

Praxisbewährte Konzepte zur
Feuerungsleistungsregelung an
Anlagen zur therm. Abfallbehandlung

SAR GmbH

Prozess- und Umwelttechnik

Martin H. Zwiellehner



- Beratung, Gutachten
- Prozessplanung & Engineering
- Risikoanalysen, SIL-Bewertung
- Auswahl, Lieferung und Montage der E-MSR-Geräte
- Hydraulikanlagen, Rosthydraulik
- Elektroplanung, Schaltschrankbau
- Prozessleittechnik
- Montage & Inbetriebnahme
- Schulung, Service, Fernwartung



• Feuerungsoptimierung, Feuerungsleistungsregelung für thermische Abfallbehandlungsanlagen

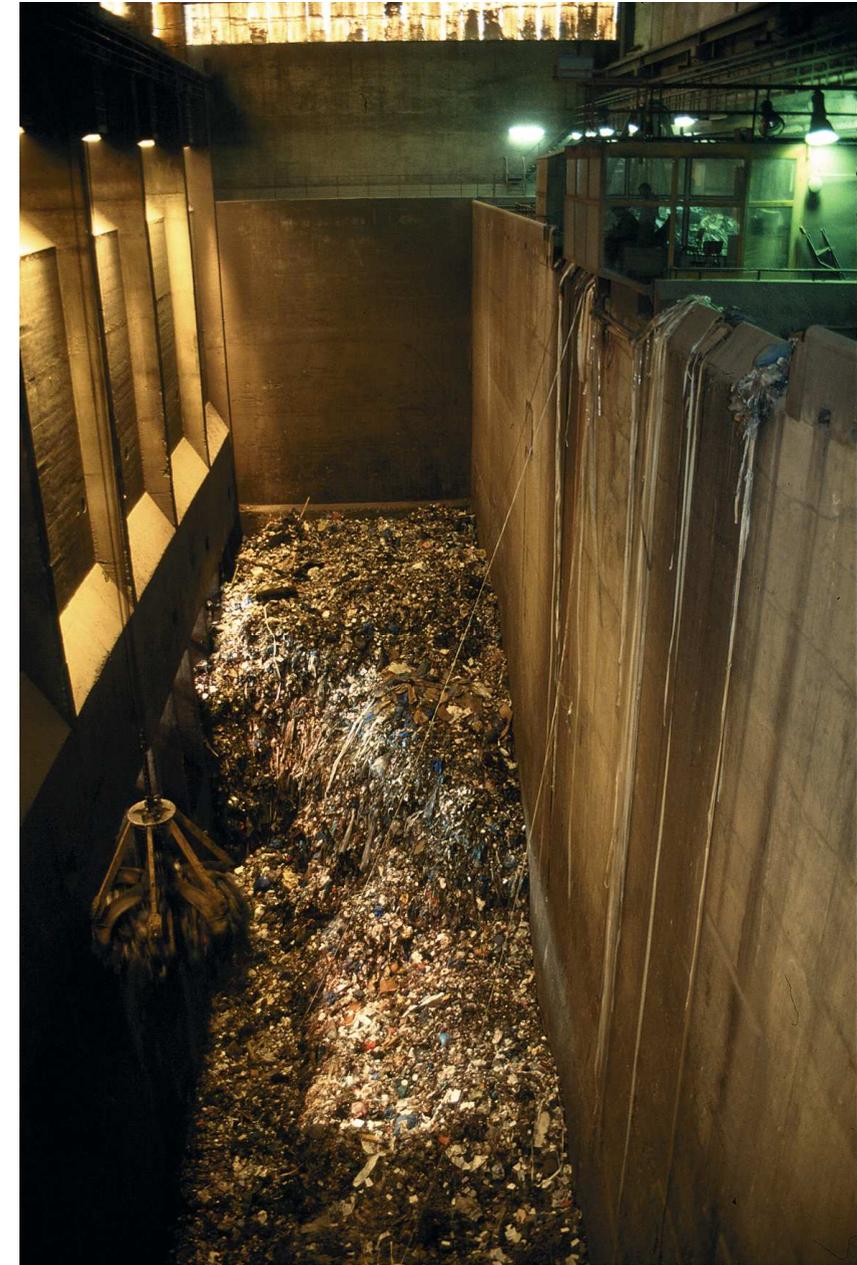
- 1.) Einleitung, Problemstellungen
- 2.) „Schlüssel zum Erfolg“: Kombination Aktorik – Sensorik
- 3.) Stand der Technik im Bereich Feuerungsregelungen
- 4.) Stand der Wissenschaft im Bereich Feuerungsregelungen
- 5.) Ausblick / Stand der Wissenschaft

Die dominierende Störgröße bei der Regelung von Feuerungsprozessen mit Restabfall ist der Brennstoff :

- Variabler Gehalt an Brennbarem,
- variabler Wassergehalt,
- variabler Anteil Inertmaterial,
- variable Körnung bzw. Schüttdichte.



Für keine der o.g. Größen ist eine betriebstaugliche online-Messung verfügbar.



- Große Verzögerungszeiten zwischen Stelleingriff und Prozessreaktion,
- Begrenzte Änderungsgeschwindigkeit der Stellglieder,
- Engpässe in der anlagen- und verfahrenstechnischen Auslegung der Anlage,
- Störbehaftete Messwerte oft geringer Qualität,
- Störeinflüsse durch betriebliche Einrichtungen ...

... beschränken die Dynamik und Präzision der Regeleingriffe ebenso, wie die Beachtung der Anforderung an eine

- möglichst verschleissarme Stellgliedansteuerung sowie eine
- Materialschonung des Rostbelags.

Keine qualitativ zufriedenstellende Aussage über Heizwert, Zündwilligkeit und Verbrennungsverhalten des auf dem Rost befindlichen Brennstoffs

Reproduzierbarkeit unendlich vieler Stellgrößenkombinationen und den daraus resultierenden Prozessreaktionen nicht zuverlässig gegeben

Heizwertbilanzierung liefert grundsätzlich Vergangenheitswerte und kann nur zur Korrektur langsamer und langfristiger Heizwertschwankungen regelungstechnisch herangezogen werden

Warum ist die Feuerungsregelungstechnologie so essentiell?

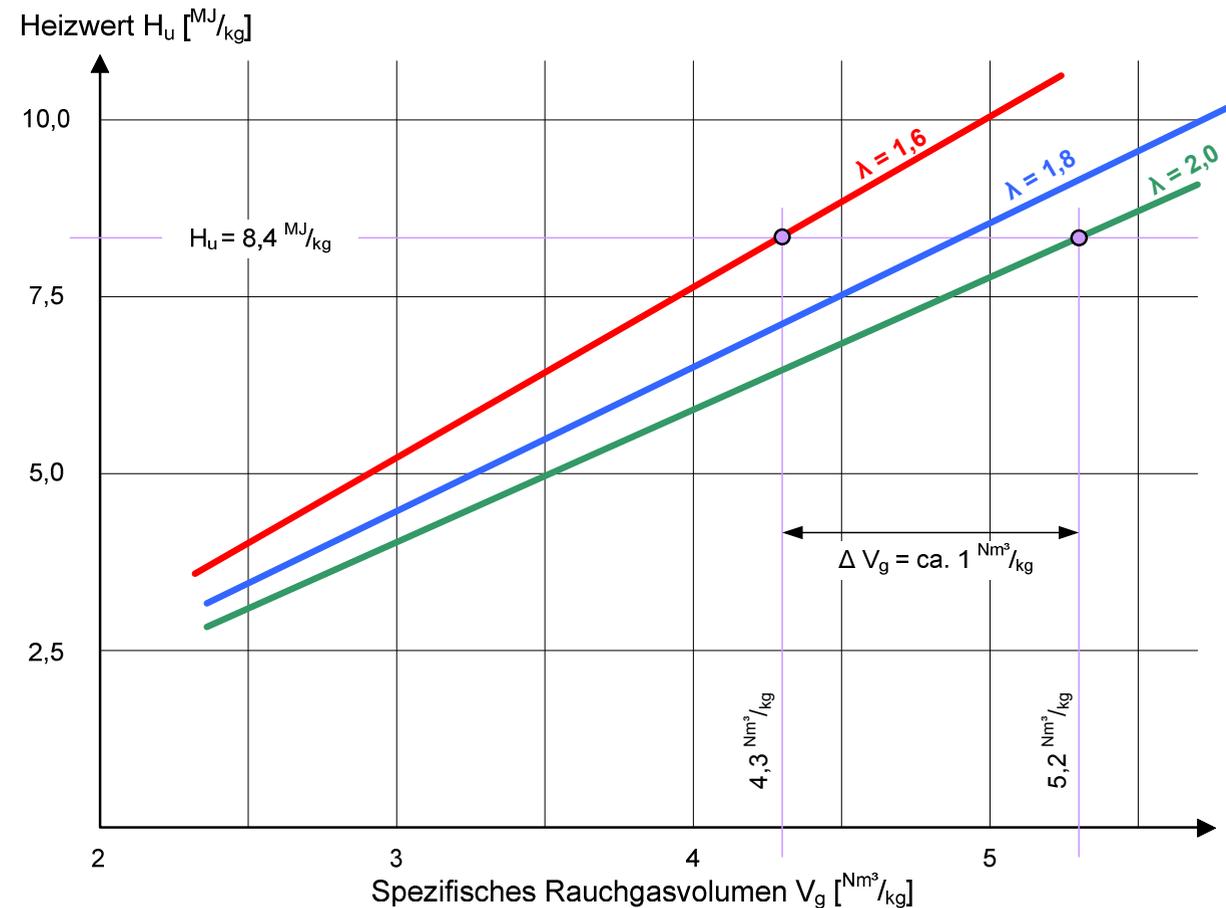
Feuerungsregelung = einzige verfahrenstechnische Primärmaßnahme, mit der nach baulicher Fertigstellung einer Anlage, dynamisch großer Einfluss auf die Feuerführung genommen werden kann.

Feuerführung \triangleq u.a. Energieeffizienz und Schadstofffreisetzung, Qualität des Ausbrands.

Feuerungsregelung = vergleichsweise niedrige Realisierungskosten und verursacht keine laufenden Betriebskosten.

→ Die Feuerungsregelung ist eine „Schlüsseltechnologie“ im Verbrennungsprozess von Haus- und Gewerbemüll, Ersatzbrennstoffen und Biomasse.

Eine optimal adjustierte Feuerungsregelung kann wesentlich zur Steigerung von Effizienz und Wirtschaftlichkeit einer Anlage, sowie zur Minimierung von Emissionen beitragen → Bsp.: λ



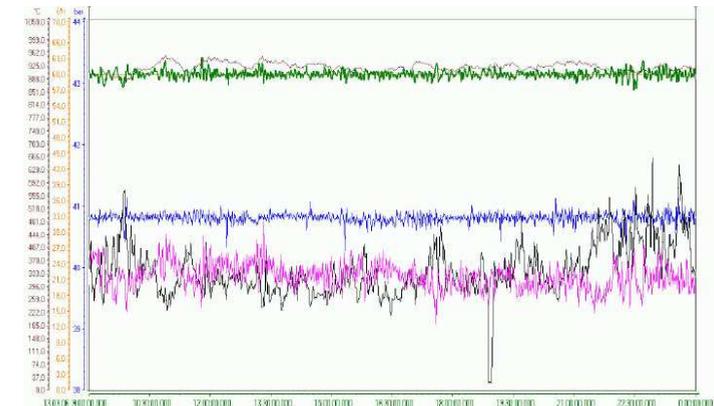
Ziele:

- konstanter Dampfmassenstrom
 - höherer Mülldurchsatz durch dauerhaften Betrieb mit Nennlast
- Reduzierung feuerungsabhängiger Rauchgas-Emissionen (roh)
 - Minimierung des CO-Gehaltes
 - Vermeidung von thermischen NO_x
 - Verringerung der Staubfracht
- geringer Verbrennungsluft-Überschuss
 - vereinfacht die Einhaltung der Mindestverbrennungstemperatur
 - reduziert den Rauchgasvolumenstrom
- hohe Schlacke-Ausbrandqualität

Die Forderung nach einer möglichst konstanten Dampfmenge entspricht der „klassischen“ Aufgabenstellung einer FLR.

Mit einer konstanten Dampfproduktion gehen mehr oder weniger „automatisch“ gleichmässige Feuerungsbedingungen einher.

Eine präzise Regelung ohne ausgeprägte Überschwinger erlaubt permanenten Betrieb mit der Dampferzeuger-Nennlast, ohne dabei Gefahr zu laufen, z.B. den zulässigen Trommeldruck zu überschreiten.



Ziele:

- konstante Dampfmenge
 - höherer Mülldurchsatz durch dauerhaften Betrieb mit Nennlast
- Reduzierung feuerungsabhängiger Rauchgas-Emissionen (roh)
 - Minimierung des CO-Gehaltes
 - Vermeidung von thermischen NO_x
 - Verringerung der Staubfracht
- geringer Verbrennungsluft-Überschuss
 - vereinfacht die Einhaltung der Mindestverbrennungstemperatur
 - reduziert den Rauchgasvolumenstrom
- hohe Schlacke-Ausbrandqualität
- hohe Gas-Ausbrandqualität

Dabei zu berücksichtigen:

- „schonende“ Fahrweise:
 - Einhaltung von:
 - Mindest-Luftmengen (Kühlung der Roststäbe und Luftdüsen)
 - Brennbett-Schichtdicke (reduzierte mechanische und Wärmebelastung des Rostes)
 - Vermeidung von:
 - zu hohen Feuerraumtemperaturen (Asche-Schmelzpunkt, Verschlackung)

Optimierungs-Ziele

Ziele:

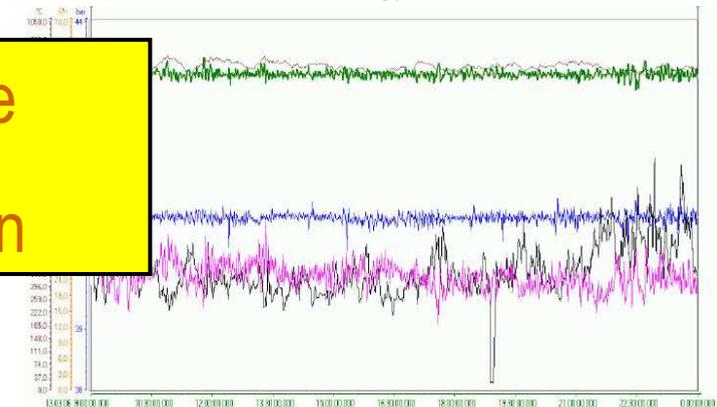
- konstante Dampfmenge
 - höherer Mülldurchsatz durch den offenen Betrieb
 - Betrieb mit Nennlast
- Reduzierung feuerungsspezifischer Rauchgas-Emissionen (NO_x, SO₂, CO)
 - Minimierung des CO-Gehaltes
 - Vermeidung von thermischen NO_x
 - Verringerung der Staubfracht
- geringer Verbrennungsluft-Überschuss
 - vereinfacht die Einhaltung der Mindestverbrennungstemperatur
 - reduziert den Rauchgasvolumenstrom
- hohe Schlacke-Ausbrandqualität

Dabei zu berücksichtigen:

- „schonende“ Fahrweise:
 - Einhaltung von:
 - Rest-Luftmengen (abhängig von der Roststäbe und Luftdüsen)
 - Schlackenschichtdicke
 - Vermeidung mechanischer und Wärmebelastung des Rostes
 - Vermeidung von:
 - zu hohen Feuerraumtemperaturen (Asche-Schmelzpunkt, Verschlackung)



Es sind praxisgerechte Kompromisse zu finden



Ziele

hohe und konstante Dampfproduktion
minimierte Schadstoffemissionen
hohe Ausbrandqualität der Gase u. Schlacke
materialschonende Fahrweise



Es gilt also praxisgerechte Kompromisse zu definieren :

In erster Linie Konzentration auf grundlegende Regelkreise mit möglichst eindeutigen und v.a. reproduzierbaren Abhängigkeiten.

Prozess-Messgrößen geringerer Qualität oder daraus berechnete Hilfsregelgrößen in geeigneter Weise ergänzend mit einbeziehen.

Konsequente Berücksichtigung möglicher Störungen und Ausfälle von Sensorsignalen ergeben ein fehlertolerantes Gesamtsystem.

Nur die richtige Kombination aus Sensorik und Aktorik führt zum Erfolg.

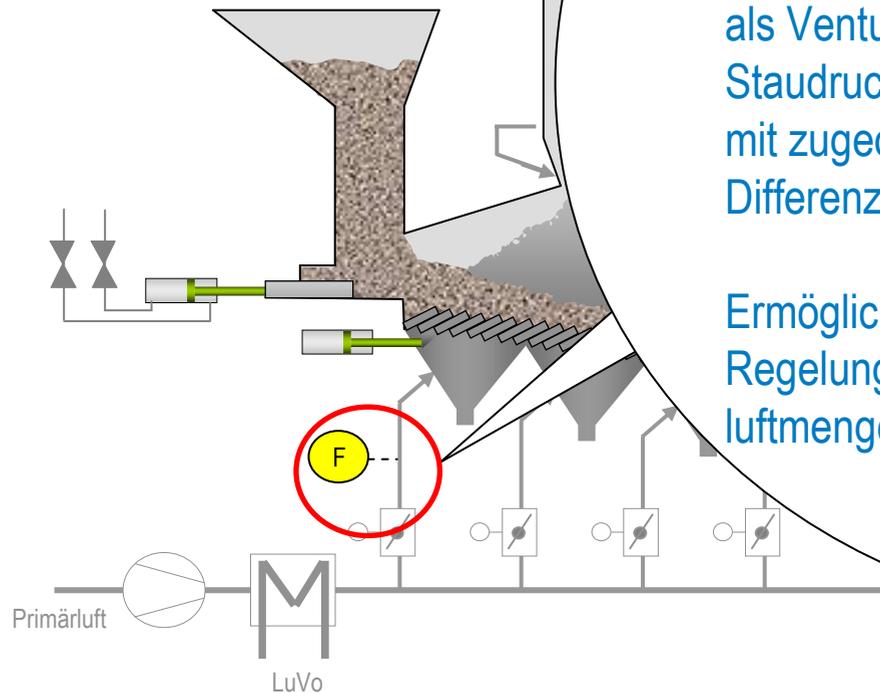
- Keine „Schubladenlösung“, sondern eine maßgeschneiderte, anlagen- und aufgabenspezifische Lösung.
- Nachträgliche, aufwandsarme Einbindung zusätzlicher Sensorik und Aktorik möglich.
- Transparenz und Reproduzierbarkeit der Regelungs-Stellgrößen.
- Wirksame und praxisgerechte Möglichkeiten für manuelle Eingriffe des Bedienpersonals.
 - Verwaltung mehrerer Parametersätze für Sonderzustände, andere Brennstoffe etc.
 - Alle relevanten Parameter frei zugänglich – „Parametrieren statt Programmieren“.



- Geeignete und aufeinander abgestimmte Kombination aus Sensorik und Aktorik.





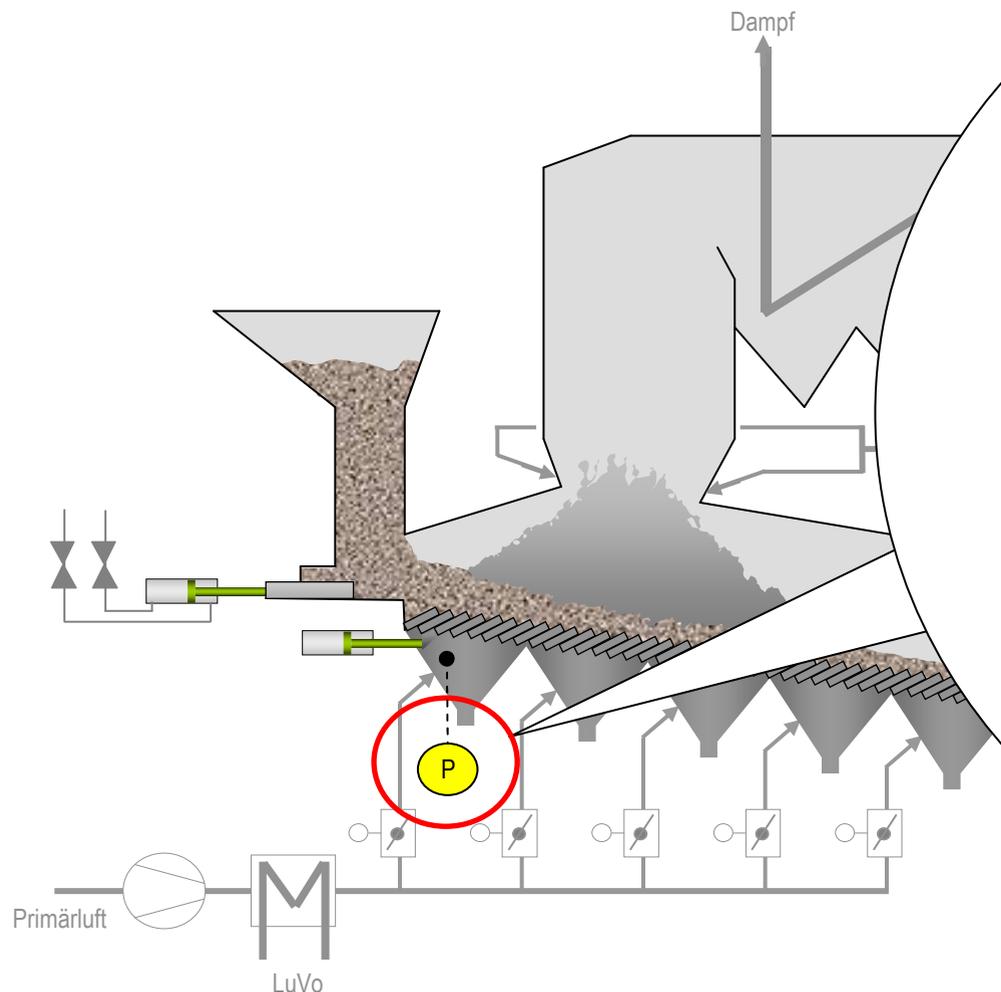


Luftmengenmessungen für Gesamt- und / oder Teilluftströme

Ausgeführt z.B. als Venturirohr oder Staudrucksonde mit zugeordnetem Differenzdrucktransmitter

Ermöglichen die präzise Regelung der Verbrennungsluftmengen

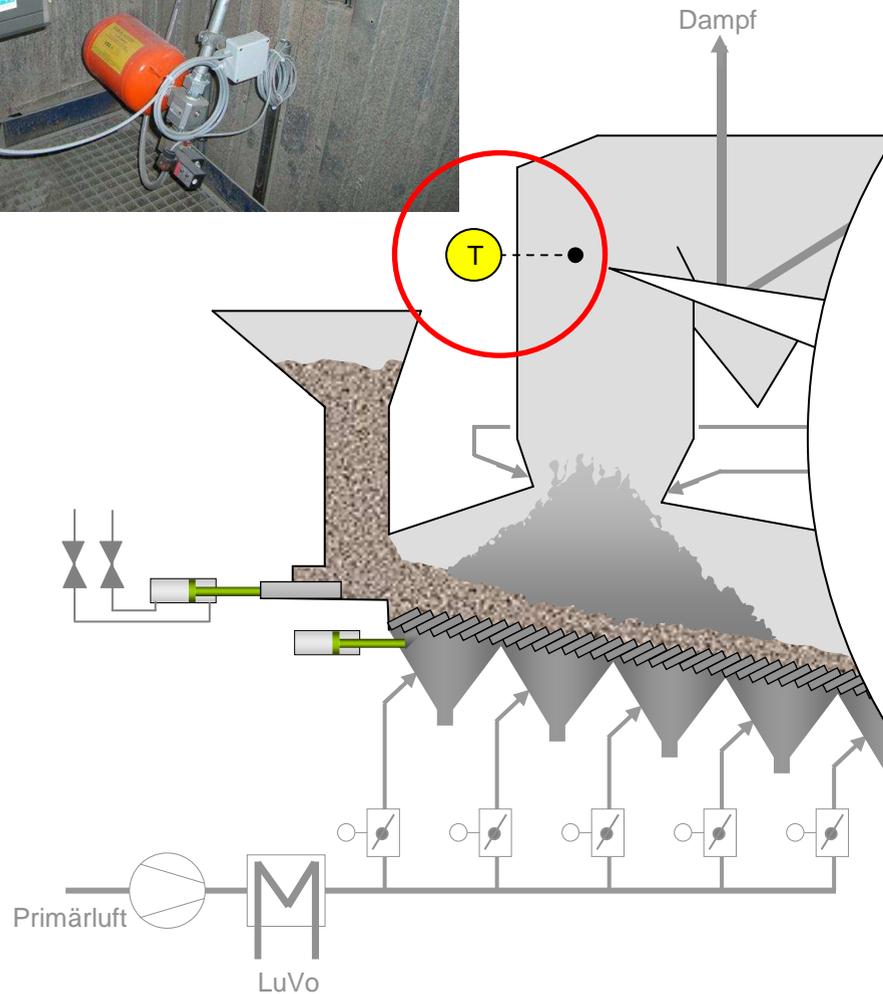




Die Messung der Primärluftpressung unter dem Rost in der ersten Luftzone (oder mehreren Zonen im vorderen Rostbereich) erlaubt Rückschlüsse auf die dortige Müll-Schichtdicke. Dabei erfolgt eine Korrekturberechnung anhand der eingebrachten Luftströme.



Der erhaltene Wert ist als zusätzliche Regelgröße zur Beeinflussung von Beschick- und Rostgeschwindigkeit geeignet.

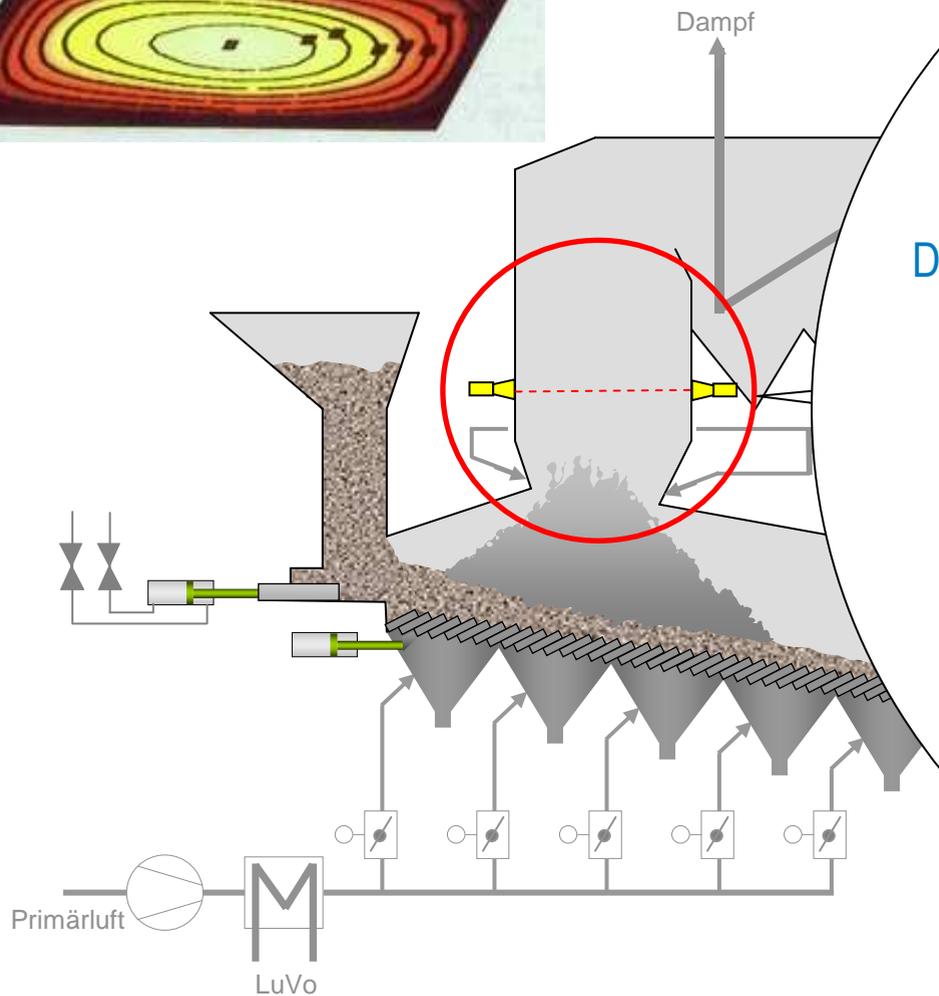
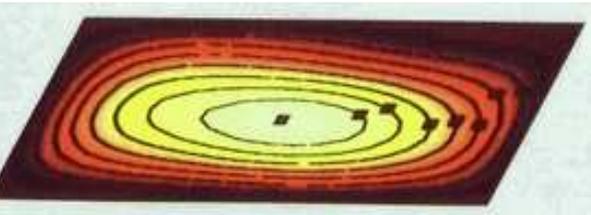
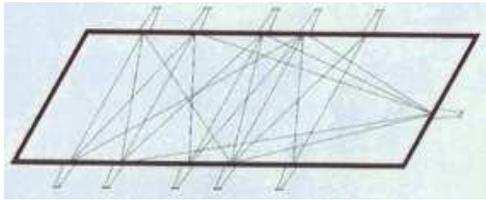


Infrarot-Pyrometer detektieren Rauchgas- oder Festkörpertemperaturen aufgrund des Messprinzips fast verzögerungsfrei.

Der Geschwindigkeitsvorteil gegenüber Thermoelementen und der Dampfmengenmessung ist markant und auch regelungstechnisch verwertbar.

Bei geeigneter Auslegung und Anordnung kann dieser Sensortyp auch Informationen über die Feuerlage liefern.

Der Detektionsbereich hängt vom verwendeten Objektiv ab und kann im Betrieb nicht verändert werden.

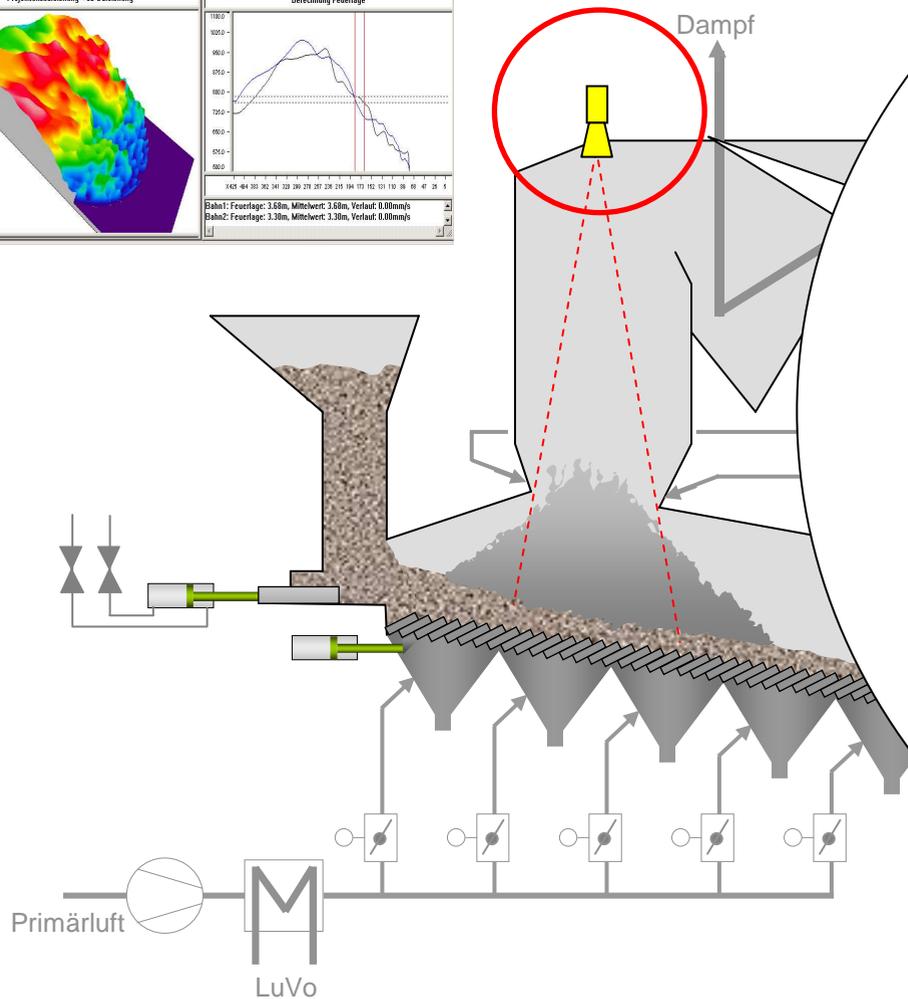
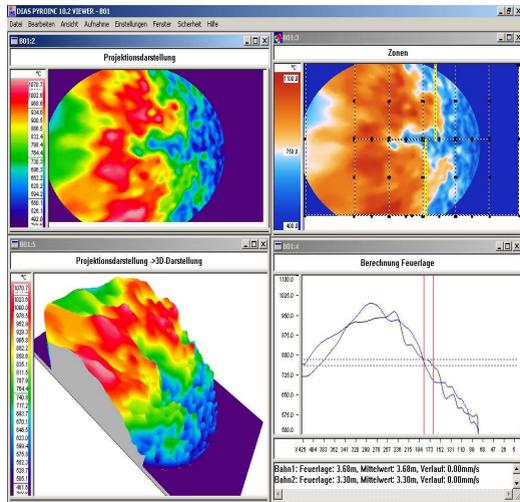


Die akustische Temperaturmessung nutzt den Effekt der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in Gasen und besitzt nach erfolgter Kalibrierung eine dauerhaft hohe, absolute Genauigkeit.

Das System kann mit mehreren Messpfaden arbeiten und mittels geeigneter Rechenverfahren daraus eine flächenhafte (geometrisch interpolierte) Temperaturinformation bilden.

Ein PC ist zwingend notwendig, als Betriebsmedium wird Druckluft benötigt.





Das Messprinzip ist vergleichbar mit demjenigen der Infrarotpyrometer, jedoch liefert die Kamera räumlich hochaufgelöste, zweidimensionale Messwerte mit hoher Messrate.

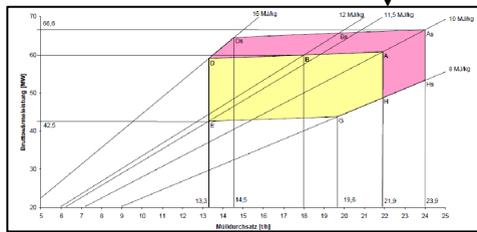
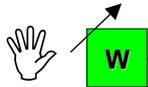
Zur Auswertung und Aufbereitung der Primärinformationen für Regelungszwecke ist zwingend ein PC notwendig.

Da hierbei die Festkörpertemperaturen des Brennbettes erfasst werden, lassen sich Korrekturingriffe sowohl auf die Primärluftverteilung als auch auf die Rostgeschwindigkeiten daraus ableiten.

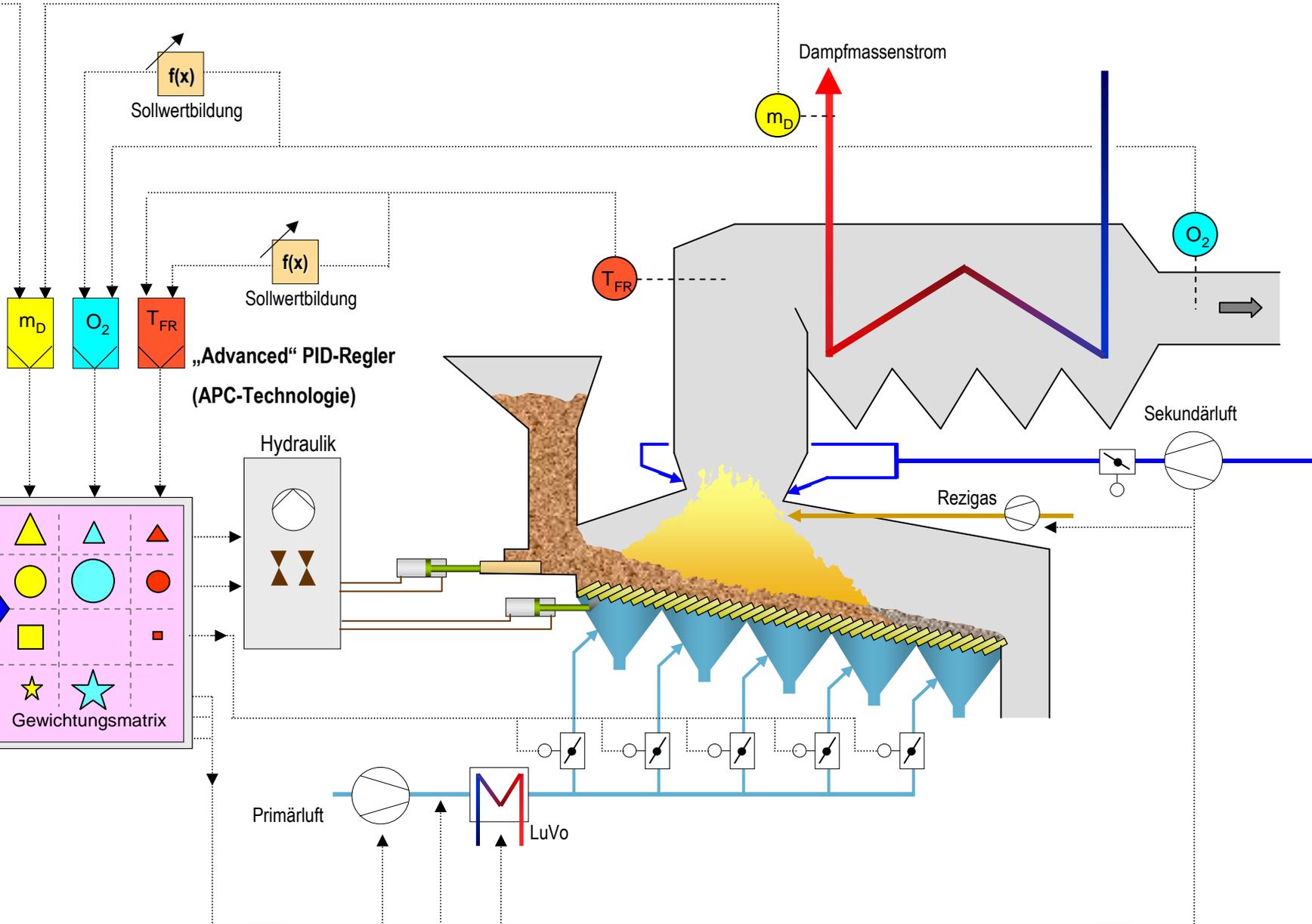


SAR-Feuerleistungsregelung – Regelschema (stark vereinfacht)

Leistungs-Sollwert (i.d.R. Dampfmassenstrom-Sollwert)



Statische Vorsteuerung gem. FLD



Vertrimm-möglichkeiten

Was bedeutet nun eigentlich „praxisbewährt“ ?

Unsere Erfahrungen aus über 15 Jahren Feuerungsautomatisierung und dabei über 40 erfolgreich automatisierten und optimierten Verbrennungslinien:

- Es gibt keine Standardkonfiguration für die Sensorik-Aktorik-Kombination – keine 2 Anlagen sind gleich.
- Der Betreiber muss die bei ihm eingesetzte „Schlüsseltechnologie FLR“ verstehen können und sein Expertenwissen ohne Dritte einbringen können (flexibler und transparenter Aufbau des Systems).
- Die vom Kunden geforderten Beschaffenheitsmerkmale für die FLR müssen realistisch sein, denn eine Feuerleistungsregelung kann keine Wunder verrichten.
- Konventionelle PID-Regler sind (noch) keinesfalls veraltet oder rückständig, sondern erleben durch APC- (Advanced Process Control) Maßnahmen eine Renaissance.

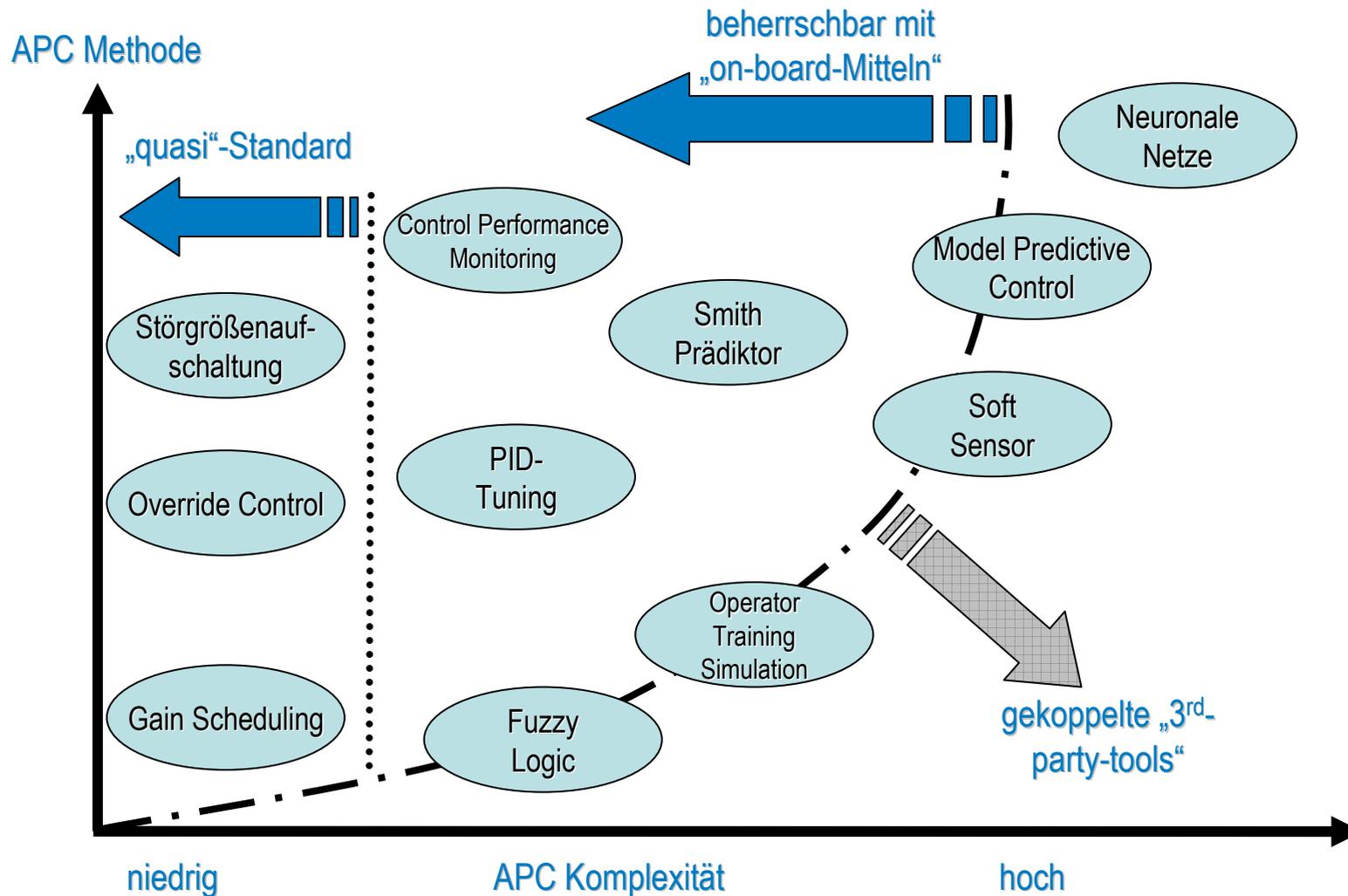
Kommt aus der Prozesstechnik (Pharma, Chemie, Petrochemie), breitet sich mittlerweile aus auf die Kraftwerkstechnik.

APC „auf Deutsch“ = gehobene Methoden der Prozessführung bzw. gehobene Regelungsverfahren.

APC = Vorgehensweise, die auf eine Verbesserung der Prozessführung ausgerichtet ist.

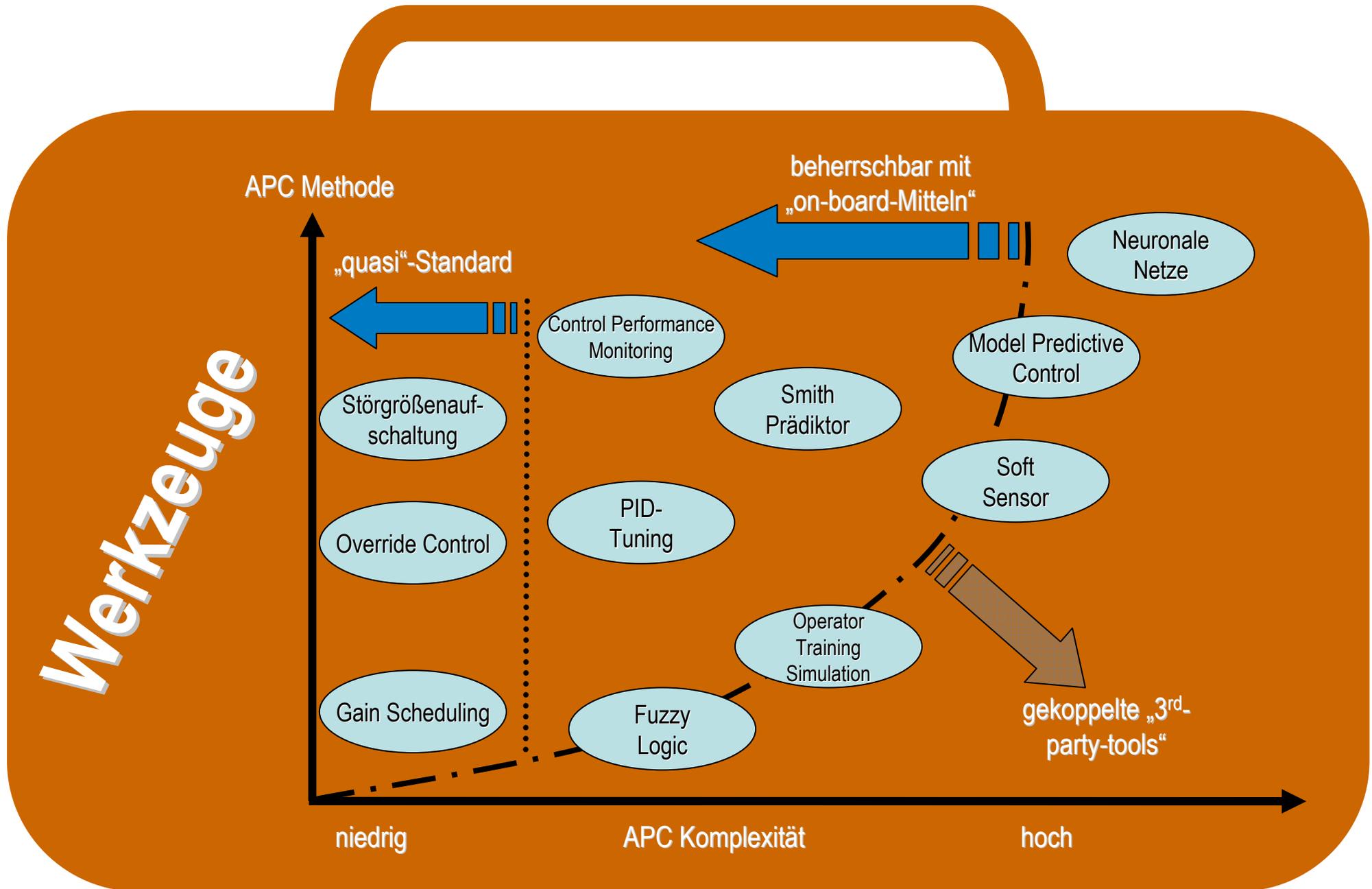
Elemente aus verschiedensten Teilgebieten der Ingenieurwissenschaften sind beinhaltet:

- Theoretische Modellbildung und Simulation,
- experimentelle Prozessidentifikation,
- moderne Regelungs- und Steuerungstechnik,
- angewandte Statistik, Fehlererkennung und Diagnose sowie
- künstliche Intelligenz.





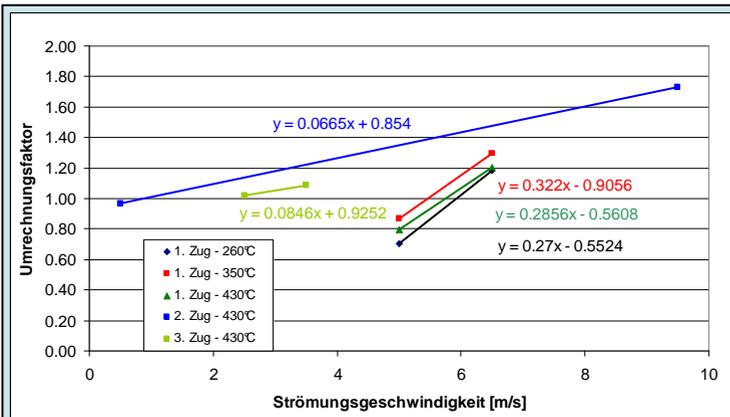
Ein funktionierendes System von PID-Basisregelungen bildet das unverzichtbare Fundament, auf das APC Methoden aufsetzen!



2 wesentliche Innovationen bereits „praxiserprobt“ und versprechen einen tatsächlichen Zugewinn an Prozessinformation bzw. eine Verbesserung der Regelgüte und / oder die Vermeidung von gefährlichen Situationen:

- **Modellbildung (Kopplung Feuerungsmodell mit Feuerleistungsregelung)**
- **Modellprädiktive Regelungsalgorithmen**

„Nebenkriegsschauplatz Korrosionsforschung“: Beeinflussung von Korrosion durch Primärmaßnahmen möglich?



Erweiterung der „Korrosionsformel“ um Faktor f_v für die Strömungsgeschwindigkeit

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\Delta G_1 \left(\frac{1}{RT_W} - \frac{1}{RT_W^0}\right)\right) \cdot \exp\left(-\Delta G_2 \left(\frac{1}{RT_R} - \frac{1}{RT_R^0}\right)\right) \cdot f_v$$

ΔG_1 bzw. ΔG_2 : Aktivierungsenergie Rohrwand bzw. Rauchgas

k_0, T_W, T_R : Korrosionsrate, Wand- bzw. Rauchgastemperatur im 3. Zug

Quelle: Haider et. al., EU46 Weiterentwicklung einer online-Korrosionssonde, Univ. Augsburg, Abschlusspräs., April 2010



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !