

Einsatz der Dekompositionsmethode zur Prozessführung von verfahrenstechnischen Produktionsprozessen mittels Prozessleitsysteme

G. Fieg

g.fieg@tuhh.de

TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich: Prozess- und Anlagentechnik
Schwarzenbergstr. 95, 21073 Hamburg

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Roetzel zum 70. Geburtstag gewidmet

Kurzfassung

Es wird die Entwicklung eines Prozessführungskonzepts für zeitoptimale Anfahrprozesse an industriellen Rektifikationsanlagen vorgestellt. Als methodisches Rahmenwerkzeug zur ganzheitlichen Analyse des Systems wurde die Dekompositionsmethode eingesetzt. Auf dieser Basis ist eine automatische, rezeptbasierte Ablaufsteuerung mit dem Ziel der Minimierung der erforderlichen Zeit entwickelt worden. Sie wurde im vorhandenen Prozessleitsystem implementiert und befindet sich seit mehreren Jahren bei der Cognis Deutschland GmbH&CO.KG erfolgreich im praktischen Einsatz.

1 Einleitung

Verfahrenstechnische Produktionsprozesse in der chemischen Industrie zeichnen sich typischerweise durch eine sehr hohe Apparate- und Produktvielfalt aus. Trotzdem kann man bei allen Prozessen einen grundsätzlichen Aufbau erkennen, der in Bild 1 dargestellt wurde [1]. Ausgangspunkt sind Rohstoffe, aus denen man Produkte mit gewünschten anwendungstechnischen Eigenschaften (chem. Zusammensetzung, phys. Eigenschaften, Farbe, Geruch...), vorgegebener Jahresmenge und attraktiven Herstellkosten unter Einhaltung der Sicherheit und des Umweltschutzes erzeugt. Dabei kommen vier Teilsysteme zum Einsatz, die die Stoffvereinigung, -umwandlung (Reaktoren) sowie -trennung gewährleisten. Die Sicherung des Anlagenbetriebs erfordert noch zusätzlich Energien und zahlreiche Hilfsstoffe. Die praktische Umsetzung der Prozessführung der einzelnen Apparate und des Gesamtsystems wird in der industriellen Praxis üblicherweise mittels prozessleittechnischer Einrichtungen gewährleistet (Bild 1).

Eine besondere Bedeutung kommt dem Teilsystem Stofftrennung zu. In diesem Teilsystem werden Gemische aus chemischen Reaktoren einer Reinigung bzw. Aufkonzentrierung unterworfen, die anschließend direkt zu Verkaufsprodukten mit vorgegebenen Qualitätsmerkmalen führen. Die am meisten verbreiteten Trennsysteme in der industriellen Praxis stellen Rektifikationskolonnen dar. Die Ursache hierfür liegt in den sehr günstigen Betriebskosten sowie in der ausgeprägten Flexibilität bezüglich der Gemischvielfalt.

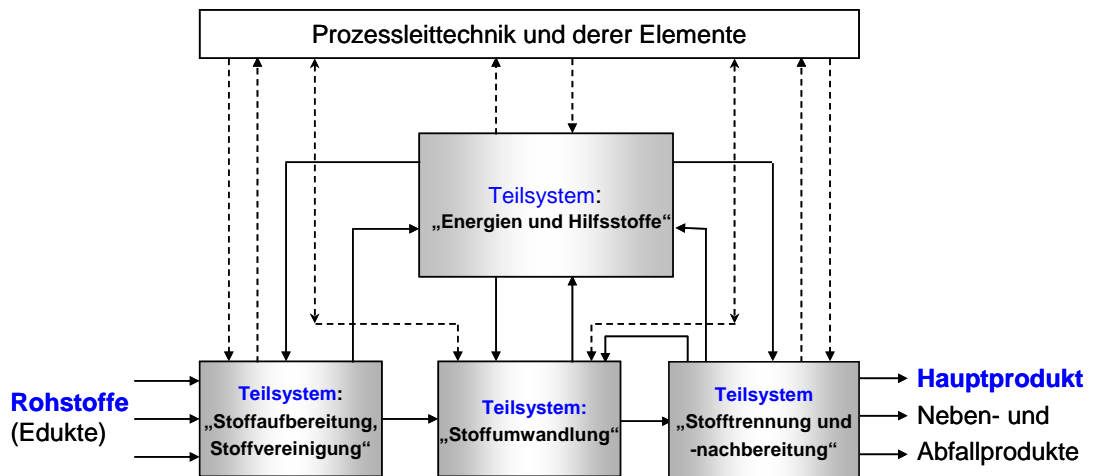


Bild 1: Schema eines verfahrenstechnischen Produktionsprozesses

Generell wird ein flüssiges Gemisch aus dem Tank der Rektifikationskolonne zugeführt und unter Energiezufuhr im Verdampfer in zwei Produkte zerlegt. Als Trenneinheiten innerhalb der Kolonne werden regellose Füllkörper, geordnete Packungen bzw. Böden eingesetzt. In letzter Zeit gewinnt die Herstellung von hochwertigen Spezialprodukten für die Pharma-, Kosmetik- bzw. Nahrungsmittelindustrie eine besondere Bedeutung. Diese Herstellung zeichnet sich dadurch aus, dass die Produktmengen eher klein sind und in unregelmäßigen Zeitabständen von Kunden angefordert werden. Das zwingt zu einer Just-in-time Vorgehensweise, die sich sehr an die Bedürfnisse des Marktes anlehnt. Für den Produktionsbetrieb bedeutet das, dass die Rektifikationskolonne jede 3-7 Tage auf einen anderen Einsatztank umgeschaltet und neu angefahren wird.

2 Aufgabenstellung

Die beschriebene Vorgehensweise bei der Herstellung von Spezialprodukten führt zwangsläufig dazu, dass der Anfahrprozess eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung gewinnt. Im Allgemeinen ist dieser Prozess als nichtproduktiver Vorgang zu bewerten, da in dieser Zeit keine Verkaufsprodukte hergestellt werden. Desweiteren zeichnet sich dieser Vorgang dadurch aus, dass er sehr komplex ist, da der Anlagenfahrer gleichzeitig zahlreiche Regelkreise bedienen und Apparate in Betrieb nehmen muß. Beide Faktoren erhöhen das Risiko einer möglichen Fehlbedienung. Die gestellte Aufgabenstellung bestand in der Entwicklung eines Systems für die Durchführung des Anfahrvorgangs an einer Rektifikationskolonne einschliesslich aller Zusatzeinrichtungen (Wärmeübertrager, Vakuumanlage, Produktbehälter...). Die verfolgten Ziele umfassen die:

- Minimierung des Zeitbedarfs
- Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise
- Erfassung und Dokumentation aller Aktionen des Systems

Als zusätzliche Randbedingungen sind die folgenden Punkte zu erwähnen:

- hohe Anzahl und Diversität der zu verarbeitenden Gemische
- Berücksichtigung von sicherheits- und produktionstechnischen Aspekten
- Automatische, reproduzierbare und weitgehend anlagenfahrer-un-abhängige Funktionsweise des Systems
- Minimale Instandhaltung
- Systemoffenheit hinsichtlich eventueller zukünftiger Ergänzungen

- Vorhandensein eines Prozessleitsystems (RS3 von Fisher/Rosemount Inc.)
- Möglichst einfache, selbsterklärende Bedienung, Verfolgung und Kommunikation mittels der Leitstation durch den Anlagenfahrer

3 Vorgehensweise

Bei der Durchführung des Projekts wurden durchgängig Elemente der Systemtheorie als einheitliches methodisches Rahmenwerkzeug eingesetzt. Die betrachtete Rektifikationskolonne einschliesslich aller Zusatzeinrichtungen stellt ein hochintegriertes, aus zahlreichen Elementen bestehendes System dar. Alle Elemente sind untereinander durch Beziehungen verbunden. Die Prozessanalyse und –synthese erfordert in diesem Fall eine strukturierte Behandlung. Hierzu eignet sich als leistungsfähige Problemlösungsmethodik insb. das Systems Engineering (SE), das es ermöglicht, auf der Basis einer ganzheitlichen Systembetrachtung optimale Lösungen abzuleiten. Dabei wurde im vorliegenden Fall das SE- Konzept gemäß Bild 2 verwendet [2]. Im Rahmen des Vortrages wird auf zwei Komponenten: Vorgehensmodell und Systemgestaltung vertieft eingegangen. Die erste Komponente (Vorgehensmodell) liefert Ansätze für die Analyse des vorliegenden Systems, wogegen die 2. Komponente die Entwicklung der Lösung in den Fokus stellt.

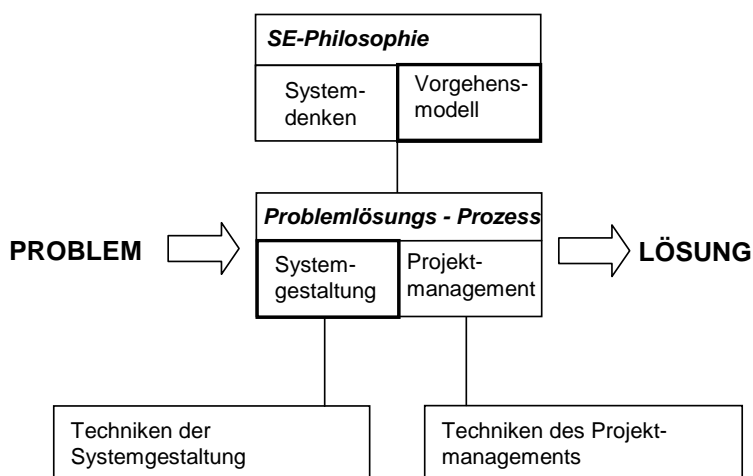


Bild 2: Konzept des Systems Engineerings [2]

Bei der Analyse des betrachteten Anfahrprozesses an der Rektifikationskolonne kam die Dekompositionsmethode als Bestandteil des Vorgehensmodells zum Einsatz. Der Grundgedanke besteht hier in der Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme und deren Wechselwirkungen. Diese Zerlegung wird über mehrere Hierarchieebenen durchgeführt. Damit wird das Betrachtungsfeld zunächst weiter gefasst und danach schrittweise eingengt. Die Dekomposition endet bei nicht weiter unterteilbaren

Elementen, die die Systemauflösung (Systemgranularität) definieren. Betrachten wir hierzu eine Rektifikationskolonne einschliesslich aller Zusatzeinrichtungen. Die erste Systemebene stellt eine Trennanlage mit einem Eingangsstrom (Feedstrom) und den beiden Ausgangsströmen (Produkte) dar. Über die internen Wechselwirkungen ist nichts näheres bekannt. Nun kann eine zweite Systemebene definiert werden. Sie umfasst die folgenden Untersysteme auf der apparativen Seite: eine Rektifikationskolonne, einige Wärmeübertrager (Spitzenerhitzer, Verdampfer, Kondensator), Produktbehälter sowie das Vakuumsystem (Bild 3). Durch die Einengung des Betrachtungshorizonts wird die Systemstruktur erstmalig (zweckmäßig) näher wiedergegeben. Dies stellt aus Sicht der Prozessführung die erste notwendige aber noch nicht hinreichende strukturelle Systemdekomposition dar. Eine weitere strukturelle Systemverfeinerung umfasste die Identifizierung der Sensoren und Aktoren. Die wichtigsten Aktoren und Sensoren vor dem Hintergrund der Sicherung der vom Kunden geforderten Produktqualitäten werden im Vortrag vorgestellt. Sie bilden die unterste Systemebene und legen damit die bereits erwähnte Systemauflösung fest. Für den praktischen Einsatz hat es sich als zweckmäßig herausgestellt, wenn die beiden letzten Hierarchieebenen zusammengefasst werden. Sie bilden bei der betrachteten Produktionsanlage insg. fünf integrierte Untersysteme mit genau definiertem Leistungsumfang (Bild 3) und können bei der Gestaltung der zu entwickelnden Anfahrprozedur genutzt werden.

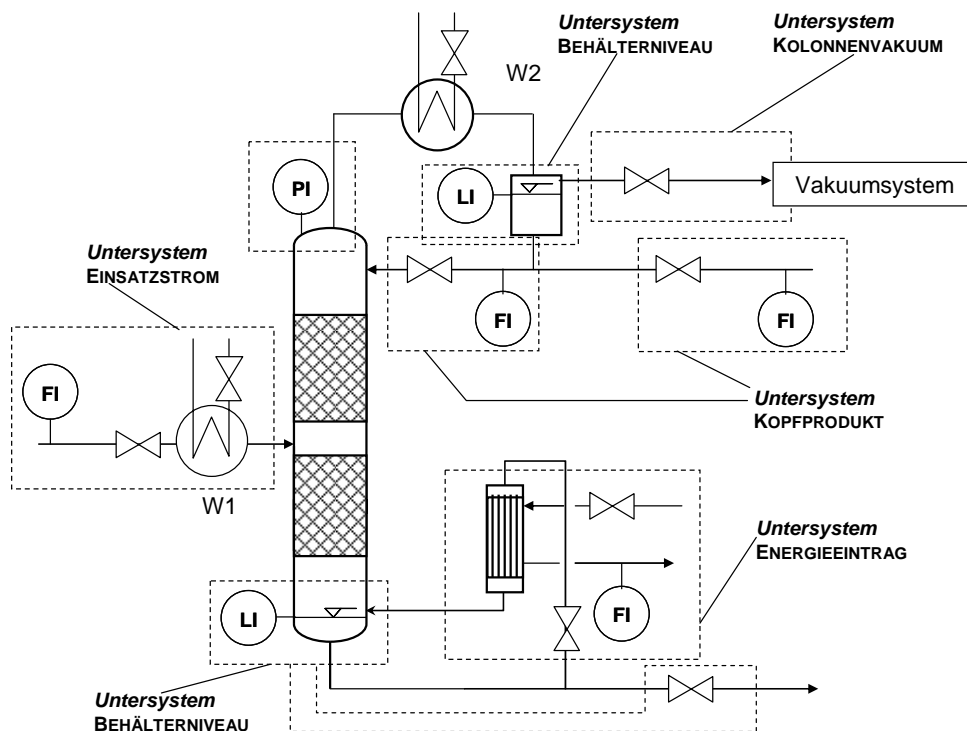


Bild 3: Dekomposition einer Rektifikationsanlage (2. + 3. Ebene)

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass die hier skizzenhaft dargestellte Dekompositionsmethode zu einer zweckmäßigen, strukturellen Zerlegung des Systems geführt hat. Dieses wichtige Zwischenergebnis wird nun in einem weiteren Schritt bei der Gestaltung des Lösungsansatzes (Bild 1, 2. Komponente) verwendet.

4 Lösungsansatz

An der Produktionsanlage steht das Prozessleitsystem RS3 von Fisher/Rosemount zur Verfügung. Um gleichzeitig die erwähnten Randbedingungen insb. im Hinblick auf eine automatische und reproduzierbare Fahrweise zu berücksichtigen, wurde dieses Prozessleitsystem als Implementierungsplattform für den Lösungsansatz verwendet. Auf der Basis der durchgeführten systemtheoretischen Ausführungen ist als Lösungsansatz eine automatische, rezeptbasierte Ablaufsteuerung entwickelt worden. Die einzelnen, herausgearbeiteten Untersysteme (Bild 3) wurden als eigenständige Module im RBL-Code (*Rosemount Basic Language*) programmiert und im Prozessleitsystem RS3/ Fisher-Rosemount Inc. gespeichert. Für jedes Teilsystem wurden dessen Funktionalitäten und Leistungsumfang definiert. Eine detaillierte Beschreibung aller Module ist [3] zu entnehmen. Jedes Modul wird mit definierten Eingabedaten versorgt (z. B. Sollwerte für den stationären Anlagenzustand, aktuelle Ist-Werte) und legt entsprechende Ausgangsdaten fest. Sie werden mittels der Feldgeräte direkt an der Produktionsanlage praktisch umgesetzt. Desweiteren ist eine Kommunikation zwischen allen Modulen des Gesamtsystems gewährleistet. Der zeitliche Ablauf einzelner Module ist nicht sequenziell, sondern stark parallel. Im Vordergrund steht hier die Minimierung der benötigten Anfahrzeit als vorgegebenes Projektziel. Durch entsprechend formulierte Bedingungen und Aktionen wird die notwendige interne Kommunikation und zeitliche Abstimmung zwischen den einzelnen Teilsystemen der rezeptbasierten Ablaufsteuerung voll gewährleistet. Dies ist aus z. B. sicherheitstechnischer Sicht (siehe vorgegebene Randbedingungen) besonders wichtig. So kann z. B. die Zufuhr des heißen Einsatzstroms in eine nicht voll evakuierte bzw. ohne Stickstoffüberlagerung Rektifikationskolonne zur Selbstentzündung auf großen Packungsflächen führen.

Durch die konsequente, modulare Struktur der entwickelten Ablaufsteuerung sind auch Voraussetzungen für die Systemoffenheit hinsichtlich eventueller zukünftiger Ergänzungen gesichert worden. Es können z. B. prozessrelevante Heuristiken und Beobachtungen der Anlagenfahrer leicht berücksichtigt und im System schnell implementiert werden. Eine weitere wichtige Randbedingung umfasste die Vielfalt der Einsatzgemische. Hierzu wurde im System eine Datenbank mit herausgearbeiteten optimalen Prozessparametern hinterlegt. Der Anlagenfahrer wählt bequem aus einem vorliegenden Menü das Gemisch, das aktuell vorliegt und aufgearbeitet werden soll. Anschliessend wird automatisch ein Satz an optimalen Prozessparametern gelesen und der Ablaufsteuerung zur Verfügung gestellt. Damit wird auch der Spielraum für evtl. Fehlangaben minimiert. Auf der anderen Seite können natürlich alle Prozessparameter in der Datenbank leicht an neue Gegebenheiten angepasst werden (z. B. aufgrund einer Änderung der Produktspezifikationen durch die Kunden) bzw. Prozessparametersätze

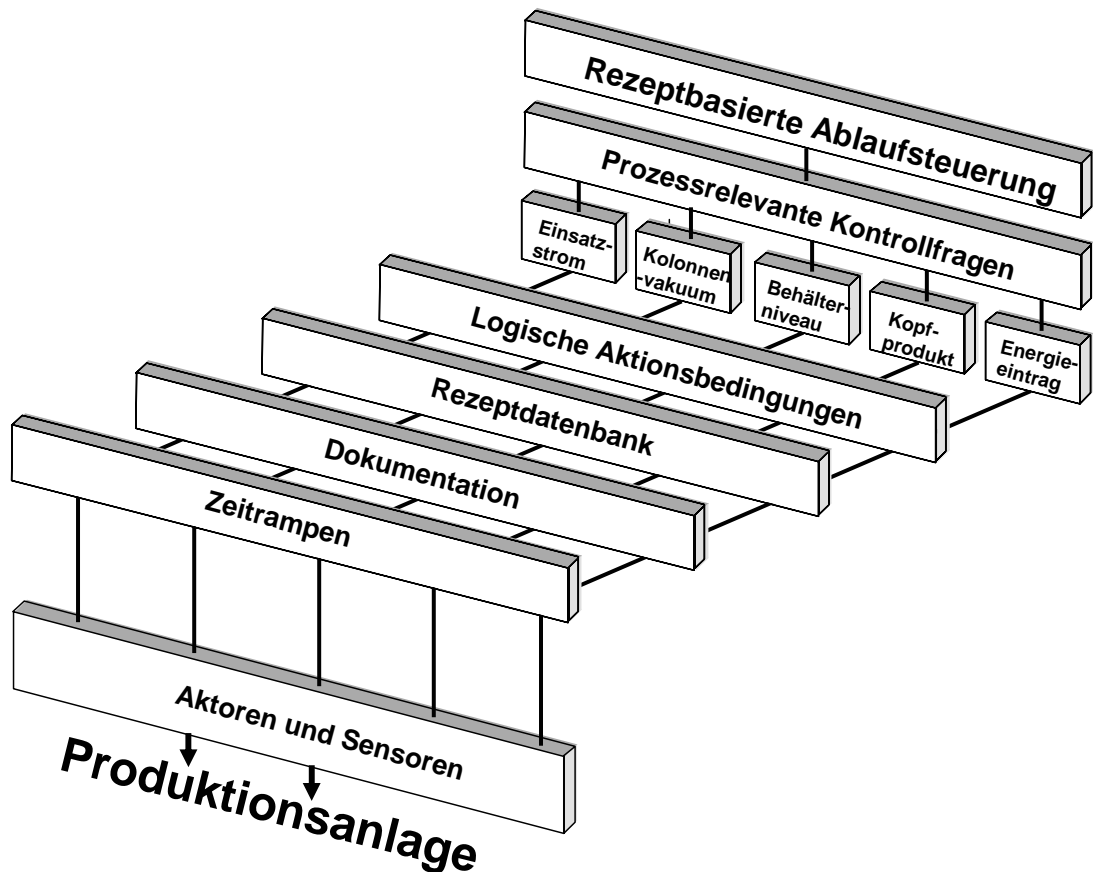


Bild 3: Übersicht des strukturellen Aufbaus der Ablaufsteuerung

5 Zusammenfassung

Es wurde ein System für die Prozessführung einer Rektifikationskolonne einschliesslich aller Zusatzeinrichtungen während des Anfahrvorgangs entwickelt. Als wesentliches methodisches Rahmenwerkzeug wurde die Dekompositionsmethode eingesetzt. Nach der Systemstrukturierung erfolgte die Entwicklung einer automatischen, rezeptbasierten Ablaufsteuerung. Hierzu wurde als Implementierungsplattform das vorhandene Prozessleitsystem RS3 verwendet. Das Gesamtsystem ist in der Fa. Cognis Deutschland GmbH&Co.KG seit 1999 im Einsatz. Die erzielte Zeitreduzierung beim Anfahrvorgang beläuft sich auf Faktor 2.2 im Vergleich zur ursprünglichen Fahrweise der Anlagenfahrer.

Literatur

- [1] *Blass, E.*: Entwicklung verfahrenstechnischer Prozesse, Springer-Verlag, 2. Aufl. 1997
- [2] *Haberfellner, R. et. al.*: Systems Engineering, Methodik und Praxis, 11. Aufl., Zürich, Verlag Industrielle Organisation, 2002
- [3] *Fieg, G.*: Design and analysis of an integral startup system for distillation columns, Trans. IChemE, Part A, Chem. Eng. Res. Des., 205, 83(A5), S. 445-451

Danksagung an Herrn S. Girgensohn für seinen Beitrag bei der Systementwicklung