

# **Erstellung und Nutzung praxisrelevanter Szenarien für die Prototypentwicklung in der Prozessführung**

**Autoren: Tilman Barz, Jörg Huss und Oliver Frey**

*Schlüsselwörter: Prozessführung, Prozesssimulation, Nutzertests, Signalverarbeitung, Mustererkennung*

## **Zusammenfassung**

In diesem Beitrag wird die Erstellung und Nutzung praxisrelevanter Szenarien für die Entwicklung eines prototypischen Unterstützungswerkzeugs für Operateure verfahrenstechnischer Prozesse präsentiert. Durch die Modellierung typischer realer Produktionsprozesse können für den Einsatz des Unterstützungswerkzeugs relevante Szenarien effizient untersucht werden. Ohne an die Beschränkungen des realen Betriebes gebunden zu sein, lassen sich zeitliche Entwicklungen von Prozessgrößen erschließen. Die Erprobung von Algorithmen an einer synthetisch erzeugten Datenbank wird im Rahmen der Entwicklung eines Werkzeugs für die Suche nach Informationen in Prozessdatenbanken erläutert.

## **Projektüberblick**

Das Aufgabenfeld von Operateuren verfahrenstechnischer Prozesse ist heute hauptsächlich durch die Überwachung größerer Anlagenteile und der rechtzeitigen Erkennung und Reaktion auf abnormale Ereignisse geprägt. Die Übernahme von Standartregelungsaufgaben durch automatisierte Systeme hat zu einer Entlastung der Operateure und einer Steigerung von Qualität, Sicherheit und Effizienz geführt. Mit dem zunehmenden Einsatz computergestützter Prozessführungsmethoden verstärken sich die Bestrebungen, auch im Bereich der Prozessüberwachung Unterstützungswerkzeuge zu entwickeln. Damit ist die gezielte Kontrolle von Fehlfunktionen und Störungen als neue Herausforderung ins Blickfeld der Prozessautomatisierung gerückt. Der Einsatz von Systemen zur Überwachung des aktuellen Betriebsverhaltens hat das Ziel, eine automatische Identifikation und Ursachendiagnose des aktuellen Betriebsverhaltens zu realisieren. Damit können dem Operator Hilfestellungen bei der Auswahl und Einleitung notwendiger Eingriffe gegeben werden. In Abhängigkeit der Qualität des Überwachungssystems ist die selbsttätige Reaktion auf abnormale Ereignisse ebenfalls denkbar. Der erfolgreiche Einsatz von Methoden zur automatischen Fehlererkennung und Diagnose wurde bereits am Beispiel von simulierten und realen Anlagen präsentiert [1, 4, 6].

Im aktuellen Forschungsprojekt wird eine ganzheitliche Optimierung der Prozessführung unter Ausnutzung der maschinellen und menschlichen Potentiale verfolgt (Maschine: Verarbeitungsgeschwindigkeit, Speicherkapazität, Exaktheit, Anpassbarkeit an Umweltbedingungen, Wahrnehmungssensitivität, Logik, Ausdauer; Mensch: Mustererkennung, Erfahrungslernen, Problemlösen, Improvisieren, Spontaneität, Signalselektion). Ausgangspunkt der Arbeiten bildet die Tatsache, dass die Beobachtung des Prozessverhaltens zu großen Teilen über Kurvendarstellungen erfolgt (grafische Präsentation von Prozessgrößen über die Zeit) [3]. Die Produktionsanlagen liefern kontinuierlich Online-Prozessdaten an ein Leitsystem, das über ein grafisches Interface dem Operateur Informationen über aktuelle und vergangene Entwicklung des Prozesszustandes liefert. Die Rahmenbedingungen des Ansatzes definieren sich durch Erkenntnisse auf den Gebieten der Signalverarbeitung, Mustererkennung und Datenreduktion kombiniert mit einem nutzerzentrierten Systemdesign. Ziel ist die Entwicklung eines Systems zur Recherche in Prozessdatenbanken, das in Analogie zu einer wortbasierten Suchmaschine funktioniert. Äquivalent zu sprachlichen Schlüsselwörtern soll es dem Anlagenfahrer möglich sein, Kurvenverläufe von relevanten bzw. auffälligen Prozessgrößen anhand eines Alphabets aus Trendlets (Buchstaben) zu beschreiben. Ein zu entwickelnder Algorithmus identifiziert im Anschluss Episoden in der Prozesshistorie, welche in ihrer Beschreibung der Suchanfrage ähneln. Der Anlagenfahrer kann damit gezielt nach Informationen in der Prozesshistorie suchen, die ihm für das Verständnis der aktuellen Situation behilflich sind.

## Inhaltliche Erstellung von Anwendungsszenarien

Es wird von der Annahme ausgegangen, dass unter verschiedenen Rahmenbedingungen (Betriebszustand, Betriebsmodus...) Einzelereignisse im Prozessgeschehen spezifische Muster im Kurvenverlauf der beeinflussten Prozessgrößen bewirken. Komplexer Muster dieser Kurvenverläufe prägen sich vor allem auf Basis multikausaler Wirkketten aus. Die Trendbeschreibung eines Kurvenverlaufs anhand eines Trendlet-Alphabets (siehe Abbildung 1) wird vorrangig für komplexe Muster als effizient betrachtet [3].

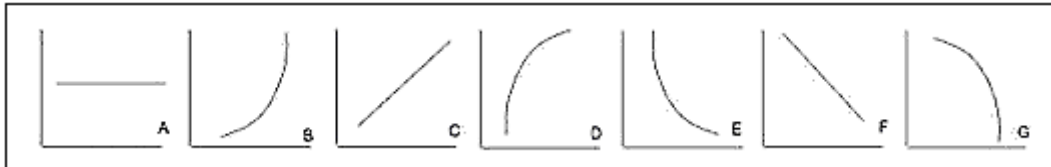


Abb. 1: Trendletalphabet

Man kann davon ausgehen, dass Operateure in der Lage sind, einfache Trends direkt anhand ihrer Expertise zu interpretieren. Daher ist zu untersuchen, ob die Nutzung eines Trendlet-Alphabets für die Suche nach einfachen Sprungantworten geeignet ist. Tabelle 1 zeigt eine Auflistung möglicher Einflussgrößen auf den dargestellten Verlauf von Prozessvariablen (Druck, Temperatur, Volumenstrom etc.).

Tab. 1: Einflussgrößen auf Prozessvariablen

Direkte Einflussgröße	Fehlfunktion und Störungen	Rahmenbedingungen	Instrumente und Anzeigen	Externe Eingriffe
Füllstand	Ventil-Blockade	Feed-konzentration	Anzeigenausfall	Reglertuning
Verdampferleistung	Sensorausfall	Umwelteinflüsse	Anzeigen-fixation	Handbetrieb
Rücklaufverhältnis	Leckage	Katalysator-wirkungsgrad	Dekalibrierung	Wartung

Die Einflussgrößen bilden in kombinierter Form eine Menge von qualitativ unterschiedlichen Szenarioklassen. Innerhalb einer Klasse sind die Szenarien in ihrer quantitativen Ausprägung zu variieren. Hier ist der zeitliche Abstand von Kombinationen (Durchflussrate, Leckage...) und die quantitative Ausprägung der einzelnen Größen (10, 20, 30 ... % Verstärkung der Durchflussrate) zu berücksichtigen. Wichtig für die Auswahl der einzelnen Szenarien ist sowohl die praktische Relevanz (Auftrittswahrscheinlichkeit) als auch eine möglichst kontinuierliche Variation der Schwierigkeit. Die Schwierigkeit ergibt sich zum einen hinsichtlich der Interpretation (d. h. der Beschreibung bedeutungstragender Kurvenabschnitte anhand des Trendlet-Alphabets) der entsprechenden Kurvenbilder. Zum anderen ist diese abhängig von der graphischen Kurvenübereinstimmung zweier Szenarioklassen.

## Technische Erstellung von Anwendungsszenarien

Grundlage für die Systementwicklung sind typische verfahrenstechnische Produktionsprozesse. Diese werden in Form von mathematischen Gleichungen beschrieben, die die chemischen und physikalischen Zusammenhänge in Form von detaillierten (rigorosen) Modellen wiedergeben. Durch Lösung des Systems von algebraischen und differentiellen Gleichungen ist der Zustand des beschriebenen Prozesses über weite Grenzen simulierbar. Damit lässt sich das dynamische Verhalten realer Anlagen sowohl im bestimmungsgemäßen, als auch im nichtbestimmungsgemäßen Betrieb abbilden. Zeitliche Entwicklungen der Prozessgrößen beim Auftreten abnormaler Ereignisse, lassen sich durch Simulationsstudien erschließen und in Szenarien klassifizieren.

Vorraussetzung für die Generierung von Szenarien in Form von synthetischen historischen Prozessdaten ist die numerische Simulation geeigneter Prozesse. Typische komplexe Produktionsprozesse bestehen aus mehreren Teilanlagen, die gekoppelt betrieben werden. Diese kontinuierlich betriebenen Anlagen werden

über große Zeiträume an einem zeitlich konstanten Betriebspunkt gehalten. Größere Abweichungen von diesem Punkt bedeuten Einbußen von Qualität und Sicherheit sowie Störungen nachgeschalteter Anlagenteile. Diskontinuierliche Betriebsweisen werden für Produktionsprozess mit endlichen Einsatzmengen verwendet. Weiterhin treten sie beim An- und Abfahren kontinuierlicher Anlagen sowie beim Wechsel von stationären Betriebspunkten auf. Die Erstellung der Anwendungsszenarien für die kontinuierliche Betriebsweise erfolgt auf Basis eines rigorosen Prozessmodells, welche das detaillierte dynamische Verhalten einer Rektifikationskolonne zur Trennung eines 2-Stoffgemisches wiedergibt [5]. Die Modellierung wurde durch Vergleiche der Simulationsstudien mit experimentellen Daten der Pilotanlage am Fachgebiet Dynamik und Betrieb technischer Anlagen, TU Berlin validiert. Am Beispiel eines typischen Batchreaktors, wie er für Polymerisationsprozesse eingesetzt wird, werden die Szenarien für die diskontinuierliche Betriebsweise generiert [2]. Die Simulation gibt den gesamten Betrieb, einschließlich des An- und Abfahrens wieder. In Abbildung 2 werden Ergebnisse der Studien für den kontinuierlichen und diskontinuierlichen Betrieb mit typischen Verläufen für Temperatur und Volumenstrom präsentiert.

Durch den Einsatz von Simulationen des realen Anlagenverhaltens, lässt sich der Einfluss definierter Ereignisse auf das Prozessgeschehen, frei von sicherheitstechnischen und ökonomischen Beschränkungen, untersuchen. Auf Basis des Prozessmodells werden ausgewählte Betriebsszenarien (Ausfall der Kühlwasserpumpe...) in der Programmiersprache Matlab simuliert, um Daten für die Erstellung einer synthetischen Prozesshistorie zu generieren. Die inhaltliche Auswahl der Szenarien wird anhand von Experteninterviews mit den Anlagenfahrern der Testanlage am FG DBTA überprüft. Diese werden in ihrer Kombination und quantitativen Ausprägung variiert und die Auswirkungen auf die Prozessgrößen hinsichtlich Ihrer Interpretierbarkeit bewertet.

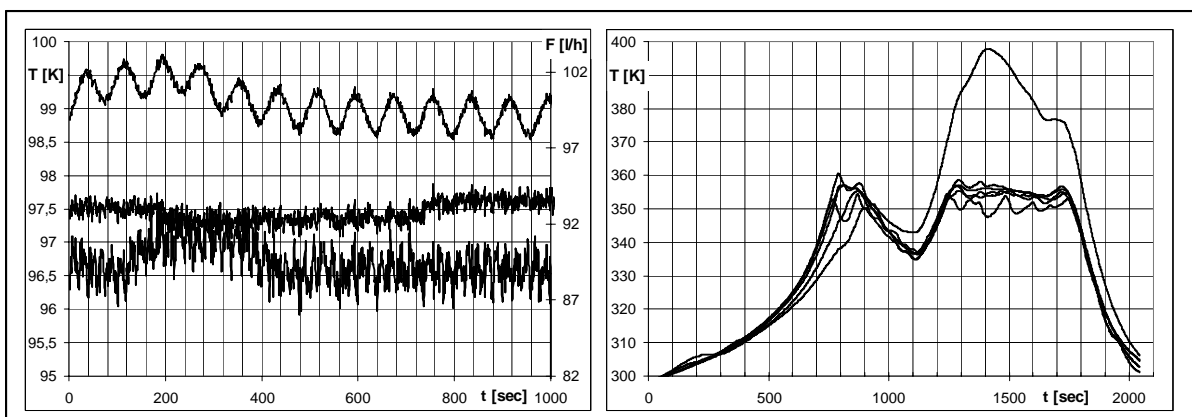


Abb. 2: Zeitliche Verläufe von Prozessgrößen für kontinuierliche und diskontinuierliche Betriebsweisen

### Nutzung erstellter Szenarien

Die eigentliche Suche in der Datenbank wird mit Hilfe von Wavelet-Algorithmus realisiert. Die Methodik wird an der synthetischen Prozesshistorie erprobt und hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit, Robustheit und Effizienz diskutiert. Im parallel iterativen Entwicklungsprozess wird unter Berücksichtigung der Funktionsweise eingesetzter Algorithmen und durch Vergleich mit den Anforderungen an das nutzerzentrierte Design eine optimale Lösung für das Suchwerkzeug erarbeitet. Dabei werden erste Prototypen der Nutzer-Computer-Interaktion auf Basis heuristischer Experteninterviews angepasst.

Spezifische (qualitative) Kombinationen von Betriebszustand, Reglertuning und Störungsbild können bei unterschiedlichen quantitativen Ausprägungen Kurvenbilder ergeben, die alle ad hoc einer Szenarioklasse zugeordnet werden können. Die Frage ist, ob der Algorithmus auf Basis einer normativen Trendbeschreibung (erstellt mit dem Wissen um die genauen qualitativen und quantitativen Ausprägungen der Szenarioklasse) in der Lage ist, die entsprechenden Szenarien zu identifizieren. Als Performanzkriterien werden die Exhaustivität (Werden alle relevanten Kurvenhistorien gefunden?) und Exklusivität (Werden alle irrelevanten Kurvenhistorien ausgeschlossen?) einer Identifikation herangezogen. In Abbildung 3 werden die Ergebnisse einer Suchanfrage in synthetisch erzeugten Daten eines Messgerätes der Rektifikationskolonne dargestellt. Die definierte Suche beschreibt eine

rampenförmige Erhöhung des Volumenstromes. Die durch den Algorithmus gefundenen Werte werden hierarchisch entsprechend der höchsten Übereinstimmung dargestellt. Die Suche wird durch die diskrete Waveletapproximation von Anfrage und historischen Daten sehr effizient. Die Länge der Anfrage reduziert sich von 256 Messpunkten auf 18 Koeffizienten, ohne relevante Kurven auszuschließen. Als Ähnlichkeitsmaß wird die euklidische Norm verwendet. Um die Effizienz der Suche in großen Datenbanken weiter zu erhöhen, wird eine Vorverarbeitung der Datenbanken vorgeschlagen. Die Einteilung in Datenräume mit Zeitfenstern ähnlicher Parameter ermöglicht die hierarchische Suche über Datenbankindexe, wodurch der Rechenaufwand reduziert wird. Die Untersuchungen zeigen, dass die Verwendung der diskreten Wavelettransformation sehr gute Ergebnisse bei der Suche nach absoluten Ausprägungen von Datenpunkten liefert. Toleranzen im Amplituden- und Zeitbereich werden nicht direkt berücksichtigt. Dies erschwert den Einsatz des Trendletalphabets zur Beschreibung bedeutungstragender Kurvenabschnitte. Als Alternative wird der Einsatz der kontinuierlichen Wavelettransformation für eine Suche nach charakteristischen Kurvenverläufen mit erlaubten Toleranzen im Amplituden- und Zeitbereich untersucht [4].

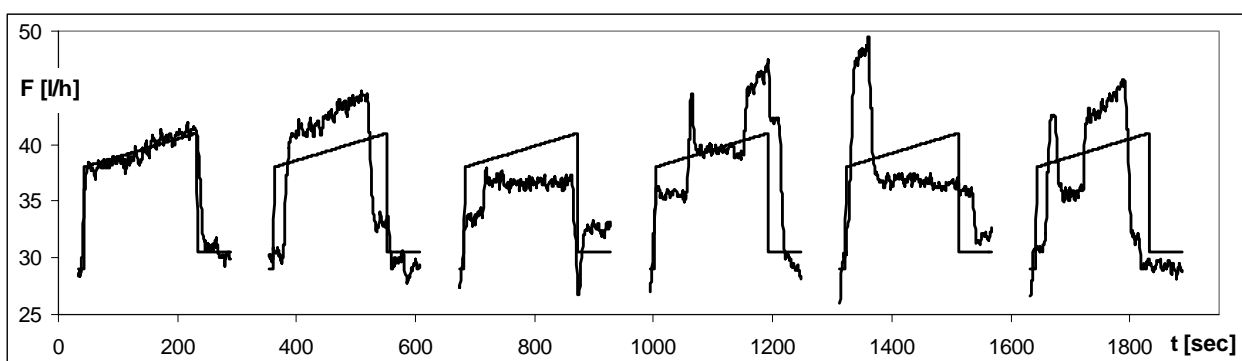


Abb. 3: Ergebnisse der Suchanfrage auf Basis der Approxiamtion durch diskrete Wavelets

## Ausblick

Aufbauend auf den Ergebnissen der vorgestellten Untersuchungen werden die gewählten mathematischen Methoden mit dem erarbeiteten Interface verknüpft, um die einzelnen Prozess-Szenarien durch den Nutzer beschreiben und durch den Algorithmus suchen zu lassen. Die dabei entstehende Aufgabenbearbeitung wird in experimentellen Nutzertests mit Versuchspersonen aus dem Studiengang Verfahrenstechnik (TU-Berlin) hinsichtlich Performanz- und Akzeptanzmaßen überprüft.

## Literatur

- [1] Alsmeyer, F. (2005). Trend-based Treatment of Process Data: Application to Practical Problems. *7th World Congress of Chemical Engineering*.
- [2] Helbig, A., Abel, O., Marquardt, W. (1998). Model Predictive Control for On-Line Optimization of Semi-Batch reactors. *Proc. of the American Control Conferences*, 1695-1699.
- [3] Kindsmüller, M. C. & Urbas, L. (2003). Trend literacy: Empirie und Modellierung der Interpretation von Kurvenverläufen in prozesstechnischen Anlagen. In J. Golz, F. Faul & R. Mausfeld (Hrsg.), *Experimentelle Psychologie. Abstracts der 45. Tagung experimentell arbeitender Psychologen. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, 100. Lengerich: Pabst.
- [4] Bakshi, B. R., & Stephanopoulos, G. (1994). Representation of Process Trends, Part III. Multiscale extraction of trends from process data. *Computers and Chemical Engineering*, 18(4) 267-302.
- [5] Rix, A. (1998). *Modellierung und Prozessführung wärmeintegrierter Destillationskolonnen*. VDI Fortschrittsberichte Reihe 3. Düsseldorf.
- [6] Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K. & Kavuri, S. N. (2003). A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods. *Computers & Chemical Engineering*, 27(3), 293-311.