

Ein Trockenmodell für die Optimierung des Feuchtigkeitsprofils

Franky De Bruyne

Franky.De-Bruyne@Siemens.be

Advanced Process Control group

Siemens Brüssel, EIT ES

23/05/01

Gesamtdarstellung

- ✓ Motivation
- ✓ Trockenmodell (Annahmen, Variablen und Parameter)
- ✓ Modellierung
 - Feuchtigkeitsprofil
 - Temperaturprofil
 - Dampfverbrauch
- ✓ Betriebsarten des Trockenmodells (Kalibration, Simulation, Iteration & Soft-Sensor)
- ✓ Potenziale des Modells
- ✓ Schlussfolgerung

✓ **Hauptmotivation für unser Projekt:**

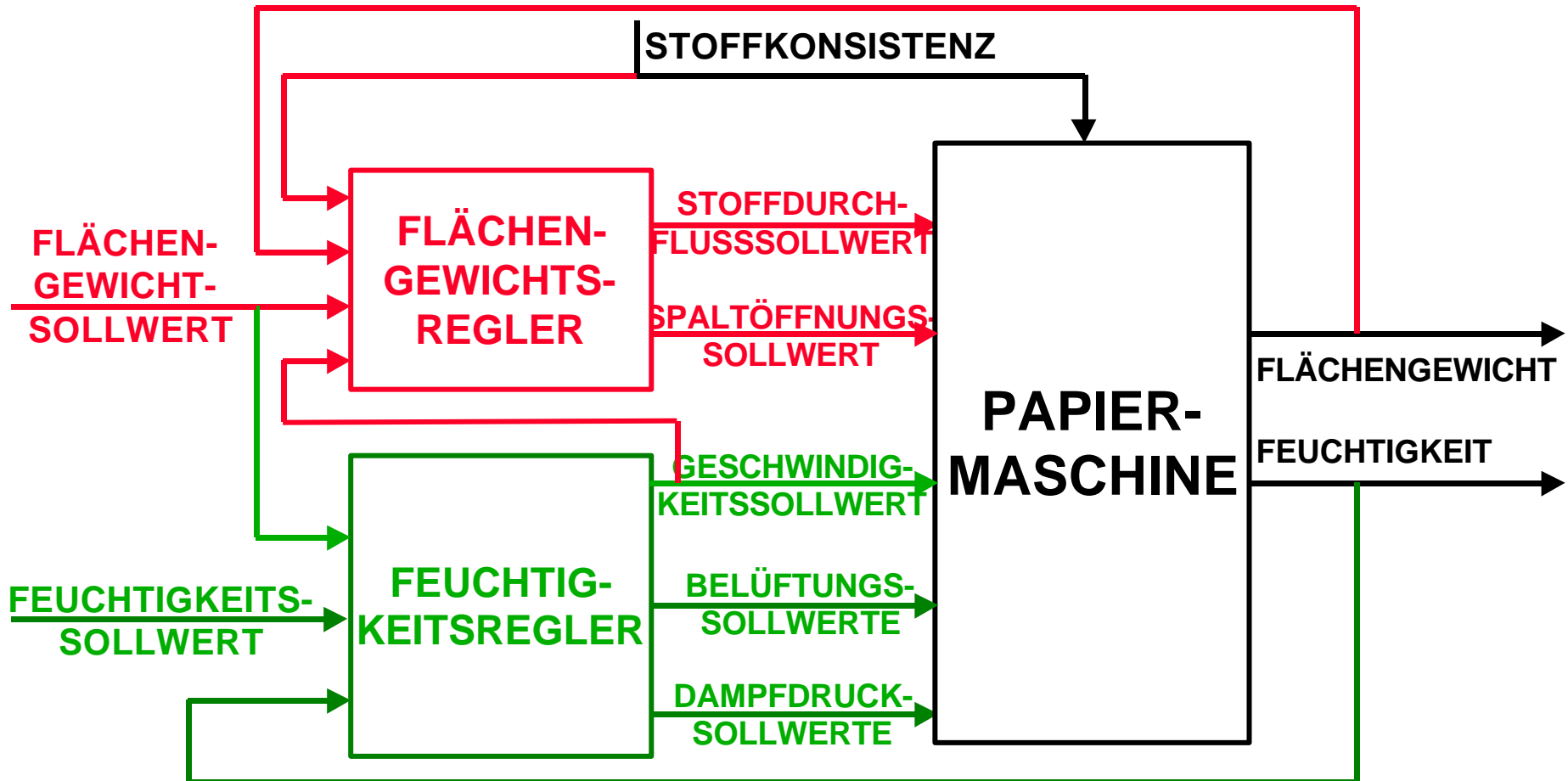
➤ **Trockenpartie optimieren:**

- » Dampfdrucksollwerte optimal einstellen
- » Belüftungssollwerte optimal einstellen, d.h. die Feuchte in der Luft, die aus der Haube austritt

➤ **Sortenwechselregler entwerfen:**

- » Übergang von einer Sorte zu einer anderen optimieren:
 - Produktionskosten verbessern
 - Ausfallzeit reduzieren

Motivation



SIEMENS BRUSSELS

Industrial Projects and Technical Services

Innovation for Paper

Your success is our goal

P Zur Entwicklung eines QCS-Reglers wird benötigt:

- Flächengewicht-Modell
- Modell der Presspartie
- Detailliertes Modell der Trockenpartie:
 - » Dampfdrucksollwerte optimal einstellen
 - » Belüftungssollwerte optimal einstellen
 - » Erreichbare Maschinengeschwindigkeit berechnen

Trockenmodell (Annahmen)

- ✓ Trockenmodell ist **statisch**
- ✓ Internen Phänomene werden von **zwei Gleichungen** erfasst, welche die
 - Feuchtigkeitsprofile und
 - Temperaturprofile in der Mitte des Papiersin **Maschinenrichtung** beschreiben
- ✓ Querrichtungswirkungen werden **nicht beachtet**
- ✓ Es gibt **zwei** typische Positionen für die Papierbahn:
 - Papier auf dem Zylinder
 - Papier zwischen Zylindern
- ✓ Wir brauchen **durchschnittliche** Eigenschaften des Luft-Dampf-Gemischs in der Nähe eines Zylinders
- ✓ Filz-Eigenschaften werden **nicht beachtet**
- ✓ ``Pocket-ventilators`` und die angesaugte Luft werden **gemeinsam** besehen

Trockenmodell (Eingaben & Ausgaben)

✓ **Trockenmodell:**

➤ **Haupteingaben:**

- » Flächengewichtssollwert (lufttrocken)
- » Maschinegeschwindigkeitssollwert
- » Dampfdrucksollwerte
- » Belüftungssollwerte (Taupunktregler)

➤ **Ausgaben:**

- » Temperaturprofil in Maschinenrichtung
 - » Feuchtigkeitsprofil in Maschinenrichtung
 - » Luftverbrauch für die Belüftung
 - » Spezifischer und absoluter Dampfverbrauch (pro Zylinder)
-
- Implementierung in Matlab/Simulink (ebenfalls in PCS7)
 - zwei Differentialgleichungen (Temperatur & Feuchte Änderungen)

Trockenmodell (Sekundäre Eingaben & Parameter)

✓ Trockenmodell:

➤ Sekundäre Eingaben & Parameter:

- » Stärkekonzentrationssollwert & prozentualer Stärkegehalt beim Poperoller
- » Papiertemperatur beim Eingang der Vortrocknung und Nachrocknung
- » Luftfeuchtigkeitsgehalt beim Einlass der Haube
- » Lufttemperatur beim Einlass und Auslass der Haube
- » Geometrie der Trockenpartie (Zylinderdurchmesser, vertikaler und horizontaler Abstand, Wanddicke, Abstand zwischen Siphon und Zylinderwand)
- » Zylinderbaustoff (Stahl / Gusseisen)
- » Anzahl der Zylinder + Organisation in Dampfgruppen

- » Kritischer Feuchtigkeitsgehalt (freie / innere Verdampfung)

Trockenmodell (Potenziale)

✓ **Potenziale des modells:**

- **Baustein** für den Entwurf eines Feuchtereglers / eines Sortenwechselreglers mit Model Predictive Control (MPC)
- **Optimierung** der Dampfdrucksollwerte
- Optimierung der Belüftungssollwerte
- **Vorhersage** und Optimierung des Dampfverbrauchs
- Maschinen**bau** und **-umbau**
- **Relativer Einfluss** der Parameter auf die erreichbare Geschwindigkeit und den spezifischen Dampfverbrauch (bei gewisser Maschineneinstellungen)
- **Soft-Sensing** der Temperatur und der Feuchtigkeit an jedem Punkt in Maschinenrichtung
 - ⇒ Trockenheit nach der Presspartie (Iteration) (Scanner vor der Leimpresse)
 - ⇒ Trockenheit nach der Leimpresse (Iteration) (Scanner an der Poperoller)

Modellierung (Feuchtigkeitsprofil)

- ✓ **Differentialgleichung:** Beschreibung des Feuchtigkeitsprofils in Maschinenrichtung
- ✓ **Stefans Diffusionsgesetz:** Stofftransfer (kg H₂O/m² sec)

$$m_T \propto b \ln \left(\frac{P - P_V^H}{P - P_V^S} \right)$$

b : Stofftransferkoeffizient (m/sec) (hängt ab von den durchschnittlichen Eigenschaften des Luft-Dampf Gemischs)

P : Atmosphärendruck

P_V^H : Durchschnittlicher Dampfdruck in der Haube (Luftzufuhr)

P_V^S : Dampfdruck in der Nähe der Blattoberfläche

Modellierung (Temperaturprofil)

- ✓ **Differentialgleichung:** Beschreibung des Temperaturprofils in Maschinenrichtung
- ✓ Eine **Energiebilanz** wird genutzt, um die Temperatur des Blattes in der Papiermitte zu berechnen
- ✓ Temperatur der Papierbahn wird von drei Hauptfaktoren beeinflusst:
 - Energie die von der Papierbahn wegfließt durch **Verdampfung** (kW/m²)
 - Energie die in dem umgebendem Medium ausgetauscht wird (kW/m²)

Modellierung (Temperaturprofil)

- Energie, die vom **Zylinderdampf** zur Papierbahn strömt (kW/m²)
 - » **Nur wenn das Papier mit einem Zylinder in Kontakt steht !**
 - » **Drei Ursachen** für den Wärmewiderstand:

Zylinderkondensatringwiderstand: hängt von dem **Abstand zwischen Siphon und Zylinder** & **Geschwindigkeit** ab

Zylinderwandwiderstand : hängt von der **Zylinderdicke** und dem **Zylindermaterial** ab

Papierbahnwiderstand : hängt von dem **Feuchtigkeitsgehalt** der Bahn, dem **Flächengewicht** und der **Faserrichtung** ab

Modellierung (Dampfverbrauch)

- ✓ Für die Energie, die in der Trockenpartie verbraucht wird, gibt es **vier Quellen:**
 - Energie, die für die Verdampfung verwendet wird (**berechnet**)
 - Energie, die für die Erwärmung der Luft verloren geht (**berechnet**)
 - Energie, die für die Erwärmung der Papierbahn verloren geht (**berechnet**)
 - An die Strahlung verlorene Energie (**fester prozentualer Anteil des gesamten Energieverbrauchs**)

- ✓ Dampfverbrauch wird pro Zylinder berechnet

- ✓ **Spezifische Dampfverbrauch**

Betriebsarten (Kalibration, Simulation & Iteration)

✓ Kalibriermodus:

- **Eingaben:** Maschinenkonfiguration & Geometrie, Dampfdrucksollwerte, Flächengewicht, Geschwindigkeit, Belüftungssollwerte, Stärkekonzentration, Luftfeuchtigkeitgehalt und Temperatur am Eingang der Haube
 - Dann werden vier Modellparameter **angepasst:**
 - » kritischer Feuchtigkeitsgehalt u_c
 - » Übergangparameter von freier zu innerer Verdampfung k_f
 - » Widerstand aufgrund des Zylinderkondensatrings
 - » Faserrichtung (Widerstand aufgrund der Papierbahn)
- bis**
- das beobachtete Temperatur- und Feuchtigkeitsprofil an der Maschine dem im Modell entspricht
- **Massnahmen an der Trockenpartie** durch spezialisierte Unternehmen könnten erforderlich sein.

Betriebsarten (Kalibration, Simulation & Iteration)

✓ **Sobald das Modell kalibriert ist:**

➤ **Simulationsmodus:**

- » Die vier Modellierungsparameter bleiben unverändert
- » Die Simulationsparameter werden in das Modell eingegeben (Flächengewichtssollwert, Dampfdrucksollwerte, Maschinegeschwindigkeit, usw.)
- » Vorhersage des Feuchtigkeits- und des Temperaturprofils

➤ **Iterationsmodus (erreichbare Geschwindigkeit):**

- » Die vier Modellierungsparameter bleiben unverändert
- » Die Simulationsparameter werden in das Modell eingegeben (Flächengewichtssollwert, Dampfdrucksollwerte, usw.)
- » Die Maschinegeschwindigkeit wird iteriert, bis der berechnete Feuchtigkeitsgehalt am Poperoller gleich dem Feuchtigkeitssollwert ist.

Soft-sensor Modus

✓ **Soft-sensor Modus (Trockenheit):**

- Die vier Modellierungsparameter bleiben unverändert
 - Die Simulationsparameter werden in das Modell eingegeben (Flächengewichtssollwert, Dampfdrucksollwerte, Maschinengeschwindigkeit, usw.)
 - Es gibt zwei soft-sensing-Möglichkeiten:
 - » Schätzung der **Trockenheit beim Eintritt in die Vortrocknung**, d.h. Iteration mit der Trockenheit beim Eintritt in die Vortrocknung bis die berechnete Trockenheit vor der Leimpresse der auf dem Scanner abgelesenen Trockenheit entspricht
 - » Schätzung der **Trockenheit nach der Leimpresse**, d.h. Iteration mit der Trockenheit nach der Leimpresse bis die berechnete Trockenheit am Poperoller der auf dem Scanner abgelesenen Trockenheit entspricht
- ⇒ soft-sensor für die **Trockenheit nach der Presspartie**
 - ⇒ soft-sensor für die **Trockenheit nach der Leimpresse**

Schlussfolgerung

✓ **Modell der Trockenpartie:**

- Feuchtigkeitsprofil
- Temperaturprofil
- (Spezifische) Dampfverbrauch

✓ **Graphische Benutzeroberfläche:**

- Kalibrier & Simulationsmodus
- Iterationsmodus (notwendige Geschwindigkeit)
- Soft-sensor Modus

✓ **Potenziale:**

- Optimierung (Dampfdruck & Belüftungswerte, Dampfverbrauch)
- Maschinenbau und -umbau
- soft sensing (Feuchtigkeits & Temperaturprofil)
- Modellbasierte Kontrolle