VDD-Seminarvortrag

Anforderungen an die Bahnlaufsteuerung bei heutigen modernen Maschinenkonzepten

Bosch Rexroth AG, Mario Göb, Holger Schnabel, Stephan Schultze

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

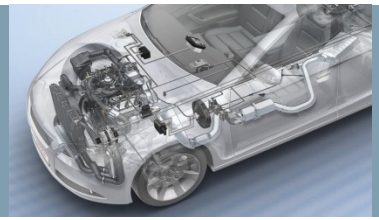
Bosch - Geschäftsbereiche

Bosch-Gruppe gesamt

- 51,5 Mrd. EUR Umsatz
- 302 500 Mitarbeiter
  davon 38 500 in Forschung und Entwicklung

Kraftfahrzeug-technik

- 59 % Umsatzanteil
- Technologisch führender Zulieferer von Kraftfahrzeugtechnik



Industrietechnik

- 16 % Umsatzanteil
- Weltweit führender Hersteller von Großgetrieben, Antriebs-, Verpackungs- und Prozesstechnik

Gebrauchsgüter- und Gebäude-technik

- 25 % Umsatzanteil [1]
- Weltgrößter Elektrowerkzeughersteller, führend bei Hausgeräten, Thermo- und Sicherheitstechnik

[1] einschließlich sonstige Segmente

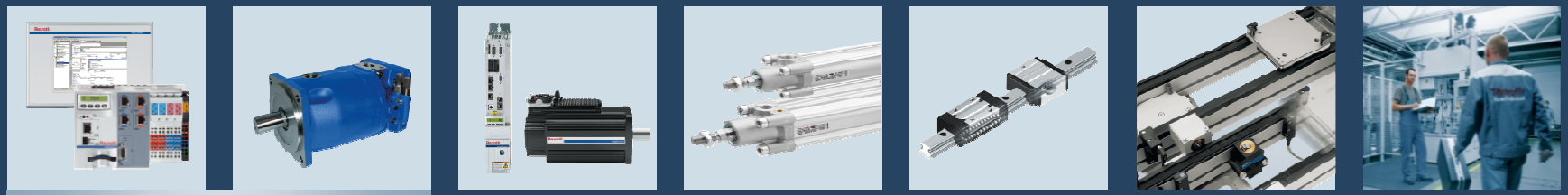
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Ihr Automatisierungsspezialist für alle Druckprozesse

Multitechnologie - Expertise

Steuerung	Hydraulik	Elektrischer Antrieb	Pneumatik	Linear-technik	Montage-technik	Service

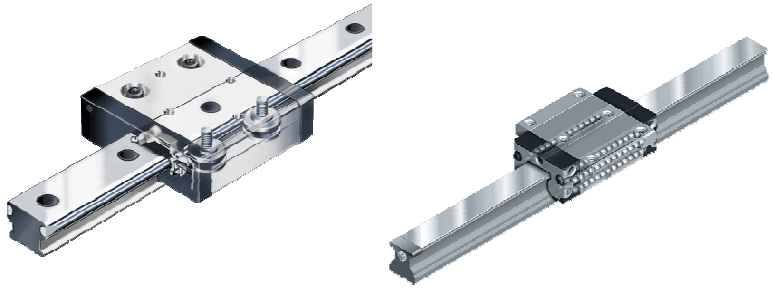


Multitechnologie – einzeln oder im System
Perfekt in Ihrer Anwendung

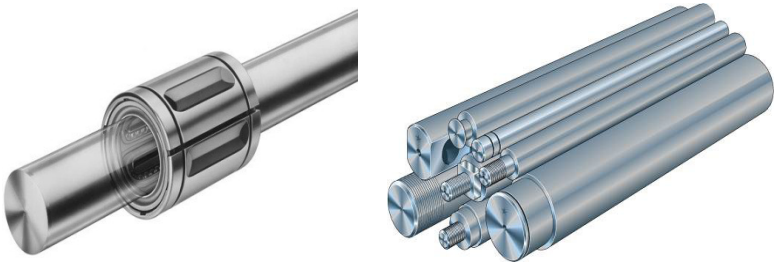
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

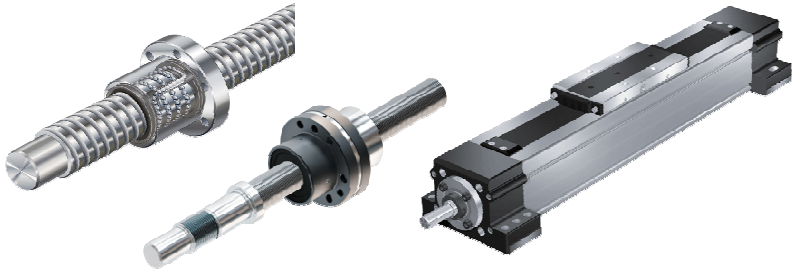
Produktgruppe Lineare Bewegungstechnik



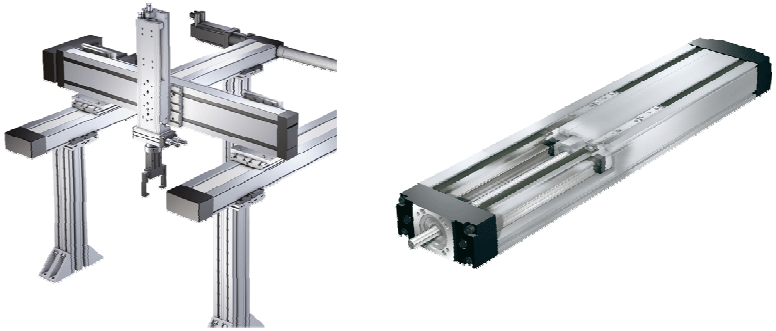
Profilschienenführungen



Kugelbüchsenführungen, Wellen



Kugelgewindetriebe, EMC



Linearsysteme

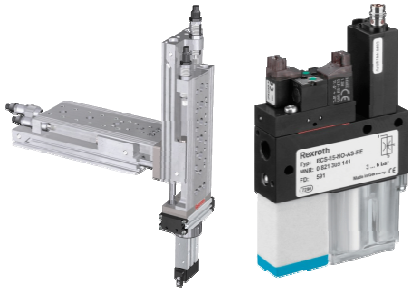
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Produktgruppe Pneumatik

Zylinder und Sensorik

Ventile, -träger und Feldbuskoppler



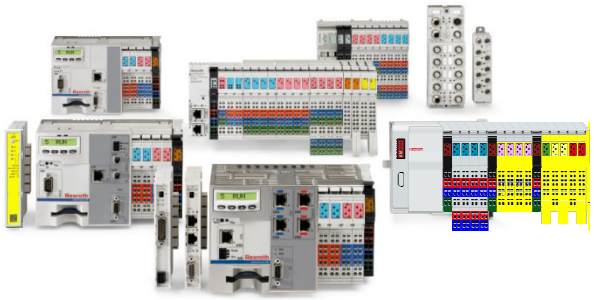
Greif- und Vakuumtechnik

Druckluftaufbereitung, Zubehör

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Produktgruppe Elektrische Antriebe +Steuerungen



Steuerungen

HMI

Antriebe

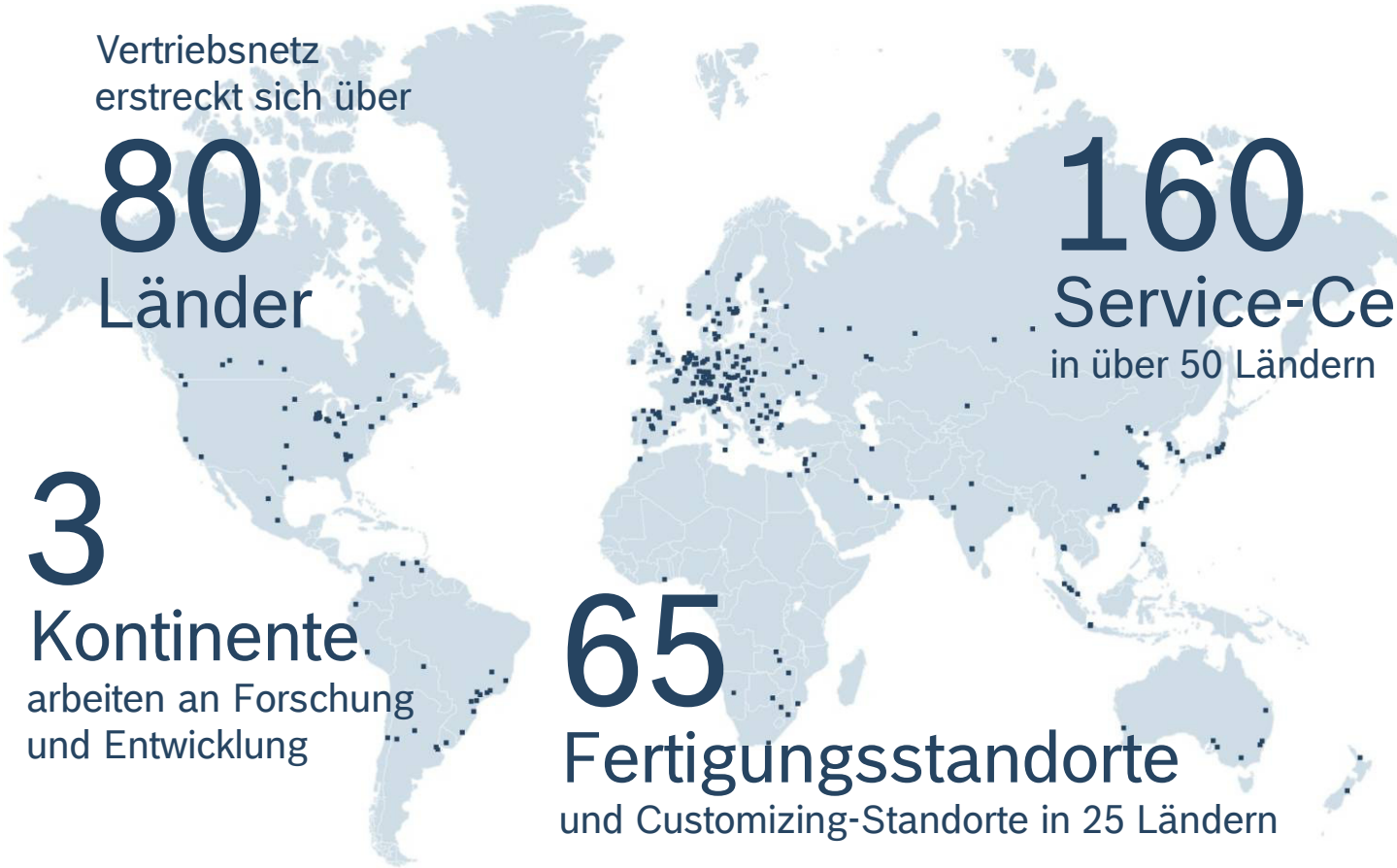
Motoren

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Ihr globaler Partner

www.boschrexroth.de/adressen



Vertriebsnetz
erstreckt sich über

80
Länder

160
Service-Center
in über 50 Ländern

3
Kontinente
arbeiten an Forschung
und Entwicklung

65
Fertigungsstandorte
und Customizing-Standorte in 25 Ländern

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Branchenexpertise in Druck- und Verarbeitungsmaschinen

- Akzidenzdruck
- Bogenoffsetdruck
- Digitaldruck
- Etikettendruck
- Schmalbahndruck
- Siebdruck
- Verpackungsdruck
- Wellpappendruck
- Zeitungsdruck

- Bindemaschinen
- Finishingmaschinen
- Herstellung von Beuteln, Säcken, Tüten, Briefumschlägen
- Hygienemaschinen
- Kartonagemaschinen
- Laminieren
- Mailroomequipment
- RFID – printed electronics
- Schneiden/Wickeln
- Wellpappenherstellung

Total Line Automation

Papier-herstellung ▶ **Drucken** ▶ **Verarbeiten** ▶ **Verpacken**

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Rexroths Erfolgsgeschichte in der Druckbranche

1992

1995

2000

2004

2008

heute

- Entwicklungsbeginn von SYNAX (SYNchronisation of AXis) Elektronische Welle mit digitalen intelligenten Einzelantrieben
- Fischer & Krecke baut ihre erste wellenlos angetriebene Flexodruckmaschine
- Erste Rotationsstanze von Ward mit Torquemotoren ausgeliefert
- KBA stellt seine erste wellenlos angetriebene Zeitungsdruckmaschine vor
- Einführung von explosionsgeschützte Servomotoren
- Einführung von IndraDrive mit Sicherheitstechnik
- Markteinführung von SYNAX Gesamtautomation mit IndraLogic
- Einführung dezentraler Antriebe IndraDrive Mi
- Vorstellung von IndraMotion for Printing (XLC/MLC)
- Einführung kompakter Umrichter IndraDrive Cs
- Kunden wie PCMC, MPS, KBA, Goss, CurtJoa, etc. liefern ihre Maschinen mit IndraMotion for Printing aus

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

20 Jahre Erfahrung mit Bahnlauf bei Bosch Rexroth

mit SYNAX und IndraMotion for Printing

- 1993 CLC SYNAX V01: ***Erste Version eines Bahnzugkraftreglers***
- 1998 CLC SYNAX V05: Geschwindigkeitsabhängige ***Kp-Adaption***, ***statische Vorsteuerung***
- 2007 MLC V04: ***Spannen der Bahn im Stillstand***
- 2009 MLC V10: ***Multiachs-Regler*** 8 Achsen, ***dynamische Vorsteuerung***
- 2011 MLC V12: Flexibles, kaskadierbares ***Entkopplungsnetzwerk, IPO Control***
- 2012 MLC V13: ***Vereinfachte Parametrierung*** durch Materialdatenbank, Optimierung Adaption, ***Entkopplung beliebiger Punkt***

- Ausblick Entkopplung mit Totzeit (CI-Transport), effizientes Autotuning

- seit 2007 ***Grundlagenforschung***: zwei Doktoranden auf dem Gebiet Bahnlauf und Registerregelung mit abgeschlossenen ***Dissertationen***
- seit 2011 Dienstleistung ***„Simulation Bahnlaufvorgänge“*** (Systemverhalten, Reglerparameter)

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

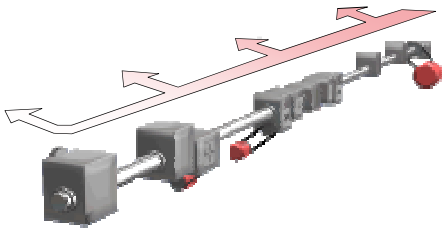
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

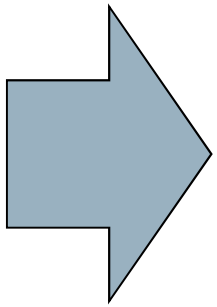
Abgrenzung: Wellenlose Bahnmaschinen

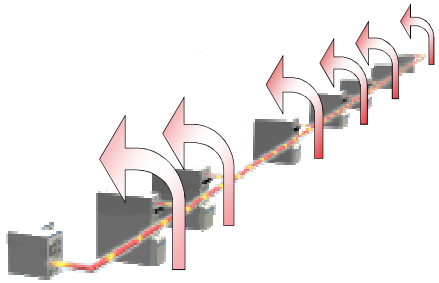
- Seit ca. 20 Jahren werden Bahnmaschinen sukzessive auf wellenlosen Bahntransport umgestellt.

- Im Folgenden wird deshalb von wellenlosen Maschinenkonzepten ausgegangen. Wellenbehaftete Maschinenkonzepte stellen nicht mehr den Stand der Technik dar und werden hier nicht weiter betrachtet.



mit Königswelle
mechanische Synchronisation





wellenlos
elektronische Synchronisation

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Relevanz des Bahnlaufs

- Ein perfekter Bahnlauf ist Voraussetzung für ein perfektes Register!

- Dies erzwingt eine gewisse Grundkonzeption der Maschinenkon-struktion und des Bahnlaufkonzepts

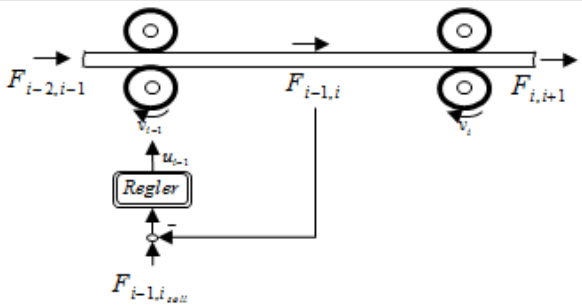
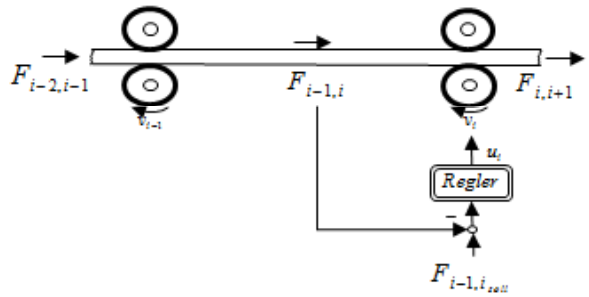
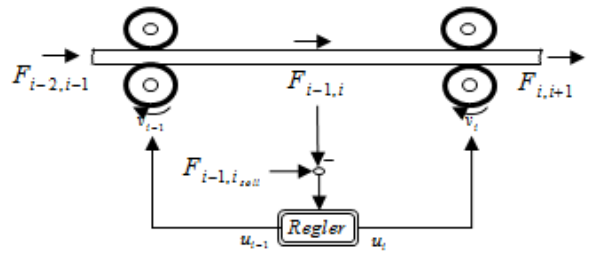
- Mit „simplen“ Bahnlaufkonzepten kann keine hohe Grundgenauigkeit der Maschine erreicht werden
  - Beispiel Digitaldruck: Hier werden häufig sehr einfache Bahnlaufregelungen mit losen Schlaufen, einfachsten Servos, simplen Frequenzfolgern usw. verwendet. Dies limitiert mehr und mehr die Genauigkeitsgrenzen der Maschine

- Mittels teurer und aufwändiger Registerregelungen können die Mängel im Bahnlauf nur für sehr niedrige Störfrequenzen kompensiert werden, ein hochqualitativer Druck ist bei immer höheren Maschinengeschwindigkeiten und Genauigkeitsanforderungen nicht möglich.

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Grundlage: Bahnzugregelkonzepte

	<u>Upstream- Regelung:</u> Hierbei wird die vordere begrenzende Klemmstelle als Stellsignal genützt.
	<u>Downstream- Regelung:</u> Hierbei wird die hintere begrenzende Klemmstelle als Stellsignal genützt.
	<u>Differenz- Regelung:</u> Hierbei werden die vordere und hintere begrenzende Klemmstelle als Stellsignal genützt.

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Veränderungen führen zu neuen Anforderungen

- Maschinenkonzepte mit variablerem Bahntransport,
  z.B. mit rotativer, semirotativer und Start-/Stopp-Bearbeitung innerhalb einer einzigen Maschine (Bereich Schmalbahnmaschinen)

- Flexiblere modulare Maschinenkonzepte mit oftmals mehr und unterschiedlicheren Bearbeitungsstationen in einer Maschine
  z.B. Druckwerke, Stanzen, Prägen, Lackierwerke, Inkjet, Laserbearbeitung

- Neue Bearbeitungskonzepte und höhere Genauigkeitsanforderungen
  (Digitaldruck bzw. gedruckte Elektronik)

- Maschinen für variablere Substrate (Bahnmaterialien)

- Mehr Fokus auf die Produktivität der Maschinen

- Verringerte Inbetriebnahmezeit von Prototypmaschinen

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

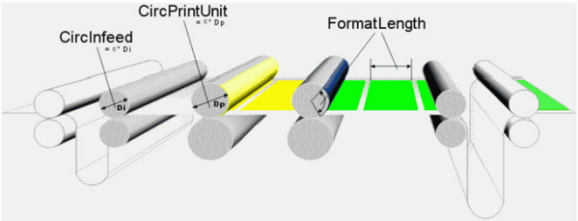
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

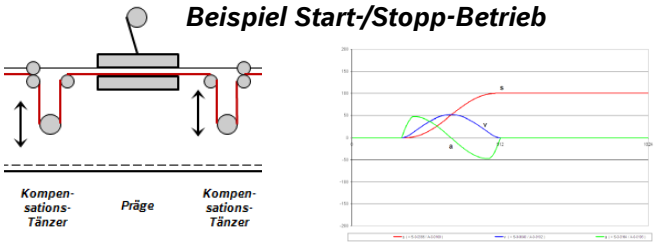
Variablerer Bahntransport

- Unterschiedlichere Bahntransportaufgaben führen z.B. dazu, dass einerseits die Bahntransportachsen nichtkonstante Bewegungsformen ausführen müssen und dass andererseits diese auch unter Berücksichtigung einer möglichst optimalen Bahnzugkraftregelung arbeiten (z.B. Pilgerschritt)
- Hinzu kommen ebenso Funktionen zu den Bearbeitungsstationen (z.B. Drucklängenkorrektur), diese tragen jedoch nicht zum Bahnlauf an sich bei

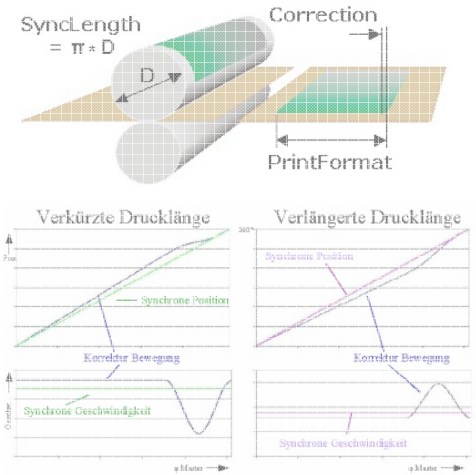
Beispiel Pilgerschritt (semirotativ)



Beispiel Start-/Stopp-Betrieb



Drucklängenkorrektur

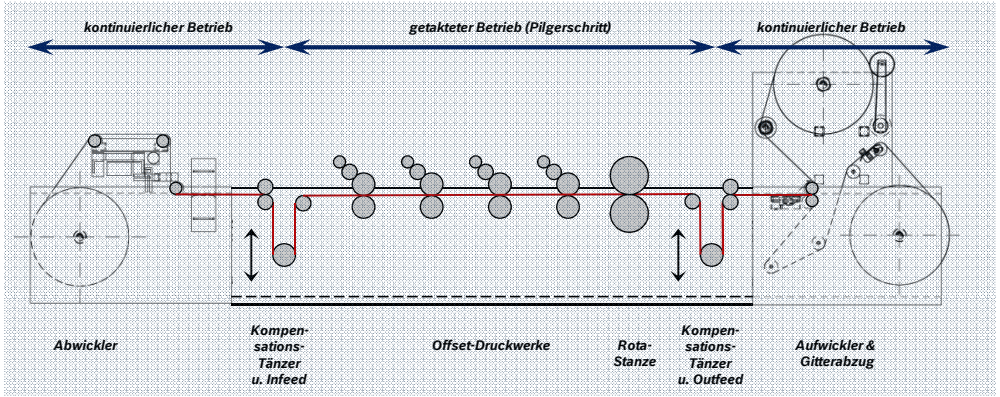


17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Flexiblere modulare Maschinenkonzepte

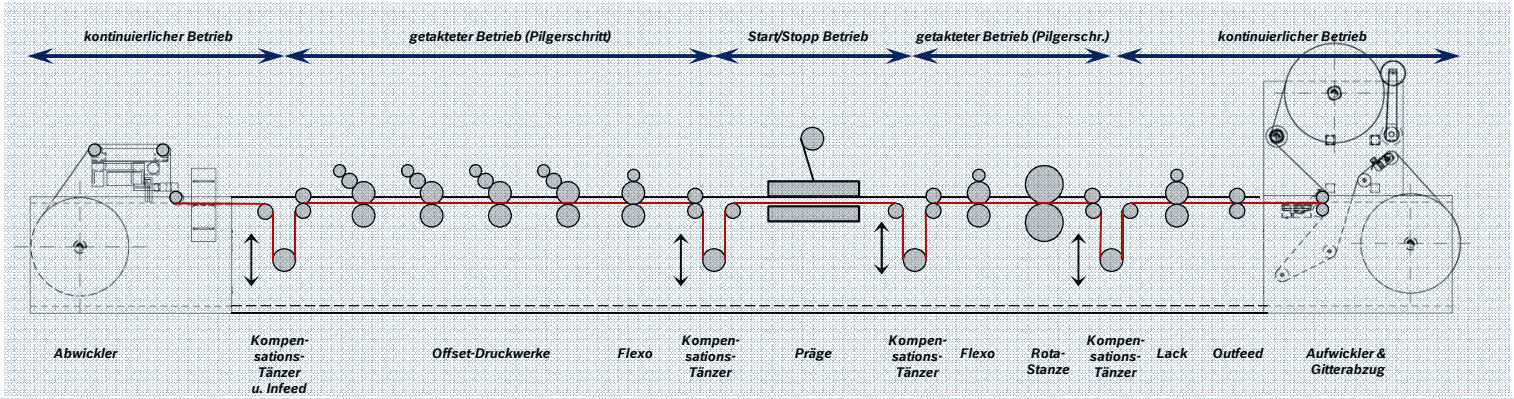
- Steigende Anzahl an unterschiedlichen und flexibel kombinierbaren Bearbeitungsstationen führt zu komplexerem Bahnlauf



bisher: Relativ starre Maschinenkonzepte

Anmerkung: Trockner und Zugkraftmessung wurden weggelassen

zukünftig: Flexiblere modularere Konzepte



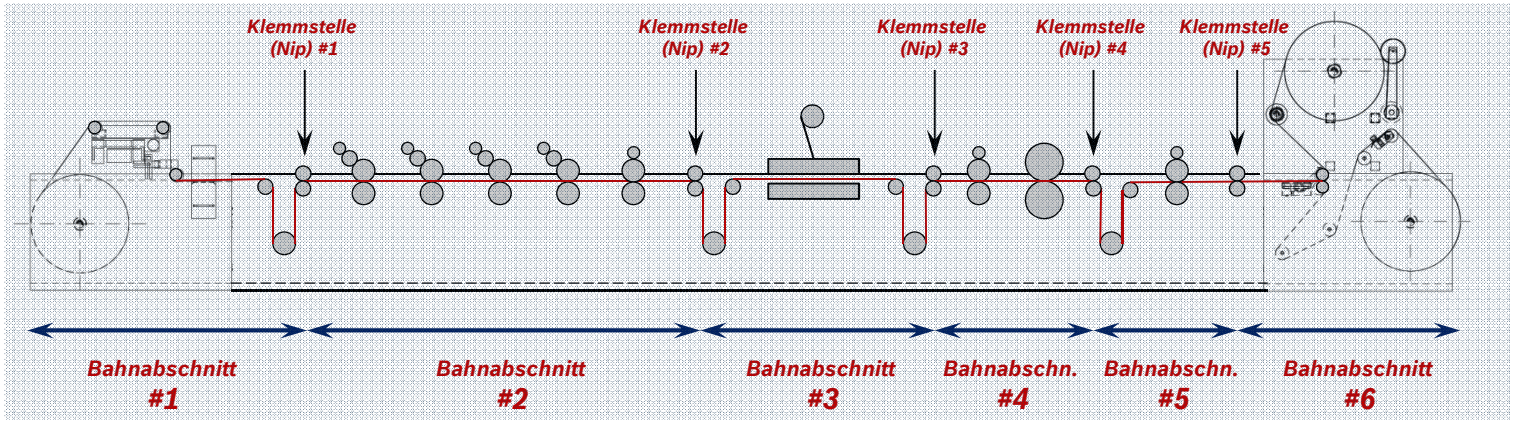
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Flexiblere modulare Maschinenkonzepte

- Längere Bahnwege und mehrere durch Zugwalzen getrennte Bahnabschnitte
  - Im Beispiel 2->5 Klemmstellen, d.h. 3->6 Bahnabschnitte

- Komplexere Regelstrukturen bzgl. Bahntransport/Bahnzugkraftregelung
  - getaktete Zugwalzen (-> Rückwärtsbewegung)
  - kaskadierte Bahnabschnitte (-> Verkopplung in Bahnlaufrichtung)
  - viele Regler im System (-> Parametrierung, Stabilität)



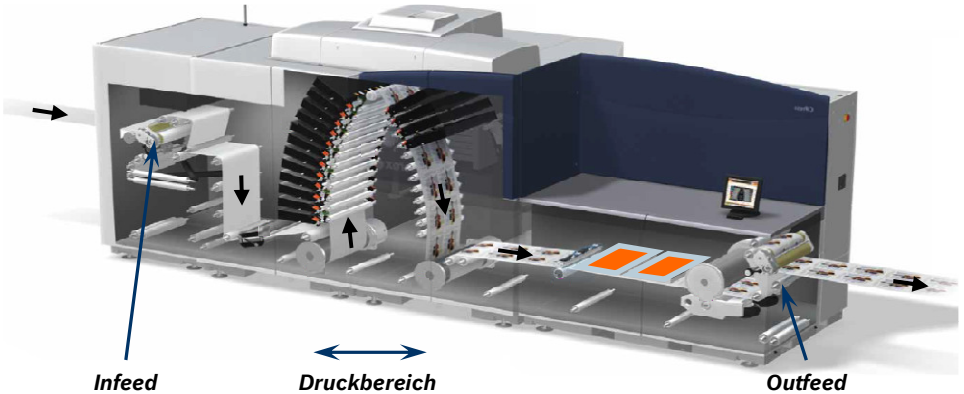
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Neue Bearbeitungskonzepte

- Seit einigen Jahren haben sich berührungslose Bearbeitungsstationen etabliert (NIP: Non Impact Printing)
  - Beispiele: Inkjet-Druckwerke (Digitaldruck bzw. gedruckte Elektronik) und Laserbearbeitungsstationen (gedruckte Elektronik)
  - Keine Bedämpfung von Störungen im Bahntransport durch Bearbeitungs-achsen, Bahnzugkraftänderungen wirken direkt auf das Register

- Besonderheit: Der Bereich der Bearbeitung ist typischerweise relativ klein gegenüber der geklemmten Bahnlänge zwischen Infeed und Outfeed



Quelle: http://www.mattitech.ch

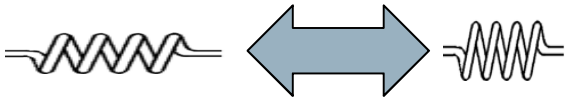
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

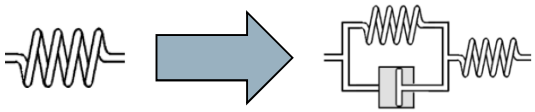
Substratvariabilität

- Der Trend zu Maschinen, die variablere Substrate verarbeiten können, hat zugenommen (Papier gestrichen/ungestrichen, Kunststoff-Folien PET, PVC, PP, BOPP, Alufolie, Verbund-Bedruckstoffe für Label, etc.)

- Bezüglich der Bahnzugkraftregelung müssen stark variierende E-Module und Bahnbreiten der Warenbahn berücksichtigt werden
- Bei Maschinen mit größeren Bahngeschwindigkeitsbereichen muss auch das dynamische Dehnungsverhalten der Warenbahn berücksichtigt werden
  - "gedämpfte Hook'sche Feder" als Bahnverhalten anstatt ungedämpfter Hook'scher Feder
  - Durch Relaxationseffekte in der Maschine wird das E-Modul „virtuell steifer" bei höheren Bahngeschwindigkeiten



niedrige Geschwindigkeit ***hohe Geschwindigkeit***



17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Höhere Produktivität

- Die Forderung nach höherer Produktivität geht in zwei Richtungen:
  - Verringerung der Makulatur (Kosten)
  - Verkürzung der Einrichtezeit (Zeitdauer)

- Dies spielt eine immer bedeutendere Rolle aufgrund der Tendenz zu kleineren Losgrößen der Druckprodukte:
  - Je mehr Produktwechsel und Maschinenanläufe pro Tag gefahren werden, umso mehr wirken sich Einrichtezeit und und Anlaufmakulatur auf die Produktivität bzw. den Ertrag aus

- Ursache Makulaturkosten: Kosten für Material, Farbe und Makulaturentsorgung beim Maschinenanlauf
- Ursache Einrichtezeit: Begrenzung der Geschwindigkeit der möglichen Bedienhandlungen durch den Maschinenbediener

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Geringere Inbetriebnahmezeit

- Bei der Entwicklung einer neuen Prototypmaschine wird eine immer effizientere Produktentwicklung mit kurzer Inbetriebnahme- und Testzeit benötigt

- Insbesondere das Abdrucken und Testen der o.a. Variabilitäten (Bearbeitungsstationen, Bahntransportaufgaben, Substrate,...) potenziert sich

- Vorteilhaft werden „gleich richtig“ gewählte gute Mechatronik-konzepte, optimale Bahnlauffunktionen mit minimalen Optimierungsaufwänden und ggfs. Vorab-Simulationen des Maschinenverhaltens sein

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

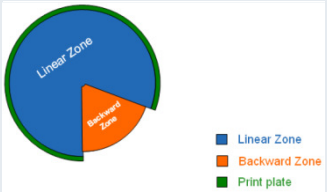
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

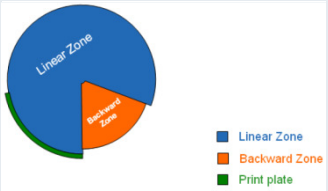
Rexroth
Bosch Group

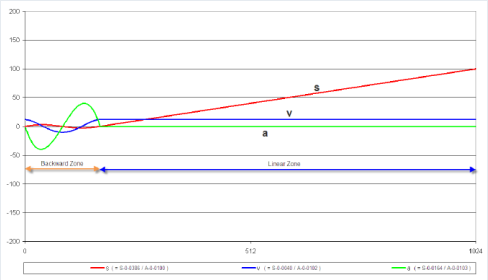
Kurvenscheibenfunktion beim Bahntransport

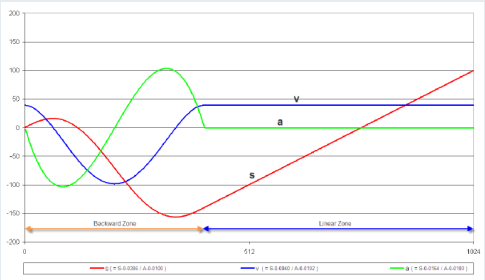
- Pilgerschrittfunktion für semirotative Arbeitsbereiche
  - Berechnungsfunktion anhand jeweiliger Formatgrößen
  - Bahnspannung bleibt auch in der Rückwärtsbewegung erhalten durch unterschiedliche Getriebefaktoren vorwärts/rückwärts
- Start-/Stopp-Betrieb (z.B. Präge, Qualitätskontrolle via Kamera,...)

Beispiel Pilgerschritt (semirotativ)







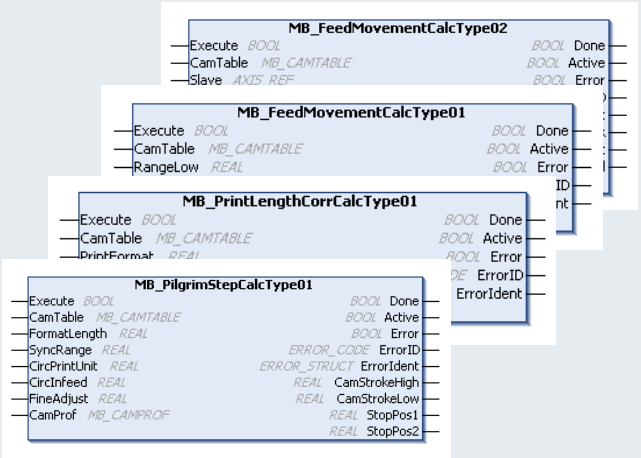


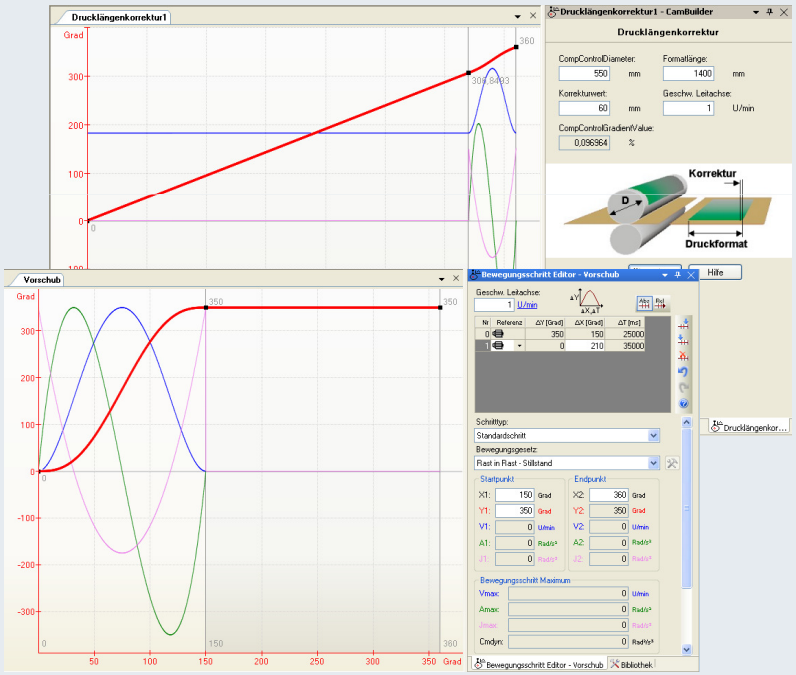
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Kurvenscheibenfunktion beim Bahntransport

- Berechnung der Kurvenscheibenfunktionen
  - SPS-Funktion (FB) zur Online-Berechnung der Kurvenscheiben
  - CamBuilder in der Engineeringumgebung zur Vorab-Berechnung der Kurvenscheiben





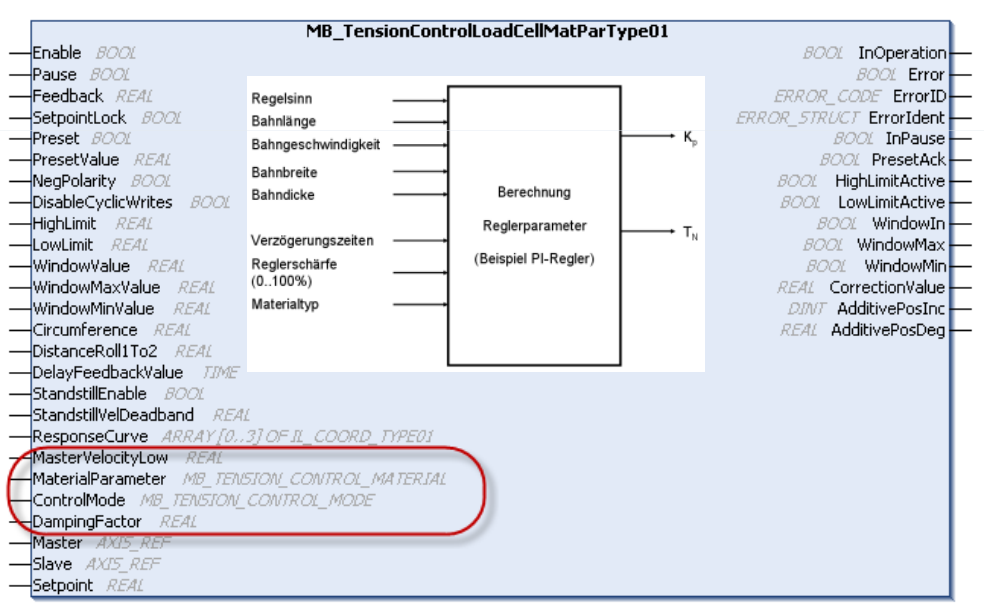
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Adaptive Bahnzugkraftregler

- Stand der Technik
  - Kp, Tn, Adaption an Maschinengeschwindigkeit

- Verbesserung: Adaption an
  - Maschinengeschwindigkeit
  - Bahnbreite
  - Substrattyp
    - Papier
      - Papiertyp
      - Grammatur
    - Folie
      - Folientyp
      - Dicke



17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

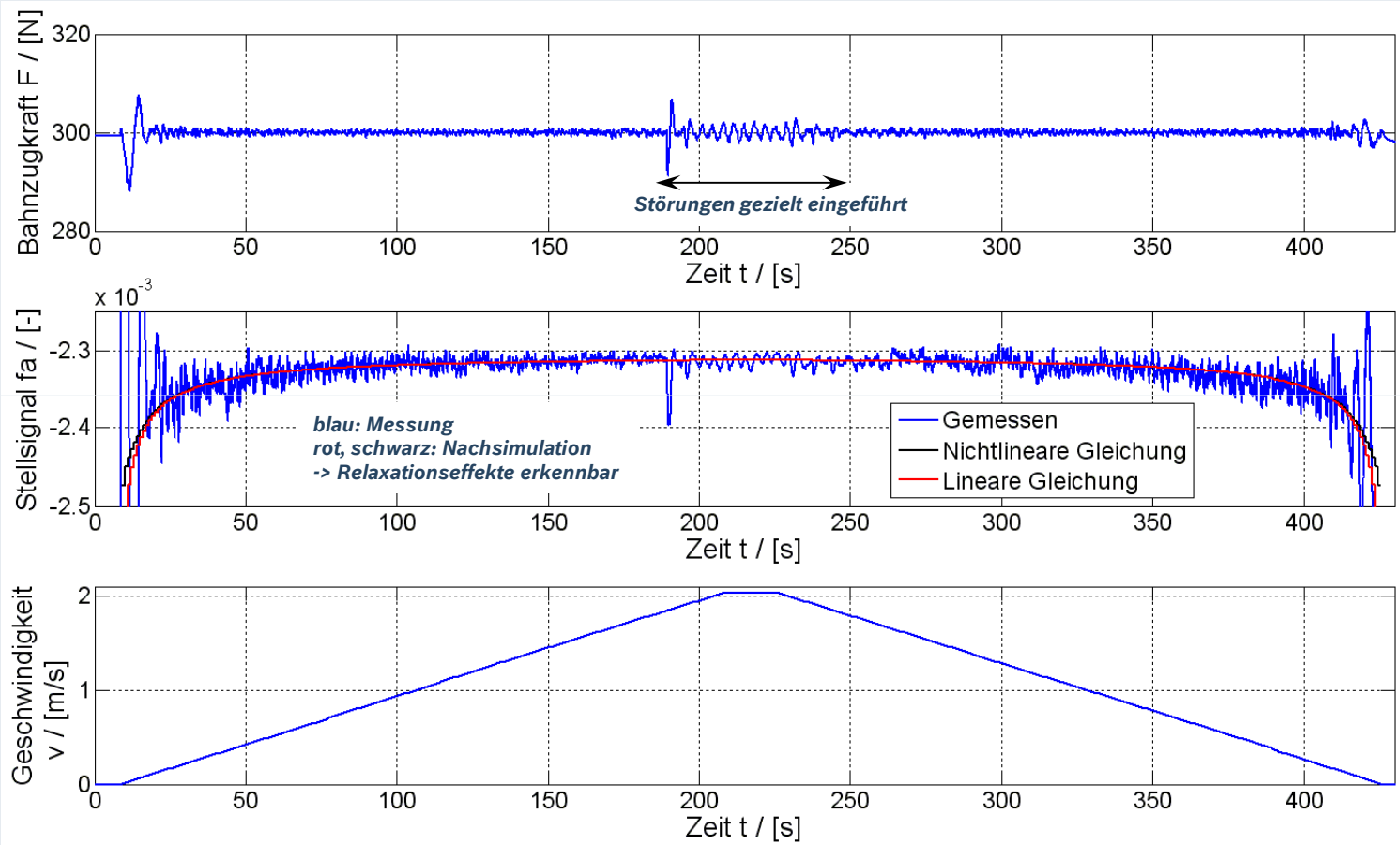
Adaptive Bahnzugkraftregler: Vorteile

- Entfall von Messfahrten zur Regleroptimierung je Material
  - Hier ergibt sich eine merkliche Material- und Zeitersparnis
- Eingabe physikalischer Kenngrößen des Bahnmaterials
  - Neue Materialien können vom Drucker sehr einfach integriert werden
  - Papier: Papiertyp, Grammatur, Breite. Folie: Folientyp, Dicke, Breite
- Optimale Reglerparameter
  - Der Regler besitzt intern eine Materialdatenbank und verwendet automatisch die optimalen Reglerparameter. Hierdurch besitzt man immer ein sehr gutes Regelverhalten der Bahnspannungsregelung
- Nur noch 1-Knopf-Bedienung zur Anpassung, falls überhaupt notwendig

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

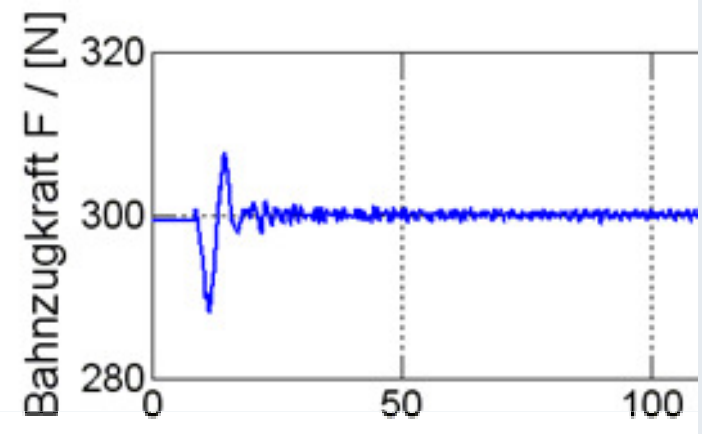
Messung

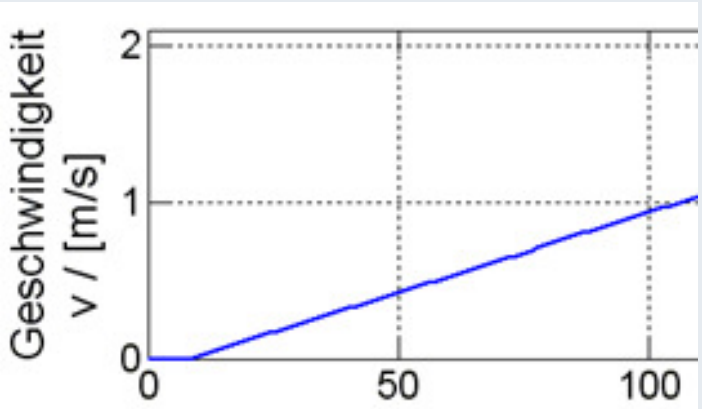


17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Messung (Ausschnitt)





Bahnspannungsgenauigkeit
- Fast nicht messbar
- Geschätzt : ± 1 N (± 0,35%)

- Messrauschen der Kraftmessung unbekannt

- Auch während des Beschleunigungsvorgangs der Maschine

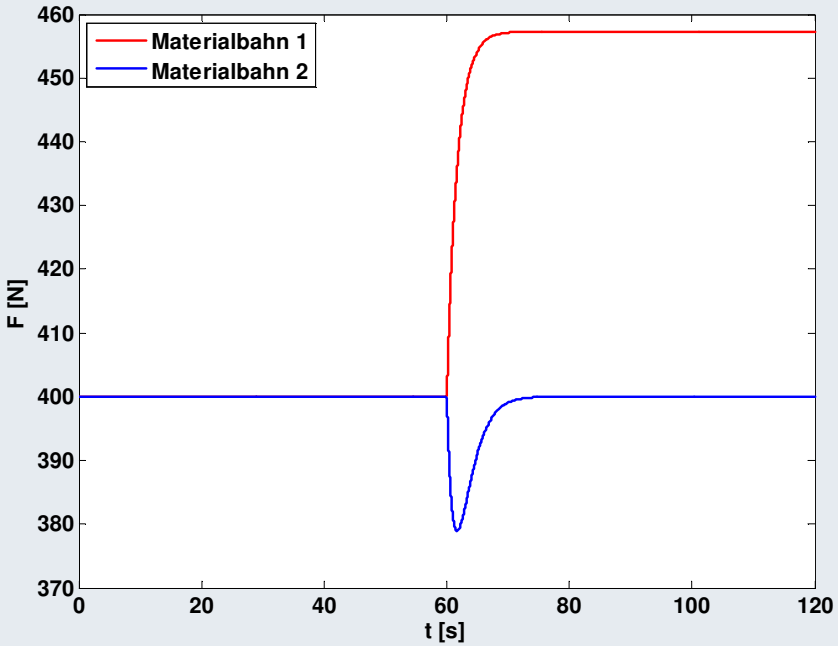
Anm.: Mit kleiner Ruckbegrenzung wird das Zugkraftverhalten im Startzeitpunkt noch besser

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

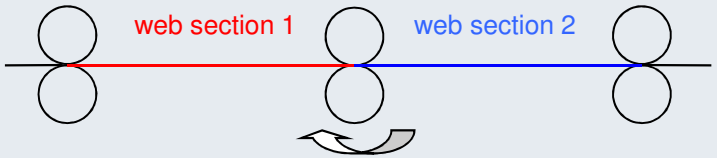
Verkopplung der Bahnabschnitte

- Simulation eines Geschwindigkeitssprungs der mittleren Achse



T_{input} = 400 N

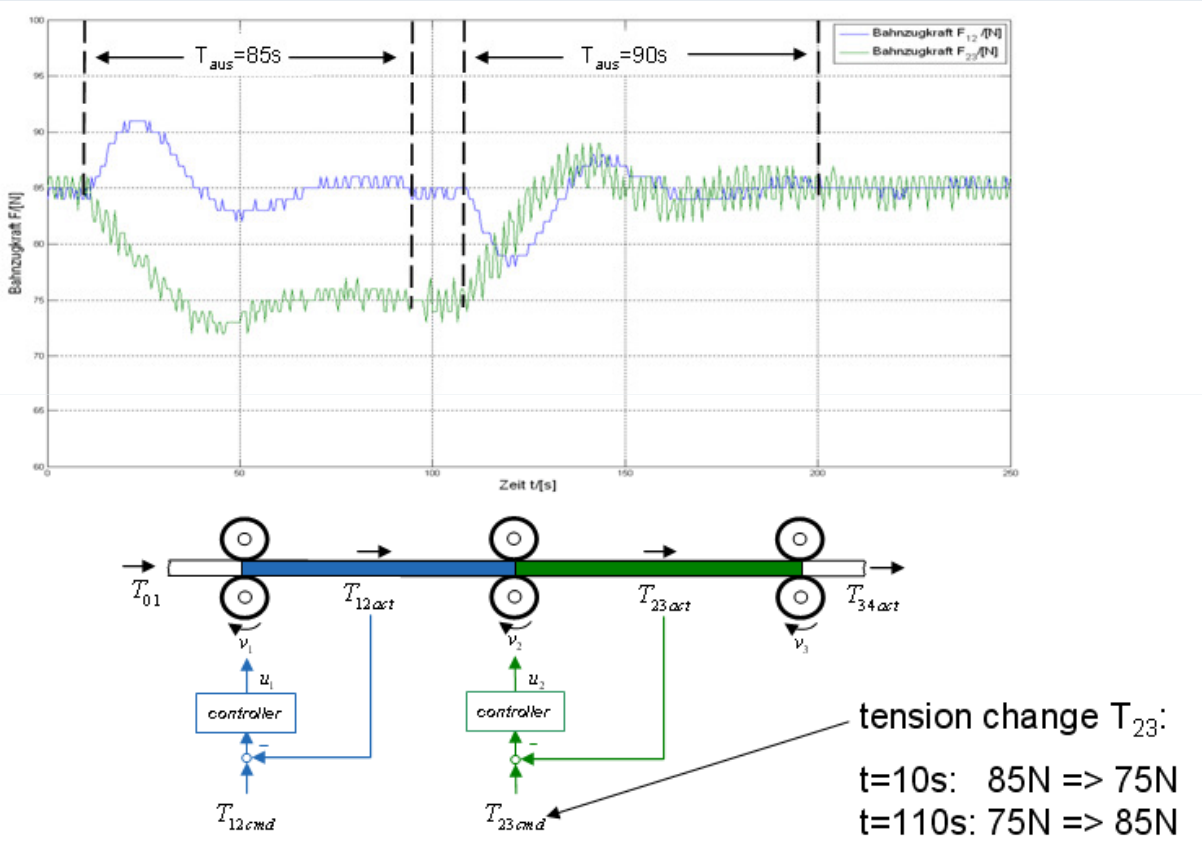
e_{input} = 20e-4



17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Reales Ergebnis ohne Entkopplung

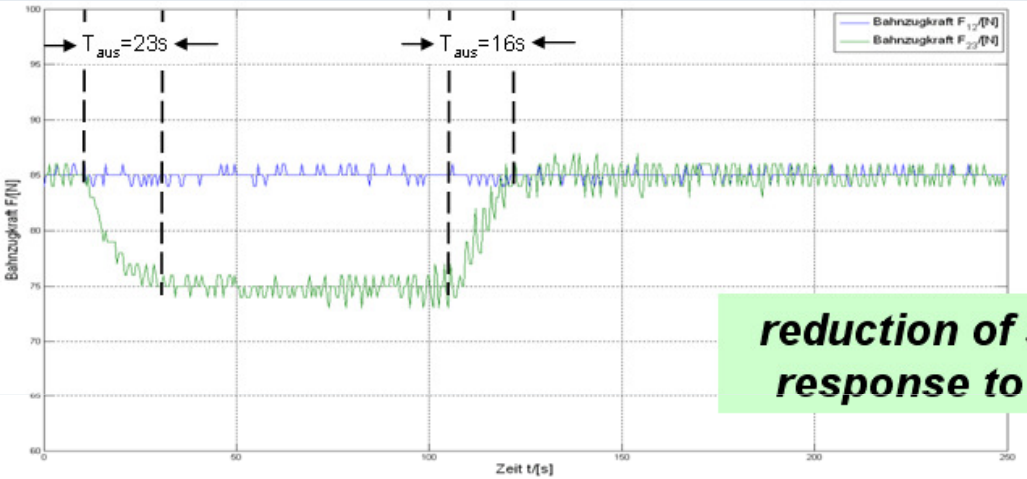


- Sollwert in ***grüner*** section beeinflusst Upstream section (***blau***)
- Regler der Upstream section (***blau***) kompensiert die Einflüsse der ***grünen*** section

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

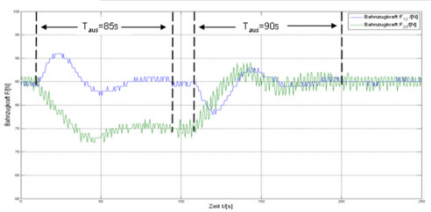
Rexroth
Bosch Group

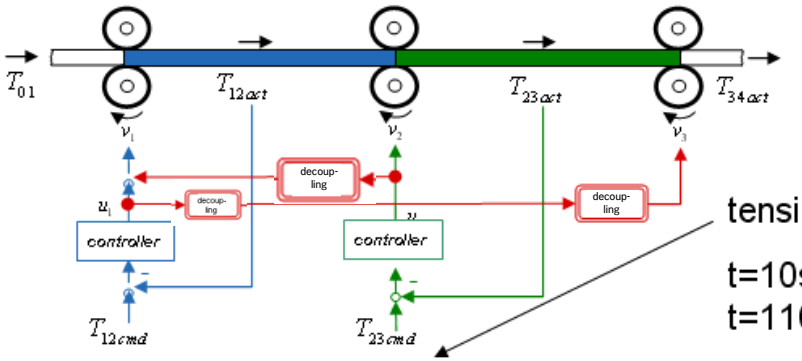
Reales Ergebnis mit Entkopplung



reduction of step response to 1/4 !

- Parameter wurden „mild“ gewählt
- 5 sec. wären möglich (1/18)!





tension change T_{23}:

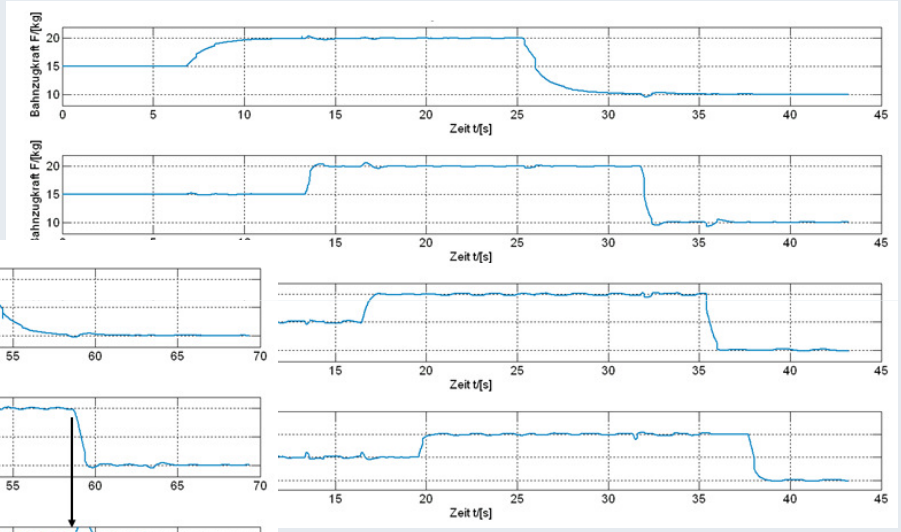
t=10s: 85N => 75N
t=110s: 75N => 85N

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

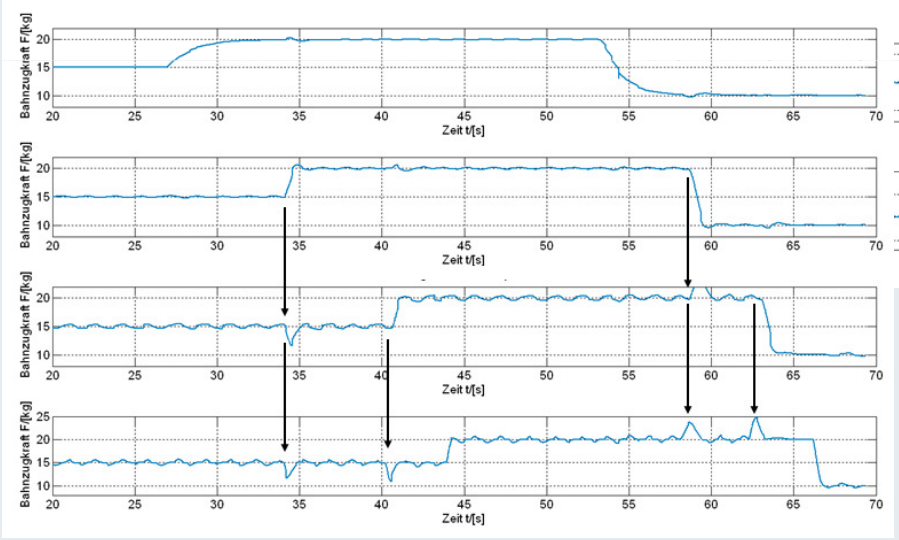
Rexroth
Bosch Group

Entkopplung im Stillstand

- Messung mit 4 Bahnabschnitten



Ohne Entkopplung:
- ***Vorwärtsstörungen***
- ***geringere Konstanz der Bahnzugkraft***

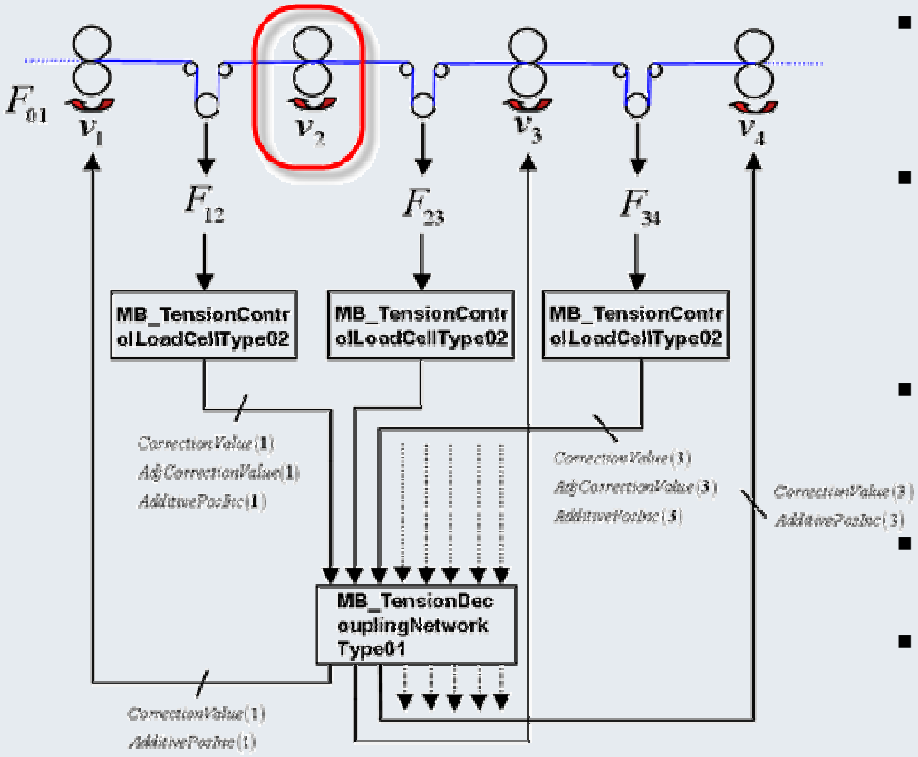


Mit Entkopplung:
- ***Besseres Verhalten (Faktor 2-5 besser)***

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Einfache Entkopplungsmöglichkeiten

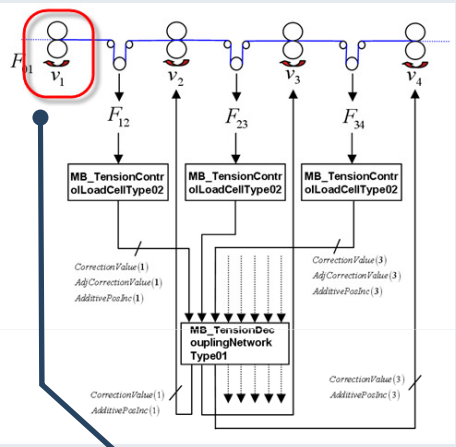


- Zugspannungsregler für bis zu acht Achsen
- Eine (beliebige) Zugwalze als nicht verstellte Achse vorgebbar.
- An dieser Achse bleibt die Bahngeschwindigkeit konstant
- Entkopplungsnetzwerk
- Spannen im Stillstand

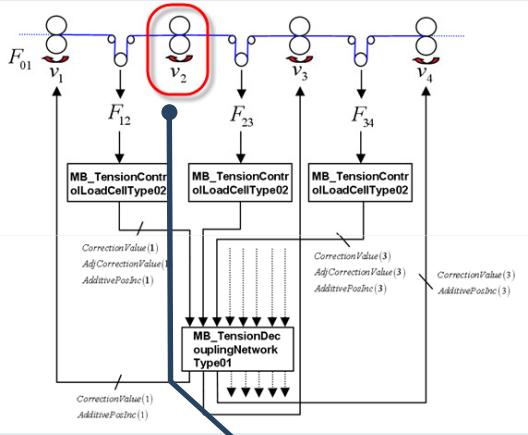
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Wahl der ungeregelten Achse

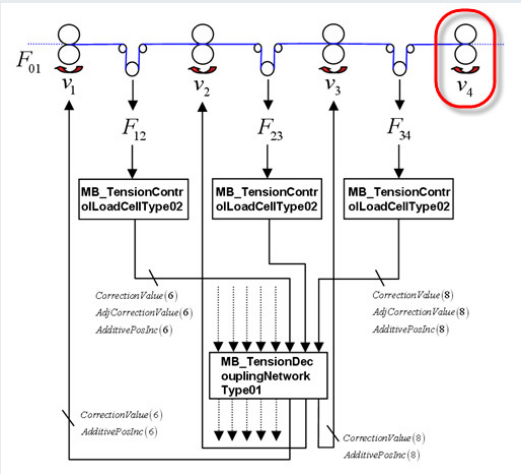


vordere Achse



mittlere Achse

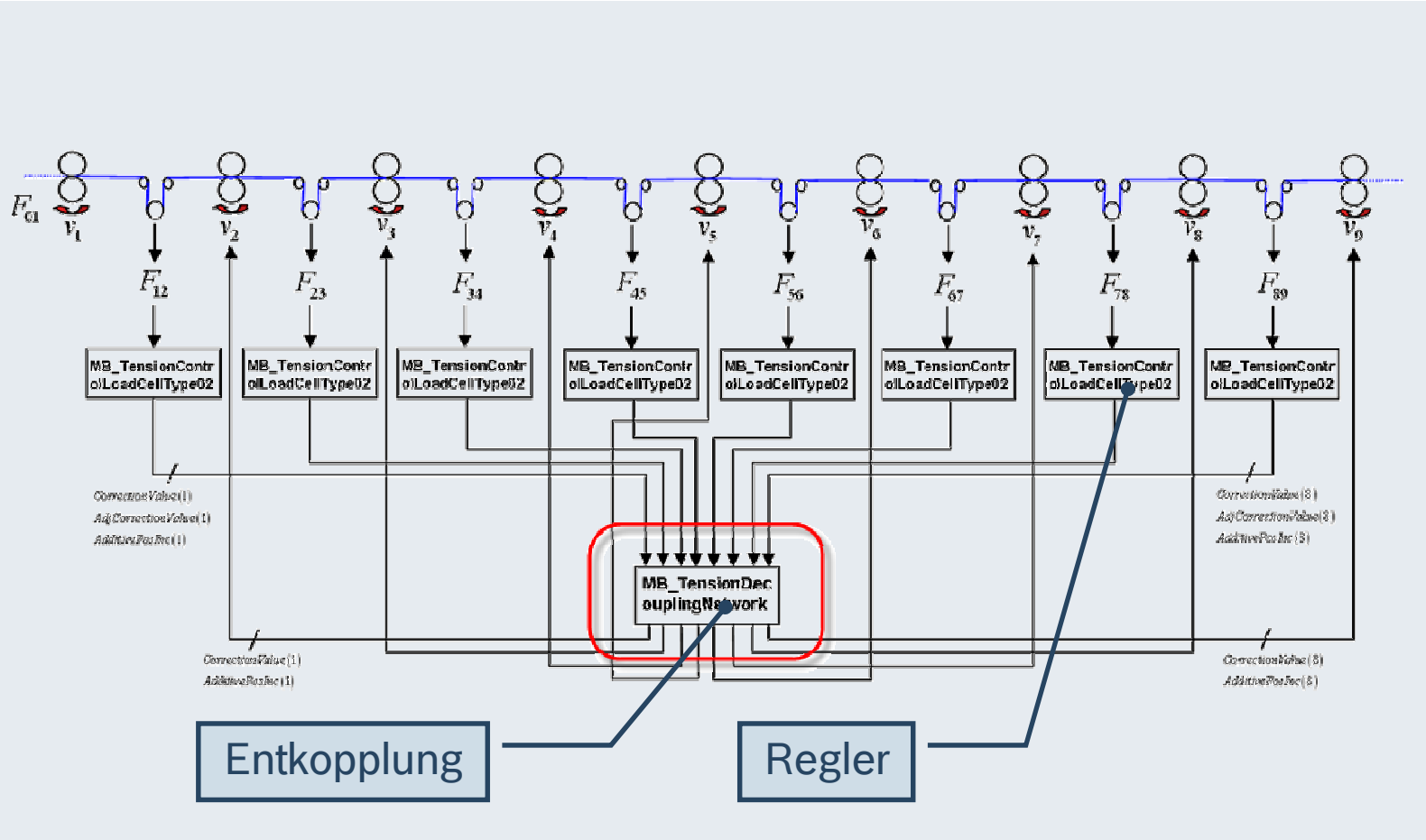
hintere Achse



17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Komplexere Entkopplungsmöglichkeiten

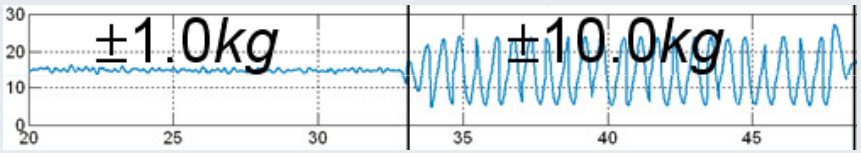


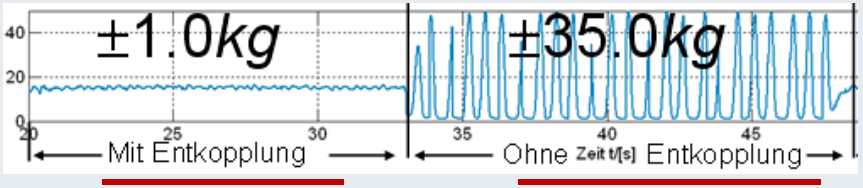
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

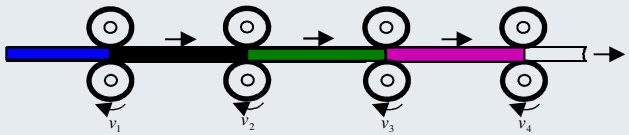
Rexroth
Bosch Group

Entkopplung 3 Bahnabschnitte: Messung

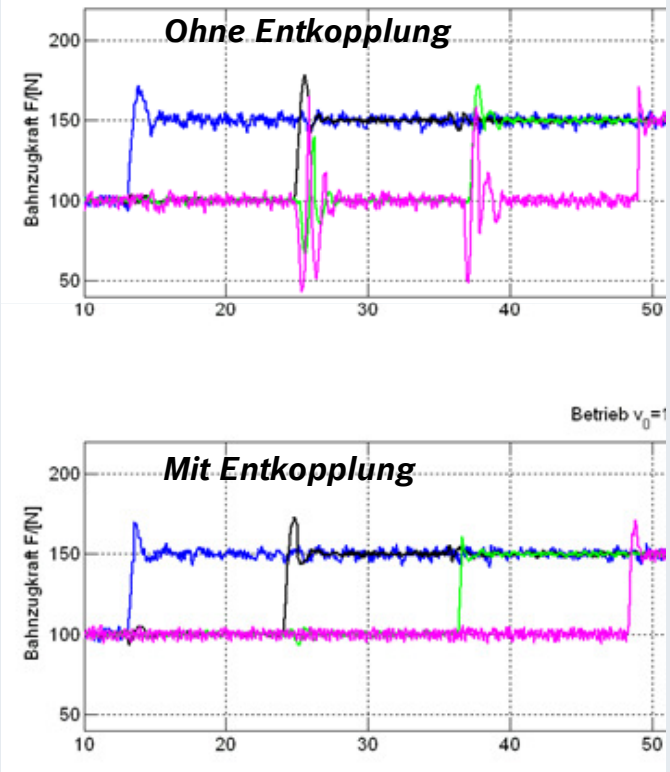
Bahnspannung im Lauf:
Höhere Reglerverstärkungen möglich
(->„Steifheit“ des Regelkreises)







Entkopplung: Sprungantworten ohne Regler mit 4 Bahnabschnitten

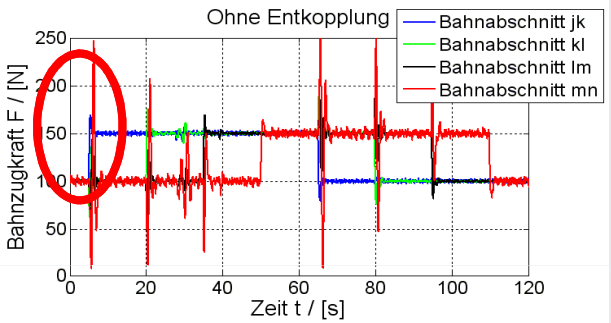


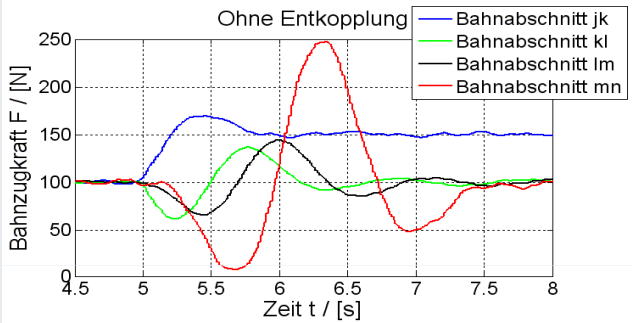
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

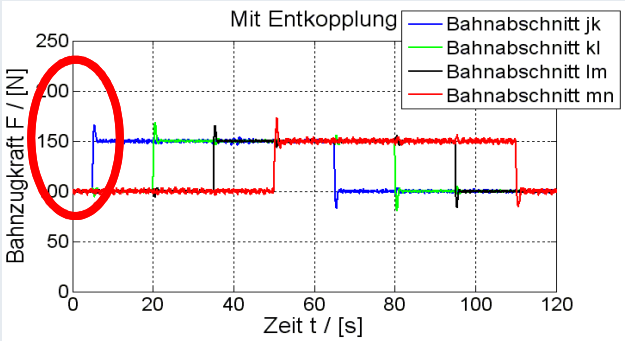
Rexroth
Bosch Group

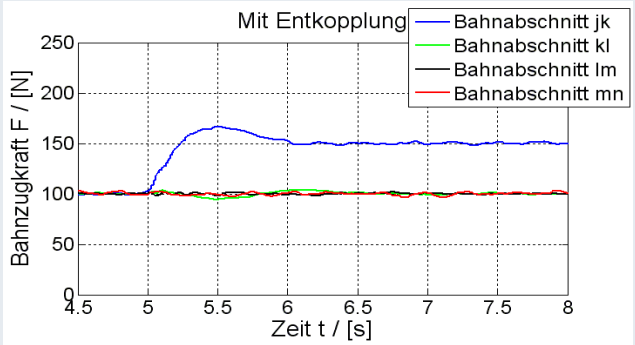
Entkopplung 3 Bahnabschnitte: Messung-Zoom

Entkopplung: Sprungantworten ohne Regler mit 4 Bahnabschnitten









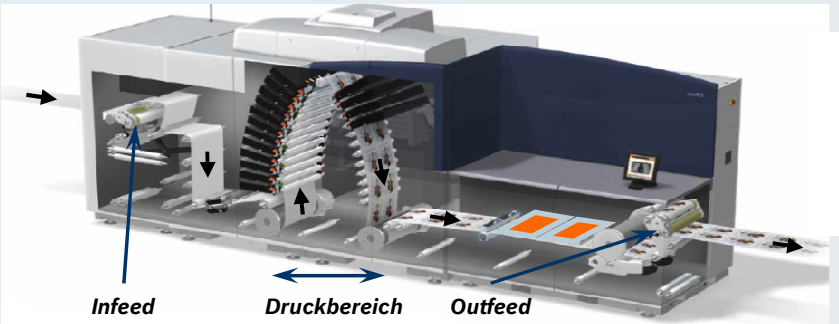
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

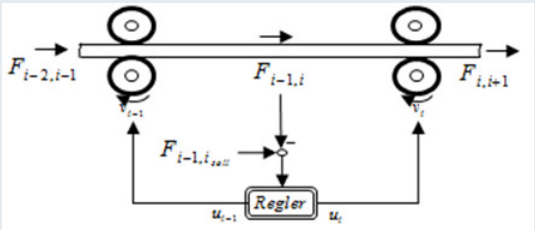
Rexroth
Bosch Group

Entkopplung des Bearbeitungspunktes bei NIP

- Bei NIP-Bearbeitung ist der Bearbeitungsbereich meist nur in einem kleinen Bereich der freien Warenbahn
- Ziel ist es hierbei, das Registerverhalten, was sich aufgrund der Bahnzugkraftregelung ergibt, im Bereich des Bearbeitungsbereichs zu optimieren

- Basis hierfür ist die Bahnzugkraftregelung, ausgeführt als Differenzregelung



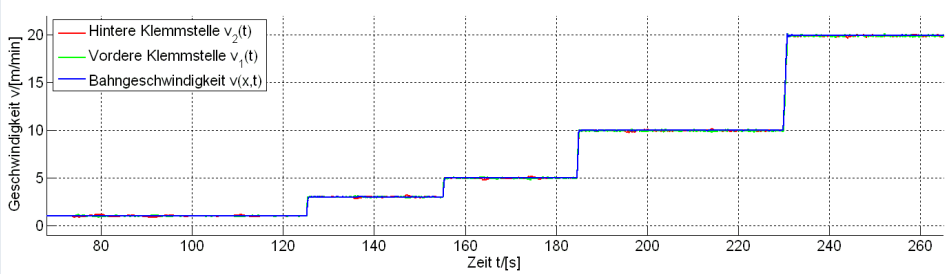


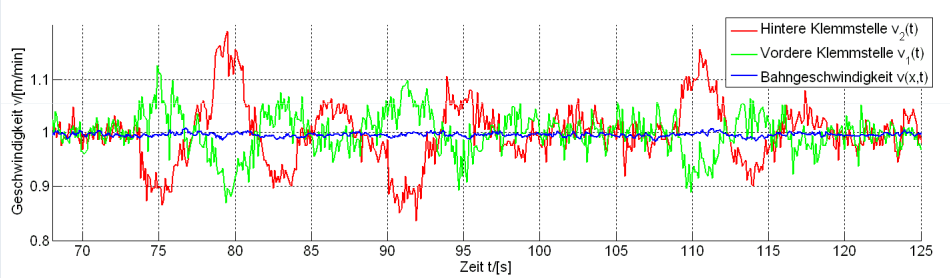
Quelle: http://www.mattitech.ch

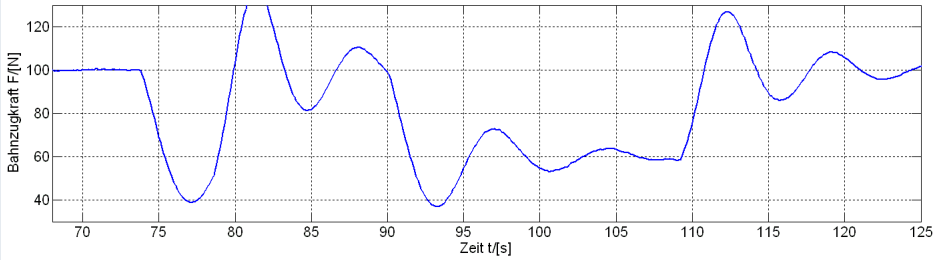
17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Entkopplung des Bearbeitungspunktes bei NIP







Vergleich: Bahngeschwindigkeit ohne Differenzregelung (reine Upstream-Regelung)

Bahnabschnittslänge=8m
Position der Messung=36%

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Optimal auf Störverhalten eingestellte Regler

- Bisheriges Vorgehen
  - Normalerweise werden Reglerparameter „per Hand“ über Sollwertsprünge im geschlossenen Regelkreis ermittelt (Auswertung der Sprungantworten)
  - Hierdurch wird auf Sollwertänderung optimiert, diese Sollwertänderungen finden in Realität fast nie statt

- Besseres Vorgehen
  - Reglerparameter auf Störverhalten auslegen
  - Bahnzugkraftregler können hierdurch dynamischer ausgelegt werden und können Störungen merklich schneller ausregeln
  - Hierdurch ergibt sich eine steifere und genauere Regelung, die Störungen (z.B. Rollenwechsel, Druckparameteränderungen,...) schneller korrigiert

- Unsere Bahnzugkraftregler berücksichtigen dies und können ebenso zwischen Führungs- und Störverhalten umgeschaltet werden

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Minimierung Inbetriebnahmezeit (optimierte Regler)

- Während der Inbetriebnahmephase von Prototypmaschinen werden viele Substrate gefahren, um Bahnzugkraftreglereinstellungen zu optimieren

- Annahme
  - Maschine mit 2 kaskadierten Bahnzugkraftreglern und v = 5 m/s
  - 8 Substrate
  - Je Substrat sind bisher ca. 8 Reglerparameter zu optimieren (P, I, Adaption)
  - Jeder Lauf dauert mit Substratwechsel und Optimierung ca. 1 Stunde, davon ¼ Stunde mit voller Geschwindigkeit

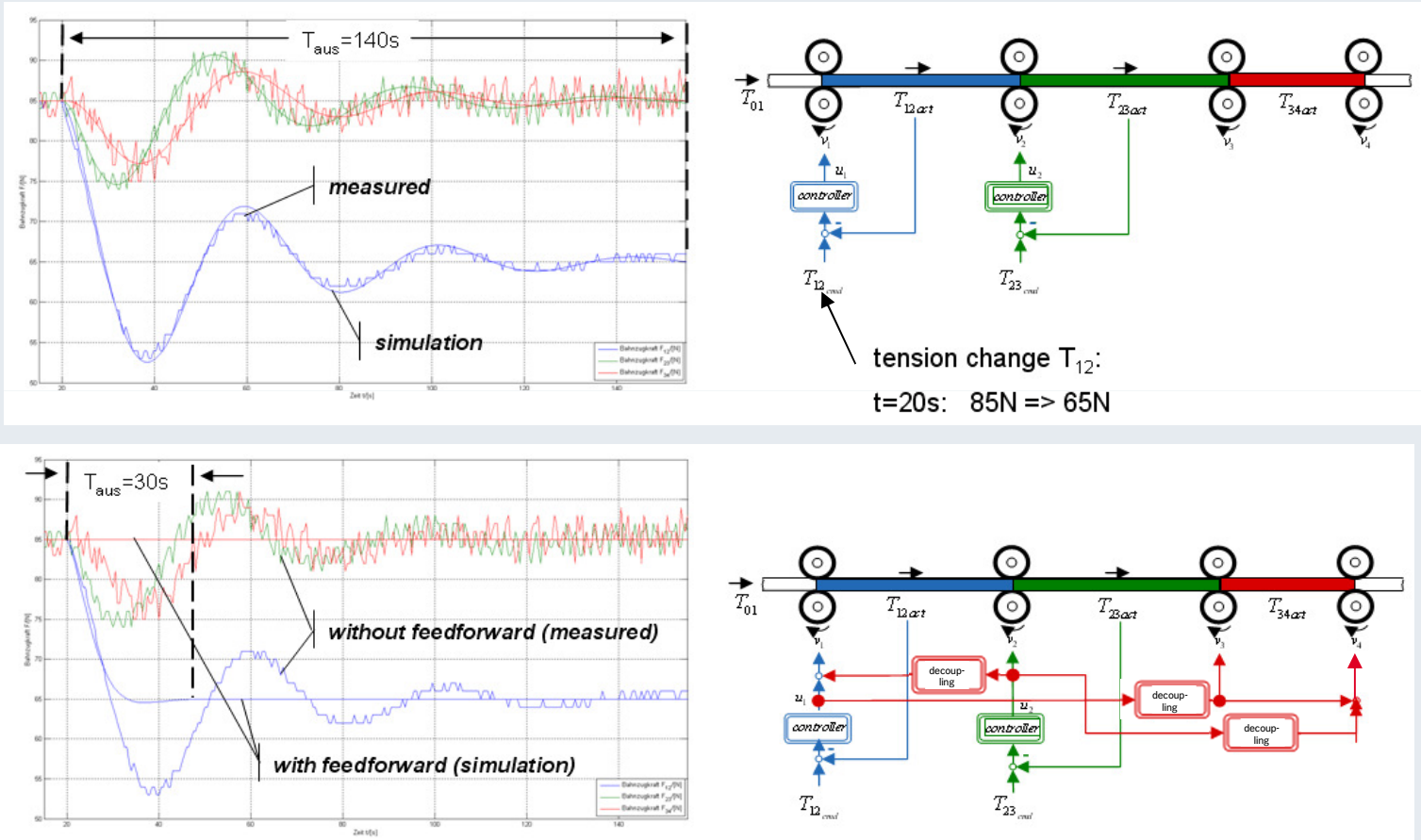
- Aufwand
  - Zeitaufwand: 1 Arbeitstag (wertvolle Testzeit direkt vor Auslieferung)
  - Materialaufwand: 36 km Warenbahn (Kostenschätzung: 2000€ bei „preiswertem“ Papier)

- Dieser Aufwand fällt nahezu weg, wenn der adaptive Regler verwendet wird!

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Minimierung Inbetriebnahmezeit (Simu Reglerparameter)



17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Beispiel für Makulaturreduktion

- Um die Wirtschaftlichkeit des Mehrachsreglers darzustellen, sind folgende Szenarien durchgerechnet:
  1. Papierverarbeitung (z.B. Papierverarbeitung mit 2 Druckwerken, wie z.B. mit CI und Flexo-Druckwerk)
  2. Digitaldruck (mit Messergebnissen)
- In der Zeitschrift Druckspiegel werden die Kosten von Papier (Rollenware) monatlich dargestellt, hier hat man nahezu unabhängig vom Papiertyp Kosten von ca. 1€ pro kg Papier
- Nicht betrachtet sind Verpackungstiefdruck, CI-Flexo, Zeitungsdruck, da hier noch keine belastbaren Informationen vorliegen

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Makulaturreduktion: Beispiel Papierverarbeitung

- Datenbasis sind Messungen einer realen Maschine

- Geschätzte Anlaufmakulaturverbesserung von 30 sec. (konservativ!) bei
  - Bahngeschwindigkeit 5 m/s
  - Bahnbreite 0,3 m
  - Grammatur 100 g/qm
  - 2 Maschinenanläufe pro Tag, 200 Produktionen pro Jahr

- Damit ergibt sich eine Makulatur von
  - pro Maschinenanlauf 150 m (entspr. 50 m² oder 5 kg oder 5 €)
  - pro Jahr 60 km (entspr. 2 ha oder 2 t)

- Papiereinsparung pro Jahr: 2.000 €

- Nicht eingerechnet sind die Zeitverluste, die zusätzlichen Kosten für Farbe und die Entsorgung der Makulatur.

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Makulaturreduktion: Beispiel Digitaldruck

- Datenbasis sind Messungen einer realen Digitaldruckmaschine

- Geschätzte Anlaufmakulaturverbesserung von 5 sec. bei
  - Bahngeschwindigkeit 2 m/s
  - Bahnbreite 0,5 m
  - Grammatur 100 g/qm
  - 5 Maschinenanläufe pro Tag, 200 Produktionen pro Jahr

- Damit ergibt sich eine Makulatur von
  - pro Maschinenanlauf 10 m (entspr. 5 m² oder 0,5 kg oder 0,5 €)
  - pro Jahr 10 km (entspr. 0,5 ha oder 0,5 t)

- Papiereinsparung pro Jahr: 500 €

- Bei zukünftigen höheren Bahngeschwindigkeiten, Bahnbreiten, teureren Substraten und mehr Maschinenanläufen pro Tag ist das leicht extrapolierbar.

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Überblick Lösungsansätze

Anforderung vs. Maßnahmen	Kurvenscheibenfunktion	Adaptive Bahnzugkraftregler	Entkopplung der Bahnzugkraftregler	Entkopplung des Bearbeitungspunktes	Optimierung auf Störverhalten	Simulationstechniken
Variablerer Bahntransport	x					
Flexiblere modulare Konzepte	x		x			
Neue Bearbeitungskonzepte		x		x		
Höhere Genauigkeit		x	x	x	x	
Substratvariabilität		x				
Höhere Produktivität		x	x		x	
Geringere Inbetriebnahmezeit		x	x			x

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Gliederung

- Vorstellung Bosch Rexroth
- Ausgangslage / Betrachtungsumfang
- Besondere Maschinenanforderungen der letzten Jahre
- Resultierende Herausforderungen an den Bahnlauf
- Lösungsansätze
- Ausblick/Zusammenfassung

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Zusammenfassung

- Mittels moderner Regelkonzepte können die heutigen Anforderungen an komplexe Bahnläufe beherrscht werden bzw. werden erst hierdurch ermöglicht
  - Optimierte Bahnzugkraftregler (Adaption, Störverhalten, Materialdaten,...)
  - Entkopplungsvarianten
  - Bewegungsformen (Pilgerschritt, Start/Stopp)

- Besonderheiten der NIP-Bearbeitung können berücksichtigt werden
  - Entkopplung des Bearbeitungsbereichs

- Mittels intelligenter Regler werden
  - Inbetriebnahmezeit
  - Robustheit/Stabilität
  - Dynamik/Qualität
  - Substratvariabilität

  der Bahnzugkraftregelung und dadurch die Produktivität optimiert

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Ausblick der Entwicklungstätigkeiten

- Hardware-in-the-loop Simulation mit SPS-Programm
  - Matlab auf PC ist Simulationsmodell der Realität, Regler laufen in Echtzeit auf der Steuerung
  - Alternativ wird das Simulationsmodell der Realität auf der Steuerung „mitgerechnet“ (Matlab-Export läuft auf Steuerung)

- Regler, die auch Dämpfungsverhalten berücksichtigen können
- Regler, die auch Totzeiten von CIs berücksichtigen können

- Effizientes Autotuning von Bahnzugkraftreglern
  - Sofort nach Einschalten ist der Regelkreis geschlossen, d.h. auch schon während des Autotuning-Laufs

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

17.02.2013 | DC-IA/EAM4; Göb, Schnabel, Schultze | © Bosch Rexroth AG 2013. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.

Rexroth
Bosch Group