche notwendig, z.B. Fabrikplanung, Produktion, Gebäudetechnik

# Energetische Kennzahlen (I)

## ■ Spezifische Enthalpie $h$ verschiedener Kunststoffe [1]

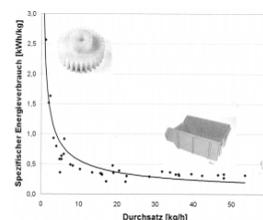


Theoretische Aufschmelzwärme für 1 kg Material

## ■ Spezifischer Energieverbrauch $e$ , SEC (specific energy consumption) [2]

$$e = SEC = \frac{P_{\text{Wirk}}}{\dot{m}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{\text{Wirk}} dt}{M_{12}} = \frac{E_{12} [kWh]}{M_{12} [kg]}$$

## ■ Einfluss Massedurchsatz auf SEC [2]



## ■ Gesamtwirkungsgrad $\eta$

$$\eta = \frac{\text{Enthalpieh}}{\text{Energieverbrauche}}$$

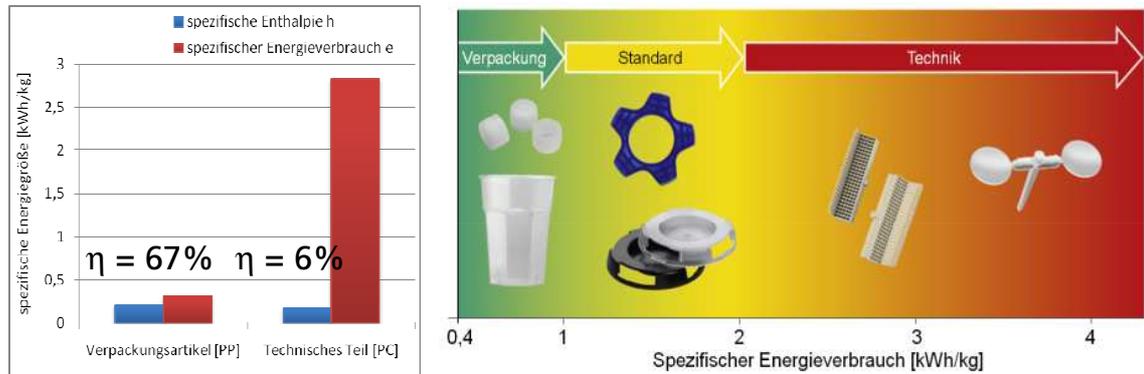
## ■ Viele weitere Kenngrößen möglich

- Kälte-Leistungszahl (Kälte pro Stromverbr.)
- Energiekosten bezogen auf Umsatz
- etc. ...

[1] M. Hoyer, Fa. Arburg, in VDI-Konferenz „Energieeffizienz in der Kunststoff verarbeitenden Industrie“, 2010  
 [2] A. Gehring, O. Stübs, M. Bastian, Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) Würzburg, in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

# Energetische Kennzahlen (II) [1]

## ■ Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs für verschiedene Produktklassen



Hauptgründe: wanddickenbedingte Kühlzeitunterschiede verbunden mit „Stillstands“-Verlusten, z.B. in Form von Wärmeabstrahlung

- Kenngrößen für Energieeffizienz stark produktabhängig  
Vergleichbarkeit nur für ähnliche Teile gegeben!
- Energieanteile für verschiedene Phasen stark prozessabhängig

## MASCHINENAUSRÜSTUNG

# Vergleich Maschinenkonzepte (I)

## ■ Vollhydraulische Maschine

- Zentrale Hydraulikpumpe
- Hohe Energie- bzw. Kraftdichte
- Gute Dezentralisierbarkeit der Verbraucher
- Geringe Anschaffungskosten
- Erwiesene Langlebigkeit (> 20 Jahre)
- Mittlerer Gesamtwirkungsgrad \*)

## ■ Vollelektrische Maschine

- Separate Elektromotoren für jede Achse
- Hohe Anschaffungskosten
- Im Vergleich zu Hydraulikmaschinen deutlich größere *Anschlussleistung*
- Noch keine Aussagen zu Langlebigkeit, da relativ neu
- Guter Wirkungsgrad \*)

## ■ Hybridmaschine

- Basis ist hydraulische Maschine
- Ersetzen einzelner (großer) Verbraucher durch Elektromotor, insbes. Dosiermotor

\*) Wirkungsgrad insbesondere abhängig von Anzahl der Komponenten zwischen Energieeinspeisung und Bewegung, Einfluss der Auslastung des Spritzaggregats

# Vergleich Maschinenkonzepte (II)

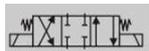
## ■ Wirkungsgrade hydraulischer...



Motor  $\eta_1$



Pumpe  $\eta_2$



Ventil  $\eta_3$



Hydromotor  $\eta_4$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Ges}} &= \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \\ &= 0,86 * 0,85 * 0,9 * 0,72 \\ &= 0,47 \\ &\text{je nach Quelle:} \\ &\quad \sim 0,45 \dots 0,7 \end{aligned}$$

## ■ ...und elektrischer Dosierantrieb



Servoregler  $\eta_1$



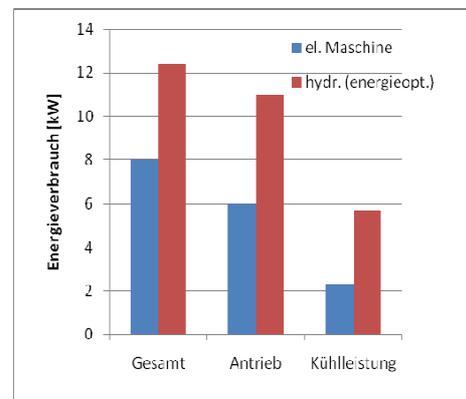
Motor  $\eta_2$



Getriebe  $\eta_3$  \*)

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Ges}} &= \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 \\ &= 0,96 * 0,92 * 0,85 \\ &= 0,75 \\ &\text{je nach Quelle:} \\ &\quad \sim 0,7 \dots 0,8 \end{aligned}$$

## ■ Vergleich Energieverbrauch [1]

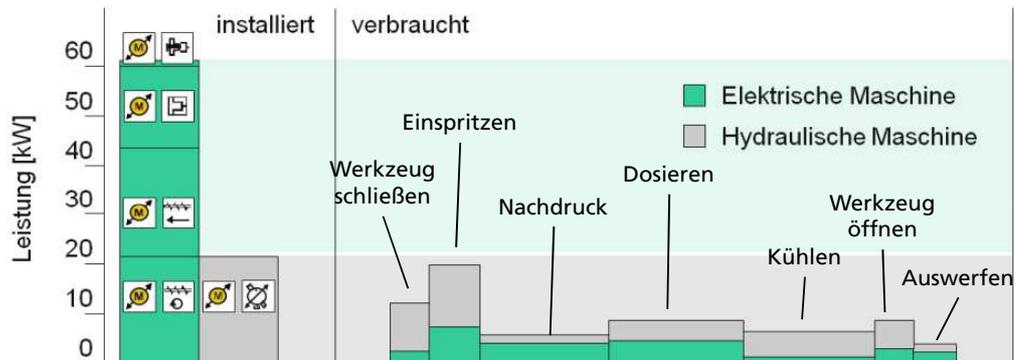


\*) entfällt bei elektrischen Direktantrieben

[1] H. Kraibühler, Fa. Arburg, VDI-Vortrag, 12.2.2009, Stuttgart

# Vergleich Maschinenkonzepte (III)

## ■ Vergleich der installierten Leistung [1]



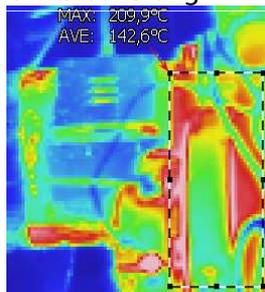
- ➔ Installierte Leistung (= Summe Einzelantriebe) bei elektr. Maschine viel höher, prozessbedingt sind aber nie alle Motoren gleichzeitig in Bewegung
- ➔ Energieverbrauch geringer als bei hydraulischer Maschine
- ➔ Unterschiedlicher Leistungsbedarf der einzelnen Prozessphasen

[1] H. Kraibühler, Fa. Arburg, VDI-Vortrag, 12.2.2009, Stuttgart

# Reduzierung der Wärmeverluste des Aggregats (I)

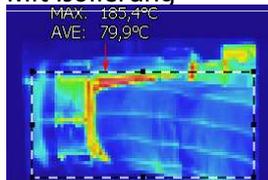
- Teil- oder Vollisolierung des Aggregats durch Isoliermanschetten
- Reduktion von Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung
- Einsparung von 15-45% der Heizenergie [1]
- Einsparung von 5-10% der Gesamtenergie bei exemplarischem Bauteil aus PC [2]
- Dokumentation der Wirksamkeit durch Thermographie-Kamera

Ohne Isolierung

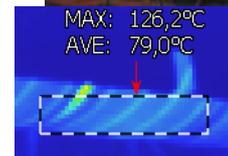


(andere Spritzgießmaschine)

Mit Isolierung



Blick auf Düse\*)



Heizbänder von unten\*)

\*) Bilder aus IPA-Projekt TEEM bei Pilotprozess Fa. Kärcher

[1] R. Neugebauer et al.: BMBF-Studie EffPro – Energieeffizienz in der Produktion, Fraunhofer-Gesellschaft München, 2008  
[2] A. Gehring, O. Stübs, M. Bastian, Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) Würzburg, in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

---

# Reduzierung der Wärmeverluste des Aggregats (II)

---

- „Low-cost“-Variante: Abschirmblech über Heizbändern und Düse
    - Deutliche Reduktion von Wärmeverlusten durch Konvektion
    - Einsparung von bis 10% der Heizenergie <sup>[1]</sup>
  - Einsatz alternativer Heizsysteme (z.B. Induktionsheizung)
- Einsparpotenzial abhängig von konkreten Prozessparametern,  
→ Größere Effekte bei höheren Zylindertemperaturen und längerer Zykluszeit (aufgrund des höheren Anteils der Grundlast am Gesamtenergieverbrauch)

Weitere Nebeneffekte:

- Schnellere Verfügbarkeit nach Anschalten der Maschine
- Verbesserung des Raumklimas in der Fertigung, Reduzierung der notwendigen Kühlleistung der Klimatisierung (z.B. bei Medizintechnik)

[1] Pers. Gespräche an der HS Rosenheim, Fachrichtung Kunststofftechnik

---

# Fazit Maschinenausrüstung

---

- Energieeffiziente Maschinenteknik ist verfügbar
- Möglichkeiten der Optimierung auch bei bestehenden Anlagen (z. B. Druckspeicher, Isolierung, elektr. Dosierantrieb...)
- Wichtig ist passende Auswahl der Maschine zum Produkt in Hinblick auf Plastifizierungsvolumen, Schließkraft und Werkzeuggröße
- Maschinenhersteller sind diesbezüglich kompetente Ansprechpartner

**ARBURG**

**ENGEL**

*KraussMaffei*

*Battenfeld*

 **FERROMATIK  
MILACRON**  
*Europe*

 **NETSTAL**  
SWISS MADE

 **BOY**  
Spritzgiessautomaten

**HUSKY**

 **Sumitomo**  
SHI DEMAG

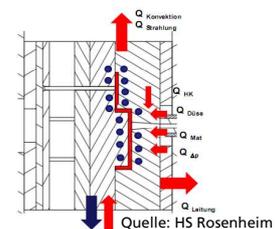
# WERKZEUGTECHNIK

© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**  
IPA

## Grundlagen Werkzeug

- Werkzeug ist ein großer Wärmetauscher
- Kunststoffschmelze erstarrt in Kavität zum Werkstück
- Verteilung der Schmelze über Kaltkanal (-> Anguss) oder beheizte Kanäle (Heißkanal)
- Temperierung des Werkzeugs mit Wasser oder Öl zum Abtransport der Wärme
- Integrierte Kühlkanäle führen die Temperiermedien
- Temperaturen sind werkstoffabhängig
- Temperaturführung ist entscheidend für Teilequalität
- Temperiergeräte sorgen für Volumenstrom der Medien und regeln deren Temperatur (Heizen / Kühlen)



Quelle: [www.polytec-kierspe.de](http://www.polytec-kierspe.de)



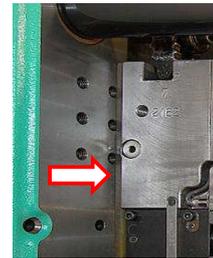
Quelle: Fa. gwk

© Fraunhofer IPA

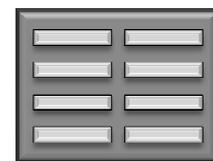
 **Fraunhofer**  
IPA

# Reduzierung der Wärmeverluste des Werkzeugs

- Wechseldruckstabile Wärmeisolierplatte zwischen Werkzeug und Aufspannplatten der Maschine
- Reduzierung der Wärmeableitung spart bis 55% der Heizenergie des Werkzeugs
- Interessant bei höher temperierten Werkzeugen (> 40°C)
- Ab ca. 80°C Isolierung der (zugänglichen) Seitenflächen zur weiteren Reduktion von Strahlung und Konvektion<sup>[2]</sup>
  
- Alternative zu Isolierplatten:  
Ausfräsungen in der Aufspannfläche zur Reduktion der Kontaktfläche (-> höhere Genauigkeit, einheitliche Wärmedehnungskoeffizient)



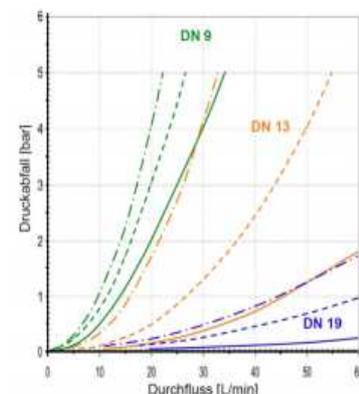
Quelle: [1]



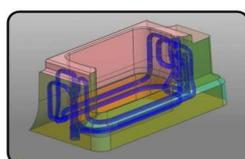
[1] H. Kraibühler, Fa. Arburg, VDI-Vortrag, 12.2.2009, Stuttgart  
 [2] A. Gehring, O. Stübs, M. Bastian, Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) Würzburg, in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

# Energieeffizienz im Werkzeug (I)

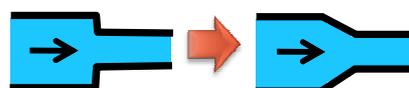
- Reduzierung der temperierten Massen, (isolierte Werkzeugeinsätze, Leichtbau...)
- Einsatz von Materialien mit hoher Wärme(ab)leitung
- Konturnahe Kühlkanäle
- Verringerung von Druckverlusten durch
  - Berücksichtigung der Schnellkupplungen
  - Größere Durchmesser der Kühlkanäle
  - Reduzierung sprunghafter Querschnittsänderungen



Druckabfall verschiedener Schnellkupplungen <sup>[1]</sup>



Konturnahe Kühlkanäle <sup>[1]</sup>

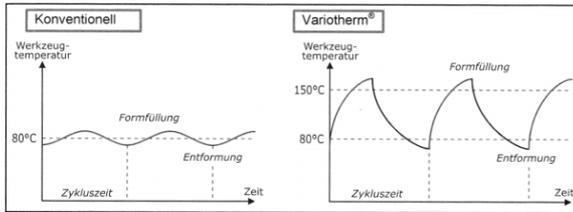


Reduktion sprunghafter Querschnittsänderungen<sup>[1]</sup>

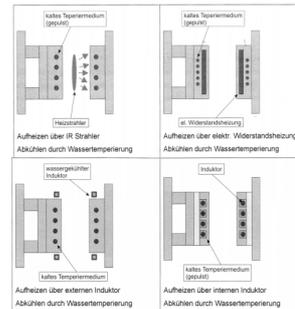
[1] S. Hofmann, Werkzeugbau Siegfried Hofmann, VDI-Konferenz „Energieeffizienz in der Kunststoff verarbeitenden Industrie“, 2010

# Energieeffizienz im Werkzeug (II)

- Einsatz variabler Temperaturführung [1-3]
  - Unterschiedlich temperierte Werkzeughälften
  - Integration zusätzlicher Heizelemente (z.B. Keramik)
  - Verwendung von Heizstrahlern zur Erhöhung der Oberflächentemperatur
  - Wechselweise Verwendung von heißen und kalten Medien



Grundprinzip variabler Temperaturführung im Werkzeug – Vergleich Konventioneller Spritzguss zu Variotherm Prozess [2]



[2]

[1] BMBF-Forschungsprojekt „SkForm“, 4/2007 – 9/2010 (Förderkennzeichen 02PU2320)

[2] S. Hofmann, Werkzeugbau Siegfried Hofmann, in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

[3] BMBF-Forschungsprojekt „ZuPrEff“, 5/2009 – 4/2012 (Förderkennzeichen 02PO2044)

## WEITERE KOMPONENTEN UND SCHNITTSTELLEN

# Temperiergeräte und -anschlüsse

- Umwälzen der Temperiermedien und Temperaturregelung
- Verwendung von Pumpen mit hoher Energieeffizienz (Pumpprinzip, Motor...)
- Isolieren der medienführenden Schläuche
- Ausreichend große Schlauchdurchmesser
- Vorbeugende Wartung und Reinigung zur Vermeidung von Rost und Kalk (Reduzierung des Wirkungsgrads der Wärmetauscher, auch im Werkzeug!)
- Ankopplung an Gebäudetechnik zur Ver-/Entsorgung von warmen und kühlen Flüssigkeiten
  - ➔ Einbindung in energetisches Gesamtkonzept eines Standorts



Bilder: gwk.com

© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**  
IPA

# Kältetechnik [1]

- Notwendig zur Kühlung von Werkzeugen und Maschinen
- Strombedarf für Kälteerzeugung häufig bei 5-10% des Gesamtstrombedarfs
- Einsatz energieeffizienter Maschinenteknik (Verdichter, Expansionsventil...)
- Überprüfung der Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen (Erhöhung Verdampfer-Temperatur von 1K: ca. 1-2% Energieeinsparung, Verminderung Kondensationstemperatur um 1K: ca 3-4% Energieeinsparung)
- Separate Kältemaschinen für verschiedene Temperaturniveaus
- Nutzung der Abwärme, z.B. Heizung Bürogebäude
- ➔ Einbindung in energetisches Gesamtkonzept eines Standorts



Bilder: gwk.com

[1] J. Meyer, P. Bonczek, Fa. Eutech/Siemens, in VDI-Konferenz „Energieeffizienz in der Kunststoff verarbeitenden Industrie“, 2010

© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**  
IPA

# Druckluftversorgung und Vakuumtechnik

- Druckluft ist die teuerste Energieform!
- Bedarfsgerechte Auslegung der Kompressoren / Pumpen
- Geregelt Bereitstellung entsprechend dem Bedarf
- Druckluftkompressoren mit hohen Wirkungsgraden, Abwärmenutzung
- Reduzierung von Leckagen im Druckluftsystem
- Abschalten von Teilnetzen z.B. nachts und am Wochenende
- Reduzierung des Netzdrucks
- Getrennte Netze für Hoch- und Niederdruckanwendungen
- Substitution von druckluftgetriebenen Bewegungen durch elektrische Antriebe (wo möglich)



Bilder:  
[www.festo.de](http://www.festo.de)

Weiterführende Informationen

[1] M. Jung, ING-JUNG Kassel, in VDI-Konferenz „Energieeffizienz in der Kunststoff verarbeitenden Industrie“, 2010

[2] Druckluft effizient, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovation, [www.druckluft-effizient.de](http://www.druckluft-effizient.de)

[3] Studie: P. Radgen: compressed Air Systems in the European Union, Ludwigsburg: Lob\_X Verlag 2001

## WERKSTÜCKKONSTRUKTION

---

# Einflüsse der Werkstückkonstruktion

---

- Materialauswahl (spez. Enthalpie, notwendige Temperaturen...)
- Materialeinsparung
  - Leichtbau
  - Versteifende Rippstrukturen zur Reduzierung der Wanddicken...
  - Beachtung des Fließweg-Wanddicken-Verhältnisses
  - Schäumverfahren, Fluidinjektionstechnik,...
- Toleranzen
- Minimierung der Anzahl der Fertigungsschritte z.B. durch
  - Mehrkomponentenspritzgießen
  - Montagespritzgießen
  - Einlegeteile
- Demontierbarkeit

## ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

# Organisatorische Maßnahmen

- Optimierung der Prozesseinstellung nach Qualität, Zykluszeit **und** Energieaufwand
  - Schmelztemperatur von 210°C auf 230°C → 10% Energieeinsparung <sup>[1]</sup>
  - Reduzierung der Werkzeuggeschwindigkeit (Einfluss von Gewicht und Reibung)
  - Werkzeugtemperatur
  - Nachdruckhöhe
- Vermeiden von Stillstandszeiten (z.B. Pausen, verkettete Stationen)
- Vorbeugende Instandhaltung
- Rüsten parallel zur Fertigung (z.B. „Vortemperierung“ von Werkzeugen)
- Ausschalten statt Standby (z.B. am WE),  
**aber:** gleichzeitiges Einschalten vieler Anlagen führt zu Stromspitzen  
-> höherer Leistungspreis
- Vermeidung von Materialwechsel durch Auftragsreihenfolge
- Reduktion von Ausschuss, Einsatz von Prozessüberwachungssystemen

[1] Prof. Dr.-Ing. T. Brinkmann, Impetus Plastics Engineering GmbH, Aachen, in VDI-Tagung „Spritzgießen 2010“

## Beispiel (aus IPA TEEM-Projekt): Großspritzgießmaschine bei Fa. Kärcher

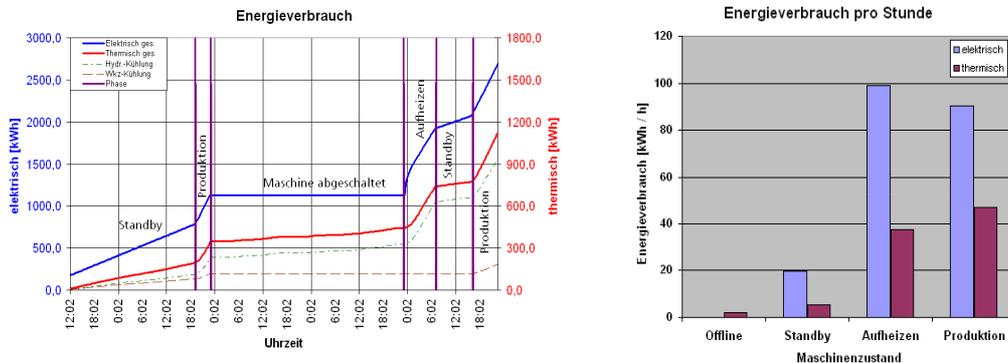
### Kenndaten der Anlage

- 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



# Analyse des Energieverbrauchs

- Energieverbrauch (elektrisch und thermisch) abhängig vom Maschinenzustand

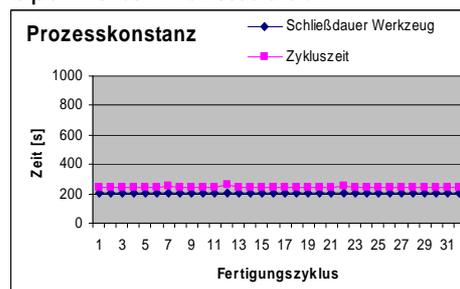
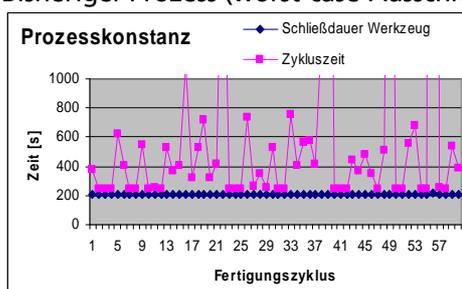


- Standby benötigt 20% (10%) der elektrischen (thermischen) Energie im Vergleich zur Produktion (trotz isolierter Heizbänder!)
- Beim Ausschalten die Zeit und Energie für Aufheizen berücksichtigen
- Organisation der Fertigung, so dass möglichst wenig Standby-Betrieb entsteht (z.B. Rüstzeiten, Maschinenstörung,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

# Organisatorische Effizienzmaßnahmen

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

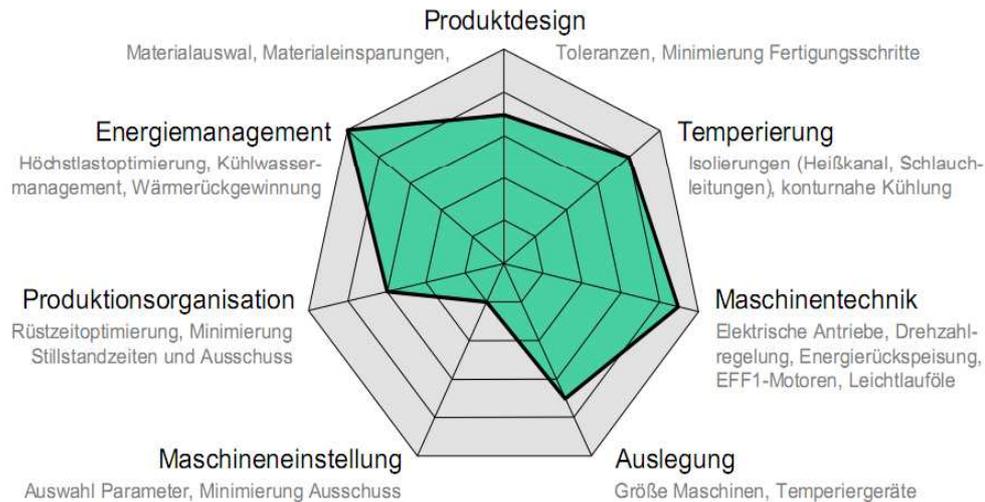
Bisheriger Prozess (worst-case-Ausschnitt)<sup>\*)</sup>    Optimierter Prozessablauf<sup>\*)</sup>



<sup>\*)</sup> Zahlen nur qualitativ (sensible Firmendaten)

# Zusammenfassung zur Energieeffizienz beim Spritzgießen

## ■ Optimierungspotenzial im Produktionsumfeld <sup>[1]</sup>



Ausblick

## LAUFENDE FORSCHUNGSARBEITEN AM IPA

# Forschungsprojekt: Zustandsabhängige Prozessführung für die energieeffiziente und ressourcenschonende Produktion von Kunststoffformteilen (ZuPrEff)

## Ziele:

- Reduktion des Energieverbrauchs beim Spritzgießen durch Optimierung von Einzelkomponenten und regelungstechnische Kopplung von Maschine und Werkzeug

## Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte:

- Energiebilanzierung und -monitoring
- Optimierung von Einzelkomponenten
- Modellbasierte Zustandsüberwachung von Schmelze und Werkzeug
- Komponentenübergreifende Regelung zur Reduktion bisher notwendiger Temperaturreserve

## Projekt:

- Laufzeit: 2009 – 2012
- 5 Projektpartner (3 Industrie, 2 Forschung)
- Gefördert durch BMBF im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“



# Forschungsprojekt: EcoExtrude – Energieeffiziente Extrusionsanlagen

## Ziele:

- Reduktion des Energieverbrauchs von Extrusionsanlagen, mit Fokus auf Einschnecken-Profilextrusionsanlagen

## Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte:

- Energiemonitoring
- Optimierung von Einzelkomponenten
- Sensorbasierte Prozessoptimierung
- Überwachungssystem

## Projekt:

- Laufzeit: 2010 – 2012
- 4 Projektpartner (2 Industrie, 2 Forschung)
- Gefördert durch BMBF im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“



---

# FQS-AiF-Forschungsprojekt: Adaptive Klassifikation zur Inline-Qualitätssicherung zyklischer Fertigungsprozesse

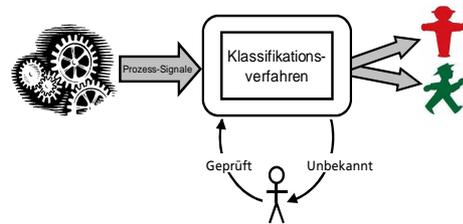
---

Ziele:

- Flexibles System zur modellbasierten Qualitätsüberwachung mit reduziertem Adaptionaufwand

Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte:

- Weiterentwicklung der NEPRES-Systemtechnik
- Reduzierung des Adaptionaufwands durch Einsatz von Active-Learning-Methoden
- Einsatz geeigneter Klassifikationsverfahren
- Verifikation an Pilotprozessen



Projekt:

- Laufzeit: 2009 – 2011
- Industriearbeitskreis mit sechs Partnerfirmen
- Gefördert durch BMWi im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF), Projektträger FQS-Forschungsgemeinschaft Qualität

 Fraunhofer  
IPA

 FQS

© Fraunhofer IPA

 Fraunhofer  
IPA

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!**

**FRAGEN?**

© Fraunhofer IPA

 Fraunhofer  
IPA

# ENERGIEEFFIZIENZ IN DER PRODUKTION

Werkzeuge, Methoden und Best-Practice-Beispiele zur nachhaltigen Senkung des Energieverbrauchs in der Produktion



Fraunhofer IPA Tagung  
15. März 2011  
Stuttgart