

# Batch-Prozessführung

## Potenziale und Herausforderungen

Batchprozesse, An- und Abfahrprozesse sowie Last- und Produktwechsel kontinuierlicher Anlagen stellen unter anderem aufgrund ihrer inhärenten, nicht-linearen Dynamik, der häufig nicht komplett verstandenen Chemie und der Komplexität der Steuerungen eine Herausforderung für die Automatisierung und Optimierung dar. Der Beitrag des Namur-AK 2.2 „Prozessführung“ beschreibt diese Herausforderungen und stellt aktuelle Lösungsansätze aus der industriellen Praxis vor.

**SCHLAGWÖRTER** Prozessführung / Batchprozess / An- und Abfahrprozesse / Last- und Produktwechsel / Advanced Process Control

### **Batch process optimization– Opportunities and Challenges**

Batch processes, start-up, shut-down as well as load and product changes of continuous processes are challenging to automate and optimize, because of their inherent, non-linear dynamics, the often limited process understanding and the control systems complexity. This contribution of Namur AK 2.2 “Prozessführung” describes these challenges and presents current solution approaches from industrial practice.

**KEYWORDS** Process management / batch process / start-up / shut-down / load change / product change / advanced process control.

**OLAF KAHRS**, BASF SE;  
**GUIDO DÜNNEBIER**, Bayer Technology Services;  
**STEFAN KRÄMER**, Ineos Köln;  
**HEIKO LUFT**, Evonik Degussa

Die Produktion in Chargen ist ein wichtiger Produktionstyp, der für die Herstellung von Polymeren, Fein- und Spezialchemikalien, Pharmazeutika, Tensiden und anderen Produkten weit verbreitet ist. Die Automatisierung von An- und Abfahrprozessen sowie Last- und Produktwechseln kontinuierlicher Anlagen gewinnt an Bedeutung aufgrund schwankender Produktnachfrage und dem fortwährenden Trend zu einer Produktionskostenreduktion. Aufgrund der inhärenten Dynamik dieser Prozesse ergeben sich für folgende Aufgabenstellungen ähnliche Lösungsansätze:

- Erhöhung der Flexibilität zur kurzfristigen Deckung der Marktnachfrage
- Erhöhung der Reproduzierbarkeit und Verringerung von nicht normgerechten Anteilen
- Minimierung der Energiekosten und Erhöhung des Durchsatzes
- Unterstützung der Anlagenfahrer

Die Erreichung dieser Ziele stellt eine komplexe und interdisziplinäre Aufgabe dar. Sie umfasst unter anderem die Erstellung eines Rezeptursystems, das Scheduling der Produkte und Mengen, die Erstellung von Schrittketten, die Planung und Einhaltung der Sollwert-Trajektorien innerhalb der Schrittkettenabschnitte, die Erstellung von Schutzschaltungen sowie die Datenerfassung und -verarbeitung. Der Fokus dieses Beitrags wird im Folgenden auf die Prozessführung gelegt, insbesondere auf die Planung und Einhaltung der Sollwert-Trajektorien.

## 1. UNGENUTZTES POTENZIAL FÜR INNOVATIVE PROZESSFÜHRUNGSMETHODEN

Im Jahr 2008 führte der Namur-AK 2.2 mit Unterstützung des ARC eine Expertenbefragung durch [1]. Bild 1 zeigt ein Ergebnis der Umfrage: die Wichtigkeit von Technologien für Batchprozesse in der industriellen Praxis. Der

Fokus liegt bisher auf eher grundlegenden Technologien; fortschrittliche Prozessführungskonzepte wie Modellprädiktive Regelungen (MPC) besitzen demnach bisher nur eine geringe Bedeutung.

Die Prozessführung für Batchprozesse erfolgt in der Praxis häufig durch Übertragung von Laborvorgaben in die Produktion in Form einfacher Dosier- und Temperaturtrajektorien, die aus wenigen Rampen und Sprüngen zusammengesetzt sind. Bedingt durch diese Vorgehensweise können sich signifikante Sollwertabweichungen ergeben, die die Reproduzierbarkeit der Produktqualität einschränken. Außerdem wird insbesondere bei exothermen Prozessen die Kühlkapazität nicht zu jedem Zeitpunkt voll ausgenutzt, so dass Potenziale für eine Batchzeitreduktion durch fortschrittliche Prozessführungskonzepte bestehen.

Bild 2 zeigt einige APC-Methoden zur Führung von Batchprozessen. Die Methoden sind grob nach Leistungsfähigkeit und Implementierungsaufwand sortiert. Abhängig von den Prozessführungsanforderungen und Prozesseigenschaften sollte die passende Methode gewählt werden. In der industriellen Praxis wurden mehrere der Methoden bereits erfolgreich eingesetzt (siehe beispielsweise [2], [3]). Beachtenswert ist, dass diese beiden Methoden federführend durch Anwenderfirmen vorangetrieben und für eine Vielzahl von Batchreaktoren implementiert wurden. Kommerzielle Lösungen, insbesondere nicht-lineare Modellprädiktive Regelungen (NMPC), scheinen momentan bei den befragten Namur-Mitgliedsfirmen erst zu einem geringen Grad implementiert zu sein. Mittelfristig können kommerzielle Lösungen jedoch aufgrund der größeren Kundenbasis, der besseren Wartbarkeit der Applikationen, einer umfangreichen Dokumentation und der Unterstützung bei der Projektdurchführung durch Dienstleister deutliche Vorteile bieten.

Obwohl zuvor genannte Prozessführungsmethoden ([2], [3]) in der industriellen Praxis ihre Wirtschaftlichkeit bereits unter Beweis gestellt haben, ist bisher nur in einem Teil der in Frage kommenden Produktionsbetriebe eine solche Technologie im Einsatz. Die Umfrageergebnisse des Namur-AK 2.2 zeigen die Gründe hier-

für auf [1]. Die Hindernisse für den Einsatz innovativer Prozessführungskonzepte sind in Bild 3 zusammengefasst. Die Mehrzahl der Nennungen bezieht sich auf Hindernisse nicht-technischer Natur, wie beispielsweise die unzureichende Quantifizierung des Nutzens eines Prozessführungsprojektes oder der Mangel an qualifiziertem Personal.

Ein Teil dieser Hürden lässt sich durch Standardisierung der Technologien und Vorgehensweisen bei der Projektdurchführung senken. Ein wichtiges Element hierbei ist die aufgabenorientierte Beschreibung der Vielzahl verfügbarer Prozessführungsmethoden, z.B. in Form von Technologie-Steckbriefen, die typische Anwendungsgebiete und Einsparpotenziale, Besonderheiten bei der Implementierung (beispielsweise benötigte Infrastruktur), Referenzanwendungen sowie verfügbare kommerzielle Lösungen nennen. Nachdem der Werkzeugkasten der Batch-Prozessführungsmethoden

hierdurch beschrieben ist, ergibt sich weiterhin die Möglichkeit der Konsolidierung und Identifikation der Lücken für die eventuelle Entwicklung neuer oder verbesserter Methoden.

## 2. ERFOLGSFAKTOREN FÜR DIE UMSETZUNG INNOVATIVER PROZESSFÜHRUNGSMETHODEN

Auf Basis der Erfahrungen mit der Umsetzung innovativer Prozessführungsmethoden möchten die Autoren auf folgende Punkte bei der Projektdurchführung besonders hinweisen:

- Zu Beginn des Projektes sollte in einer Benefit-Studie durch Diskussion des bisherigen Anlagenbetriebs und technischer sowie wirtschaftlicher Randbedingungen geklärt werden, worin das wirtschaftliche

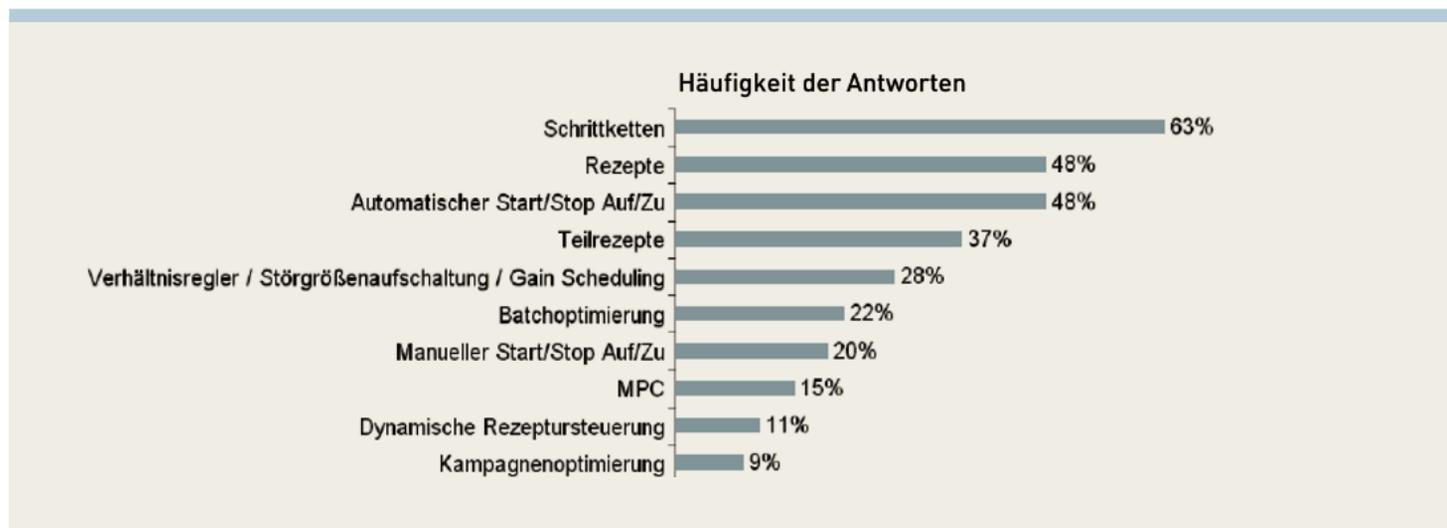


BILD 1: Wichtigkeit von Technologien für Batchprozesse in der industriellen Praxis [1]



BILD 3: Umfrageergebnisse des Namur-AK 2.2 zu den Hindernissen beim Einsatz innovativer Prozessführungskonzepte [1]

Potenzial liegt. Zum Beispiel können die zwei alternativen Anforderungen (i) Erhöhung der Reproduzierbarkeit und (ii) Erhöhung der Anlagenkapazität zur Auswahl zweier unterschiedlicher Technologien führen. Prozessverständnis sollte auch durch Nutzung vorhandenen Modellwissens und Auswertung historischer Daten aufgebaut werden.

- Bei der Konzepterstellung sollten anhand eines Kriterienkataloges, wie beispielhaft in Bild 4 gezeigt, geeignete Lösungskonzepte entwickelt und anhand der Kosten und des erwartbaren Nutzens bewertet werden. Diese Aufgabe sollte interdisziplinär durchgeführt werden, da verfahrenstechnische Maßnahmen und Rezepturänderungen den Nutzen weiter steigern können.
- Zwei wichtige Aspekte bei der Implementierung einer APC-Lösung sind die Integrierbarkeit in die bestehende Infrastruktur (manche Lösungen sind di-

rekt ins Prozessleitsystem implementierbar) und die Verfügbarkeit einer gut funktionierenden Instrumentierung und Basisautomatisierung (inklusive einer Fallback-Strategie, die bei Ausfall der APC-Applikation die Prozessführung übernimmt).

- Wichtige Erfolgsfaktoren für die nachhaltige Nutzung der Lösung sind deren Akzeptanz innerhalb des Produktionsbetriebes und ein Konzept für die Applikationspflege.

### 3. ANFORDERUNGEN UND WÜNSCHE

Für den mittelfristigen Erfolg ist die Zusammenarbeit mehrerer Interessengruppen notwendig. Hierzu haben die Autoren dieses Beitrags folgende Anforderungen und Wünsche an die fünf beteiligten Gruppen formuliert:

#### Namur/Hochschulen

- Einheitliche Beschreibung der unterschiedlichen Ansätze und Schaffung von Standards, welche auch Grundlage für kommerzielle Angebote ein können
- Förderung der Ausbildung qualifizierter Fachkräfte (PLT, APC)

#### Anbieter

- Standardisierung der Technologien und Kapselung der Komplexität für die Anwender mittels geeigneter Automatisierungstechnologie
- Integrierbarkeit in heterogene IT-/AT-Landschaften
- Gute Bedien-, Anwend- und Wartbarkeit

#### PLT-Ingenieure

- Bewusstsein für die Methoden der Prozessführung und Erkennung von Potenzialen

#### Betriebsleiter

- Schärfung der Beurteilungs- und Beauftragungskompetenz
- Nutzung firmeninterner Fachkräfte als Wettbewerbsvorteil
- Prozessmodelle als Assets betrachten und pflegen lassen

#### Prozessführungsexperten

- Weiterbildung der Mitarbeiter und Bildung interdisziplinärer Teams
- Überzeugung der Entscheidungsträger durch klare Kommunikation der Technologien und Abschätzung deren Wirtschaftlichkeit

### 4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Industriell eingesetzte Methoden zur Optimierung der Prozessführung von Batchprozessen haben ihr hohes wirtschaftliches Potenzial bewiesen. Für eine flächendeckende Implementierung sind allerdings noch verschiedene Hindernisse zu überwinden, die zum Teil durch eine Standardisierung der Vorgehensweise bei Prozessführungsprojekten und durch den Aufbau eines Methoden-Werkzeugkastens gesenkt werden können. Für den mittelfristigen Erfolg ist hierzu die Zusammenarbeit mehrerer Interessengruppen notwendig.

- Optimierte Basisregelung
- Golden Batch Control
- Batch-To-Batch Control, Statistical Process Control
- Zwei-Freiheitsgrade-Regelung
- Predictive Functional Control
- Schaltende Reglerstrukturen, Constraint-Following
- (Modellbasierte) Offline-Optimierung
- NMPC für Temperaturregelung und Dosierung
- NMPC für Qualitätsregelung, ...

Leistungsfähigkeit, Aufwand

**BILD 2:** APC-Methoden für die Führung von Batchprozessen (Auszug)

#### Prozess

- Kopplungen von Regel- und Stellgrößen
- Streckendynamik, Begrenzungen
- Eduktakkumulation
- Auswirkung der Fahrweise auf die Produktqualität
- Anzahl verschiedener Produkte

#### IT/AT-Infrastruktur

- PLS, BDIS, Industrie-PC, Schnittstellen (OPC)

#### Optimierungsziele

- Kapazitätserhöhung
- Regelung entscheidender Qualitätsgrößen, ...

#### Verfügbares Know-how

- Inhouse-Kompetenz oder Kontraktoren

#### Wirtschaftlichkeit

- Kosten-/Nutzenverhältnis über Lifecycle

**BILD 4:** Kriterien für die Auswahl einer Technologie zur Optimierung der Batch-Prozessführung

Methodische Weiterentwicklungen zur simultanen Betrachtung der verschiedenen Automatisierungsebenen (Scheduling, Rezepte, Schrittketten, Trajektorienoptimierung und -regelung) sind wünschenswert [4]. Komponenten darin könnten Werkzeuge zur Erzeugung einer Steuerung aus einer Funktionsbeschreibung sowie Optimierungsalgorithmen für hybride Systeme (kontinuierliche und diskrete Optimierungsvariablen) sein.

MANUSKRIPTEINGANG  
14.12.2010

Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

## DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei der Vorbereitung dieses Beitrags durch die Mitglieder des Namur-AK 2.2 und durch Hr. Dipl.-Ing. Marcus Nohr und Hr. Dipl.-Ing. Axel Schild von der BASF SE.

## REFERENZEN

- [1] Hagenmeyer, V. und Piechottka, U.: Innovative Prozessführung – Erfahrungen und Perspektiven. atp, 1:46–63, Januar 2009.
- [2] Deis, W.: Ganzheitlich optimierte Prozesse - Effiziente Prozessführung endet nicht mit der schnellen Lösung der Regelungsaufgabe, Tagungsband zur Automation 2009, VDI-Berichte 2067, S. 213ff, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2009.
- [3] Hagenmeyer, V. und Nohr, M.: Flatness-based two-degree-of-freedom control of industrial semi-batch reactors using a new observation model for an extended Kalman filter approach. Int. J. Contr., 81(3):428-438, 2008.
- [4] Nohr, M., Kahrs, O., Münnemann, A. und Hesse, P.: Optimierung von Batch- und Semibatchprozessen – Auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Ansatz. atp edition, 12/2010, S.62-69.

## AUTOREN

**DR.-ING. OLAF KAHRS** (geb. 1975) ist im Fachzentrum für Automatisierungstechnik der BASF SE für die Fachgruppe „Optimierung der Prozessführung“ verantwortlich. Arbeitsschwerpunkte bilden sowohl Entwicklungen als auch Anwendungen in den Bereichen Prozessdiagnose, gehobene Regelungstechnik, dynamische Simulation und modellbasierte Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse. Nach einem Studium des Maschinenbaus an der RWTH Aachen und am Dartmouth College (USA) promovierte er am Lehrstuhl für Prozesstechnik in Aachen. In der Namur ist er Mitglied im Arbeitskreis 2.2 „Prozessführung“.

**BASF SE,**  
L440, 67056 Ludwigshafen,  
Tel.: +49 (0) 621 607 95 69,  
E-Mail: olaf.kahrs@basf.com

**DR.-ING. GUIDO DÜNNEBIER** (geb. 1970) leitet die Gruppe Process Management Consulting bei Bayer Technology Services GmbH und ist verantwortlich für die Aktivitäten im Bereich Operational Excellence und technischer Beratung für die chemische und pharmazeutische Industrie. Mit einer verfahrenstechnischen Ausbildung hat er mehr als 10 Jahre Berufserfahrung in der Anwendung und Entwicklung von Methoden der Prozessoptimierung und Systemverfahrenstechnik. Er ist ein zertifizierter Six Sigma Master Black Belt und erfahrener Trainer und Coach.

**Bayer Technology Services,**  
Bayerwerk, 51368 Leverkusen,  
Tel. +49 (0) 214 304 88 41,  
E-Mail: guido.duennebieer@bayertechnology.com

**DR.-ING. STEFAN KRÄMER** (geb. 1972) studierte Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen an der University of Newcastle upon Tyne, GB, und promovierte im Bereich der Optimierung der Prozessführung von Emulsionspolymerisationen am Lehrstuhl Systemdynamik und Prozessführung (Prof. Engell) der Technischen Universität Dortmund. Er unterrichtet dort als Lehrbeauftragter „Batch Process Operation“. Seit 2004 ist er Ingenieur für Advanced Process Control bei der Ineos in Köln und seit 2009 Leiter der Gruppe „Process Control and Application Engineering“. Hauptarbeitsgebiete sind Prozessregelung und -optimierung, Zustandsschätzung und Advanced Control. Stefan Krämer ist Obmann des Namur-Arbeitskreises 2.2 „Prozessführung“.

**Ineos Köln,**  
TS-SCE-PLS, Alte Straße 201, 50769 Köln,  
Tel. +49 (0) 221 355 52 65 78,  
E-Mail: stefan.kraemer@ineos.com

**DIPL.-ING. HEIKO LUFT** (geb. 1973) ist Mitarbeiter der Abteilung Prozessdatenverarbeitung und Informationstechnik im Servicebereich Verfahrenstechnik und Engineering der Evonik Degussa GmbH. Seit 1999 ist sein Arbeitsschwerpunkt die Beratung und Realisierung von gehobenen Prozessführungsstrategien. In der Namur ist er Mitglied im Arbeitskreis 2.2 „Prozessführung“.

**Evonik Degussa GmbH,**  
HPC 1024-319, Rodenbacher Chaussee 4,  
63457 Hanau-Wolfgang,  
Tel. +49 (0) 6181 59 20 87,  
E-Mail: heiko.luft@evonik.com