

# Anforderungen an Messumformer für C-Pegel-Regelsysteme in Wärmebehandlungsanlagen

Von Nobert Engler

Um den kontinuierlich steigenden Qualitätsansprüchen in der Wärmebehandlung gerecht zu werden, muss in allen Bereichen nach Möglichkeiten zur Optimierung gesucht werden. Mit besonderer Aufmerksamkeit wird folgend das C-Pegel-Regelsystem betrachtet. Hier müssen dem Anwender Möglichkeiten zur exakten Regelung und Überwachung der Ofenatmosphäre an die Hand gegeben werden. Dies ist besonders bei vollautomatisierten Anlagen wichtig. Im folgenden Beitrag werden die Anforderungen an Messumformer zur Berechnung des C-Pegels aufgezeigt.

zieren. Hierzu ist es notwendig, die Automatisierungstechnik in Module mit fest umrissener Funktionalität zu splitten. Der Einsatz von Standardkomponenten mit standardisierten Schnittstellen ist hier dringend anzuraten. Dadurch ist die Verfügbarkeit unabhängig von einzelnen Herstellern gewährleistet. So sind auch heute schon die Sensoren wie beispielsweise Thermoelemente, Sauerstoffsonden und Gasanalysegeräte herstellerunabhängig einsetzbar.

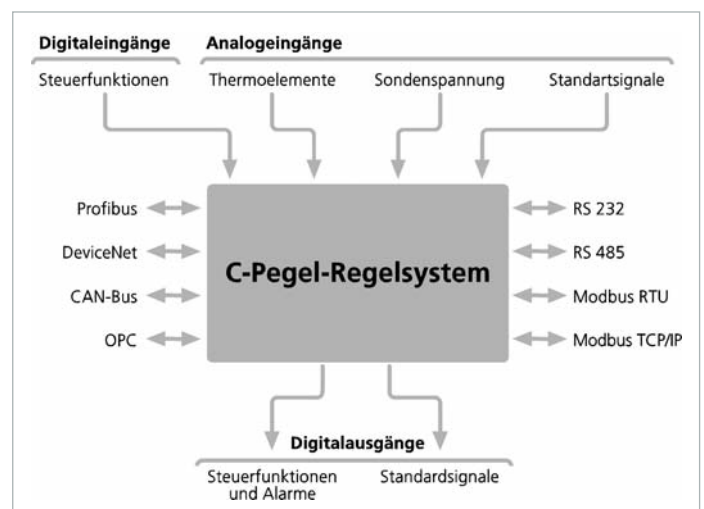
Bei C-Pegel-Reglern muss jedoch oft vom Werksstandard für Regler abgewichen werden, da die Standardregler nicht oder nur mangelhaft für die C-Pegel-Verarbeitung ausgelegt sind.

Die neuen Systeme der Serie KS und Sigma-PAC schließen diese Lücke. Die C-Pegel-Verarbeitung wird ausgelagert, so dass die Regler von dieser Aufgabe entlastet werden und nur noch die reine Regelaufgabe übernehmen.

Die Anforderungen an die Messtechnik, die Automatisierungstechnik und die Dokumentation der Prozesse steigen stetig. Die Regelungstechnik muss daher immer wieder auf den neuesten Stand der Entwicklung ausgelegt werden. Dies gilt auch für Anwendungen ohne C-Pegel-Regelung, bei denen ebenso die Qualität gewährleistet sein muss, um reproduzierbare, gleichbleibende Ergebnisse zu erreichen (beispielsweise Wärmebehandlungen unter reduzierender Atmosphäre, um Oxidationen an dem zu behandelnden Gut zu vermeiden, etc.).

Auf dem Markt wird eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme angeboten. Hierbei handelt es sich meist um geschlossene Systeme, bei denen der Anwender, bei der Implementierung neuer Anforderungen, auf die Hilfe seines Lieferanten angewiesen ist.

Zeitgemäße Systeme sollten offen für Innovationen sein und die Bindung an einen Lieferanten auf ein Minimum redu-



**Bild 1:**  
C-Pegel-Regelsystem

## Anbindung an Bussysteme

Die digitale Kommunikation hat auch in der Mess- und Regeltechnik von Wärmebehandlungsanlagen Einzug gehalten. Dezentrale Einheiten ermöglichen den Anlagenherstellern immer kürzere Wege zwischen Sensorik und Steuerung. Die dezentralen Einheiten kommunizieren dann über die Bussysteme miteinander. Sind die entsprechenden Schnittstellen vorhanden, ist die Einbindung eines C-Pegel-Regelsystems (**Bild 1**) ohne weiteres möglich. In Deutschland sind „Profibus“ und „Modbus over TCP/IP“ als industrielle Bussysteme neben „CANOpen“ auf dem Vormarsch. Alle Systeme basieren auf einer seriellen Kommunikation. Die Grundlage für die Programmierung sind immer Register, in denen die einzelnen Variablen gespeichert werden. Routinen für den automatischen Abgleich oder zur Berechnung einer neuen Folienkorrektur können einfach über die Änderung von Statusregistern angestoßen werden. Somit ergibt sich eine einfache Kommunikations- und Datenaustauschstruktur für die Bussysteme, die vielfältig adaptiert werden kann. Ein separates Bedienterminal wird nicht benötigt, da alle Interaktionen einfach in bestehende Visualisierungs- und Bediensysteme integriert werden können.

## Anbindung an Analogtechnik

Optimal ist es eine Anlage auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen. Die Technik muss aber auch im Stande sein, die Kommunikation mit der bestehen-

den Komponenten sicher zu stellen. Aus diesem Grund ist es notwendig neben den heute gängigen Bus-Systemen wie „Profibus“, „Modbus“, „CAN-Open“, „Foundation-Fieldbus“ oder „DeviceNet“ auch die immer noch genutzte Analogtechnik zu unterstützen. Somit muss ein C-Pegel-Regelsystem mehrere analoge Ausgänge besitzen, die auf die verschiedenen Bedürfnisse der Applikation anzupassen sind.

Die Anpassung muss sowohl bei der Signal-Art (0...10 V, 0/4...20 mA), im Messbereich und der Signalquelle (Temperatur, C-Pegel, CO/ CO<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>/ O<sub>2</sub>-Konzentration, Taupunkt) möglich sein. Die Signale werden entweder zur Regelung, zur Dokumentation oder zur Kontrolle in Prozessleitsystemen verwendet. Im Minimum werden zwei analoge Ausgänge benötigt, für den C-Pegel und die Temperatur. Die anderen Signale sind meistens bereits auf die Standardsignale verstärkt und können somit auch an weitere Messsysteme weitergegeben werden.

## Ein- und Mehrkanalsysteme

In den meisten Applikationen an Schacht- oder Kammeröfen werden ein-kanalige Varianten eingesetzt. Jeder Ofen hat seine eigene Steuerung und benötigt somit auch nur ein separates C-Pegel-System.

Anders sieht es bei Ofenanlagen aus, die mit mehreren Zonen gleichzeitig arbeiten. Hier ist eine Mehrkanallösung sinnvoll. Dies bedeutet aber auch eine Vielfältigkeit der Ein- und Ausgänge. Das

System Sigma-PAC (**Bild 2**) kann flexibel an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Hierzu wird eine Vielzahl unterschiedlicher Ein-/ Ausgangsmodule angeboten. Die Programmierung erfolgt über die SPS-Standard-Sprache nach IEC 61131.

## Steuerungs- und Regelaufgaben

Ein innovatives System sollte in der Lage sein, die vorhandene SPS zu entlasten oder sogar gänzlich zu ersetzen.

So können beispielsweise in das System Sigma-PAC die Regelalgorithmen ausgelagert werden. Die bestehende SPS muss somit nur noch die Sollwerte übertragen. Die komplette Berechnung der Stellgröße erfolgt im Sigma-PAC. Je nach Anwendung können die Ein- und Ausgänge als SPS-Baugruppe oder als Modul zum Sigma-PAC-System ausgeführt werden. Die Anzahl der Regelkreise ist fast grenzenlos. Jedoch mit steigender Anzahl von Regelkreisen sinkt die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Als Faustformel kann hier bei 30 Reglern eine Zykluszeit von ca. 1 Sekunde genannt werden.

Aufgrund der standardisierten Programmierbarkeit können beliebige Steuerungsaufgaben ausgelagert werden.

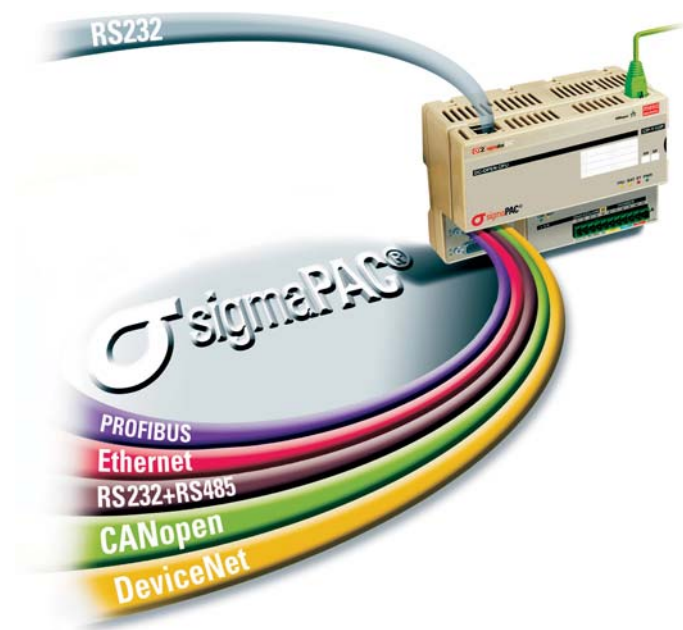
Anlagenbauer haben die Möglichkeit ihr „Know-How“ in dem System zu schützen, so dass weder der Hersteller, der Kunde noch ein Wettbewerber geschützte Module auslesen und weiterverarbeiten können.

## Unterstützung für vielfältige Sensor-Systeme

Zur Bestimmung des C-Pegels in Ofenatmosphären werden folgende Parameter benötigt:

- Variante 1: Temperatur, CO-Gaskonzentration, Restsauerstoffgehalt (L-Sonde oder O<sub>2</sub>-Sonde)
- Variante 2: Temperatur, CO-Gaskonzentration, CO<sub>2</sub>-Gaskonzentration
- Variante 3: Temperatur, CO-Gaskonzentration, H<sub>2</sub>-Gaskonzentration, Taupunkttemperatur der Gaskonzentration

Aus diesen Möglichkeiten der Sensorik geht schon hervor, dass ein C-Pegel-Überwachungs- und Regelsystem eine Vielzahl verschiedenartiger Eingänge für analoge Signale benötigt.



**Bild 2:** SigmaPAC

Die Temperaturmessung erfolgt in der Regel über Thermoelemente der Typen K (NiCr-Ni) oder S (Pt-PtRh10). Die Spannungssignale dieser Thermoelemente liegen bei einer Temperatur von 1000 °C bei ca. 42 mV (Typ K) bzw. 10 mV (Typ S). Der Eingangswiderstand des Reglers für diese Signale sollte sehr hoch sein (ca. 1–10 M $\Omega$ ), damit keine Messverfälschungen zustande kommen. Eine Auflösung des Temperatursignals sollte 1 °C nicht unterschreiten. Die Genauigkeit des Systems sollte auf jeden Fall besser sein, als die Grundgenauigkeit der Thermoelemente in der meist eingesetzten Genauigkeits-Klasse 2 (bei Typ K besser  $\pm 7,5$  °C bezogen auf 1000 °C; bei Typ S besser  $\pm 2,5$  °C bezogen auf 1000 °C) nach EN 60584 – Teil 2. Hierbei darf auf keinen Fall die Vergleichsstelle vergessen werden.

Die Gaskonzentrationen von CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> sowie H<sub>2</sub>O werden normalerweise als Standard-Signal geliefert. Standard-Signale werden in der Industrie zur Übertragung über weite Strecken eingesetzt und sind somit als weitgehend störungsfrei anzusehen. Für die Auswertung der Spannungssignale werden Messgeräte mit einem mittleren Eingangswiderstand (50...500 k $\Omega$ ) benötigt. Stromeingänge hingegen benötigen einen sehr kleinen Eingangswiderstand (1–500  $\Omega$ ), damit die Bürde im Messkreis nicht zu groß wird. Oft werden auf die Spannungseingänge der auswertenden Geräte externe Widerstände, so genannte Shunts, geschaltet um das Stromsignal in ein Spannungssignal zu wandeln. Dies bietet den Vorteil, dass beim Tausch einzelner Module der Messkreis geschlossen bleibt. Am gebräuchlichsten sind hierbei die Shunt Werte von 50, 100, 250 oder 500  $\Omega$ . Bei diesen Stromsignalen entsteht ein Hub von 1.0, 2.0, 5.0 oder 10.0 V.

Eine Auflösung von 1000 Schritten (1024 = 10 Bit) ist knapp bemessen. Besser wären 12 oder 16 Bit Auflösung, da nicht immer bei den eingesetzten Sensoren ein für die Applikation optimierter Messbereich zur Verfügung steht.

Der in Wärmebehandlungsanlagen am meisten verwendete Sensor ist die Sauerstoff-Sonde bzw. die L-Sonde auf Zirkonium-Basis (vergl. Fachartikel Gaswärme 05-2005: Sauerstoffsonde mit Schutzpotential). Diese Sensoren liefern ein mV-Signal in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Sauerstoffpartialdruck (PO<sub>2</sub>) der Atmosphäre im Ofen. Der maximale Spannungshub beträgt bei der Sauer-

stoffsonde ca. 1300 mV und bei der L-Sonde ca. 1400 mV. Die Problematik besteht darin das Signal unverfälscht zu messen. Zur optimalen Auswertung müssen Messgeräte mit einem Innenwiderstand von mindestens 100 M $\Omega$  oder besser 1 G $\Omega$  eingesetzt werden. Andernfalls kann es leicht zu Messverfälschungen kommen. Die Auflösung und die Genauigkeit für diese Signale sollte 1 mV nicht unterschreiten.

Ein universelles System muss somit eine genügend große Anzahl an Ausgängen und gleichzeitig eine Vielzahl von verschiedenen Eingängen zur Verfügung stellen um die Aufgabe realisieren zu können. Weiterhin müssen Möglichkeiten vorhanden sein, die unterschiedlichen Sensoren an das System anzupassen. So werden z. B. für L-Sonden Kalibrierfaktoren benötigt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die galvanische Entkopplung der Eingänge. Thermoelemente und Sauerstoffsonden liegen mit ihrem äußeren Schutzrohr beispielsweise auf dem Massepotential einer Ofenanlage. Somit kann es bei nicht galvanisch getrennten Systemen zu Erdschleifen und dadurch zu Messverfälschungen kommen.

## Berechnung des C-Pegels

Die Grundlage für die Berechnung des C-Pegels sind die oben aufgeführten Messwert-Zusammenstellungen. Die Formeln enthalten Logarithmen, Exponentialfunktionen und weitere mathematische Verknüpfungen, für die Standard-SPS-Systeme nicht ausgelegt sind. Voraussetzungen für ein gut funktionierendes C-Pegel-Regelsystem sind neben den oben aufgeführten mathematischen Grundfunktionen Gleitpunktoperationen mit 32 Bit Verarbeitung. Weiterhin werden Konstanten mit der gleichen Variablen-Genauigkeit benötigt. Eine Realisierung mit einer Standard-SPS ist somit nicht ohne weiteres durchzuführen.

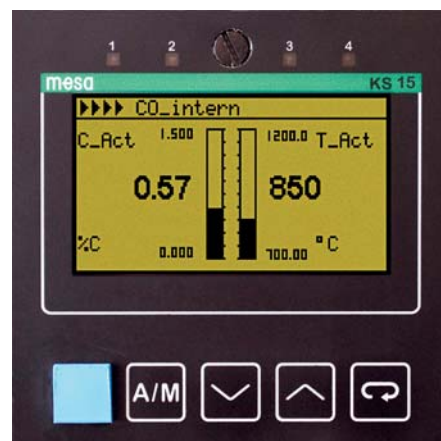
## Einsatz in der Fronttafel oder im Schaltschrank (Hutschienmontage)

Zur Bedienung der C-Pegel-Messsysteme wird immer eine mögliche Interaktion mit dem Anwender benötigt, da das System justierbar sein muss. Hier ist insbesondere die Folienprobe zu nennen. Der grundsätzliche Ablauf bei der Folienprobe kann wie folgt beschrieben werden:

1. Im Ofen muss sich ein stabiles C-Potenzial (ausgeregelter Zustand) hinsichtlich der Ofenatmosphäre eingestellt haben. Erst dann ist ein Abgleich bzw. eine Justage des berechneten C-Pegels möglich.
2. Die Folie wird in den Ofen eingebracht. Dem Messsystem muss der Beginn dieses Abgleichprozesses mitgeteilt werden,
3. Der Mittelwert des C-Pegels wird während der Folienprobe erfasst und zusammen mit der entsprechenden Temperatur gespeichert.
4. Nach der Beharrungszeit für die Folienprobe (vergl. Fachartikel Gaswärme 05-2007: Praxisnahe C-Pegelüberprüfung der Ofenatmosphäre mittels Eisenfolien) wird die Folie nach Vorschrift gezogen und analysiert.
5. Die ermittelten Werte für den C-Pegel werden an das C-Pegel-Regelsystem weitergegeben. Dort werden Korrekturfaktoren für das System bestimmt.

Zu diesem Zeitpunkt ist eine Interaktion mit dem C-Pegel-Messsystem notwendig.

Bei Systemen für Fronttafeleinbau (**Bild 3**) ist eine direkte Kommunikation mit dem Gerät über die Anzeige und die Tastatur möglich. Nach Auswertung der Folie müssen die Folienwerte unter dem entsprechenden Menüpunkt eingetragen und gespeichert werden. Da die Korrektur in der Regel linear zwischen zwei Werten in Abhängigkeit der Temperatur stattfindet, muss das System nun selbstständig ermitteln, welcher der beiden vorhandenen Stützpunkte ersetzt werden kann. Hierzu wird die Differenz-



**Bild 3:** C-Pegel-Messumformer KS15 für Fronttafeleinbau

temperatur von der aktuellen Folienprobe zu den beiden vorhandenen Stützstellen ermittelt. Der Wert mit der kleineren absoluten Differenz wird dann ersetzt und die neue Korrekturkurve ermittelt.

Bei analogen Systemen ohne digitale Schnittstellen ist die Kommunikation problematisch. Um einen solchen Abgleich durchzuführen muss eine Mensch-Maschine-Schnittstelle temporär ergänzt werden, d. h. als Zubehör wird zu einem solchen System ein Hand-Terminal oder ein PC-Programm zur Konfiguration mitgeliefert, mit welchem die Kommunikation ermöglicht wird. Dies bedeutet aber zusätzlichen Aufwand. In der Regel muss dafür das Steuerungssystem (Schaltschrank) geöffnet werden, was dazu führt, dass nur Elektro-Fachpersonal den Abgleich ausführen kann. Dadurch dass die Bedienelemente nicht ständig am C-Pegel-Messsystem angebaut sind, wird in der Praxis auch nur selten eine Korrektur der C-Pegelmessung bei diesen Systemen durchgeführt. Hierbei kann es zu großen Abweichungen kommen, die die Qualität der Produkte nachhaltig beeinflusst.

Bei Bussystem basierten Systemen ohne direkte Anzeige ist eine Übermittlung der relevanten Daten über ein Terminal oder Leitsystem-Rechner möglich. Hierbei muss das C-Pegel-Messsystem Unterprogramme und einen definierten Datenaustausch mit dem übergeordneten Visualisierungssystem bieten, über die die Kommunikation sichergestellt wird. Je komfortabler diese Routinen sind, desto leichter lassen sich die busbasierten Systeme einbinden. Wichtig ist dabei die Art der Schnittstelle. Auf Grund der großen Verbreitung der Siemens-Steuerungen ist die von diesem System favorisierte Profibus-Schnittstelle ein Muss. Die steigende Verbreitung der Ethernet Knoten in den industriellen Applikationen zeigt auch für diese Systemschnittstelle eine Vielzahl an Verbindungsmöglichkeiten auf. Das hierbei favorisierte Protokoll ist ein TCP/IP Protokoll auf Modbus-Basis.

## Weitere Funktionalitäten

Zur Überprüfung und Überwachung des Systems können bei entsprechender Rechenleistung weitere Kenndaten für den Wärmebehandlungsprozess berechnet werden. Diese können zur weiteren Analyse bzw. der Beurteilung der Prozesse zu

Grunde gelegt werden. Beispielsweise kann aus dem ermittelten C-Pegel die theoretische SONDENSspannung einer Sauerstoffsonde, der entsprechende CO<sub>2</sub>-Wert oder der Taupunkt berechnet werden. Dies ist sehr hilfreich bei Vergleichsmessungen. Die gemessenen Werte können direkt verglichen werden und die übliche Beurteilung mittels Tabellen kann komplett entfallen. Die Tabellen sind quasi im Messumformer gespeichert. Bei Anschluss von zusätzlichen Sensoren kann beispielsweise eine Überwachung der zur Regelung genutzten Sauerstoffsonde durch eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Messung realisiert werden. So wird zeitgleich der C-Pegel über die Sauerstoffsonde und dem CO<sub>2</sub>-Analysewert berechnet. Im ausgeglichenen Zustand sollte die Abweichung zwischen beiden C-Pegeln nicht größer als eine festzulegende Grenze sein. In diesem Fall kann das Anlagenpersonal gewarnt werden und rechtzeitig in den Prozess eingreifen. Digitale Ein- und Ausgänge müssen natürlich auch in einem solchen System zur Verfügung stehen. Über die Eingänge kann dem System mitgeteilt werden, wann

- in der Anlage alles bereit ist und die Regelfunktion wieder aktiviert werden kann (Öffnen – Beladen – Schließen des Ofens)
- eine Begasung im Ofen durchgeführt werden kann (ext. Begasungsfreigabe)
- eine Spülung der Sauerstoffsonde stattfindet und wie lange diese dauert
- eine Folienprobe durchgeführt wird und wann der neue Korrekturwert zur Verfügung steht
- eine Störung am CO-Analysator vorliegt
- die Anlage mit Ammoniak beschickt wird

Die Digitalausgänge können genutzt werden für:

- Alarme
- Ansteuerung für Sondenspülung
- Begasungsfreigabe (nicht als Sicherheitseinrichtung)

Integrierte Regelfunktionen machen einen zusätzlichen Regler oder Regelbaustein in einer Steuerung überflüssig. Weiterhin können in einem solchen C-Pegel-System Optimierungsfunktionen,

Selbstabgleich sowie Regelparametersätze für die Applikation speziell entwickelt und optimiert werden und dem Anwender zur Verfügung stehen.

## Fazit

An ein System, dass alle C-Pegel-Applikationen abdeckt, werden sehr hohe und vielfältige Anforderungen gestellt:

- Mindestens ein Eingang für Thermo-elemente mit Vergleichstelle
- Mindestens ein Eingang für SONDENSspannungen
- Galvanische Trennung der Eingänge
- Mindestens 1 weiterer analoger Signaleingang
- Mindestens 1 Analogausgang für C-Pegel
- Mindestens 4 digitale Eingänge
- Mindestens 4 digitale Ausgänge
- Interne 32 Bit Verarbeitung (Mathematik)
- Ethernet Schnittstelle
- Serielle Schnittstelle RS485/232
- CanOpen-Schnittstelle
- Profibus-Schnittstelle
- Erweiterungsmöglichkeit für Mehrzonenbetrieb

Einzige derzeitige Lösung bleibt ein intelligenter Prozessor mit einer Vielzahl an Schnittstellen, der die mathematischen Voraussetzungen erfüllt und über analoge und digitale Erweiterungsmodule die geforderte Anzahl und Art der Eingänge realisieren kann.

## Literatur

- [1] Göring, W.; Roggatz, M.: Sauerstoffsonden mit Schutzpotential. Gaswärme International 54 (2005) 5, S. 308-312
- [2] Roggatz, M.; Engler, N.: Praxisnahe C-Pegelüberprüfung der Ofenatmosphäre mittels Eisenfolien. Gaswärme International 56 (2007) 5, S. 366-369 ■

**Nobert Engler**  
MESA Industrie Elektronik  
GmbH, Marl

Tel.: 0 23 65/91 52 20  
E-Mail: ne@mesa-gmbh.de