

# Visualisierung modellbasierter Prozessdaten in der verfahrenstechnischen Leitwarte -

Ein Ansatz zur nutzerzentrierten Gestaltung  
höherer Prozessführungssysteme

Tilman Barz

Wissenschaftliche Aussprache, 11.4.2008

**Zielstellung:** Entwicklung einer prototypischen Gestaltungslösung

- Orientierung an den einzelnen Phasen des verfolgten Entwicklungsprozesses



- Verstärkter Einsatz von APC-Technologien (advanced process control) seit den 1980'er
  - Umsatz im Jahr 2005 weltweit ca. 320 Mio.\$ \*
  - jährlichen Wachstumsrate ca. 10 % \*
  - modellbasierte Ansätze haben den größten Anteil (MPC-Anwendungen)
- Große Erwartungen für Optimierung, Qualitäts- und Effizienzsteigerung bestehender Verfahren

## Problem:

Nicht alle eingesetzten Systeme haben die erwarteten Erfolge erzielt

\* [ARC Advisory Group, 2003]

3

**Anstoß zur  
Entwicklung**



Analyse



Design



Evaluation



Gestaltungs-  
lösung

- Lösungsansätze sind hauptsächlich kostenorientiert
  - Reduktion des Aufwandes für Entwicklung und Implementierung soll die Amortisationszeit reduzieren
- Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der Systeme eher selten
  - Nutzerschnittstellen werden nur für den Automatisierungsexperten entworfen
  - Operateure werden im Rahmen von Schulungen und mit viel „Überzeugungsarbeit“ auf den Einsatz von APC-Systemen vorbereitet
- Typische Verhaltensweisen von Operateuren sind Nicht-Beachtung bzw. Nicht-Gebrauch der Systeme
  - Resultieren aus Misstrauen und geringer Akzeptanz der Systeme

4

**Anstoß zur  
Entwicklung**



Analyse



Design



Evaluation



Gestaltungs-  
lösung

**Ziel:** Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für modellbasierte Prozessführungssysteme, unter der expliziten Berücksichtigung akzeptanzförderlicher Kriterien

- Arbeitstreffen zur “Visualisierung modellbasierter Daten”
  - Teilnahme von 25 Experten auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Schnittstellengestaltung
  - Erarbeitung von Richtlinien und konkreten Gestaltungsvorschlägen
- zentrales Anforderungskriterium ist die gemeinsame Darstellung modellbasierter Daten mit Indikatoren, die eine Beurteilung ihrer Güte erlauben

5

Anstoß zur  
Entwicklung →

**Analyse** →

Design →

Evaluation →

Gestaltungs-  
lösung

## Wirkungsweise der Indikatoren für die Güte modellbasierter Daten:

- Nutzer wird zur Beurteilung und kritischen Auseinandersetzung mit dem System aufgefordert
- Zuverlässigkeit als wesentliche Systemeigenschaft gewinnt an Transparenz
- Im Idealfall entspricht der subjektive Eindruck über die Zuverlässigkeit des Systems der wahren Zuverlässigkeit
- Wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz und Nutzungswahrscheinlichkeit des Systems

6

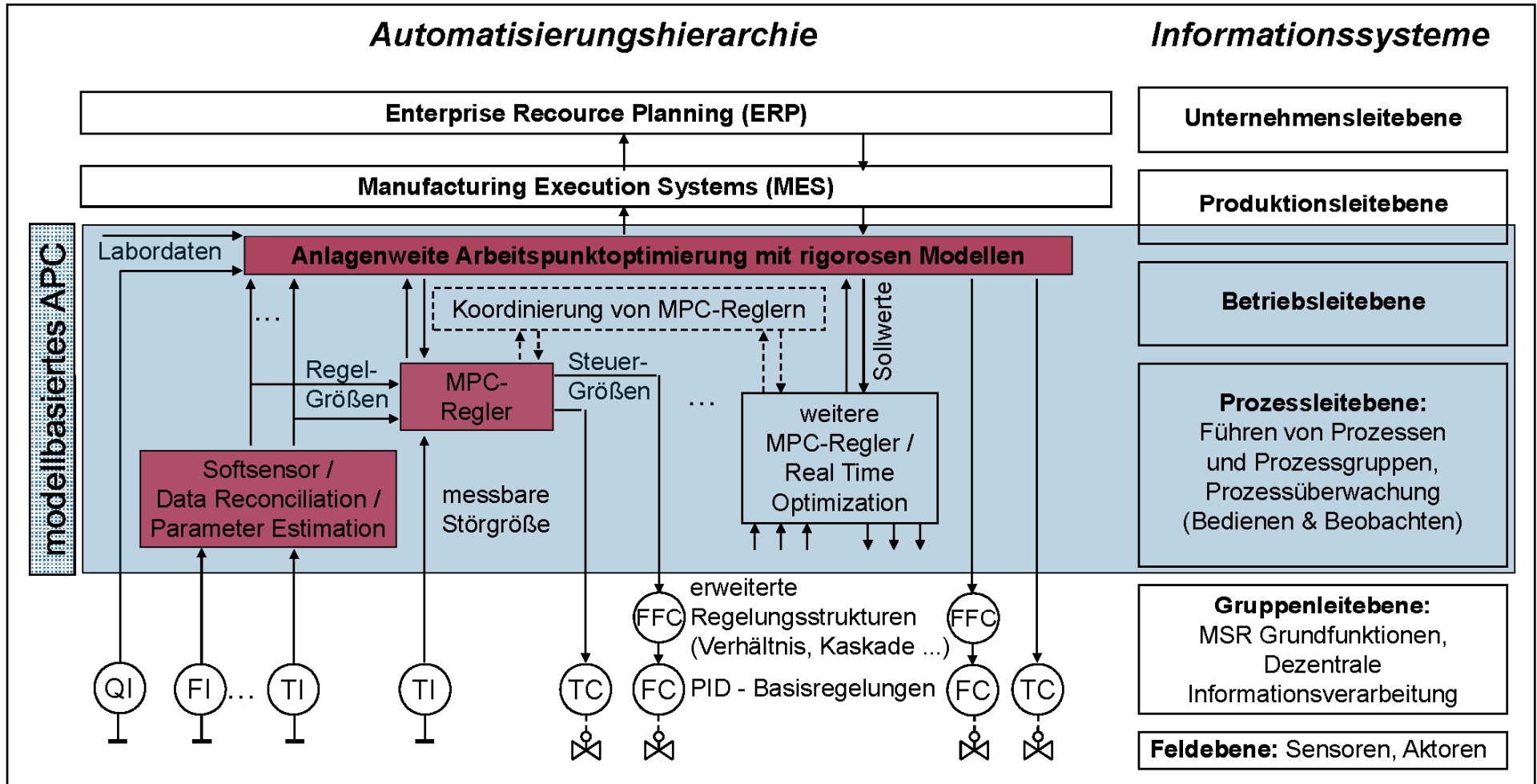
Anstoß zur  
Entwicklung →

**Analyse** →

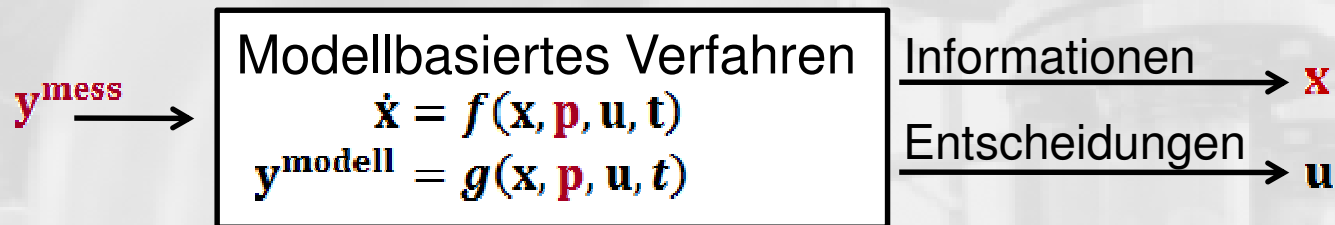
Design →

Evaluation →

Gestaltungs-  
lösung



- Quantifizierung über die Ergebnisunsicherheit (stochastische Ansätze)



- Abhängig von Güte des **Prozessmodells** und der **Messdaten**
- Effiziente stochastische Berechnungsmethoden basieren auf vereinfachenden Annahmen:
  - Beschreibung unsicherer Größen durch Gauss'sche Normalverteilungen
  - Linearisierung der Modellgleichungen
- Quantitatives Gütemaß ist die Varianz  $\sigma^2$ , bzw. die Kovarianzmatrix  $\text{cov}()$



Technikumsanlage



Bedienen & Beobachten

- Hochdruckkolonne eines gekoppelten Kolonnensystem zur Trennung eines azeotropen Gemisches
- PLS Freelance 800F (ABB)
- OPC Schnittstelle zu Matlab
- Modellbasierte Systeme:
  - **Softsensor**
  - **Modellbasierte Regelung**
  - Arbeitspunktoptimierung

9

Anstoß zur  
Entwicklung →

**Analyse** →

**Design** →

**Evaluation** →

Gestaltungs-  
lösung

# Beispiel: Softsensor 1

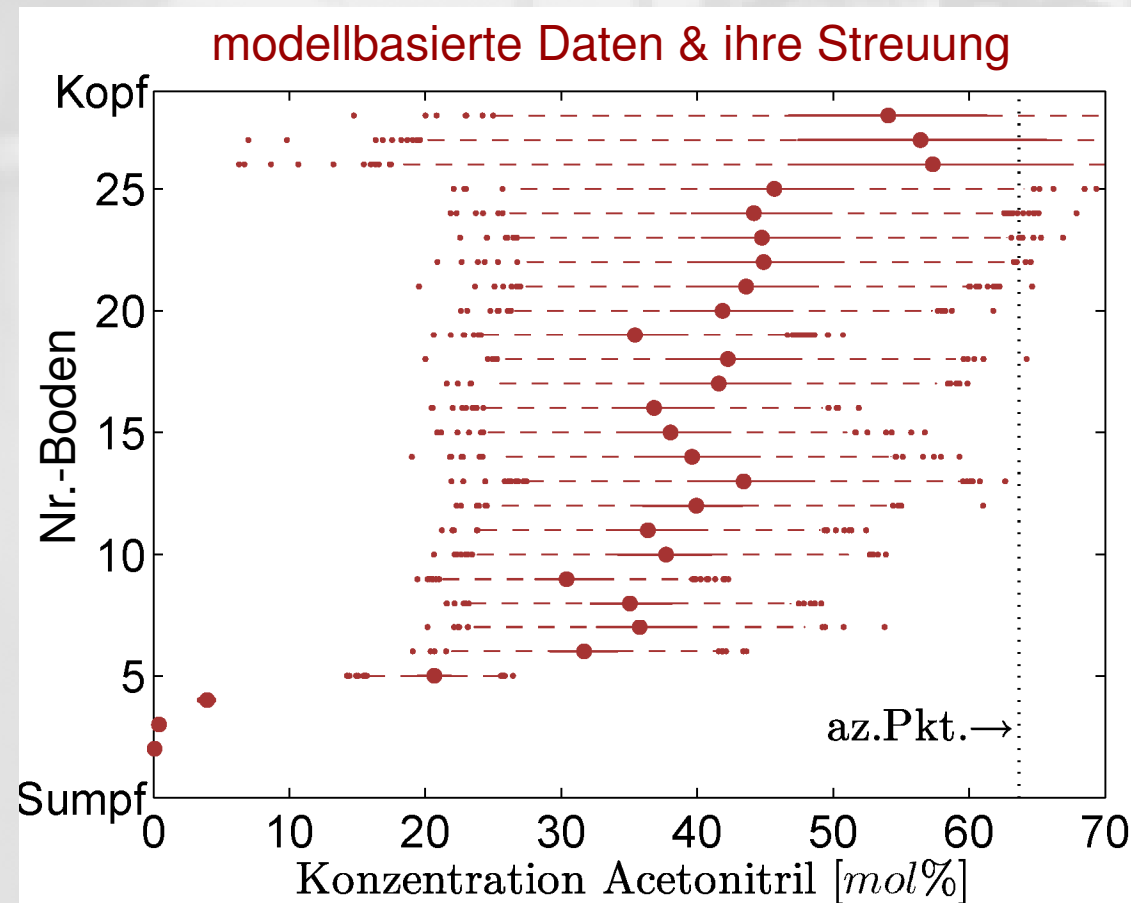
## Konzentrationsberechnung im stationären Betrieb:

- Nutzung eines „einfachen“ Siedepunkts-/Taupunktsmodells für jeden Boden
- Jeweils 2 Messdaten (Temperatur, Druck)
- Quantifizierung der Güte von Messdaten, Annahme Modell ist exakt

$$\mathbf{x} = f(\mathbf{y}^{\text{mess}}, \mathbf{p})$$

$$\sigma_{\text{Temp}} = 0,65 \text{ K}$$

$$\sigma_{\text{Druck}} = 0,002 \text{ bar}$$



10

Anstoß zur  
Entwicklung

Analyse

Design

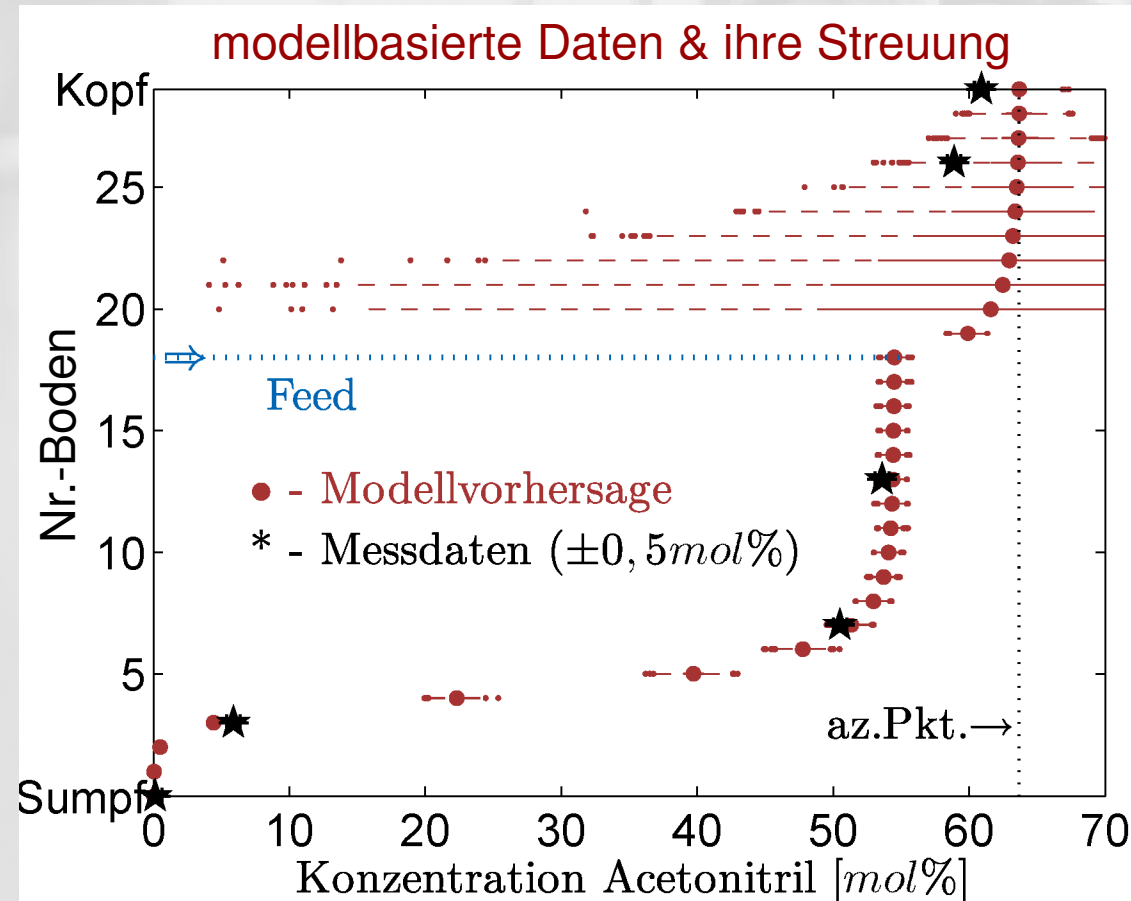
Evaluation

Gestaltungs-  
lösung

## Beispiel: Softsensor 2

### Konzentrationsberechnung im stationären Betrieb:

- Nutzung eines rigorosen Kolonnenmodells (270 Zustandsvariablen)
- 34 Messdaten (Temperatur, Druck, Durchfluss)
- Quantifizierung der Güte von Messdaten und Prozessmodell



11

Anstoß zur  
Entwicklung →

Analyse

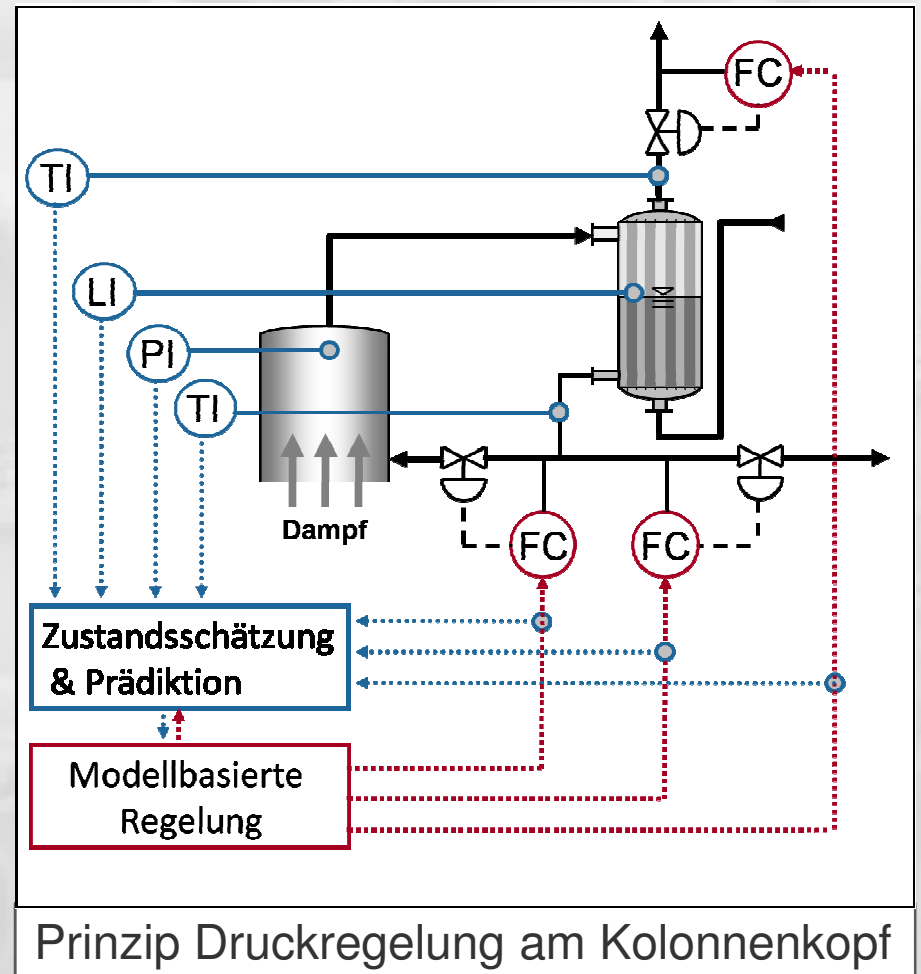
Design

Evaluation

→  
Gestaltungs-  
lösung

# Anwendungsbeispiel für Prototypenentwicklung

- Modellbasierte prädiktive Regelung des Kolonnendrucks
- Nutzung eines reduzierten Modells
  - 12 modellbasierte Größen
  - 3 Entscheidungsvariablen
  - 4 Messdaten
- Ermittlung der Ergebnisunsicherheit jetzt durch einen dynamischen Zustandsschätzer



12

Anstoß zur  
Entwicklung



Analyse



Design



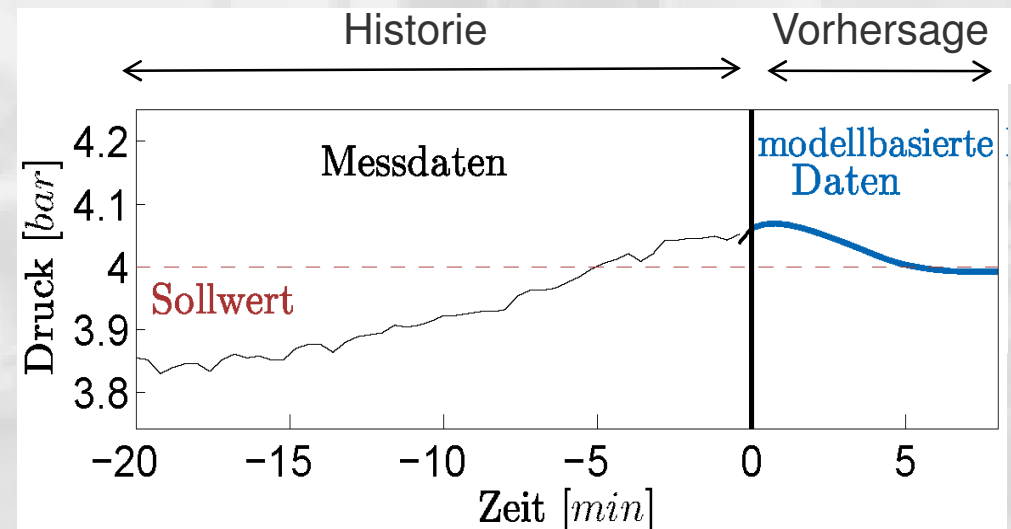
Evaluation



Gestaltungs-  
lösung

# Anwendungsbeispiel für Prototypenentwicklung

- Modellbasierte prädiktive Regelung des Kolonnendrucks
- Nutzung eines reduzierten Modells
  - 12 modellbasierte Größen
  - 3 Entscheidungsvariablen
  - 4 Messdaten
- Ermittlung der Ergebnisunsicherheit jetzt durch einen dynamischen Zustandsschätzer



13

Anstoß zur  
Entwicklung



Analyse



Design

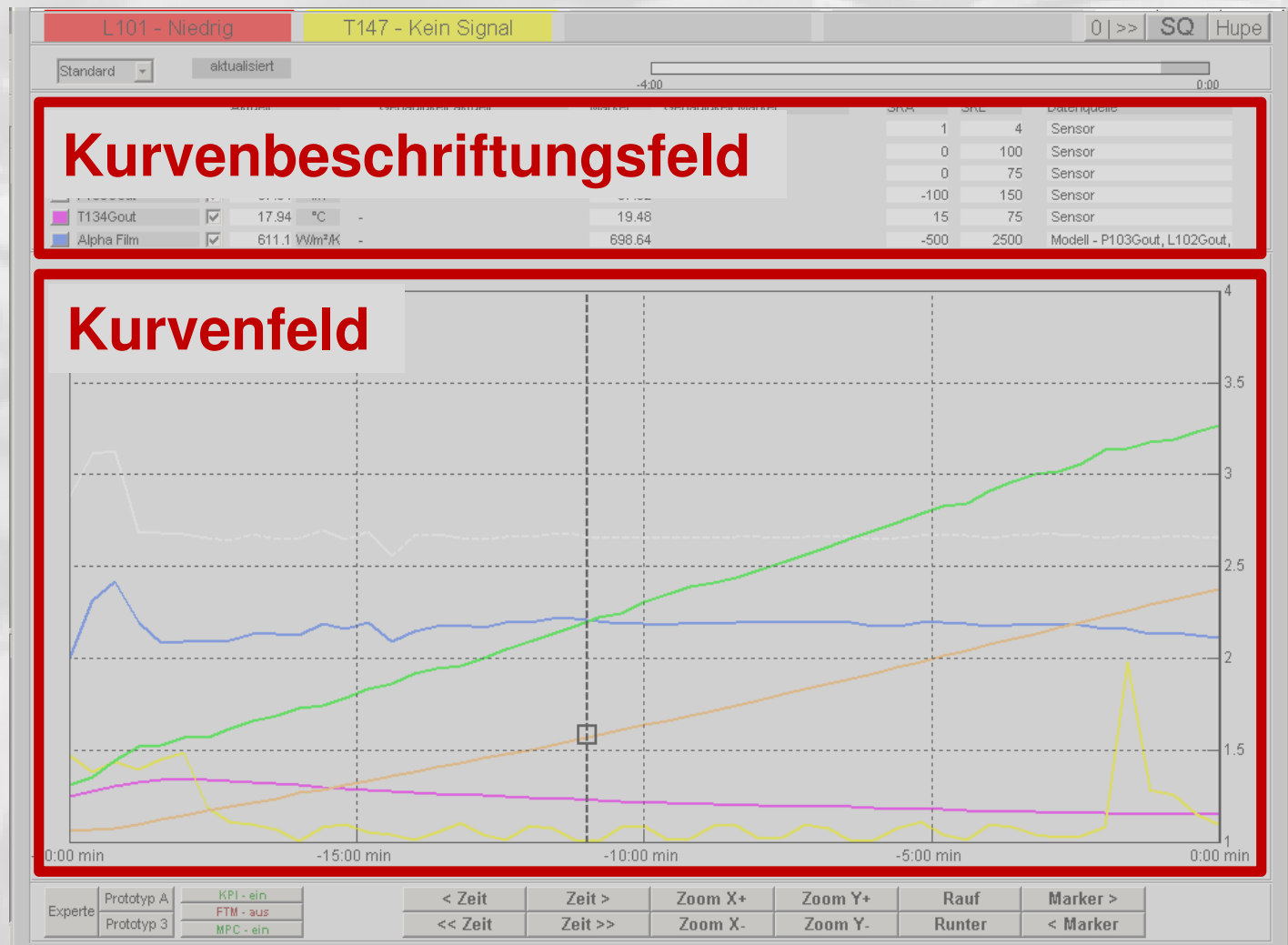


Evaluation



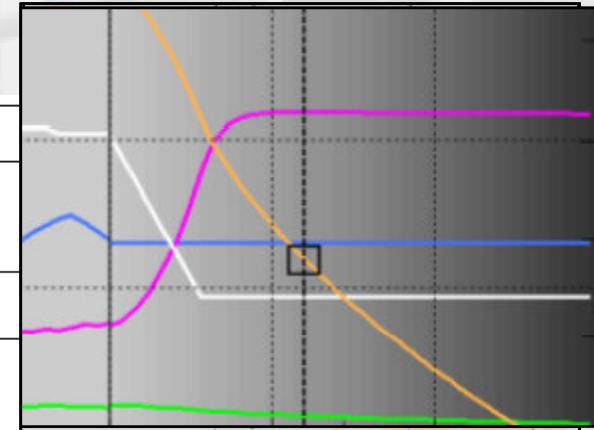
Gestaltungs-  
lösung

- Das Kurvenbild im Bedienen und Beobachten bietet das größte Gestaltungspotential
- Grundlage der Prototypenentwicklung bildet die Emulation in Matlab



# Prototypenentwicklung

- Etablierte Darstellungsformen (gemäß VDI/VDE- und DIN) wurden den Ergebnissen der Anforderungsanalyse gegenübergestellt
- Forderung: neuartige Darstellungselemente sollten sich möglichst nahtlos in das konventionelle Kurvenbild einbinden lassen



Funktionen & Merkmale	Alternativen					
	Standard	Neuartige Darstellungsformen				
<b>Kurvenfeld</b>						
Kurvendarstellung Softsensor	kein Blinken / Farbwechsel, Codierung belegt	Punktwolke	eigene Codierung	Blinken		
Kurvendarstellung Ergebnisunsicherheit			Farb-gradient / Verblässen	<del>Wechsel der Codierung</del>	Rauschen	Errorbars
Position Achsen Werteachse	rechts (Gegenwart) Links (Historie)	Links (Prädiktion)	immer bei t=0	rechts Softsensor	3. Dim. für Verlässlichkeit	
Zeitspannen / Update-Rate / Skalenteilung	30 min / 2 sec / 5 min (Vorgeschichte)	1/2 der Vorgeschichte für Prädiktion	2. Zeitachse Soft/Hard-sensoren			
Hintergrundfarbe Softsensor	dunkel, unbunt, Sättigung (Prädiktion)	Farbwechsel für Prädiktion				

15

Anstoß zur Entwicklung



Analyse



Design



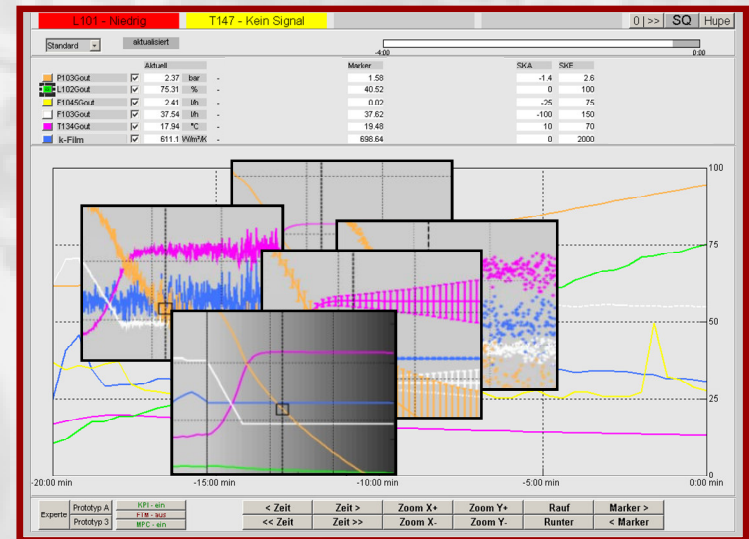
Evaluation



Gestaltungslösung

# Evaluation der Prototypen

- Bewertung im Rahmen zweier Evaluationen
- 13 Experten auf dem Gebiet der Systemgestaltung ( $\approx 3,6$  Jahre Erfahrung)
  - Bewertung der Gebrauchstauglichkeit
- 13 Experten auf dem Gebiet der Prozessführung ( $\approx 4,9$  Jahre Erfahrung)
  - Bewertung anwendungsbezogener Probleme
- Szenario-basiertes Vorgehen und Verwendung des interaktiven Prototypen



16

Anstoß zur  
Entwicklung

Analyse

Design

**Evaluation**

Gestaltungs-  
lösung

- Sehr gute Übereinstimmungen zwischen Ergebnissen der ersten und zweiten Evaluation
- Darstellung sowohl modellbasierter Daten als auch der Güte traf auf durchweg positive Resonanz
- 85% aller Teilnehmer favorisierten eine Kombination absoluter und relativer Darstellungselemente

**Darstellungsfavorit** 

17

Anstoß zur  
Entwicklung →

Analyse →

Design →

**Evaluation** →

Gestaltungs-  
lösung

L101 - Niedrig

T147 - Kein Signal

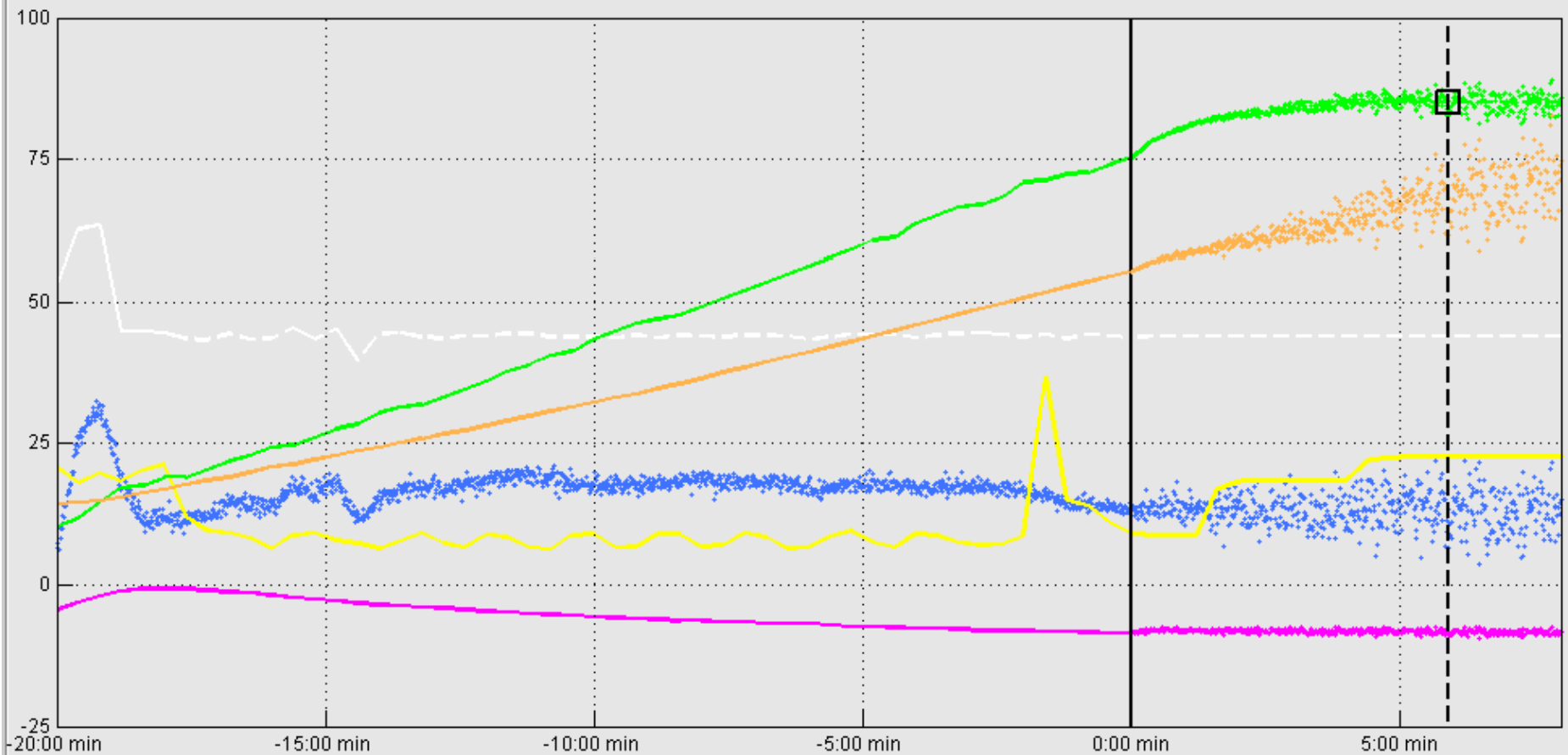
0 | >> SQ Hupe

Standard

aktualisiert

-4:00 0:00 +1:00

	Aktuell	Genauigkeit aktuell	Marker	Genauigkeit Marker	SKA	SKE	Datenquelle
<input checked="" type="checkbox"/> P103Gout	2.37 bar	-	2.76	77 %	-0.2	3.8	Modell - P103Gout, L102Gout,
<input checked="" type="checkbox"/> L102Gout	75.31 %	-	85.15	92 %	-25	100	Modell - P103Gout, L102Gout,
<input checked="" type="checkbox"/> F1045Gout	2.41 lh	-	13.17		-25	75	Modell - P103Gout, L102Gout,
<input checked="" type="checkbox"/> F103Gout	37.54 lh	-	38		-100	150	Modell - P103Gout, L102Gout,
<input checked="" type="checkbox"/> T134Gout	17.94 °C	-	18.02	94 %	10	70	Modell - P103Gout, L102Gout,
<input checked="" type="checkbox"/> k-Film	611.1 W/m²K	90 %	611.1	45 %	0	2000	Modell - P103Gout, L102Gout,



Experte Rauschen KPI - ein  
 G.rel.Balk.2 FTM - aus  
 MPC - ein

< Zeit Zeit > Zoom X+ Zoom Y+ Rauf Marker >  
 << Zeit Zeit >> Zoom X- Zoom Y- Runter < Marker

- Entwicklung und erfolgreiche Evaluation prototypischer Darstellungslösung für die Visualisierung modellbasierter Prozessdaten
- Darstellungsfavorit ist technisch realisierbar und erfüllt akzeptanzförderliche Eigenschaften:
  - lässt sich in konventionelle Bediensysteme integrieren
  - erfüllt wesentliche Anforderungen an ergonomische Qualität
  - ist transparent bezüglich der Zuverlässigkeit des Systems

## Ausblick:

- Visualisierung für weitere Darstellungsräume im Bedienen und Beobachten
- Theoretische und praktische Untersuchungen zu Gütemaßen für modellbasierte Entscheidungen

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**