

# applications & TOOLS

**Control Performance Monitoring (CPM)  
zur Überwachung von Regelkreisen**

**SIEMENS**

Projektierbeispiel

**Hinweis**

Die Anwendungsbeispiele sind nicht bindend und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich der dargestellten Schaltkreise, Ausrüstung und Möglichkeiten. Die Anwendungsbeispiele zeigen keine kundenspezifischen Lösungen. Sie dienen lediglich als Unterstützung für typische Anwendungen. Für den richtigen Gebrauch der beschriebenen Produkte sind Sie selbst verantwortlich. Diese Anwendungsbeispiele entbinden Sie nicht von Ihrer Eigenverantwortung hinsichtlich sicherem und fachgerechtem Gebrauch, Installation, Betrieb und Wartung der Anlage. Mit dem Gebrauch dieser Anwendungsbeispiele erkennen Sie an, dass Siemens nicht für Schäden/Ansprüche über den in der Haftungsklausel beschriebenen Umfang hinaus haftbar gemacht werden kann. Wir behalten uns das Recht vor, diese Anwendungsbeispiele jederzeit und ohne vorherige Benachrichtigung zu ändern. Bei Abweichungen zwischen den Empfehlungen, die mit diesen Anwendungsbeispielen gegeben werden, und anderen Siemens-Publikationen - z.B. Katalogen - dann hat der Inhalt der anderen Dokumente Vorrang.

## Gewährleistung, Haftung und Support

Wir übernehmen keine Haftung für die in diesem Dokument enthaltenen Informationen.

Jegliche Ansprüche gegen uns - gleichgültig auf welcher rechtlichen Grundlage -, die sich aus dem Gebrauch der Beispiele, Informationen, Programme, technischen Daten und Leistungsdaten usw. ergeben, die in diesem Anwendungsbeispiel beschrieben sind, sind ausgeschlossen. Dieser Ausschluss erstreckt sich nicht auf die vorgeschriebene Haftung, z.B. nach dem Produkthaftungsgesetz, bei Vorsatz, grober Fahrlässigkeit oder Verletzung des Lebens, Körpers oder der Gesundheit, Garantie für die Qualität eines Produkts, arglistigem Verschweigen eines Mangels oder Verletzung wesentlicher Vertragspflichten. Der Schadensanspruch für die Verletzung wesentlicher Vertragspflichten ist jedoch auf den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden begrenzt, soweit nicht Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit vorliegt oder wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit gehaftet wird. Eine Änderung der Beweislast zum Nachteil des Bestellers ist mit den genannten Regelungen jedoch nicht verbunden.

**Copyright© 2008 Siemens A&D. Diese Anwendungsbeispiele oder Auszüge aus ihnen dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung von Siemens A&D nicht übertragen oder vervielfältigt werden.**

Bei Fragen zu diesem Dokument verwenden Sie bitte die folgende E-Mail-Adresse:

<mailto:online-support.automation@siemens.com>

## Vorwort

### Ziel der Applikation

Control Performance Monitoring (CPM) als eine Funktion von SIMATIC PCS 7 Advanced Process Control (APC) ermöglicht das permanente, automatische Überwachen der Regelgüte von Regelkreisen einer Anlage. Somit hat der Anlagenfahrer bei nachlassender Leistungsfähigkeit frühzeitig die Möglichkeit, mit gezielten Maßnahmen gegen zu wirken.

Das vorliegende Projektierbeispiel zeigt die Integration der CPM-Funktionalität in ein PCS 7-Projekt und die Operator-Sicht im Prozessbetrieb.

### Kerninhalte dieser Applikation

Folgende Kernpunkte werden in dieser Applikation behandelt:

- Projektierung des CPM-Bausteins
- Initialisierung
- Überwachung und Interpretation der Ergebnisse

### Gültigkeit

... gültig für PCS 7 V7.0 SP1

### Referenz zum Automation and Drives Service & Support

Dieser Beitrag stammt aus dem Internet Applikationsportal des Automation and Drives Service & Support. Durch den folgenden Link gelangen Sie direkt zur Downloadseite dieses Dokuments.

<http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/32486166>

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Control Performance Monitoring (CPM) .....</b>	<b>5</b>
1.1 CPM in SIMATIC PCS 7 .....	5
1.2 Wozu dient CPM? .....	8
1.3 Funktionsweise .....	9
<b>2 Implementierung der Überwachungsfunktion .....</b>	<b>10</b>
2.1 Installation.....	10
2.2 Projektierung.....	10
2.2.1 CFC-Projektierung .....	10
2.2.2 OS-Projektierung .....	13
<b>3 Inbetriebnahme und Auswertung.....</b>	<b>14</b>
3.1 Aktivieren der Überwachungsfunktion .....	17
3.1.1 Einstellen eines Arbeitspunktes .....	17
3.1.2 Initialisieren des CPM .....	19
3.2 Arbeitsweise .....	21
3.2.1 Sollwertänderung.....	21
3.2.2 Verschlechterung der Regelgüte .....	24
3.3 Deutung von Überwachungsparametern .....	27
3.3.1 Bleibende Regelabweichung .....	27
3.3.2 Änderung bzw. Absinken des CPI .....	27
3.3.3 Änderung der Prozessverstärkung .....	27
3.3.4 Überschwinger zu groß.....	28
3.3.5 Einschwingverhältnis zu klein .....	28
3.3.6 Scatterplot.....	29
3.4 Benefits für den Anlagenbetreiber .....	30
<b>4 Regelkreisüberwachung bei vermaschten Regelkreis-Strukturen .....</b>	<b>31</b>
4.1 Kaskaden-Regelung .....	31
4.2 Split-Range-Regelung .....	31
4.3 PID-Regler mit Gain-Scheduler .....	31
4.4 Ablösende Regelung .....	32
4.5 Störgrößenaufschaltung .....	32
4.6 Smith-Prädiktor .....	32
4.7 Verhältnisregelung.....	32
4.8 Mehrgrößenregelung .....	32
<b>5 Historie .....</b>	<b>34</b>

### 1 Control Performance Monitoring (CPM)

**Hinweis** Einen allgemeinen Überblick zu CPM als eine Funktion von SIMATIC PCS 7 APC (Advanced Process Control) bietet das White Paper „SIMATIC PCS 7 APC-Portfolio“

[http://pcs.khe.siemens.com/efiles/pcs7/support/marktstudien/WP\\_PCS7\\_APC\\_DE.pdf](http://pcs.khe.siemens.com/efiles/pcs7/support/marktstudien/WP_PCS7_APC_DE.pdf)

#### 1.1 CPM in SIMATIC PCS 7

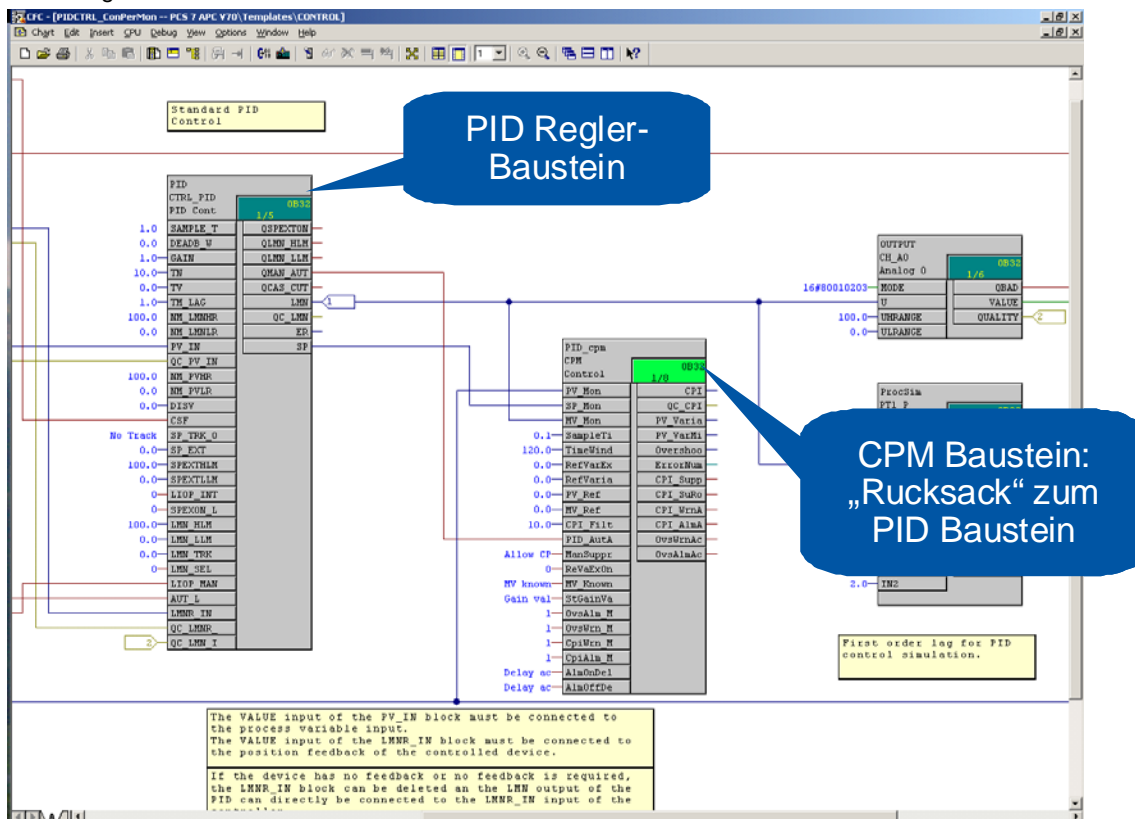
Beim Control Performance Monitoring wird mit Hilfe eines Funktionsbausteins „CPM“ und der zugehörigen Visualisierung die Regelgüte eines Regelkreises überwacht.

Nachfolgend ist die Aufteilung der verschiedenen CPM-Funktionen aufgeführt.

#### Funktionen in der AS-Ebene

CPM-Baustein in Verbindung mit PID-Reglerbaustein:

Abbildung 1-1



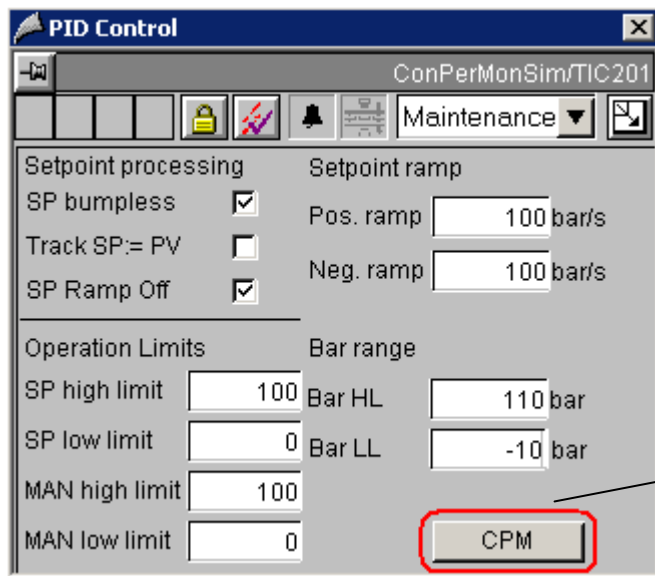
Der CPM-Baustein erfüllt folgende Aufgaben:

- Kurzzeitstatistik
- CPI-Berechnung (Control Performance Index)
- Alarmierung

### Funktionen in der OS-Ebene

- CTRL\_PID-Faceplate mit Link zum CPM-Faceplate:

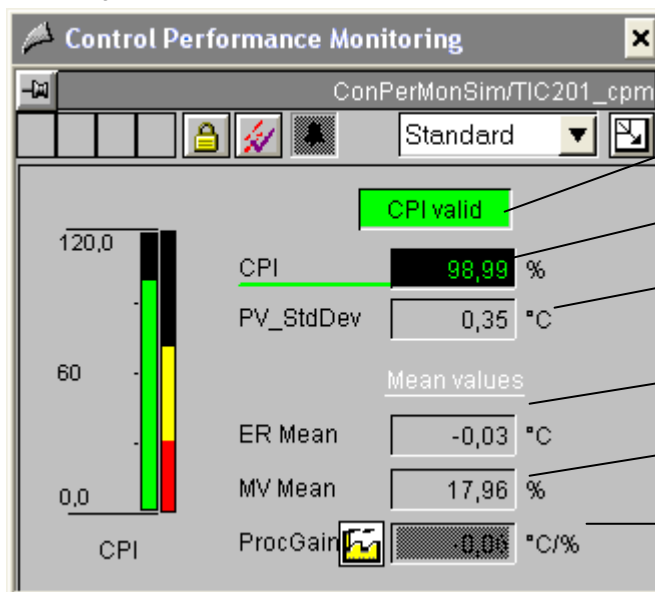
Abbildung 1-2



Öffnen des CPM-Faceplates über das CTRL\_PID-Faceplate

- CPM-Faceplate:

Abbildung 1-3



Control Performance Status

Control Performance Index (Regelgüteindex)

Standardabweichung der Regelgröße

Mittelwert der Regelabweichung

Mittelwert der Stellgröße

Geschätzte stationäre Prozessverstärkung

- Überblicksdarstellung aller Regelkreise einer Anlage möglich, indem die Bausteinsymbole der CPM-Bausteine auf einer OS-Seite zusammen kopiert werden.
- Statistik auf Archivdaten und Datenexport
- Einfache, vordefinierte grafische Analysen
- Konfigurierbare Alarmgrenzen für Standardabweichung und Überschwinger (> vorbeugende Instandhaltung)

### **Zusätzliche Offline-Auswertung**

- Grafische Auswertung in MS-Excel:
  - Histogramm
  - Scatterplot
  - etc.
- Analyse von Alarmarchiven
- Numerische Analyse (z.B. in Matlab):
  - Minimal-Varianz
  - Harris-Index
  - Störmodelle
  - Fourier-Transformation

## 1.2 Wozu dient CPM?

Das Grundprinzip des im CPM-Baustein realisierten, kombinierten Ansatzes besteht darin, sowohl stochastische, als auch deterministische Merkmale für die Regelgüte heranzuziehen, und zwar je nach Betriebszustand automatisch die passenden Merkmale.

### Überwachung von Regelgrößen

CPM bietet eine permanente Überwachung der Regelgüte von Regelkreisen.

Der CPM-Baustein berechnet:

- Stochastische Merkmale der Regelgüte in stationären Betriebszuständen des Prozesses
  - Mittelwert der Regelgröße, Varianz und Standardabweichung der Regelgröße
  - Mittelwert der Stellgröße und der Regelabweichung
  - Regelgüte-Index
  - Geschätzte stationäre Prozessverstärkung
- Deterministische Merkmale der Regelgüte bei Sollwertsprüngen
  - An- und Einschwingzeit, sowie das Einschwingverhältnis
  - Überschwinger absolut und bezogen auf die Sprunghöhe.

Weitere statistische und grafische Auswertungen der Signale im Regelkreis über längere, frei wählbare Zeiträume werden im Bildbaustein des CPM-Bausteins angeboten.

### Lokalisierung von Problemen

Mit Hilfe einer Übersichtsdarstellung einer Anlage oder Teilanlage ist anhand der CPM-Bausteinsymbole (Ampelfunktion) ein schneller Überblick über den Zustand aller Regelkreise möglich.

Ziel ist, sich anbahnende Fehler frühzeitig zu erkennen, und die Aufmerksamkeit des Anwenders auf die Regelkreise einer Anlage zu fokussieren, die nicht mehr bestimmungsgemäß arbeiten.

Z.B. in einer Gesamtanlage mit mehreren hundert Regelkreisen:

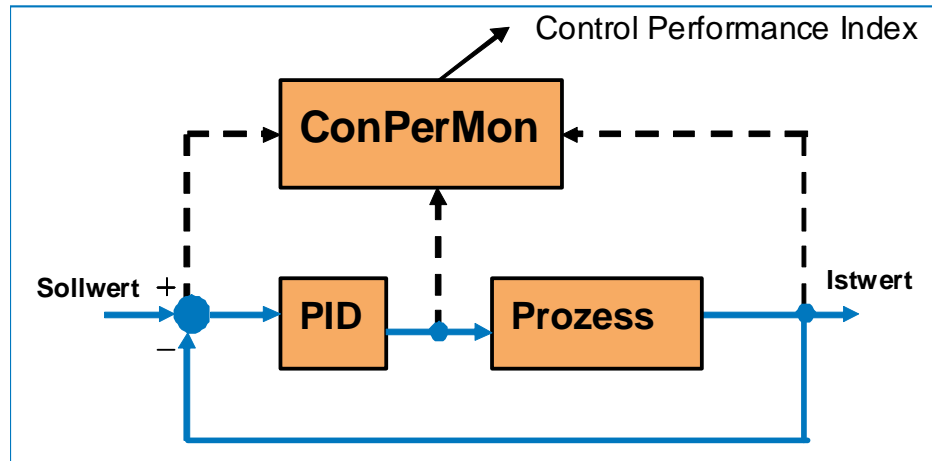
- Wo lohnt es sich, genauer hinzuschauen?
- In welchen Regelkreisen bahnen sich Fehler an?
- Welche Regelkreise sollten mit höchster Dringlichkeit optimiert werden?



## 1.3 Funktionsweise

Der CPM-Baustein wertet die Signale Sollwert, Istwert und die Stellgröße des PID-Reglers in einem gleitenden Zeitfenster aus. Hierfür wird der Control Performance Index (CPI) berechnet.

Abbildung 1-4



Dabei wird auch die Betriebsart des Reglers berücksichtigt. In stationären Betriebszuständen des Prozesses werden die ermittelten stochastischen Merkmale mit den Referenzwerten verglichen, die bei der Inbetriebnahme ermittelt wurden. Bei Sollwertsprüngen sind die stochastischen Merkmale definitionsgemäß irrelevant und werden vorübergehend eingefroren. Dafür wird automatisch die Überwachung der deterministischen Merkmale aktiviert.

Bei Unterschreiten einer definierten Grenze der Regelgüte wird eine Meldung erzeugt, ebenso bei Überschreiten einer definierten Grenze für den Überschwinger bei Sollwertsprüngen.

## 2 Implementierung der Überwachungsfunktion

### 2.1 Installation

Die Installation der PCS 7 APC Library V70 erfolgt über das PCS 7 Rahmensetup. Bei einer Einzelinstallation der PCS 7 APC Library V70 ist es Voraussetzung, dass die PCS 7 Library V70 SP1 bereits auf dem Engineering System installiert ist.

### 2.2 Projektierung

Für einen PID-Regler wird ein zugeordneter CPM-Baustein in denselben CFC-Plan eingebaut und mit dem Regler verschaltet. Der CPM-Baustein ist mit dem zugeordneten Reglerbaustein über eine Namenskonvention verbunden: Der Name der CPM-Instanz entspricht vollständig dem Namen der Regler-Instanz, plus der Endsilbe "\_cpm".

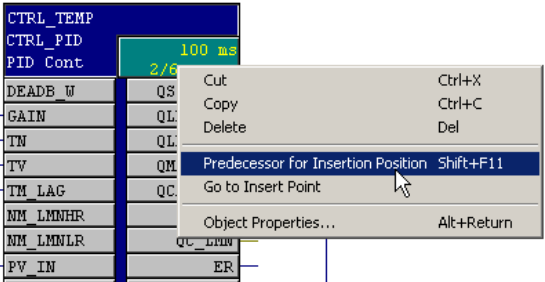
#### Hinweis

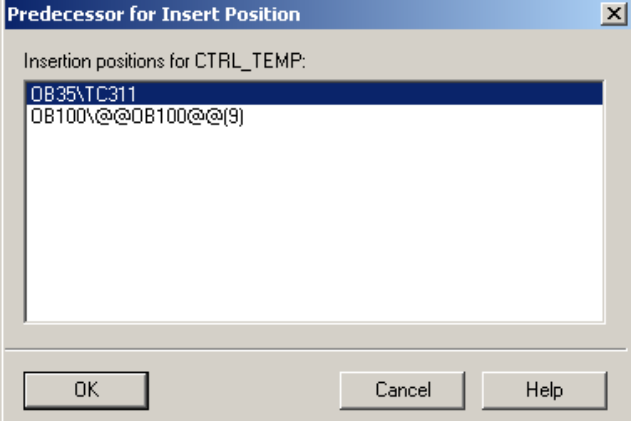
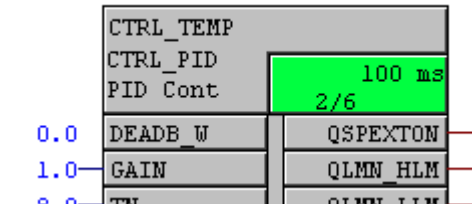
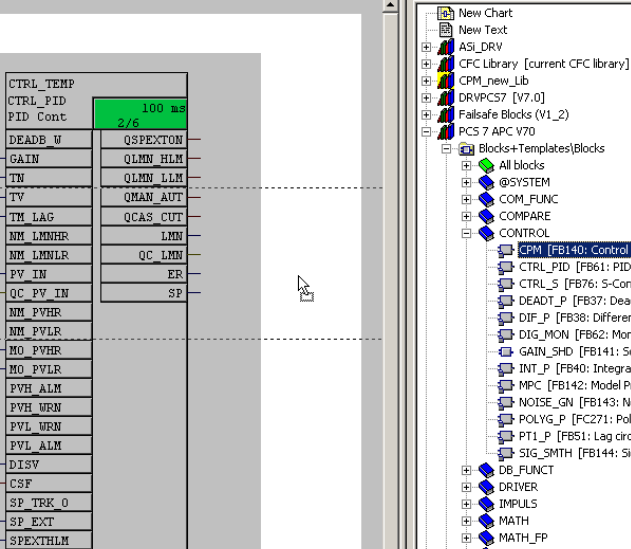
Die Projektierung erfolgt beispielhaft direkt im CFC-Plan des S7-Programms. Sollen in der Praxis alle Regler eines Typs überwacht werden, bietet es sich hingegen an, die Erweiterung am entsprechenden Messstellentyp vorzunehmen und die Pläne im Programm damit zu aktualisieren. Als Musterlösung hierzu wird in der APC-Library ein Messstellentyp PIDCTRL\_ConPerMon angeboten. Er entspricht dem bisherigen Messstellentyp PIDCTRL, erweitert um die Regelkreisüberwachung sowie eine Logik zur Behandlung von Messwertausfällen.

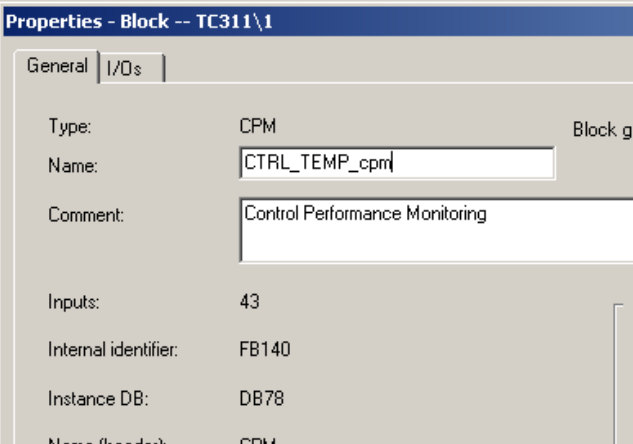
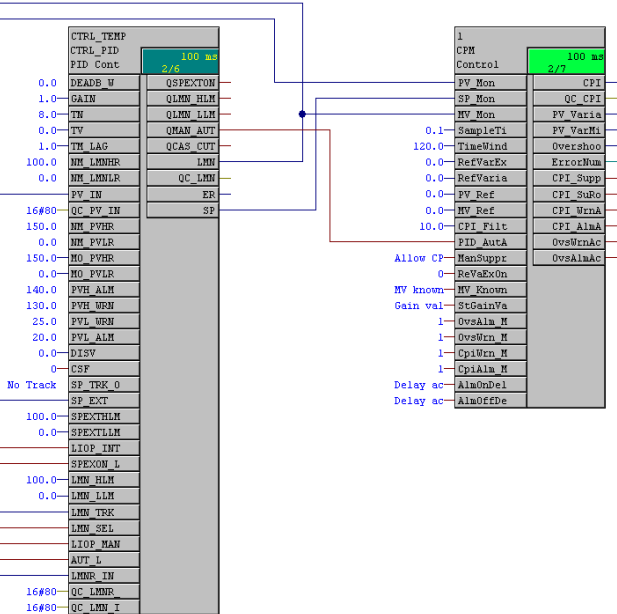
#### 2.2.1 CFC-Projektierung

Zum Projektieren des CPM-Bausteins gehen Sie wie folgt vor:

Tabelle 2-1

	Aktion	Anmerkung /Screenshot
1.	Öffnen Sie den Plan mit dem CTRL_PID im CFC-Editor.	
2.	Deklarieren Sie den CTRL_PID zum Vorgänger für den Einbau des nächsten Bausteins. Klicken Sie ihn dafür mit der rechten Maustaste an und wählen Sie im Sub-Menü „Vorgänger für Einbauposition“.	

Aktion	Anmerkung /Screenshot
<p>3. Im Dialogfeld "Vorgänger für Einbauposition" wählen Sie aus, in welchen OB die nachfolgenden Bausteine eingebaut werden sollen (hier im Beispiel OB35, d.h. dem 100ms Zyklus).</p>	
<p>4. Das Feld der Ablaufeigenschaften im Bausteinkopf wird daraufhin hellgrün dargestellt.</p>	
<p>5. Ziehen Sie den CPM-Baustein aus dem Bausteinkatalog per Drag&amp;Drop neben den CTRL_PID. Sie finden ihn in der Bibliothek „PCS 7 APC V70“ unter den „CONTROL“-Bausteinen.</p>	

Aktion	Anmerkung /Screenshot
<p>6. Öffnen Sie den Eigenschaftsdialog des CPM-Bausteins und benennen Sie ihn um, in den Namen des CTRL_PID gefolgt von „_cpm“ (hier im Beispiel: „CTRL_TEMP_cpm“).</p>	
<p>7. Verschalten Sie den CPM-Baustein mit dem CTRL_PID. Die zu verschaltenden Bausteinanschlüsse sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.</p>	
<p>8. Übersetzen Sie das S7-Pogramm und laden Sie es in das Automatisierungssystem.</p>	

Copyright © Siemens AG 2008 All rights reserved

Tabelle 2-2 Verschaltung CTRL\_PID mit CPM

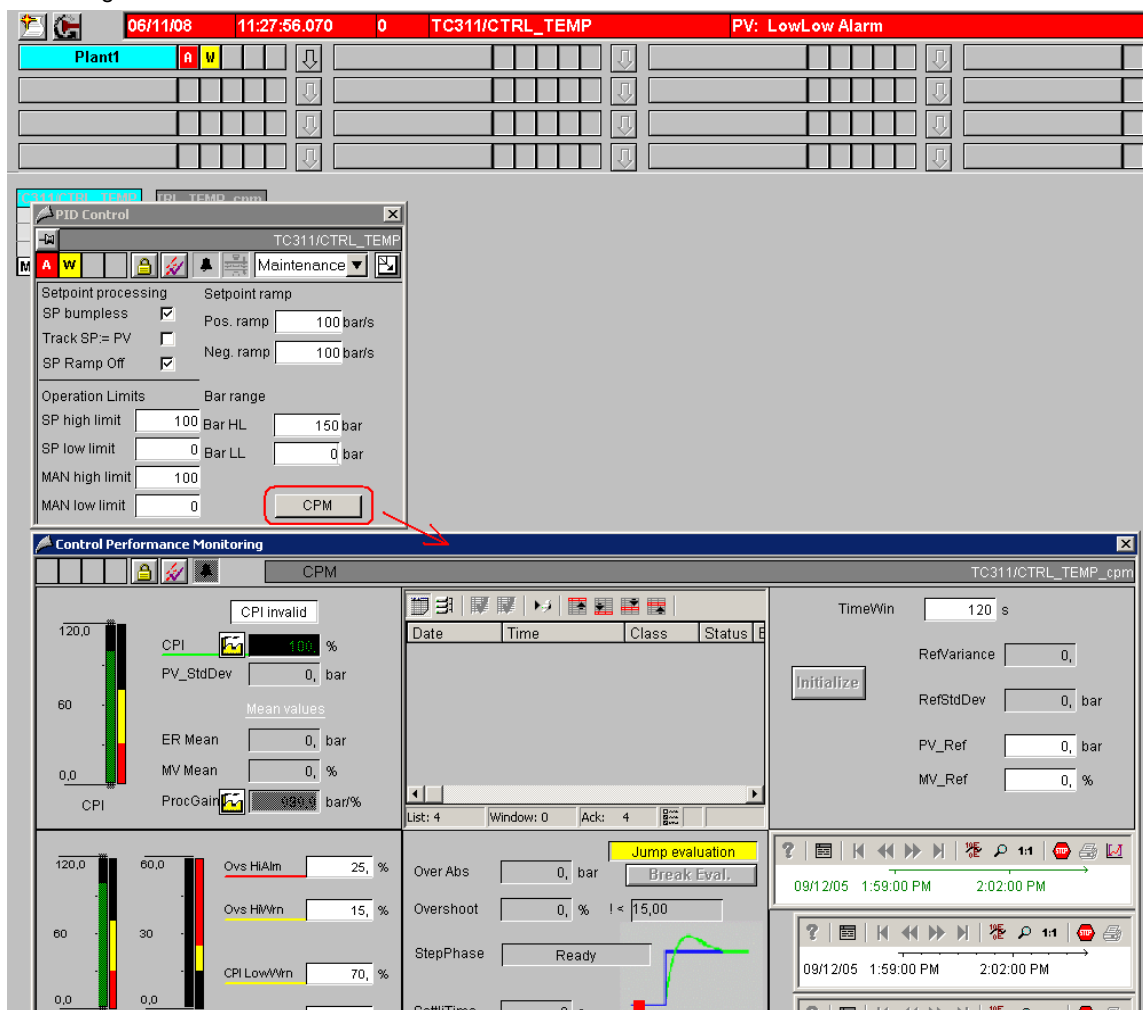
Anschluss des CTRL_PID	Anschluss des CPM für die Überwachung
PV_IN (Istwert)	PV_Mon
SP (Aktiver Sollwert)	SP_Mon
LMN (Stellwertausgang)	MV_Mon
QMAN_AUT (Hand/Automatik)	PID_AutAct

### 2.2.2 OS-Projektierung

Außer dem OS-Übersetzen sind keine speziellen Projektierschritte notwendig.

Neben dem Bausteinsymbol für den PID-Regler wird für den CPM ein eigenes Bausteinsymbol generiert. Dieses kann bei Bedarf in ein übergeordnetes Übersichtsbild verschoben werden. Das Öffnen des zugehörigen Faceplates kann ebenso aus dem Faceplate des CTRL\_PID erfolgen.

Abbildung 2-1



#### Hinweis

Solange der CPM nicht initialisiert ist, wird der CPI (Control Performance Index) im Bausteinsymbol und im Faceplate ge-graut dargestellt.

Die Initialisierung wird im Kapitel 3.1.1 "Einstellen eines Arbeitspunktes" beschrieben.

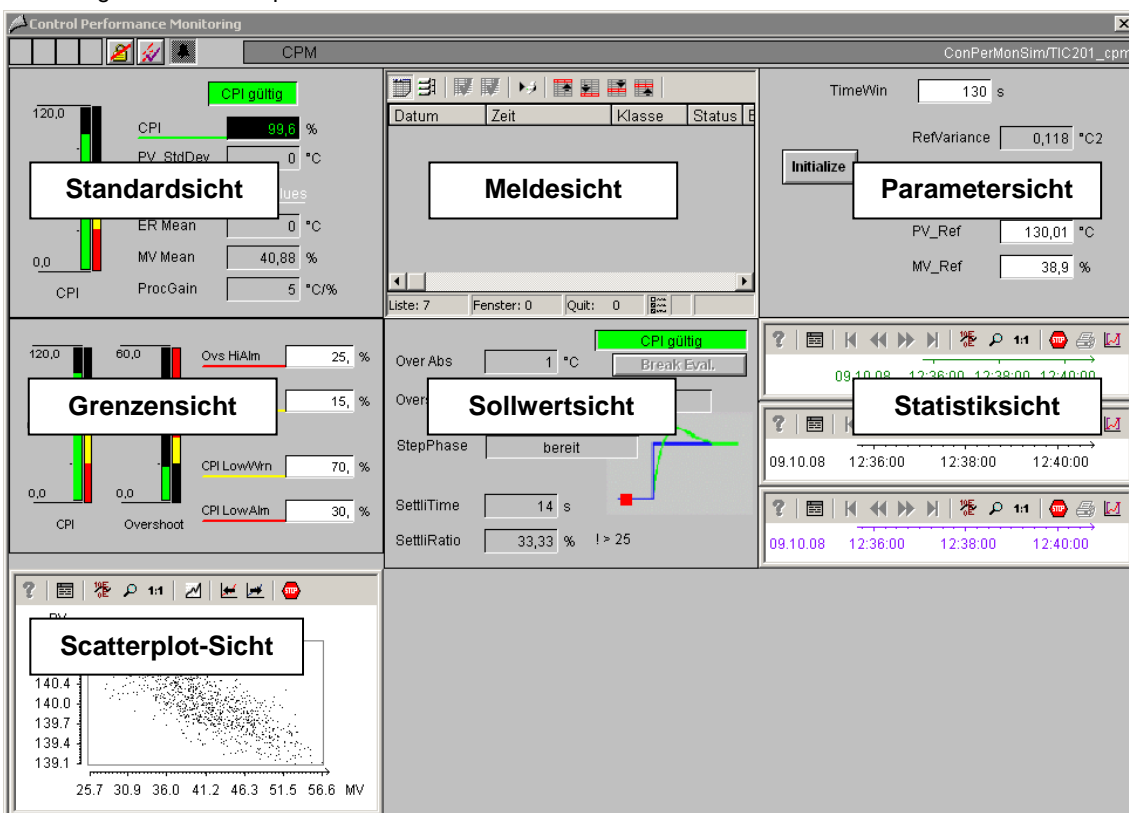
## 3 Inbetriebnahme und Auswertung

Zumeist nach der Inbetriebnahme und Optimierung des zu überwachenden PID-Reglers wird der CPM-Baustein in einem stationären Betriebszustand des Prozesses initialisiert. Dabei speichert er die entsprechenden Kenngrößen als Referenzwerte.

In diesem Kapitel wird die Handhabung der CPM-Funktionalitäten über dessen Faceplate beschrieben.

### Sichten im Faceplate des CPM

Abbildung 3-1 CPM-Faceplate Übersicht



In den einzelnen Sichten können verschiedene Bedien- bzw. Beobachtungsvorgänge getroffen/eingesehen werden.

### Standardsicht

Die Standardsicht gewährt dem Anwender eine Übersicht zu folgenden Parametern:

- Regelgüteindex (CPI)
- Standardabweichung des Istwertes (PV\_StdDev)
- Mittelwert der Regelabweichung im Zeitfenster (ER\_Mean)

- Mittelwert des Stellwertes im Zeitfenster (MV\_Mean)
- Stationäre Prozessverstärkung (StatGain)

## Meldesicht

Hier erscheinen die vom Prozess erzeugten Warn- und Alarmmeldungen bzw. Hinweise. Diese können durch den Anwender quittiert werden.

## Parametersicht

In der Parametersicht können folgende Parameterwerte eingesehen werden:

- Referenz Varianz des Istwertes (RefVariance)
- Referenz Standardabweichung des Istwertes (RefStdDev)

Des Weiteren können für folgende Parameter Vorgaben gegeben werden:

- Referenz des Istwertes (PV\_Ref)
- Referenz des Stellwertes (MV\_Ref)

Über die Schaltfläche "Initialisieren" kann der Anwender den CPM initialisieren.

## Grenzensicht

Hier lassen sich die Warn- und Alarmgrenzen für den Prozess festlegen.

Die Anzeigen visualisieren:

- Regelgüteindex (CPI)
- Werte für den gemessenen Überschwinger
- Grenzwerte für Warnungen und Alarme

## Sollwertsicht

In der Sollwertsicht fällt dem Anwender direkt die Auswertung der Sprungantwort ins Auge. Das Feld "StepPhase" gibt Auskunft über die aktuelle Phase der Sprungantwort:

- Phase 0 > bereit
- Phase 1 > ansteigend
- Phase 2 > Überschwinger
- Phase 3 > eingeschwungen

Die Sollwertsicht veranschaulicht folgende Parameter:

- Absoluter Überschwinger der Sprungantwort (OverAbs)
- Relativer Überschwinger der Sprungantwort (Overshoot)
- Phase der Sprungantwort (StepPhase)
- Einschwingzeit der Sprungantwort (SettliTime)

- Einschwingverhältnis der Sprungantwort (SettlRatio)
- Statusanzeige für die Auswertung der Sprungantwort

Im Normalfall erfolgt der Übergang von Phase 3 nach Phase 0 automatisch. Um den Vorgang abzukürzen, kann dieser Übergang auch bei Bedarf durch Betätigen der Schaltfläche "Break Eval." erzwungen werden.

## Statistiksicht

In der Statistiksicht des Bildbausteins werden die wichtigsten Messwerte des überwachten Regelkreises dargestellt, die automatisch im Prozesswertarchiv gespeichert werden:

- Sollwert
- Istwert mit  $3\sigma$ -Toleranzband
- Stellgröße
- CPI
- Automatikbetrieb (binär)
- Obere bzw. untere Stellgrößenbegrenzung aktiv (binär)

## Scatterplot-Sicht

Ein Scatterplot ist eine zweidimensionale Darstellung aller Messwertpaare Istwert (PV) über Stellwert (MV).

Bei gut eingestelltem Regelkreis sollten die Datenpunkte eine elliptische Wolke bilden.

### Hinweis

Mehr Informationen zu den einzelnen Sichten erhalten Sie in der Online Hilfe "APC Faceplates > Bildbausteine > CPM > ...".



## 3.1 Aktivieren der Überwachungsfunktion

**Hinweis** Für diese Anleitung wurde das PCS 7 Beispielprojekt zu Advanced Process Control verwendet. Es ist in der PCS 7 Installation enthalten und kann im SIMATIC Manager über "Datei > Öffnen > Beispielprojekte > APC\_ExaSP" geöffnet werden.

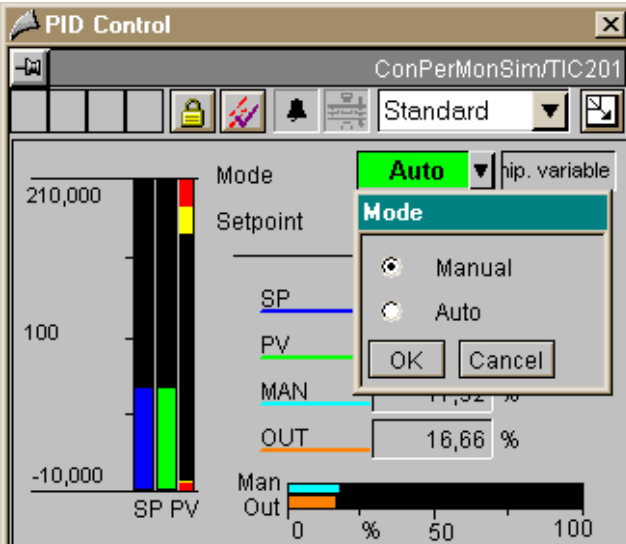
### 3.1.1 Einstellen eines Arbeitspunktes

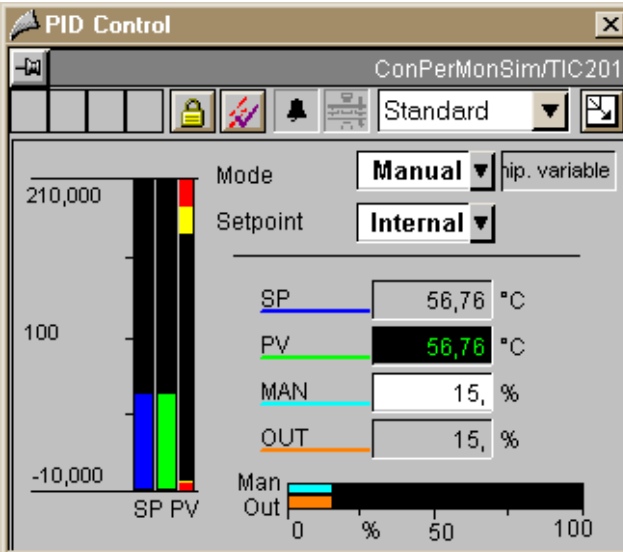
Vor der Initialisierung des CPM wird der Regler im Handbetrieb auf einen sinnvollen Arbeitspunkt eingestellt.

**Hinweis** Der Istwert kann auch im Automatikbetrieb per Sollwertänderung am Regler auf einen neuen Betriebszustand einschwingen.  
Das Mitlesen und Berechnen stochastischer Daten (z.B. Varianz) ist noch nicht nötig.

### Einstellen des Arbeitspunktes im Handbetrieb

Tabelle 3-1 PID-Standardsicht

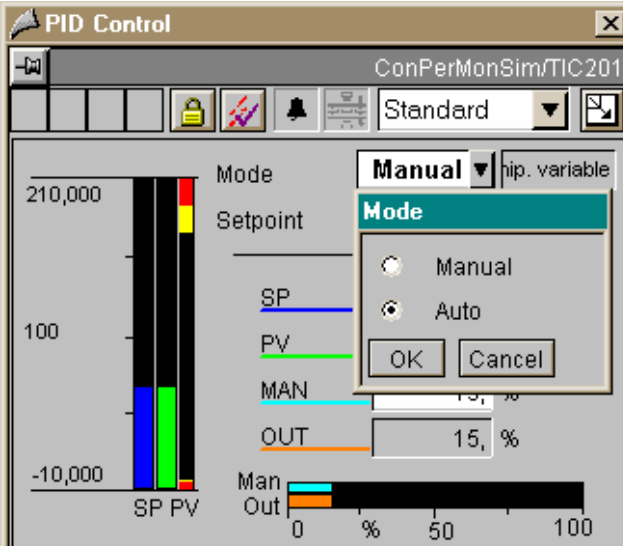
	Vorgehen	Screenshot
1.	<p>Öffnen Sie dazu das Faceplate des PID-Reglers in der Runtime. Stellen Sie über das Bedien-Faceplate des PID-Reglers die Betriebsart auf Handbetrieb.</p> <p>Den Modus wählen Sie aus der Klappliste für die Betriebsart, indem Sie das Optionsfeld "Manual" markieren.</p> <p>Betätigen Sie die Schaltfläche "Ausf".</p>	 <p>The screenshot shows the 'PID Control' window for 'ConPerMonSim/TIC201'. The 'Mode' dropdown is set to 'Auto', but a 'Mode' dialog box is open with 'Manual' selected. The 'Setpoint' (SP) is 210,000, 'PV' is 100, 'MAN' is 11,52 %, and 'OUT' is 16,66 %. A 'Man Out' bar chart at the bottom shows the output level.</p>

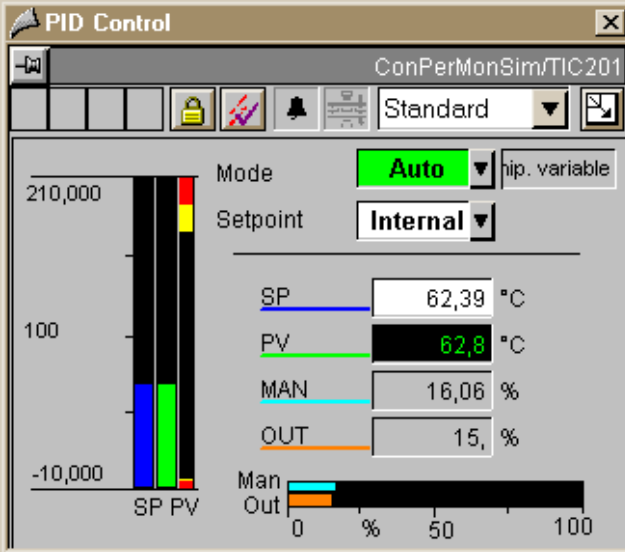
Vorgehen	Screenshot
<p>2. Die Regelgröße (z.B. Temperatur) soll auf einen gewünschten Arbeitspunkt eingestellt werden. Dazu geben Sie über den Anschluss "MAN" einen Stellwert von beispielsweise von "15%" vor (hier im Beispiel verhältnismäßig klein, um für den später folgenden Sollwertsprung einen möglichst großen Arbeitsbereich um den Arbeitspunkt zu haben). Danach warten Sie, bis der Istwert einen stationären Zustand erreicht hat.</p>	 <p>The screenshot shows the 'PID Control' window for 'ConPerMonSim/TIC201'. The Mode is set to 'Manual'. The Setpoint is 'Internal'. The SP (Setpoint) is 56,76 °C and the PV (Process Variable) is 56,76 °C. The MAN (Manual) input is 15, % and the OUT (Output) is 15, %. A bar chart on the left shows SP and PV values. A 'Man Out' bar at the bottom indicates the output level.</p>

### Umschalten auf Automatikbetrieb

Der zu überwachende PID-Regler wird in Automatikbetrieb genommen und der Sollwert auf einen neuen Arbeitspunkt eingestellt.

Tabelle 3-2 PID-Standardsicht

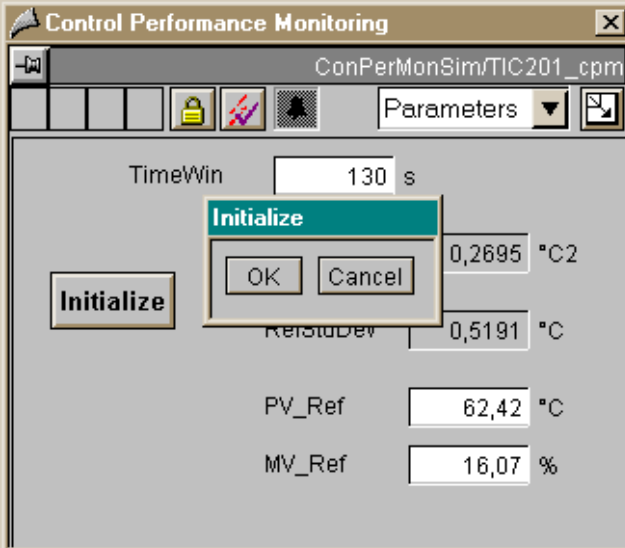
Vorgehen	Screenshot
<p>1. Stellen Sie die Betriebsart über die Klappliste um. Wählen Sie das Optionsfeld "Auto" aus.</p>	 <p>The screenshot shows the 'PID Control' window with a 'Mode' dialog box open. The dialog box has radio buttons for 'Manual' and 'Auto', with 'Auto' selected. The 'OK' and 'Cancel' buttons are visible. The background interface shows the same parameters as the previous screenshot.</p>

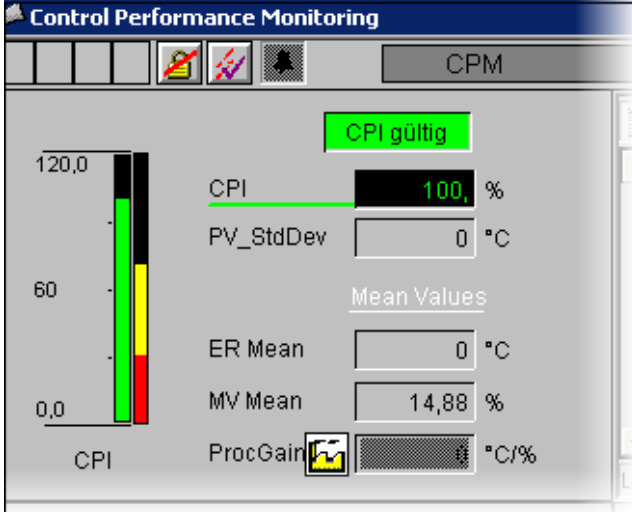
	Vorgehen	Screenshot
2.	Der PID-Regler befindet sich jetzt im automatischen Betrieb.	

### 3.1.2 Initialisieren des CPM

Befindet sich der Prozess (also die Regelgröße) in einem stationären Betriebszustand, wird der CPM-Baustein initialisiert. Dadurch werden Referenzwerte für Regelgüte, Stellgröße und Istwert gespeichert.

Tabelle 3-3 CPM Parametersicht und Standardsicht

	Vorgehen	Screenshot
1.	<p>Wählen Sie die Länge des Zeitfensters (TimeWin) groß genug.</p> <p><b>Hinweis:</b> Als Startwert sollte das Zeitfenster 10mal so lang sein wie die längste Prozesskonstante, oder 20mal so lang wie die Nachstellzeit des PID-Reglers.</p>	
2.	<p>Betätigen Sie die Schaltfläche "Initialisieren" um den Baustein zu initialisieren.</p> <p>Die Schaltfläche ist nur anwählbar, wenn sich die Reglerkurve im Zustand "StepPhase = 0" und der PID-Regler im Modus "Auto" befinden.</p>	

	Vorgehen	Screenshot
3.	<p>Der Regelgüteindex befindet sich nun im Zustand "CPI gültig" d.h., der Regelkreis ist im eingeschwungenen Zustand und der CPM ist initialisiert.</p> <p><b>Hinweis:</b> Nach der Initialisierung wird der Quality Code für die geschätzte Prozessverstärkung (ProcGain) auf "unsicher, prozessbedingt" wechseln. Die Prozessverstärkung wird aus Differenzen zum Referenz-Arbeitspunkt berechnet. Am Arbeitspunkt selbst kann sie daher nicht ermittelt werden.</p>	

Der Regelgüteindex (CPI) sollte jetzt bei ca. 100% liegen und somit anzeigen, dass der Regelkreis bestimmungsgemäß arbeitet. Durch stochastische Schwankungen kann der Wert von 100% zwischenzeitlich überschritten werden.

**Hinweis**

Nähere Informationen zu Interpretation der Berechnungen des Bausteins finden Sie in der Online Hilfe unter "APC Library V7.0 > CPM - Regelkreislageüberwachung > Funktionen von CPM" und "APC Faceplates > Bildbausteine > CPM > CPM: Parametersicht".

## 3.2 Arbeitsweise

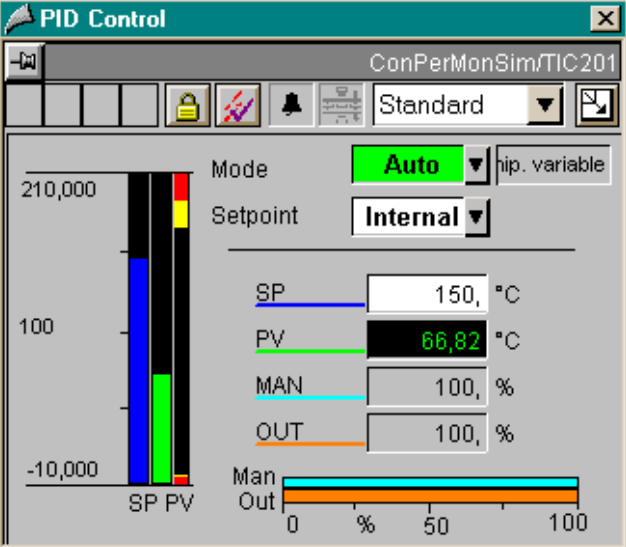
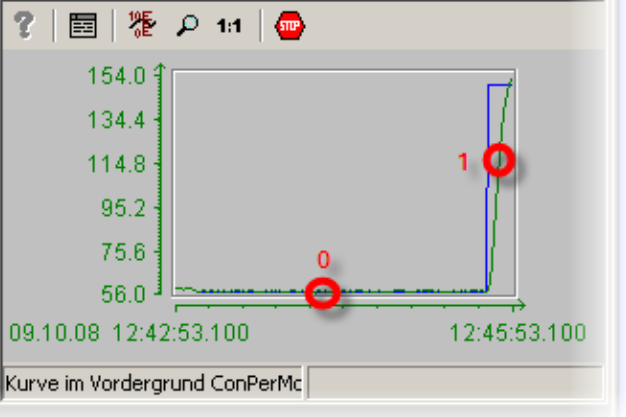
Im Folgenden wird die Überwachung der stochastischen und deterministischen Merkmale des Regelkreises beschrieben.

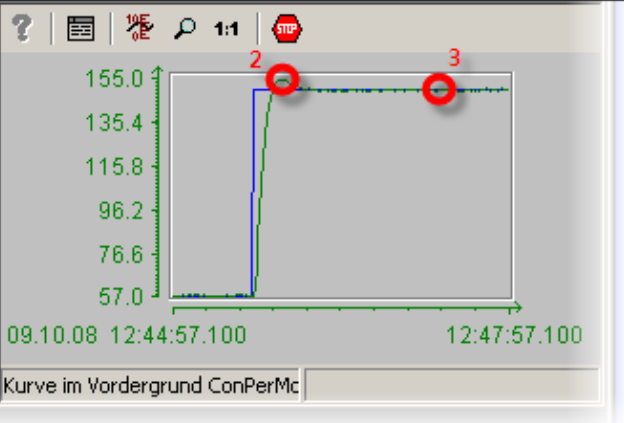
### 3.2.1 Sollwertänderung

Nach einer Änderung des Sollwertes beginnt der PID-Regler den Istwert an den neuen Sollwert anzugleichen. Dazu wird aus der Regeldifferenz eine Stellgröße ermittelt, die die Regelstrecke so beeinflusst, dass die Regeldifferenz im eingeschwungenen Zustand ein Minimum erreicht.

### Sprung des Sollwertes

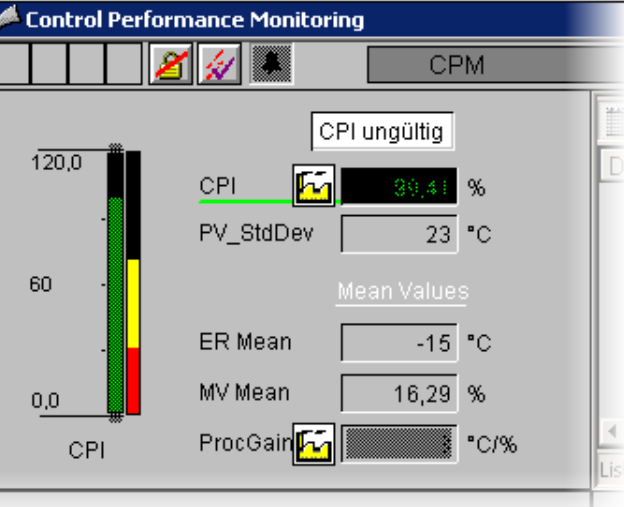
Tabelle 3-4 PID Standardsicht und Trendsicht

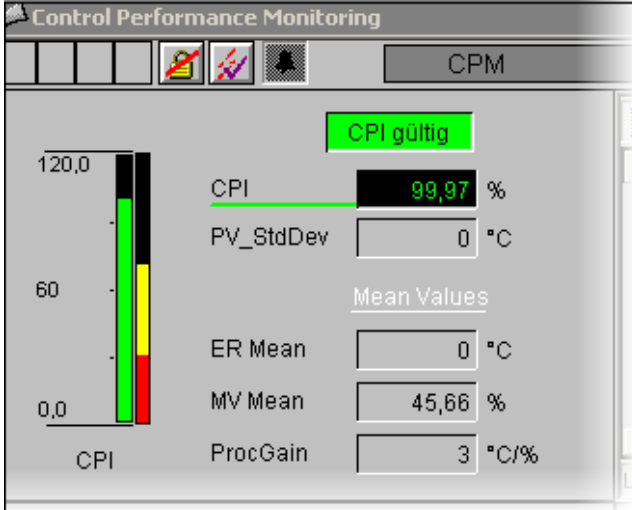
	Vorgehen	Screenshot
1.	<p>Ändern Sie den Sollwert durch anwählen des Eingabefeldes "SP" und tragen Sie dort den Wert "150" ein.</p>	
2.	<p>Unmittelbar nach der Sollwertänderung ist im Kurvenverlaufdiagramm die Sprungantwort zu sehen. Der Kurvenverlauf setzt sich aus den folgenden Phasen zusammen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 - bereit</li> <li>• 1 - ansteigend</li> <li>• 2 - Überschwinger</li> <li>• 3 - eingeschwungen</li> </ul>	

	Screenshot
<p>3. Nach relativ kurzer Zeit hat sich der Istwert an den Sollwert angepasst (Phase 3).</p>	

## Folgen des Sollwertsprungs im CPM

Tabelle 3-5 CPM Standardsicht

	Screenshot
<p>1. Nach dem Sollwertsprung wird der CPI und die Prozessverstärkung ungültig.</p>	

	Vorgehen	Screenshot
2.	<p>Wenn der PID-Regler den Istwert entsprechend angepasst hat, wechselt der CPI wieder auf "CPI gültig". Dieser bewegt sich um die 100%.</p>	

**Hinweis**

Nähere Informationen zu Sollwertänderung finden Sie in der Online Hilfe unter "APC Library V7.0 > CPM - Regelkreisgüteüberwachung > Funktionen von CPM > Überwachung deterministischer Merkmale der Regelgüte" und "APC Faceplates > Bildbausteine > CPM > CPM: Sollwertsicht".

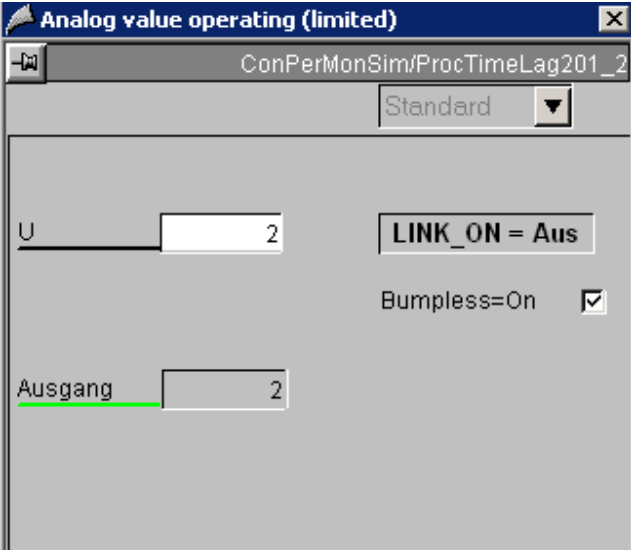
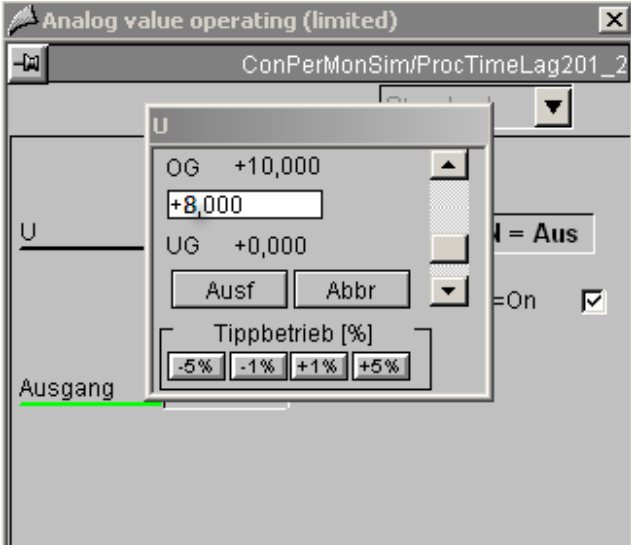
### 3.2.2 Verschlechterung der Regelgüte

Wenn sich die Regelgüte im laufenden Betrieb langsam verschlechtert, kann dies ein Zeichen dafür sein, dass Reglereinstellung und Regelstreckenverhalten nicht mehr mit einander harmonieren.

#### ProcTimeLag-Faceplate

Im APC-Beispielprojekt wird dieses Verhalten durch Verlängerung der Prozesszeitkonstanten nach Bedienung des Simulationsbausteins ProcTimeLag nachgebildet.

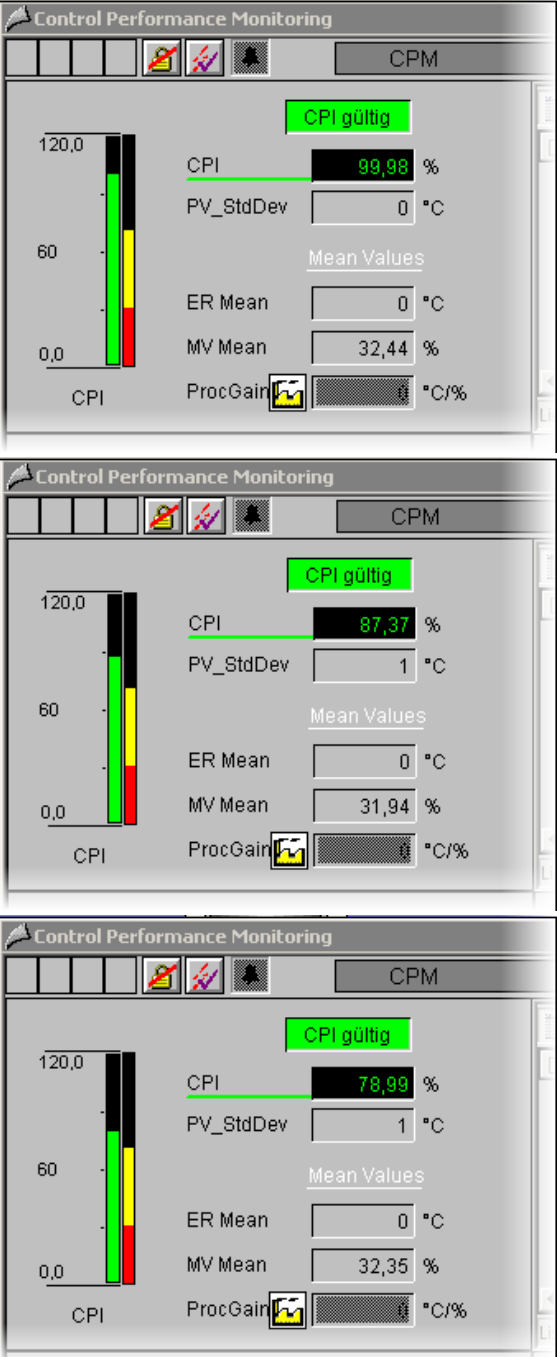
Tabelle 3-6 ProcTimeLag-Faceplate: Prozesszeitkonstante

	Vorgehen	Screenshot
1.	Wählen Sie in der Runtime den Bildbaustein "ProcTime" an, woraufhin sich das Faceplate öffnet.	
2.	Tragen Sie in das Eingabefeld beispielsweise den Wert "8" für die neue Zeitkonstante ein und betätigen Sie die Schaltfläche "Ausf".	



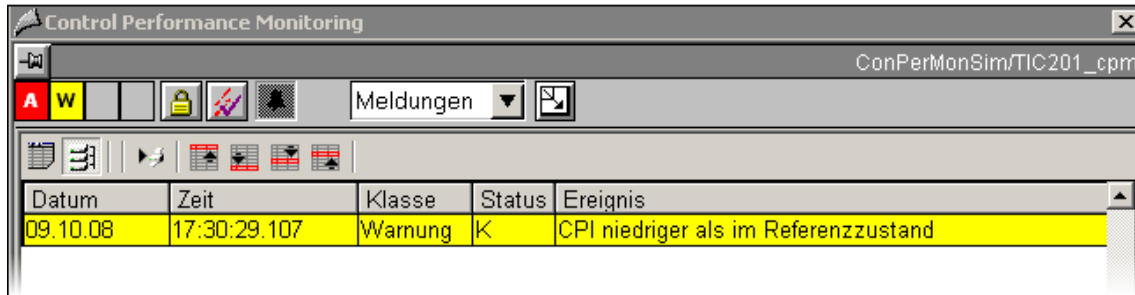
## Auswirkungen im CPM

Tabelle 3-7 CPM-Faceplate Standardsicht

	Vorgehen	Screenshot
1.	<p>Nach der Änderung der Zeitkonstanten ist zu beobachten, dass der CPI langsam fällt und somit eine Verschlechterung der Regelgüte anzeigt.</p>	 <p>The screenshot shows three sequential views of the Control Performance Monitoring (CPM) interface. Each view displays a vertical bar chart on the left with a scale from 0.0 to 120.0. The bar is divided into three segments: red at the bottom, yellow in the middle, and black at the top. To the right of the chart, the CPI value is shown in a green box, indicating it is 'gültig' (valid). The CPI value decreases from 99.98% in the first screenshot to 87.37% in the second, and finally to 78.99% in the third. Other parameters shown include PV_StdDev (0 °C, 1 °C, 1 °C), Mean Values (ER Mean: 0 °C, MV Mean: 32.44%, 31.94%, 32.35%), and ProcGain (0 °C/%).</p>

Bei entsprechender Parametrierung bewirkt das Absinken des CPI das Auslösen einer Meldung.

Abbildung 3-2 Warnmeldung nach Absinken des CPI in der Meldesicht



Gründe für die Verschlechterung können veränderte Regler- und Regelstreckenparameter sowie eine Veränderung der Stellgliedkennlinie sein. Falsch eingestellte Regler machen den Regelkreis zu langsam, führen zu einer großen Regelabweichung oder zu ungedämpften Schwingungen der Regelgröße. Um dem Abhilfe zu schaffen, sollten sämtliche Parameter überprüft und ggf. neue eingestellt werden.

Des Weiteren kann auch ein Verändern des Zeitfensters im laufenden Betrieb dazu führen, dass der CPI sich von seinem ursprünglichen Wert entfernt. Hierbei hilft es, den CPM neu zu initialisieren.

**Hinweis**

Während eines Sollwertsprunges werden die Alarmer unterdrückt.

## 3.3 Deutung von Überwachungsparametern

### 3.3.1 Bleibende Regelabweichung

Der Mittelwert der Regelabweichung im gleitenden Zeitfenster wird in der Standardsicht des CPM-Faceplates angezeigt. Für einen Regler mit I-Anteil (PI- oder PID-Regler) sollte er nahezu gleich null sein. Falls nicht, kommen folgende Problemursachen in Frage:

- Die Leistungsfähigkeit des Stellglieds ist nicht ausreichend. In der Folge geht der Regler ständig mit seinem Stellsignal an die Begrenzung. Dies kann an ungünstig dimensionierten Stellgliedern, veränderten Betriebsbedingungen oder auch an Verschleißerscheinungen liegen.
- Die vom Regler geforderte Stellgröße kommt am Prozess nicht zur Wirkung, weil z.B. das Stellglied defekt oder die Kommunikationsverbindung unterbrochen ist.

### 3.3.2 Änderung bzw. Absinken des CPI

- Verschlechterung der Regelgüte aufgrund veränderter Reglerparameter, veränderter Stellgliedkennlinie oder veränderter Regelstreckenparameter
- Stochastische Schwankungen können vorübergehend zum Übersteigen der 100% Marke führen. Dies ist aber unbedenklich.

In folgenden Fällen verändert sich der CPI naturgemäß, ohne dass Probleme im Regelkreis zu befürchten sind:

- Die Zeitfensterlänge wurde verändert.
- Die Glättung des verrauschten CPI-Signals wurde durchgeführt.

### 3.3.3 Änderung der Prozessverstärkung

- Abnutzungserscheinungen im Prozess führen zu einer schleichenden Prozessverstärkungsänderung. Dies beeinträchtigt in vielen Fällen die Regelgüte.
- Plötzliche und vorübergehende Änderung deutet auf einen externen Störeinfluss hin. Solche Störungen sind nicht durch eine bessere Reglereinstellung zu vermeiden. Falls sie häufiger auftreten lohnt es sich trotzdem, nach den Ursachen zu suchen.

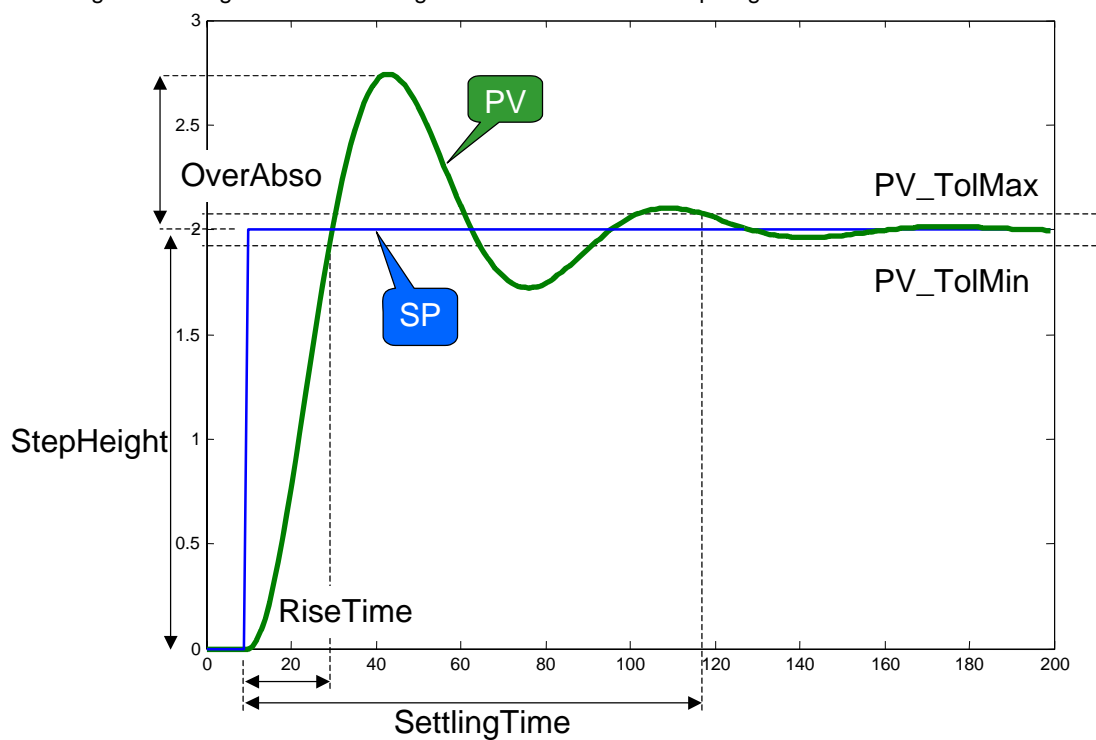
### 3.3.4 Überschwinger zu groß

Eine wichtige Größe für das Überwachen der Regelgüte ist der Überschwinger (Overshoot). Zu große Überschwinger der Sprungantwort sind auf eine falsch eingestellte Verstärkung des Reglers bzw. auf Änderungen der Regelstrecke zurückzuführen. Falls der Überschwinger zu groß ist, hilft es in vielen Fällen, die Verstärkung des Reglers zu reduzieren.

### 3.3.5 Einschwingverhältnis zu klein

Das Einschwingverhältnis, Quotient aus Anstiegszeit und Einschwingzeit, muss größer 25% sein. Ist dies nicht der Fall, wurde die Nachstellzeit am PID-Regler zu langsam eingestellt, was ein kriechendes Angleichen vom Istwert auf den Sollwert zur Folge hat.

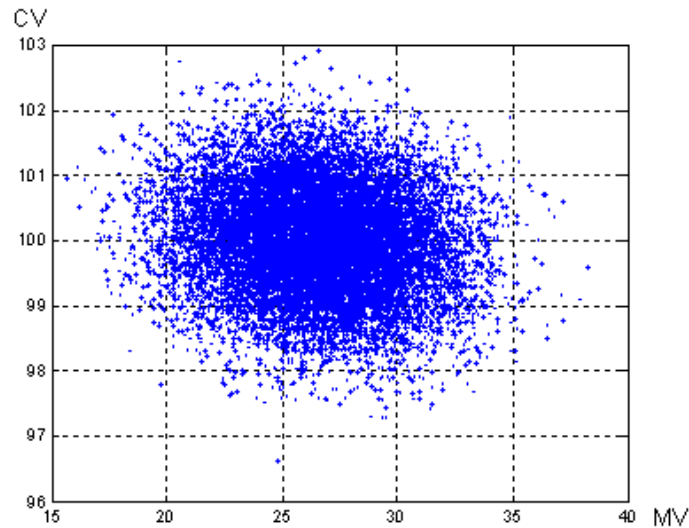
Abbildung 3-3 Anstiegs- und Einschwingzeit nach einem Sollwertsprung



### 3.3.6 Scatterplot

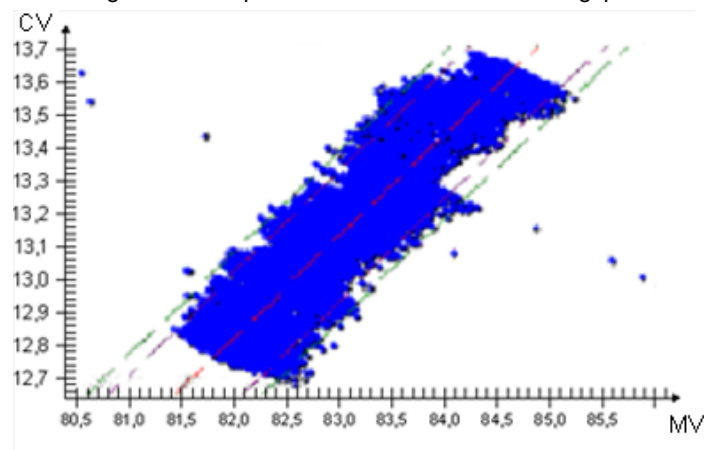
Bei einem gut eingestellten Regelkreis sollten im Scatterplot die Datenpunkte eine elliptische Wolke bilden.

Abbildung 3-4 Scatterplot für gut eingestellten Regelkreis



Erkennen lassen sich Nichtlinearitäten wie z.B. Reibungseinflüsse in Ventilen (die zu einer parallelogrammartigen schrägen Kontur führen), aber auch Quantisierungseffekte und andere ungewöhnliche statistische Verteilungen.

Abbildung 3-5 Scatterplot für ein Ventil mit Haftreibungsproblemen



## 3.4 Benefits für den Anlagenbetreiber

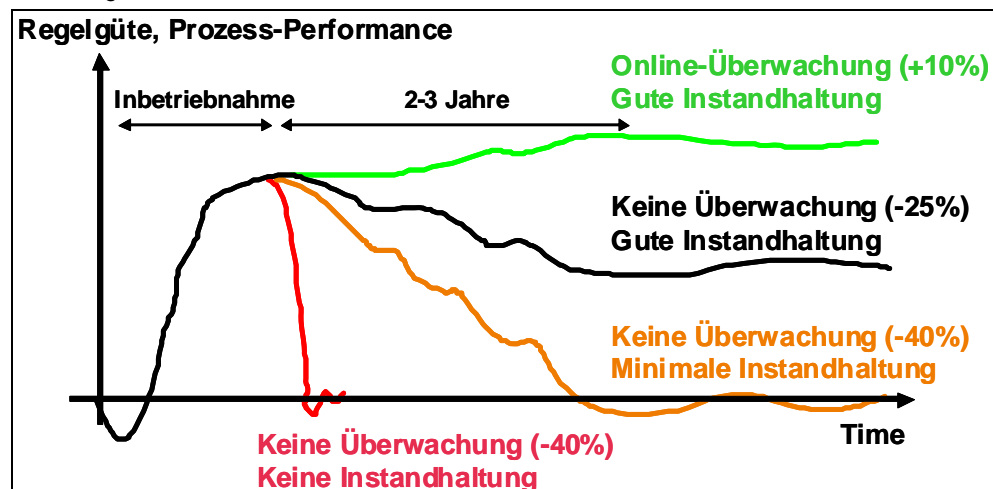
### Hauptvorteile

- Einfaches Projektieren und automatisierte Initialisierung der CPM-Funktionalitäten
- Permanentes, automatisches Überwachen der Regelkreise der Anlage
- Möglichkeit, frühzeitig bei nachlassender Leistungsfähigkeit mit gezielten Maßnahmen gegen zu wirken

### Anwendungserfahrungen

Langfristige Auswirkungen von Control Performance Monitoring auf die Regelgüte:

Abbildung 3-6



## **4 Regelkreisüberwachung bei vermaschten Regelkreis-Strukturen**

### **4.1 Kaskaden-Regelung**

Bei einer Kaskadenregelung sollten Sie den CPM-Baustein nur auf den Führungsregler, nicht aber auf den Folgeregler anwenden. Der CPM-Baustein kann keine sinnvollen Aussagen über die Regelgüte des Folgeregelkreises machen, weil:

- ... die Varianz des Istwertes im Folgeregelkreis direkt von der Varianz des Sollwerts abhängt, der als Stellwert vom Führungsregler vorgegeben wird.
- ... es weder Betriebsphasen mit konstantem Sollwert, noch definierte Sollwertsprünge gibt.

Im Übrigen ist aus Sicht der Prozessführung natürlich der Führungsregelkreis derjenige, dessen Regelgüte überwacht werden sollte, während die Regelgüte des Hilfsregelkreises (Folgeregelkreises) von sekundärer Bedeutung ist. Dennoch ist es ratsam, den Folgeregelkreis sorgfältig einzustellen, bevor Optimierung und Überwachung des Führungsreglers angegangen werden, da schlechtes Verhalten des Folgereglers vom Führungsregler nicht kompensiert werden kann.

### **4.2 Split-Range-Regelung**

Der Split-Range-Funktionsbaustein enthält zwei individuelle (statische) Kennlinien für die beiden Aktoren. Falls beide Aktoren deutliche Unterschiede in ihrer Leistungsfähigkeit aufweisen (interpretierbar als unterschiedliche Prozessverstärkung für Heizen/Kühlen) sollte dies durch unterschiedliche Steigungen beider Kennlinienäste kompensiert werden, sodass der Regler ein möglichst lineares (d.h. vorzeichenunabhängiges) Prozessverhalten vorfindet. Falls dies nicht gelingt, wird die Regelgüte in den beiden Bereichen leicht unterschiedlich sein. Die Initialisierung des CPM-Bausteins sollte dann im schlechteren Bereich durchgeführt werden, um Fehlalarme zu vermeiden.

### **4.3 PID-Regler mit Gain-Scheduler**

Ziel des Gain-Scheduling ist, über den gesamten Arbeitsbereich eine gleichmäßige Regelgüte zu erzielen. Falls dies nicht perfekt gelingt, sollte die Initialisierung des CPM-Bausteins in einem Arbeitspunkt mit schlechterer Regelgüte durchgeführt werden, um Fehlalarme zu vermeiden. Es empfiehlt sich, die Alarmgrenzen am CPM-Baustein etwas weiter zu fassen: kleinere CPIs und größere Überschwinger zulassen.

#### **4.4 Ablösende Regelung**

Bei einer ablösenden Regelung sind je nach Prozesszustand verschiedene Regler aktiv, deren Regelgüte sich naturgemäß unterscheidet. Es empfiehlt sich, die Regelkreisüberwachung nur auf den Hauptregler anzuwenden, und über den Eingangsparameter ManSuprCPI zu unterdrücken, falls der Begrenzungsregler aktiv wird.

#### **4.5 Störgrößenaufschaltung**

Die Aufgabe der Störgrößenaufschaltung besteht darin, Verschlechterungen der Regelgüte aufgrund von Änderungen einer messbaren Störgröße zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Prinzipiell kann die Regelkreisüberwachung daher wie beim Einfachregelkreis angewendet werden. Falls die Störgröße zeitweise sehr ruhig verläuft, und zeitweise sehr unruhig, können entsprechende Schwankungen der Regelgüte jedoch nicht ausgeschlossen werden, da die Störgrößenaufschaltung einen modellbasierten Eingriff darstellt, und ein Modell nie ein perfektes Abbild der Wirklichkeit ist.

#### **4.6 Smith-Prädiktor**

Der Smith-Prädiktor ermöglicht bei Strecken mit Totzeit eine höhere Regelgüte als ein einfacher PI-Regler. Prinzipiell kann die Regelkreisüberwachung daher wie beim Einfachregelkreis angewendet werden. Falls sich die Totzeit im laufenden Betrieb ändert, muss mit Verschlechterungen der Regelgüte gerechnet werden.

#### **4.7 Verhältnisregelung**

Bei einer Verhältnisregelung sollte die Regelkreisüberwachung nur auf den Hauptregelkreis angewendet werden, falls die Sollwerte für zugemischte Komponenten aus dem Istwert der Hauptkomponente bestimmt wird, da dann in den Regelkreisen für die zugemischten Komponenten ähnlich wie beim Folgeregelkreis einer Kaskade mit dauernden Sollwertänderungen zu rechnen ist. Falls die Sollwerte für zugemischte Komponenten aus dem Sollwert der Hauptkomponente bestimmt wird, können auch die unterlagerten Regelkreise überwacht werden.

#### **4.8 Mehrgrößenregelung**

Das mathematische Konzept des CPM-Bausteins ist für Eingrößen-Regelkreise ausgelegt. Wenn in einem Regelkreis eine überhöhte Varianz festgestellt wird, kann der Baustein nicht ermitteln, ob die eigentliche Ursache innerhalb dieses Regelkreises liegt oder Quereinflüsse durch Wechselwirkungen aus dem Feld eingeschleppt werden. Wenn Sie also starke Verkopplungen zwischen verschiedenen Regelkreisen Ihrer Anlage beobachten, oder sogar Mehrgrößenregler einsetzen, sind die Aussagen des CPM-Bausteins mit Vorsicht zu betrachten.



Dennoch ist es sinnvoll, auch einen Mehrgrößenregler wie den ModPre-Con-Baustein mit einer Regelkreisüberwachung auszustatten, um festzustellen, ob die Regelgüte im laufenden Betrieb so erhalten bleibt, wie sie bei der Inbetriebnahme des Reglers erreicht wurde. In diesem Fall bekommt jeder Regelkanal des Mehrgrößenreglers einen separaten CPM-Baustein. Es ist erforderlich, einige zusätzliche logische Funktionen vor dem Eingangsparameter "ManSuprCPI" zu projektieren:

- Wenn einer oder mehrere andere Kanäle des Mehrgrößenreglers sich in einem instationären Zustand (z.B. Sollwertsprung) befinden, angezeigt durch den Ausgangsparameter "CPI\_SupRoot = 1", dann kann die vorübergehend vergrößerte Varianz auch in diesem Regelkanal nicht vermieden werden, und sollte nicht zu einer CPI-Meldung führen.
- Wenn einer oder mehrere andere Kanäle des Mehrgrößenreglers erhöhte Varianzen (schlechte Regelgüte) aufweisen, angezeigt durch den entsprechenden Ausgang "CPI\_WrnAct = 1", dann bewirken diese Varianzen über die Verkopplung auch eine vergrößerte Varianz in diesem Regelkanal, die nicht vermieden werden kann und daher nicht zu einer CPI-Warnung führen soll. Auf diese Weise kann es gelingen, die eigentliche Störungsursache in einem Mehrgrößensystem herauszufinden: der Kanal, der zuerst erhöhte Varianzen feststellt, setzt den Alarm, während Folgealarme in benachbarten Kanälen unterdrückt werden.

### Hinweis

Im Mehrgrößenfall sind die aus der Eingrößenbetrachtung geschätzten Prozessverstärkungen irrelevant. Durch Setzen des Eingangsparameters "StGainValid = 0" wird dies auch im Bedienbild als Status "Unsicher, prozessbedingt" entsprechend angezeigt

## 5 Historie

Tabelle 5-1 Historie

Version	Datum	Änderung
V1.0	13.11.2008	Erste Ausgabe