

R. Pliefke, H. Steck-Winter und H. Wildauer

# Automatisierte on-line Qualitätssicherung\*

Am Beispiel einer vollautomatischen Förderband-Vergüteeinlage mit dem Prozeßleitsystem FOCOS II wird ein neues Konzept für einen automatischen Prozeßeingriff in Abhängigkeit der Produktionsqualität vorgestellt. Hierbei wird über eine statistische Prozeßkontrolle (SPC) die Produktionsqualität überwacht. Über eine Prozeß-Fehler-Möglichkeit- und Einfluß-Analyse (PFMEA) werden bei Fehlermeldungen der SPC die Anlagenfehler und ihre Auswirkung auf die Produktionsqualität hin analysiert. Der SPC-PFMEA-Regelkreis greift über die Neuberechnung der Anlaßtemperatur in den Vergüteprozeß ein und versucht so, die Prozeßfähigkeit wieder herzustellen. Mit diesem System wird die Möglichkeit aufgezeigt, wie die Produktionsqualität als Ziel-Sollwert in einer automatischen Prozeßführung und -regelung realisiert werden kann.

The example of a fully automatic belt hardening and tempering plant with process control system FOCOS II introduces a new concept for automatic process intervention depending on production quality. In this system the production quality is monitored via statistical process control (SPC). Failure messages of the SPC about plant failures are analysed with a so-called "PFMEA" in regard to their effect on the production quality. The SPC-PFMEA automatic control system intervenes in the tempering and hardening process by recalculating the tempering temperature in order to restore process capability. This system shows how production quality as a set point-goal can be realized in an automatic process control system.

## 1 Einleitung

Der Einsatz von Computern zur Steuerung, Überwachung und Optimierung von Wärmebehandlungsanlagen ist Stand der Technik. Mit steigendem Automatisierungsgrad der Anlagen nimmt jedoch die seitherige manuelle Anlagenüberwachung ab. Die Anlagen bleiben sich in der Produktionsphase mehr oder weniger selbst überlassen. Dieses gilt im besonderen für die 3. Schicht, die sogenannte Geisterschicht. In dieser Phase entfällt die bisher übliche Qualitätssicherung und Eingriffsmöglichkeit durch das Bedienpersonal. Durch die statistische Prozeßkontrolle (SPC) wird die Produktionsqualität aber auch im vollautomatischen bedienungslosen Betrieb überwacht und gesichert.

Am Beispiel einer vollautomatischen Förderband-Vergüteeinlage mit dem Prozeßleitsystem FOCOS II wird nachstehend ein neues Konzept für einen automatischen Prozeßeingriff in Abhängigkeit der Produktionsqualität vorgestellt.

Ist die Qualität der laufenden Produktion gut, besteht kein Handlungsbedarf. Was aber ist, wenn sich die Qualität verschlechtert, wenn im schlimmsten Fall nur noch Ausschuß produziert wird? Ist die Ursache der Verschlechterung eine Anlagenstörung? Welchen Einfluß haben anstehende oder bereits beseitigte Anlagenstörungen? Wer entscheidet, ob und wann ein Prozeßeingriff erforderlich ist, welche Parameter wie geändert werden müssen und wer führt den erforderlichen Prozeßeingriff durch? Fragen, zu deren Beantwortung neue Wege gefunden werden müssen.

\* Vorgetragen von R. Pliefke auf dem 46. Härtereikolloquium, 4.-6. Oktober 1990 in Wiesbaden

Aufbau der PFMEA - Datenbank

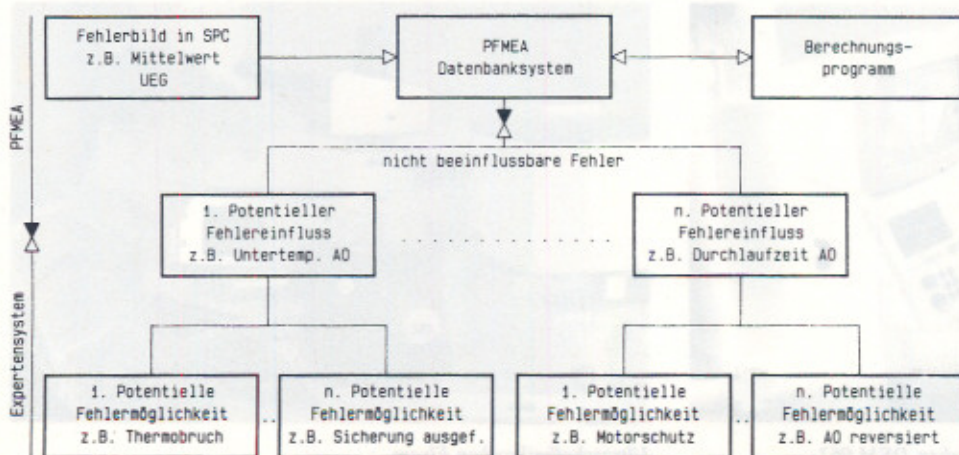


Bild 1. PFMEA-Datenbank

Fig. 1. PFMEA data bank

## 2 Funktion der Prozeß-Fehler-Möglichkeits- und -Einfluß-Analyse (PFMEA)

Bisher ist es üblich Anlagenstörungen und -fehler, z. B. in der Art „Thermoelementbruch - Anlaßofen - Heizzone 1“, über Leuchtmelder oder im Klartext mit einer zusätzlichen Diagnose über einen Monitor anzuzeigen. Dabei wird angenommen, daß der Betreiber geeignete Maßnahmen zur Beseitigung des Fehlers treffen kann, er auch weiß, welchen Einfluß der angezeigte Fehler auf die Produktionsqualität hat und er somit die Entscheidung treffen kann, ob das betroffene Material ausgeschleust und ggf. nachbehandelt oder ob gar zur Vermeidung von weiterem Ausschuß die Anlage bis zur Beseitigung des Fehlers abgeschaltet werden muß. Eine Fehlerqualifizierung, eine Analyse und Bewertung des Fehlereinflusses auf die Produktionsqualität, bleibt somit dem Betreiber überlassen.

Die zunehmende Anlagenautomatisierung mit SPS- und PC-Systemen bietet nun die Möglichkeit, dieses „Personen-Know-how“ in entsprechende Programme umzusetzen. Aber auch ein Computer wird nicht in der Lage sein, z. B. ein defektes Thermoelement auszutauschen; kann jedoch die infolge einer Störung erforderlichen Maßnahmen qualifizieren und entsprechende Notprogramme auch ohne Einwirkung eines Bedieners auslösen. Hierfür müssen die entsprechenden Fehlermöglichkeiten und ihre Auswirkungen vorher analysiert und in einer Datenbank bereitgestellt werden. Das Prinzip dieser PFMEA-Datenbank zeigt Bild 1.

Entsteht im SPC-Programm ein Fehler, z. B. UEG für Mittelwert, so wird in der PFMEA-Datenbank ein Fehleranalyseprogramm gestartet. Hierbei werden die über die Anlagen SPS dem Rechner übermittelten und gespeicherten Störmeldungen auf ihren potentiellen Fehlereinfluß und ihre Beeinflußbarkeit untersucht. Nicht beeinflussbare Fehler führen automatisch zu einem Anlagenstopp. Bei beeinflussbaren Fehlern oder wenn keine prozeßrelevanten Anlagenfehler aufgetreten sind, wird ein Prozeßeingriff ausgelöst. Um diese Fehleranalyse durchführen zu können, müssen in einer Datenbank alle potentiellen Fehler und ihre Auswirkung auf den Wärmebehandlungsprozeß bzw. das Wärmebehandlungsgut beschrieben werden. Die Anlagenstörmeldungen müssen über eine Kennung dieser Datenbank zugeordnet werden. Umgekehrt kann diese PFMEA-Datenbank auch als Expertensystem verwendet werden. Durch die eindeutige Beschreibung der Fehler und ihrer Auswirkung auf das Wärmebehandlungsgut kann schon beim Auftreten einer Anlagenstörung auf die zu erwartende Veränderung des Prozesses bzw. auf den Qualitätseinfluß hingewiesen werden.

Gerade bei kontinuierlichen Anlagen kommt der Zuordnung eines Fehlers, seiner Auswirkung und dem Material-

fluß eine entscheidende Bedeutung bei; denn aufgrund der Durchlaufdauer des Materials durch die Wärmebehandlungsanlage müssen zeitverzögerte Notprogramme ausgelöst werden, d. h., erst, wenn z. B. das betroffene Los an der Entladestation angekommen ist, darf das Notprogramm „Los ausschleusen“ ausgelöst werden.

Ergänzt wird die Fehlereinfluß-Analyse durch Bedienungsanleitungen zur Fehlerbeseitigung und die Möglichkeit, Fehler zu kommentieren bzw. frühere Fehlerkommentare abzurufen.

## 3 Eingriffsmöglichkeiten durch Neuberechnung von Wärmebehandlungsparametern

Obwohl die Wärmebehandlung dem Zweck dient, bestimmte meßbare Materialeigenschaften herzustellen, erfolgt die Sollwertvorgabe an der Wärmebehandlungsanlage noch mit den prozeßspezifischen Parametern Temperatur, C-Pegel und Zeit. Berechnungsprogramme zur Umrechnung der Prozeßparameter auf die Materialeigenschaften oder umgekehrt sind nicht neu, wofür die allseits bekannte Kohlenstoff-Diffusionsberechnung ein gutes Beispiel ist. Beim Vergüten von Schrauben z. B. wird die gewünschte Materialeigenschaft, z. B. die Zugfestigkeit, durch die Anlaßtemperatur bestimmt. Auch hierfür wurden zwischenzeitlich Berechnungsprogramme entwickelt und in der Praxis mit Erfolg erprobt.

Durch die statistische Prozeßkontrolle werden die erreichten Materialeigenschaften geprüft. Es liegt daher auf der Hand, die erprüften Meßwerte des Materials als Istwerte mit den geforderten Materialeigenschaften als Sollwerte direkt in einem Regelkreis zu verarbeiten. Da in diesem Regelkreis der Istwert erst nach Abschluß der Wärmebehandlung gemessen werden kann, müssen die auf den Istwert während des Prozesses einwirkenden Störgrößen analysiert und entsprechend berücksichtigt werden.

## 4 Anwendungsbeispiel des SPC-PFMEA-Regelkreises

Am Beispiel einer automatischen Förderbandofen-Vergüteanlage mit Prozeßleitreechner wird nachstehend das Zusammenspiel zwischen SPC, Berechnungsprogrammen und PFMEA in einem Regelkreis dargestellt. Im Bild 2 ist das Funktionsprinzip einer automatischen Förderbandofenanlage aufgezeichnet.

Das Wärmebehandlungsgut kommt in Förderkörben zur Anlage und wird automatisch dosiert auf das Förderband gegeben. Nach der Wärmebehandlung wird es im Container gefördert, wobei die Möglichkeit eines automatischen Containerwechsels vorgesehen ist. Die Anlagensteuerung und -regelung erfolgt über eine SPS, die mit einem Leitreechner

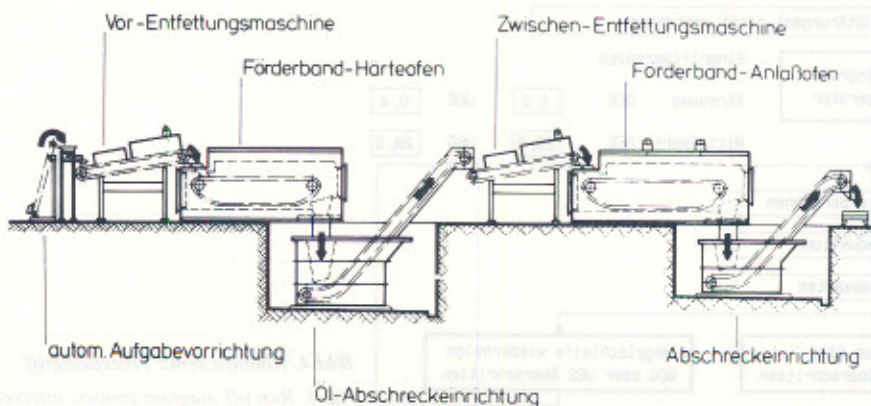


Bild 2. Automatische Schraubenvergüte-Anlage

Fig. 2. Automatic hardening and tempering plant for screws

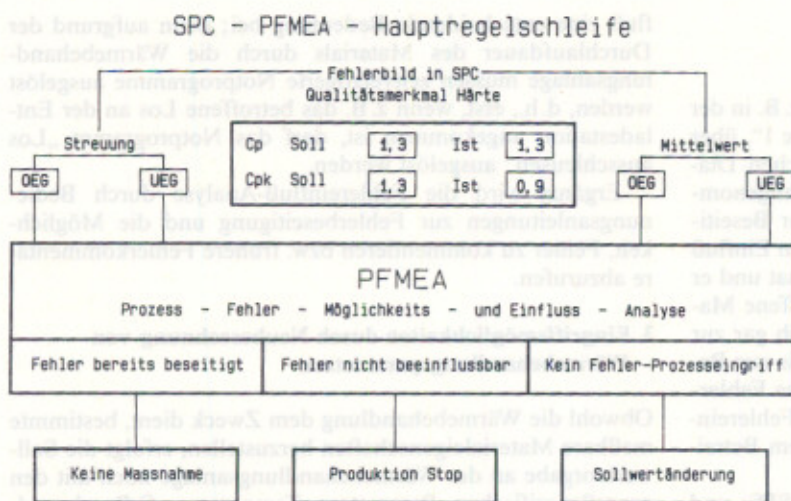


Bild 3. PFMEA-Hauptregelschleife  
Fig. 3. PFMEA main control loop

verbunden ist. Die Sollwertvorgabe erfolgt materialabhängig über die Datenbank des Leitrechners an die SPS. Für die Prüfung der Materialeigenschaften (Härteprüfung) werden einige Teile aus dem Container entnommen und die Meßwerte an den Leitrechner übertragen. Neben Programmen für die Anlagenüberwachung, Anlagenoptimierung usw. ist der Leitrechner mit den Programmodulen SPC, PFMEA und Anlaßtemperaturberechnung ausgerüstet.

Sobald über die statistische Prozeßkontrolle eine ungenügende oder sich verschlechternde Produktionsqualität festgestellt wird, wird die SPC-PFMEA-Hauptregelschleife aktiviert (Bild 3). Entsprechend des Fehlerbildes in der SPC werden rückwirkend, d.h. vergangenheitsbezogen, mögliche Prozeßfehler und deren Einflüsse analysiert. Hierbei können folgende grundsätzliche Entscheidungen getroffen werden:

- Anlagenfehler bereits beseitigt → keine Maßnahme
- Anlagenfehler erkannt, aber nicht einflußbar → Produktion Stop
- Kein Anlagen-Fehler → Prozesseingriff.

Nur dann, wenn *kein* Fehler mit einem in der SPC ausgewerteten Qualitätsmerkmal für den zutreffenden Zeitraum gefunden werden kann, erfolgt ein Prozesseingriff bzw. eine Sollwertänderung. Diese Vorentscheidung ist sehr wichtig, da ja bei einem falschen Prozesseingriff, d.h. einer Sollwertänderung aufgrund einer Anlagenstörung nach Beseitigung der Störung, der Prozeß nicht mehr kontrolliert werden könnte. Der Ablauf bzw. die „Stärke“ eines Prozesseingriffs (Bild 4)

erfolgt in Abhängigkeit der Prozeßfähigkeit, die durch die Prozeßfähigkeitskennzahl beschrieben wird. Nachdem die neuen Sollwerte berechnet und an die Anlagensteuerung übertragen worden sind, müssen die anlagen- und prozeßbedingten Durchlaufzeiten abgewartet werden, bis sich die Sollwertveränderung auswirkt bzw. gemessen werden kann. Ist die Prozeßfähigkeit wiederhergestellt ( $CpK > Soll$ ), wird die Regelschleife abgeschaltet; hat sich die Prozeßfähigkeit weiter verschlechtert, ist der Fehler offensichtlich nicht erkannt worden, daher sollte die Produktion gestoppt werden. Sofern sich die Prozeßfähigkeit zwar verbessert aber den Sollwert noch nicht erreicht hat, wird die Regelschleife nochmals durchlaufen.

### 5 Zusammenfassung

Vollautomatische Anlagen ohne Bedien- oder Überwachungspersonal bedürfen neuer Konzepte für das Verhalten im Störfall. Notwendige Entscheidungen, z.B. ob die Produktion unterbrochen oder weitergeführt werden kann, müssen automatisch getroffen werden. Dazu ist es erforderlich, auch die Auswirkungen eines Fehlers auf die Produktionsqualität zu kennen und entsprechend zu berücksichtigen. Die PFMEA scheint hierfür das richtige Werkzeug zu sein.

Durch die on-line computerunterstützte Berechnung der Wärmebehandlungsparameter aus den gewünschten Materi-

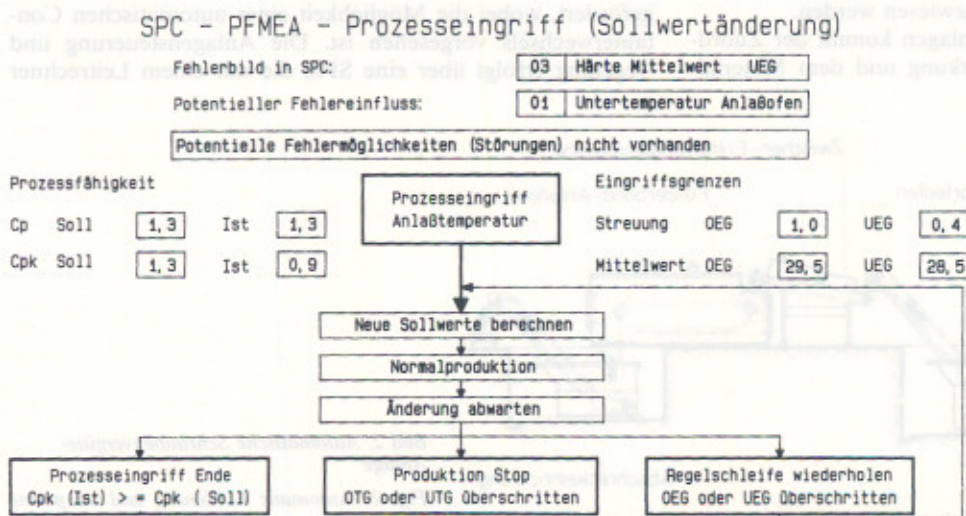


Bild 4. Ablaufschema Prozesseingriff  
Fig. 4. Run off diagram process intervention

aleigenschaften können im Zusammenhang mit einer statistischen Prozeßkontrolle automatische Prozeßeingriffe, d. h. Sollwertänderungen, durchgeführt werden.

**Die Autoren dieses Beitrags**

**Rainer-Pliefke**, geb. 1955, ist seit 1985 als Projekt-Ingenieur für die Elektro- und Automatisierungstechnik bei der Firma AICHELIN GmbH, Industrieofenbau, tätig.

**Im Anschluß an diese Vorträge von K. H. Illgner und R. Pliefke ergab sich folgende Diskussion:**

**K. Leban:**

In den beiden Vorträgen wurde signalisiert, daß sich das Berufsbild des Härterers deutlich gewandelt hat. Es ist mir aufgefallen, daß der Mensch mit seinem Wissen und Know-how fast überhaupt nicht erwähnt wurde, während die technischen Systeme vordergründig behandelt wurden. Wie sieht der moderne Wärmebehandlungsfachmann aus? Wie seine Ausbildung?

**K. H. Illgner:**

Es ist tatsächlich so, daß vor allem Großanlagen, die ein autonomes System darstellen, eine ingenieurmäßige Betreuung zumindest beim Erstellen der Computer-Programme brauchen. Das bedeutet aus meiner Sicht, daß auch das Berufsbild eines Wärmebehandlers für diese Anlagen nicht mehr so wie früher sein kann. Natürlich wird in Lohnhärtereien, wo man andere Anlagen und größere Chargenwechsel hat, sicher das alte Berufsbild Gültigkeit besitzen. Aber die Tendenz zur Großserienfertigung in sehr teuren Anlagen mit wenig Eingriffsmöglichkeiten durch das Wärmebehandlungspersonal verlangt von diesem ein anderes Wissen.

**R. Pliefke:**

Was Sie mitanschnitten, ist der Themenkomplex der beruflichen Weiterbildung. Das bedeutet, beim Voranschreiten der Technik muß die Firma verstärktes Augenmerk darauf legen, die Mitarbeiter zu schulen - auch ältere Mitarbeiter. Gleichzeitig sind auch die Hersteller gefordert, Maßnahmen anzubieten, um die Betreiber dieser Anlagen schulen zu können.

**B. Edenhofer:**

Ich habe eine Frage bzw. eine Bemerkung an beide Vortragsredner. Statistische Prozeßkontrolle, d. h. die Erfassung von Meßwerten der Qualität in statistischen Rechnerprogrammen, ist kein Problem und wird heute häufig gemacht. Das Problem liegt meines Erachtens in der Schließung des Regelkreises (der Steuerung der Anlagen). Hier halte ich es für gefährlich, nur eine Qualitätskenngröße wie die Härte zu nehmen, um eine Vergütungsanlage zu steuern. Es sind genügend Prozeßabweichungen bekannt, die weder vom Fehleranalyseprogramm erkannt - denken Sie nur an das Altern von Thermoelementen im Austenitisierofen - noch von der

Hartmut Steck-Winter, geb. 1951, ist als Leiter der Abteilung Elektrokonstruktion und Information bei der Firma AICHELIN GmbH, Industrieofenbau, tätig.

Heinz Willdauer, geb. 1951, ist seit 1986 als Informatiker bei der Firma AICHELIN GmbH, Industrieofenbau, tätig.

(11354)

Manuskript eingegangen: Oktober 1990.

Anlagensteuerung auf Basis der statistischen Härteprüfung und -auswertung erfaßt werden. Andere für die Qualität der Teile und die Prozeßsteuerung der Ofenanlage wichtige Faktoren, wie z. B. die Korngröße oder Randentkohlung, berücksichtigen Sie bei Ihrer Prozeßsteuerung nicht. Ich meine, daß man einen wirklichen Regelkreis für ein komplexes Wärmebehandlungssystem nur dann aufbauen sollte, wenn man alle qualitätswichtigen Größen in der Qualitätskontrolle erfaßt und auch einbinden kann.

**K. H. Illgner:**

Selbstverständlich ist die Härte nur ein möglicher Faktor. Man kann auch andere nehmen, was aber mehr Aufwand bedeutet. Man kann auch Zerreißversuche einplanen und entsprechende Zähigkeitsmerkmale berücksichtigen. Von der Technik und von der Systematik her ist das kein Problem. Das Problem ist die Durchführbarkeit während des Wärmebehandlungsprozesses und da ergeben sich eben doch Schwierigkeiten. Im Einzelfall muß man sehen, was und wie es zu machen ist.

Für Schrauben sollten die Stähle so gewählt sein, daß sie beim Vergüten nicht grobkörnig werden. Außerdem erfolgt das Austenitisieren unterhalb 900°C, Grobkornbildung beginnt oberhalb 950°C, also keine Gefahr. Auch ein Entkohlen führt, wenn der C-Pegel vernünftiger geregelt wird, nicht zu einem Problem; vorausgesetzt, der Stahl wurde nicht falsch oder fehlerhaft angeliefert. Das Prüfen der Härte nach dem Abhärten gibt weiterhin Auskunft über die Güte der bisherigen Wärmebehandlung mit Hinweisen auf die Martensitbildung und den Rand-C-Gehalt.

**H. Sigwart:**

Herr Illgner, ich habe eine Grundsatzfrage. Im Thema Ihres Vortrages kamen die Worte „just in time“ vor und ich frage deshalb, sind Schrauben das geeignete Beispiel für eine „just in time“-Lieferung und wenn man „just in time“-Lieferungen erhält, welche Möglichkeiten bleiben dem Abnehmer, die Qualität der Teile noch zu prüfen? Kann der Abnehmer, wenn er die Prüfatmosphäre der Qualitätskontrolle des Produzenten hat, seine Werkstoffprüfabteilung in der Eingangskontrolle in Zukunft auflösen?

# HTM

## Härterei-Technische Mitteilungen

### Zeitschrift für Wärmebehandlung und Werkstofftechnik

Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung  
und Werkstofftechnik e.V. (AWT) herausgegeben von  
J. Grosch und R. Jonck

unter Mitwirkung von H. Berns, P. Mayr,  
O. Vöhringer und J. Wüning

46. Band, Heft 4, Juli/August 1991 Carl Hanser Verlag München

4/91

