

Bahnlaufsimulation in Verarbeitungsmaschinen
– Ergebnisse und Optimierungsstrategien –

Dipl.-Ing. André Philipp, Prof. Dr.-Ing. Ralf Mikut,
Dipl.-Ing. He Li, M. Sc. Chang You

13. März 2015

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

BOSCH

Einführung

- Spannungsfeld der Verpackung



- Auswirkungen auf Verpackungsmaschinen
  - Zunehmende Automatisierung → autonome Verpackungsmaschine
  - Optimierung von leistungsmindernden Prozessen

Spannungsfeld der Verpackung nach [1]

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

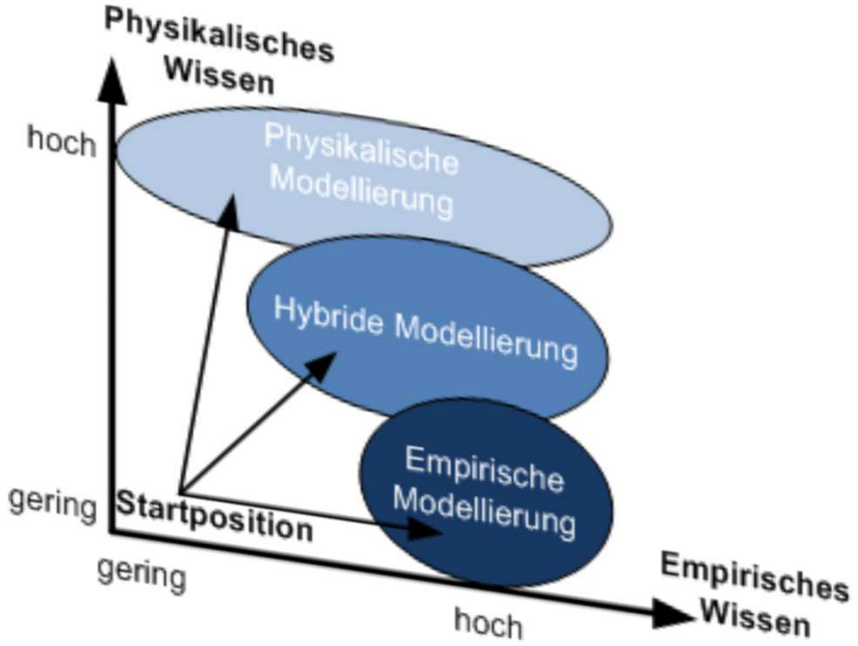
Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
  - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
  - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
  - Modellbildung
  - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
  - Modellanpassung
  - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Grundlagen Modellbildung/Systemidentifikation

- Paradigmen der Modellbildung
  - Theoretische Modelle
    - „white Box“
    - „black Box“
  - Praxisorientierte Modelle
    - „grey Box“
- Prinzipieller Modellierungsablauf
  - Messdatenerfassung
  - Mathematische Modellbildung
  - Modelloptimierung

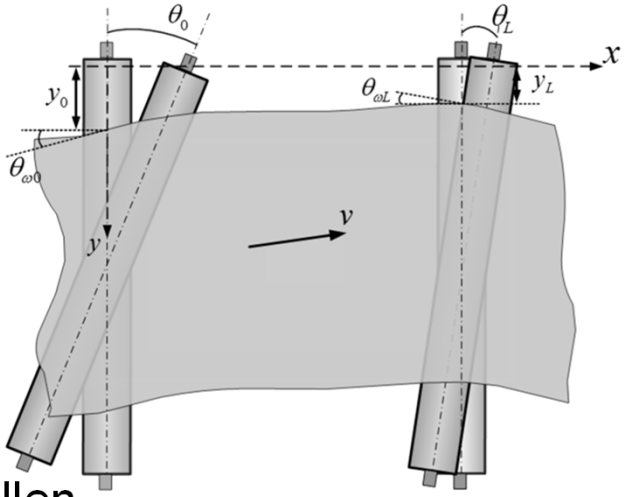


Paradigmen der Modellbildung nach [2]

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Modellbildung des lateralen Bahnverhaltens

➔ Ansatz zu Bildung eines „Roll-to-Roll“ - Modells nach J.J. Shelton



- Euler-Bernoulli-Balken

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - K^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad \text{mit} \quad K^2 = \frac{T}{EI}$$

- Lösungsansatz

$$y = C_1 \sinh(Kx) + C_2 \cosh(Kx) + C_3 x + C_4$$

- Lösung für zwei fixierte, parallele Umlenkrollen

$$\frac{Y_L(s)}{Y_0(s)} = \frac{-\frac{1}{\tau} f_3(KL)s + \frac{1}{\tau^2} f_1(KL)}{s^2 + \frac{1}{\tau} f_2(KL)s + \frac{1}{\tau^2} f_1(KL)} \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{L}{v}$$

➔ PDT2 – Übertragungsverhalten

Schema nach [3] /Gleichungen nach [4]

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

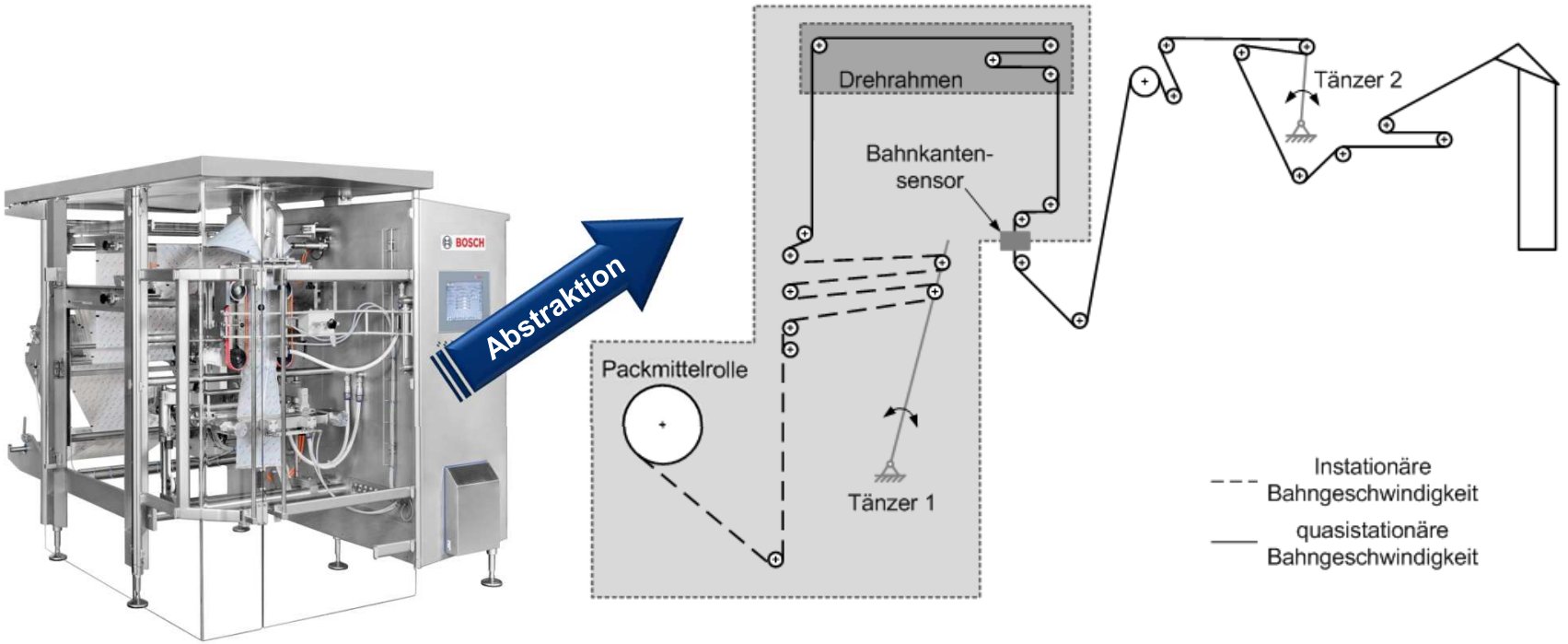
Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
  - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
  - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
  - Modellbildung
  - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
  - Modellanpassung
  - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Systemdefinition inkl. Randbedingungen

- Ziele:
  - Simulationsgenauigkeit von ±0,5mm
  - Ausführbarkeit der Simulation auf low-cost Industriesteuerung

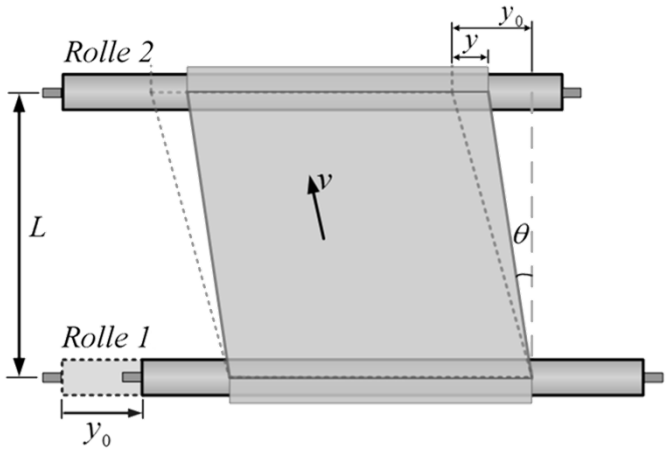


André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Modellbildung

- Gewählte Modellbildung: „grey Box“ - Modell
- Idealisiertes „Roll-to-Roll“ System → nichtlineare DGL 1. Ordnung
- Lösung der linearisierten DGL im Zeitbereich

$$\dot{y}(t) = \frac{v(t)\left(y_0(t) - y(t)\right)}{L(t)}$$



- Übertragungsverhalten:

$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{\tau * s + 1} \qquad \text{mit} \qquad \tau = \frac{L}{v}$$

→ PT1 – Übertragungsverhalten

- Übergang zu adaptivem Übertragungsverhalten

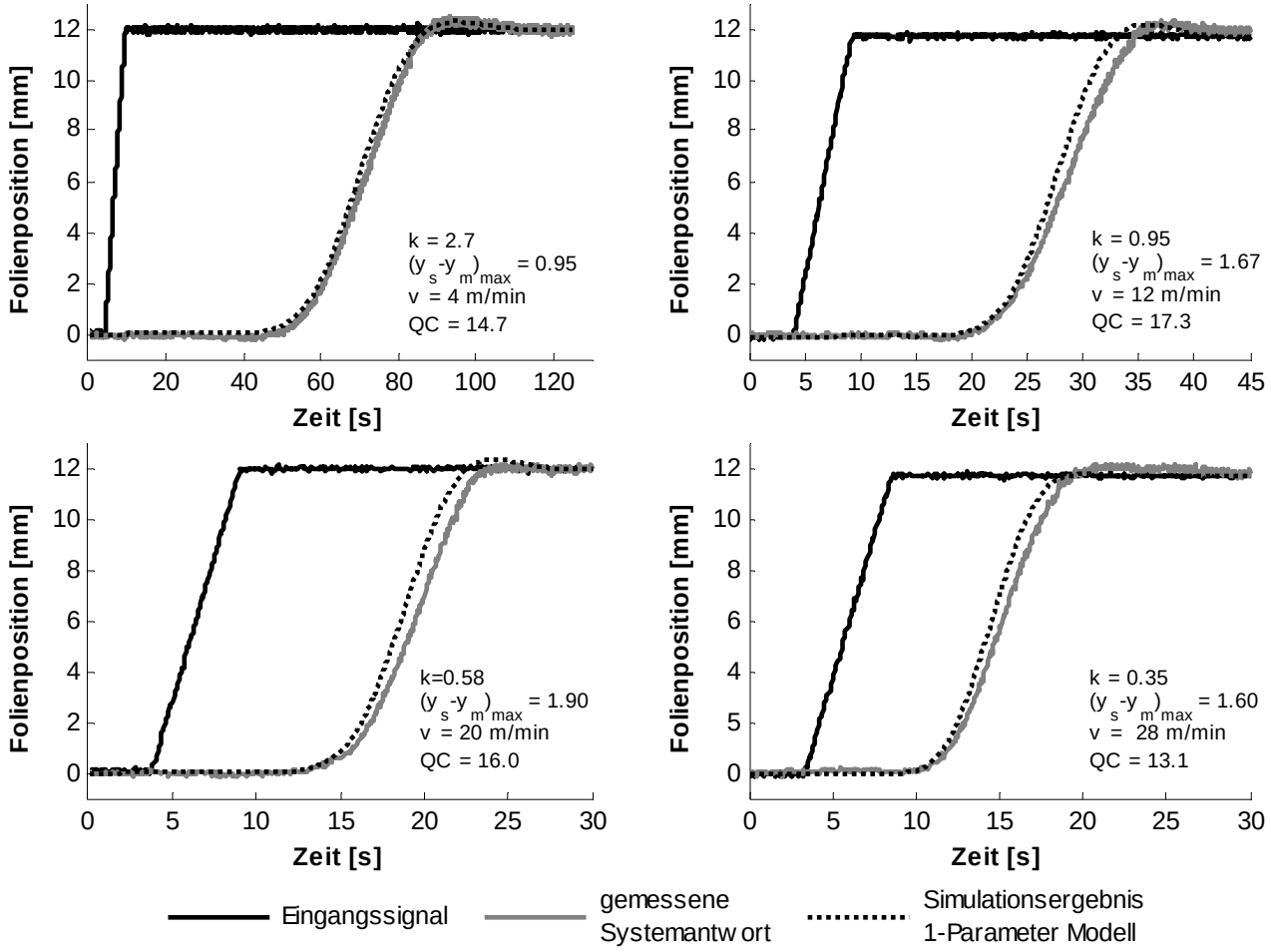
$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{k * \tau * s^2 + \tau * s + 1} \qquad \text{mit} \qquad \tau = \frac{L}{v}$$

→ PT2 – Übertragungsverhalten

Gleichungen nach [5]

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Ergebnisse



André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
  - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
  - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
  - Modellbildung
  - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
  - Modellanpassung
  - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

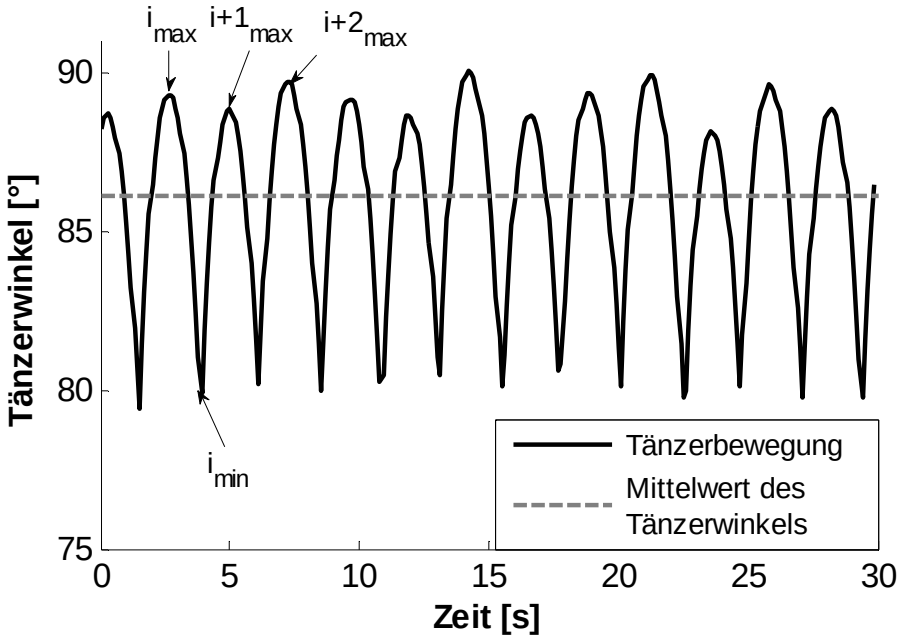
BOSCH

Modellanpassung

- Bahnkraftgeregeltes Tänzersystem
- Diskretisierung der Tänzerbewegung:

$$\bar{L} = \frac{L_{i_{max}} + L_{i+1\,max}}{2}$$

$$\bar{v} = v_0 + \frac{L_{i_{max}} - L_{i_{min}}}{2(t_{i_{min}} - t_{i_{max}})p}$$



- Übertragungsfunktion von „Roll-to-Roll“ Systemen im Tänzerbereich:

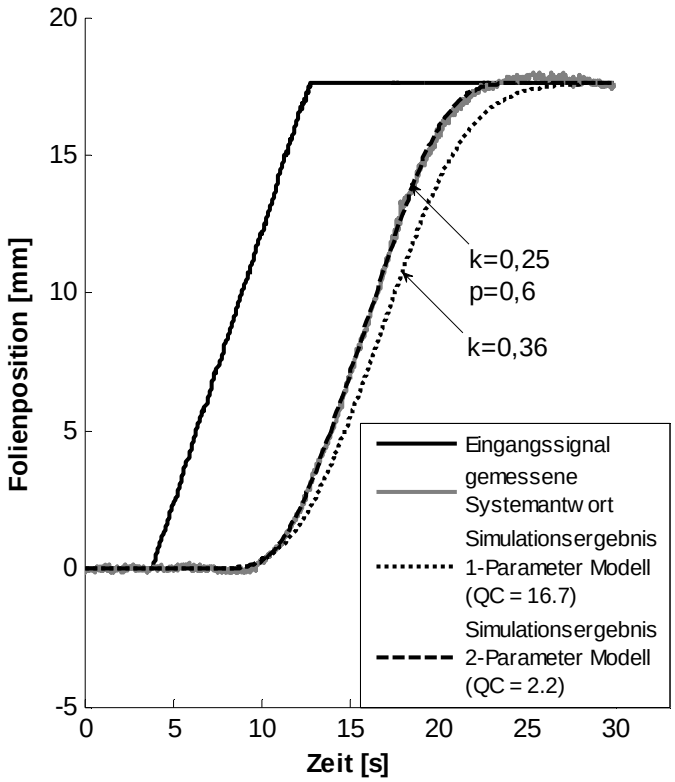
$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{k * \tau^* * s^2 + \tau^* * s + 1} \quad \text{mit} \quad \tau^* = \frac{\bar{L}}{\bar{v}}$$

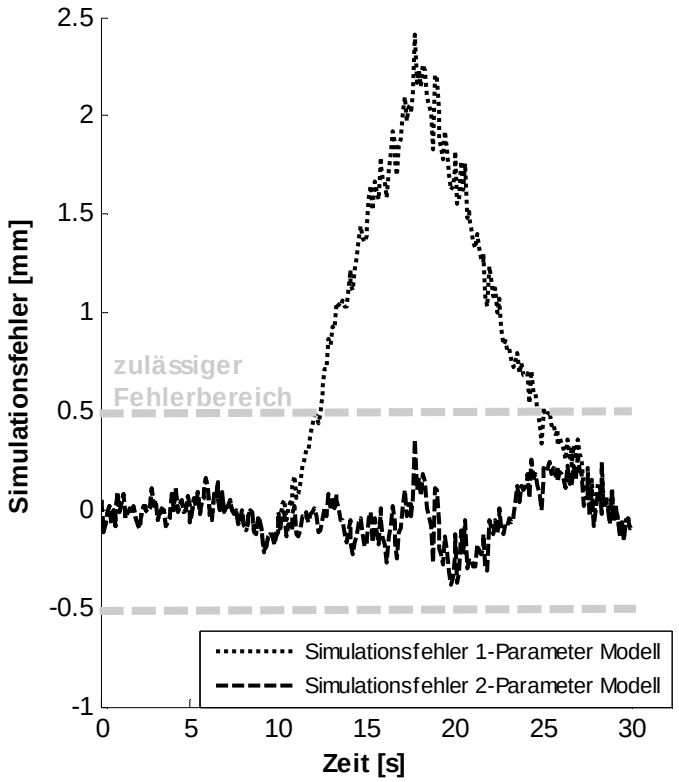
Modellierungsansatz nach [6]

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Ergebnisse

- Gegenüberstellung Simulation 1-Parameter und 2-Parameter Modell





André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Inhalt

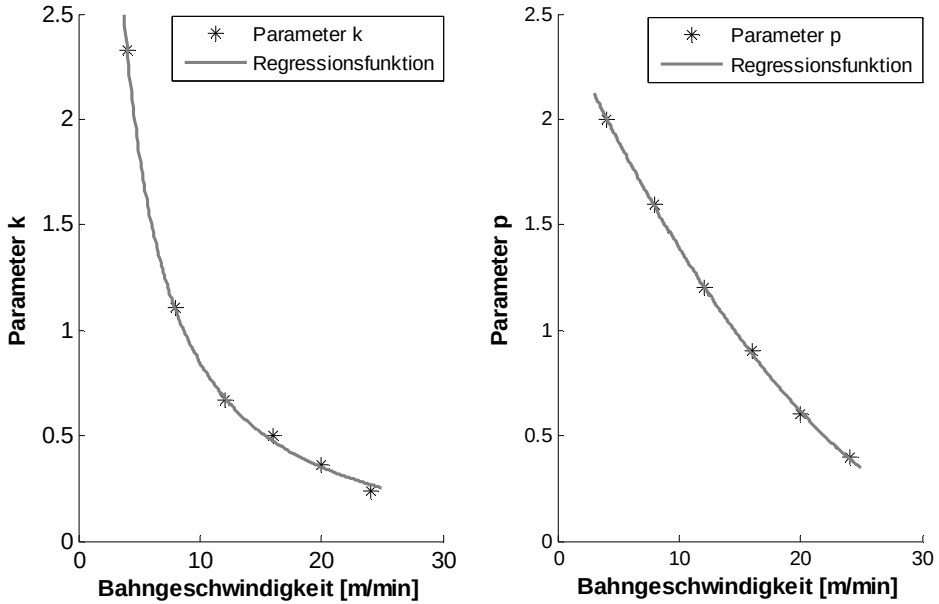
- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
  - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
  - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
  - Modellbildung
  - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
  - Modellanpassung
  - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

BOSCH

Korrelation der Modellparameter

- Abhängigkeit der Modellparameter von der Bahngeschwindigkeit



- Regressionskurven:

$$k = \frac{9{,}922}{v} - 0{,}1446 \qquad p = 1{,}563 * 10^{-3} v^2 - 1{,}245 * 10^{-1} v + 2{,}48$$

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
  - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
  - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
  - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
  - Modellbildung
  - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
  - Modellanpassung
  - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

BOSCH

Zusammenfassung/Ausblick

- **Zusammenfassung:**
  - Hybride Modellbildung des lateralen Bahnlaufs innerhalb einer vertikalen Schlauchbeutelmaschine
  - Erreichen der Genauigkeitsanforderungen von ±0,5mm
  - Vorstellung eines adaptiven Simulationsmodells, welches direkt auf einer preisgünstigen Industriesteuerung funktioniert
  - System ist eine Alternative für das „white-Box“- Modell von J.J. Shelton
- **Ausblick:**
  - Kombination mit Drehrahmensystem
  - Kombination mit FriWFP – Scanner [7]



André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.



Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. André Philipp
Robert Bosch Packaging Technology B.V.
Industriekade 43
6001 SE Weert
Tel.: +31 495 574 382
Mobil: +31 628 306 983
E-Mail: andre.philipp@bosch.com

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

BOSCH

Referenzen

[1] **Onlinequelle:** http://www.beschaffung-aktuell.de/home/-/16537505/26937472/Entwicklung-und-Tendenzen/art_co_INSTANCE_0000/maximized/; zuletzt geprüft: 02.05.2014

[2] T. A. Johansen (1994): **„Operating regime based process modeling and identification”**, Doktorarbeit, Norwegisches Institut für Technologie – Universität Trondheim

[3] A. Seshadri, P. R. Pagilla.(2010): **"Optimal web guiding."**, Journal of dynamic systems, measurement and control

[4] J. J. Shelton (1968): **„Lateral dynamics of a moving web”**, Doktorarbeit, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma

[5] H. Li (2013): **„Entwicklung eines Mehrstufigen Bahnpositionierungssystems”**, Diplomarbeit, Karlsruher Institut für Technologie

[6] C. You (2014): **„Optimization of a Dual-Step web guiding System“**, Masterthesis, TU Dortmund

[7] A. Philipp, B. Oberdorfer (2014): **„Messtechnik zur Ermittlung von Bahnkraft- und Reibwert-profilen – der Stand der Technik im Vergleich zu aktuellen Entwicklungen.“**, Tagungsband 12. Bahnlaufseminar

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

BOSCH