

Diploma Thesis:

Dynamische Modellbildung und Regelung einer komplexen verfahrenstechnischen Anlage zur Bereitstellung definierter chemischer Stoffgemische

Author: Stefan Puchner
Supervisors: Prof. Dr. Luigi del Re
 Dr. Engelbert Grünbacher
 Dr. Bernhard Voglauer
Partner: Lenzing AG
Finished: Dezember 2009

Kurzfassung

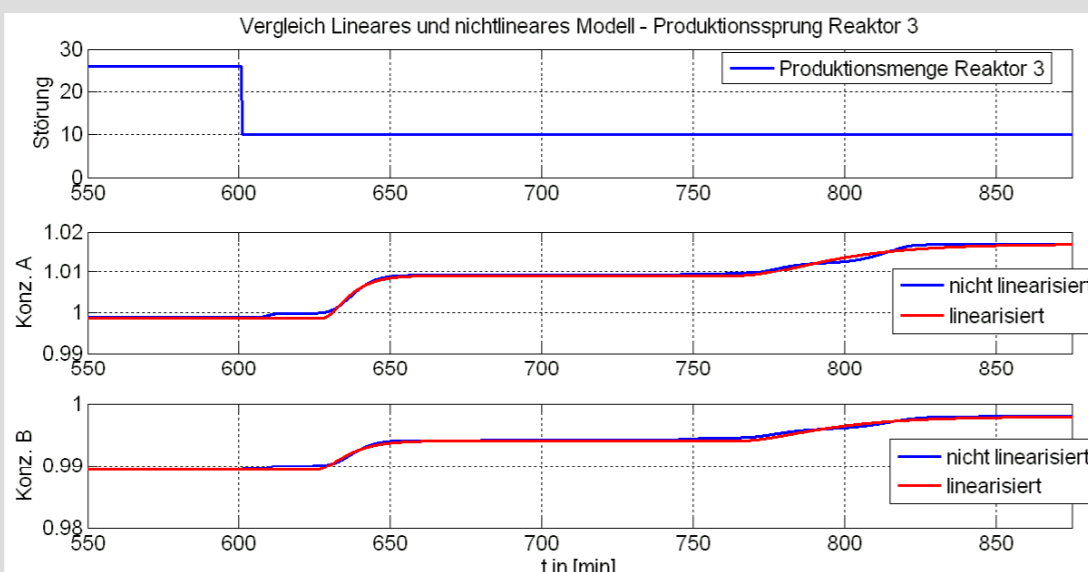
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine komplexe dynamische Produktionsanlage der Lenzing AG modelliert und daraus Verbesserungs- und Optimierungspotentiale aufzuzeigen. Bei der Modellbildung wurde ein physikalischer Ansatz verfolgt, um die Stoffzusammensetzung zu simulieren. Die Motivation nach einem Simulationsmodell woraus Verbesserungen abgeleitet werden, und Regelkonzepte entworfen werden sollen, ist die derzeit noch fehlende Onlinemessung der Stoffkonzentration, und einige bekannte Störungen die durch ein Regelkonzept unterdrückt werden sollen. Bei der Modellbildung wurden einige verfahrenstechnische Grundelemente wie der ideale Rührreaktor und der ideale Rohrreaktor zur Beschreibung der Elemente angewendet. Von deren idealer Beschreibung wurden realitätsnahe Simulationsmodelle erstellt, wodurch die Stoffmischungen und Durchlaufzeit der Flüssigkeit berücksichtigt werden. Ein weiterer wesentlicher Punkt der Modellbildung waren Stoffschleusen, deren Aufgabe es ist, einen bestimmten Anteil eines Stoffes aus dem Stoffgemisch auszuschleusen, um die Konzentration möglichst konstant bereit zu stellen. Basierend auf dem Simulationsmodell wurde eine Linearisierung um einen Arbeitspunkt, dem Betriebspunkt, ohne Einwirkung von Störungen, durchgeführt. Aus dem linearisierten Modell wurde eine Entkopplung sowohl für die Stellgrößen, als auch für alle berücksichtigten Störeingänge abgeleitet, wodurch den tozeitbehafteten Auswirkungen von Störgrößen bereits vor deren eigentlichem auftreten entgegengewirkt werden kann. Zusätzlich zur dynamischen Entkopplung wurden noch für die beiden Stelleingänge, stabilisierende Regler entworfen um bleibende Abweichungen auszuregeln.

Ableiten eines linearen Modells

Aus dem nichtlinearen Simulationsmodell, das anhand mehrerer Messdatensätze validiert wurde, ist ein lineares Modell abgeleitet worden. Dieses ist in der Lage, die Auswirkungen von Störungen, ausgehend von einem konstanten Arbeitspunkt, auf die Konzentration wiederzugeben.

Es ist gelungen, das Verhalten der Stell- & Störeingänge auf die Konzentrationen durch Übertragungsfunktionen 2er Ordnung mit Totzeit zu beschreiben.

$$G(s) = \frac{V}{T^2 s^2 + 2Tds + 1} e^{-sT_d}$$



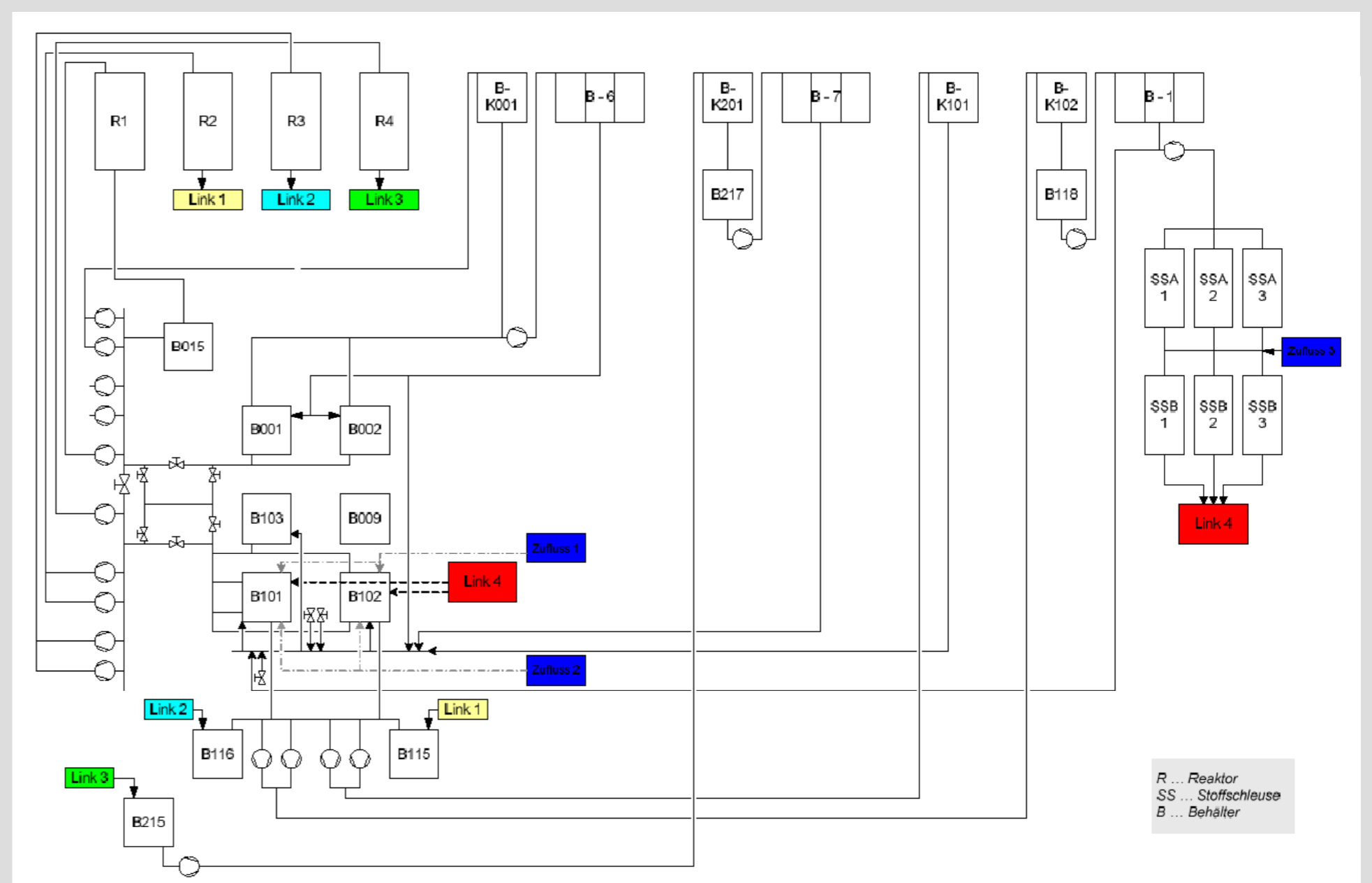
Einleitung:

Das modellierte chemische Stoffgemisch setzt sich aus 3 Komponenten zusammen und wird als Vektor

$$\mathbf{w} = \begin{pmatrix} w_A \\ w_B \\ w_C \end{pmatrix}$$

dargestellt, mit dem dazugehörigen Massenstrom \dot{m} .

Folgende Abbildung zeigt die gesamte Abbildungen mit allen Elementen und relevanten Rohrleitungen die bei der Modellbildung berücksichtigt wurden.



Folgende Elemente haben einen Einfluss auf die Stoffkonzentration:

- Dosierung – Regelungseingang für die Konzentrationen
- Produktionsmenge im Reaktor
- Änderung der Ausschleusleistung in den Stoffschleusen
- Externe Zuflüsse

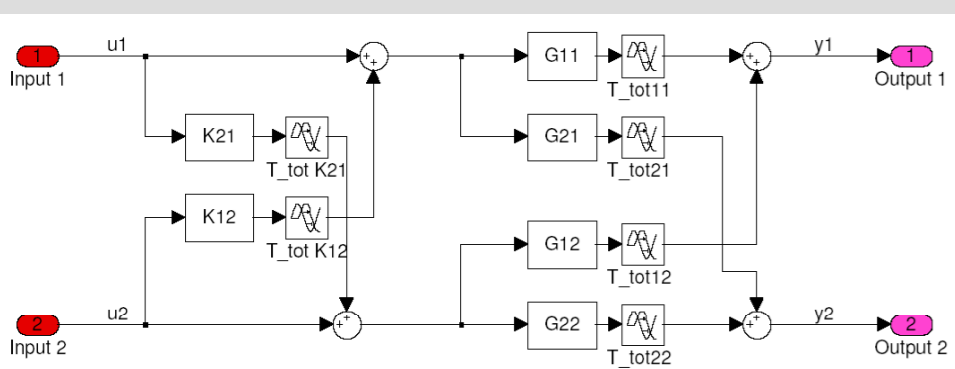
Die Konzentration und Menge der Zuflüsse ist bekannt, und wird im Modell als ideale Vermischung modelliert. Ausgehend von n Zuflüssen kann die Menge und Stoffkonzentration des Abflusses wie folgt berechnet werden:

$$\dot{m}_{ab} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{i,zu} \quad \mathbf{w}_{ab} = \frac{1}{\dot{m}_{ab}} \left(\sum_{i=1}^n \dot{m}_{i,zu} \mathbf{w}_i \right)$$

Insgesamt werden zusätzlich zu den Dosiermengen (=Stelleingänge) noch 11 Störungen als Eingänge betrachtet, um deren Auswirkungen durch ein Regelkonzept zu unterdrücken.

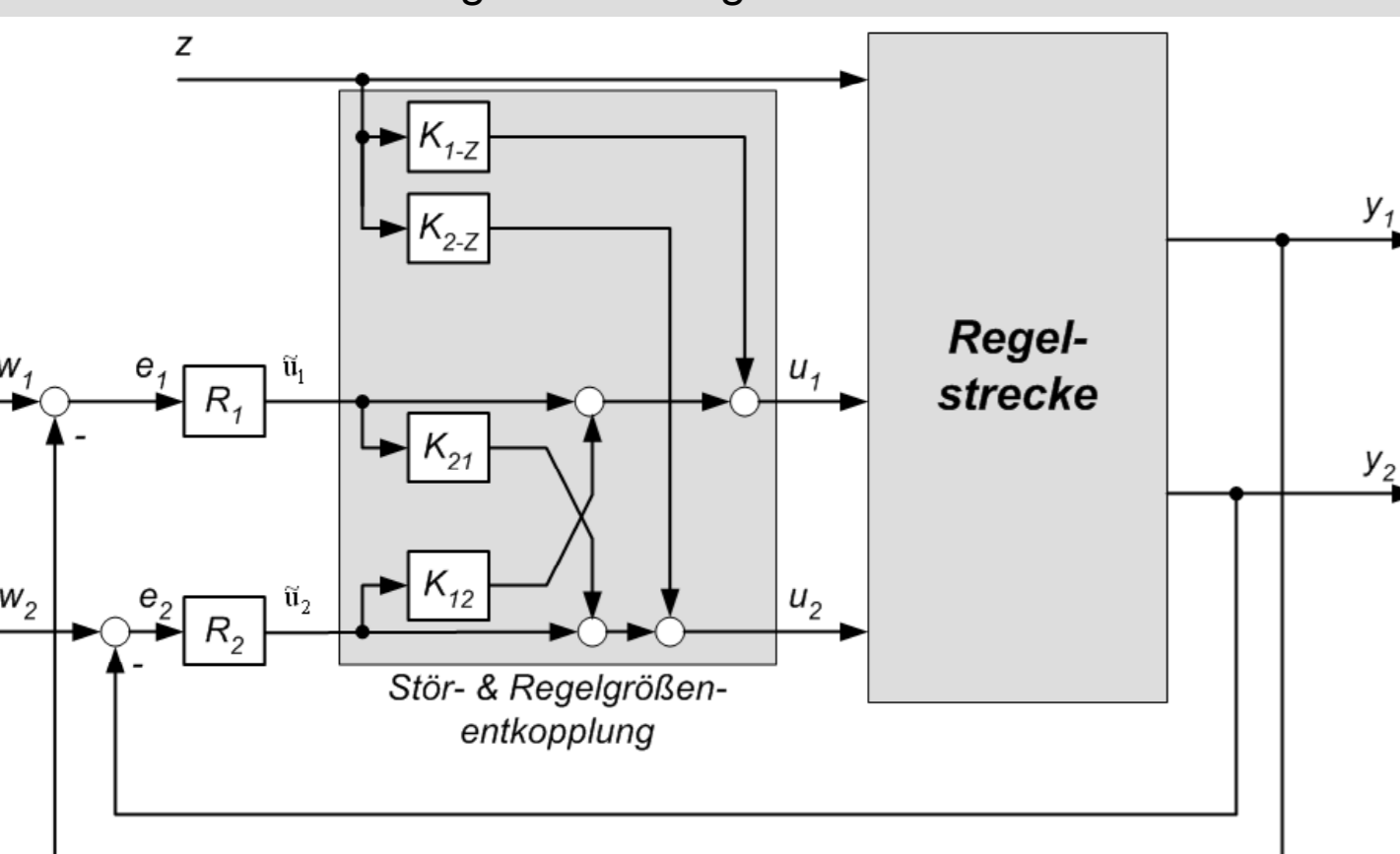
Regelungskonzept

Aus dem linearisierten Modell werden die Entkopplungsterme zur Unterdrückung der Störungsauswirkungen berechnet. Dadurch wird bereits bevor die Auswirkungen bemerkt werden durch Anpassung der Dosiermenge entgegengesteuert. Die Berechnung der Entkopplungsterme:



$$K_{12} = -\frac{G_{12}}{G_{11}} \quad T_{tot,K12} = T_{tot,G12} - T_{tot,G11}$$

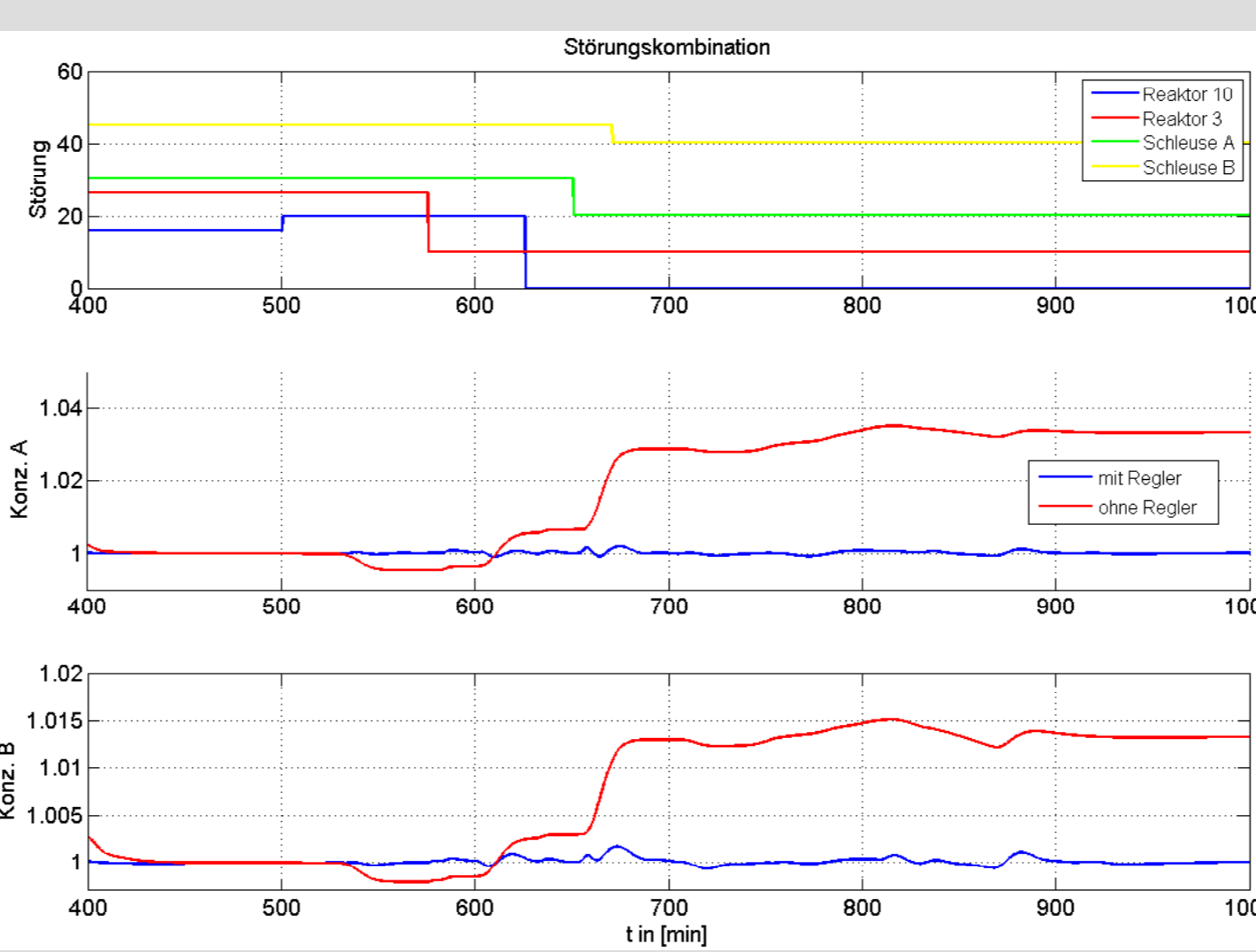
Zusätzlich zur Störgrößenentkopplung, die bereits einen großen Teil der Konzentrationsschwankungen unterdrückt, werden noch 2 Dosiermengenregler mittels FKL-Entwurf ausgelegt, um bleibende Abweichungen auszuregeln..



Simulationsergebnis

Als Simulationsbeispiel ist ein Störfall simuliert, wie er an der realen Anlage des Öfteren vorkommt. Dabei kommt es mit den derzeit verwendeten Dosiermengenregler zu kurzfristigen Abweichungsspitzen von einigen %, was enorme Auswirkungen auf die Qualität und die Wirtschaftlichkeit hat, abgesehen davon, dass bei bestimmten Produkten derartige Schwankungen nicht mehr zulässig sind.

Das im Zuge dieser Arbeit entworfene Regelkonzept mit dynamischer Störgrößenentkopplung zeigt eindeutig die Optimierungsmöglichkeiten auf, da die Abweichungen deutlich minimiert wurden.



Zusammenfassung und Ausblick

- Es wurde ein dynamisches Simulationsmodell, das die Auswirkungen von bekannten Störungen auf die Stoffkonzentrationen wiedergibt, erstellt.
- Es ist gelungen daraus ein linearisiertes Modell abzuleiten, das für Auslenkungen um einen Arbeitspunkt die Charakteristik wiedergibt.
- Daraus wurde ein dynamisches Entkopplungsnetzwerk entworfen, um die Auswirkungen der Störungen rechtzeitig zu berücksichtigen.
- Darauf aufbauend wurden 2 PI-Regler mit Hilfe des FKL-Verfahren entworfen. Aufgrund der Entkopplung, können die beiden Regelkreise getrennt voneinander betrachtet werden.
- Die Simulation zeigt eine deutliche Verbesserungsmöglichkeit durch die Verwendung einer Störgrößenentkopplung auf.

– Es ist im Zuge dieser Arbeit nicht gelungen, die Regelung der dritten Stoffkonzentration zu berücksichtigen, da bereits bei der Modellierung Schwächen der Stoffschleuse B festgestellt wurden. Diese konnten im Laufe der Arbeit nicht mehr behoben werden, da dafür einige zusätzliche Messgrößen erforderlich wären.
 – Kann dieses Anlagenelement ausreichend genau modelliert werden, so ist eine Erweiterung der Regelung auf die dritte Stoffkonzentration sinnvoll.
 – Darauf aufbauend, könnte ein wirtschaftliches Regelkonzept zur gemeinsamen Steuerung der Stoffschleusen A und B entworfen werden.