

# Vorausschauende Anpassung des Betriebspunktes eines Bandschwebeofens mit dem Ziel der Schrottreduktion

## 1 Motivation

Abbildung 1 zeigt schematisch eine Anlage zur kontinuierlichen Wärmebehandlung von Kupferbändern. Das Material wird von einem Coil abgewickelt und durchläuft einen Bandspeicher. Nach einer Oberflächenreinigung gelangt das Band in den Ofen. Dort wird es berührungslos auf einem Druckpolster getragen. Die dafür nötige Prallströmung dient gleichzeitig der Erwärmung des Bandes. Die anschließende Kühlstrecke funktioniert nach dem gleichen Prinzip. Nach einer chemischen Oberflächenbehandlung läuft das Band durch einen weiteren Speicher und wird schließlich wieder aufgewickelt.

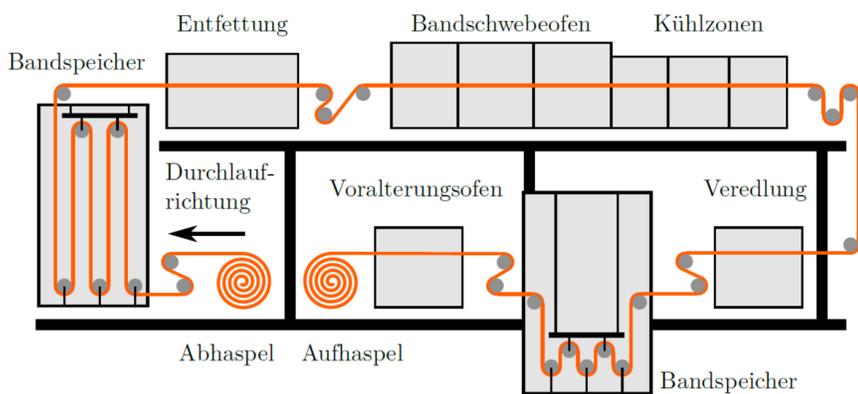


Abbildung 1: Anlage zur kontinuierlichen Wärmebehandlung

Durch die Verwendung der Bandspeicher wird während eines Coilwechsels sichergestellt, dass der Prozess im Ofen kontinuierlich weiterlaufen kann. Unterscheiden sich das alte und das neue Band jedoch bezüglich der Materialstärke, der Zieltemperatur oder der Durchlaufgeschwindigkeit, kommt es dennoch zu einem instationären Übergang. Je nach Umschaltzeitpunkt des Rezeptes ist entweder das Ende des alten oder der Anfang des neuen Bandes außerhalb der gewünschten Vorgaben.

## 2 Integriertes Prozessmodell

Mit Hilfe eines Modells wird der Prozess abgebildet. Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau einer Ofenzone und die berücksichtigten Wärmeströme, -quellen und -senken. Ein integriertes Prozessmodell zeichnet sich durch eine direkte Kommunikation mit der Anlagensteuerung in Echtzeit aus. Anhand der Ist-Werte für Ofenraumtemperatur, Drehzahl der Umwälzventilatoren, Banddaten und Durchlaufgeschwindigkeit berechnet es das örtliche und zeitliche Temperaturprofil des Bandes und nutzt diese Information zur Regelung des Prozesses.

$$\dot{Q} = a A (T_{\text{Ofen}} - T_{\text{Band}}) \quad \text{mit } a = f(n_{\text{Ventilator}})$$

Der Wärmestrom ins Band hängt von zwei Faktoren ab. Ein Faktor ist der Wärmeübergangskoeffizient  $a$ , der unter anderem durch die Drehzahl der Ventilatoren beeinflusst wird. Zweiter Parameter zur Steuerung des Wärmestroms ist die Ofenraumtemperatur  $T_{\text{Ofen}}$ . Letztere lässt sich aufgrund der thermischen Trägheit des Systems nur langsam ändern.

Daher kommt es bei dem untersuchten Wechsel der Zieltemperatur (vgl. Abb. 2) zu einer instationären Phase. Der Übergang ist im oberen Teil von Abbildung 3 dargestellt. Nachdem die Heftstelle den Ofen passiert hat,

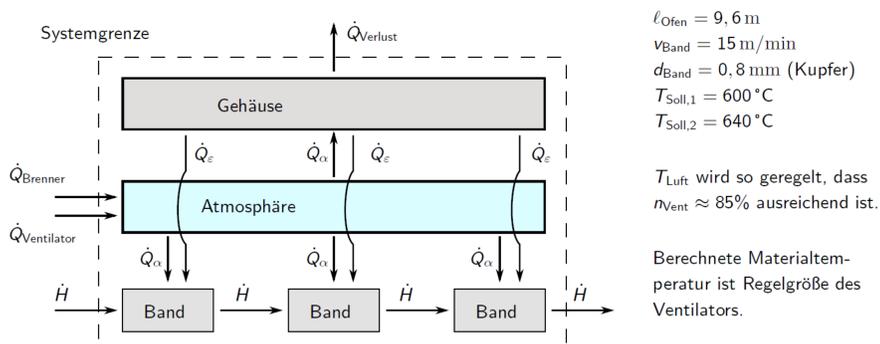


Abbildung 2: Schema einer Ofenzone und Parameter der Simulation

werden Ventilatorzahl und Ofentemperatur angehoben. Es dauert etwa 120 Sekunden, bis die Bandaustrittstemperatur den neuen Sollwert erreicht hat.

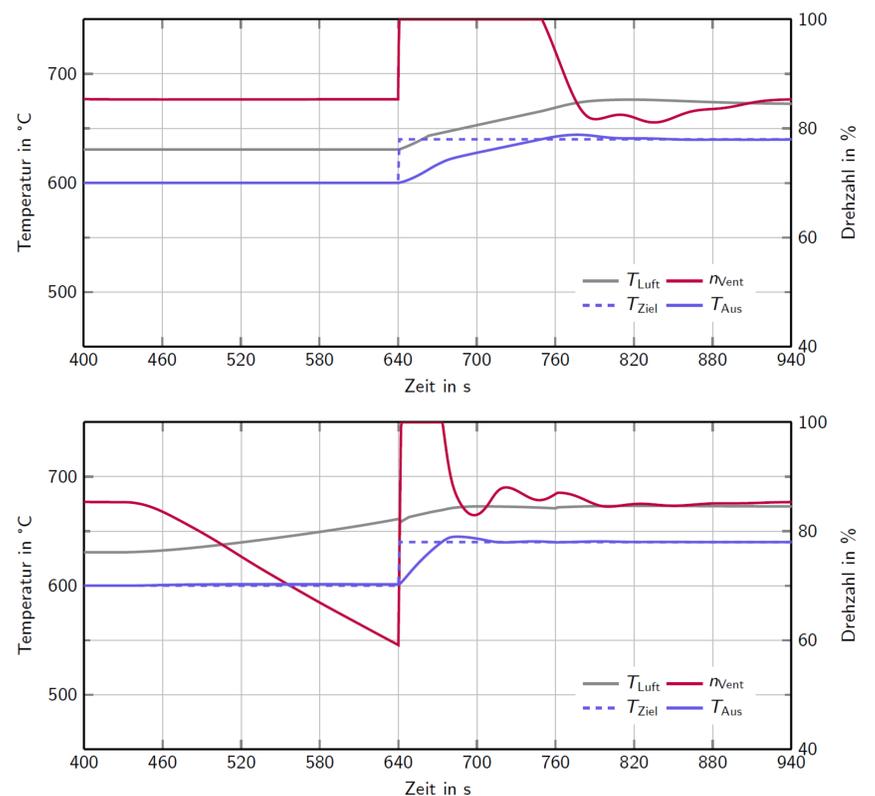


Abbildung 3: Vergleich der Prozessparameter bei klassischer (oben) und modellgestützter Fahrweise zur Schrottreduktion (unten)

Im unteren Teil der Abbildung 3 ist der gleiche Wechsel mit Unterstützung durch ein integriertes Prozessmodell zu sehen. Bereits vor dem eigentlichen Wechsel wird die Ofenraumtemperatur angehoben und gleichzeitig die Drehzahl gesenkt, um die Bandtemperatur konstant zu halten. Der träge Prozess der Temperaturänderung wird vorweggenommen, sodass der neue Wert nach dem Eintreffen der Heftstelle schneller erreicht wird. Das Band hat seine Solltemperatur nach circa 40 Sekunden erreicht.

## 3 Reduktion der Schrottmenge

Durch die beschriebene vorausschauende Anpassung des Betriebspunktes wird die Zeit bis zum Erreichen des neuen Sollwerts in diesem Fall von 120 Sekunden auf 40 Sekunden reduziert. Bezogen auf die Länge des Bandes bedeutet dies eine Reduktion von 40 m auf etwa 20 m, die nicht innerhalb der Sollvorgaben liegen. Dies ist in Abbildung 4 dargestellt.

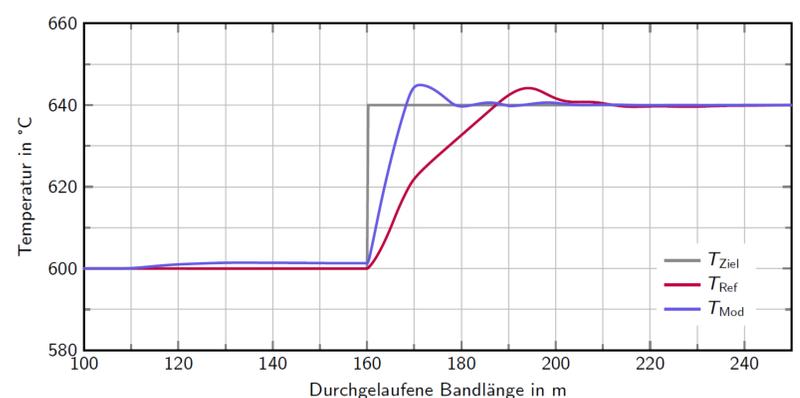


Abbildung 4: Austrittstemperatur des Bandes bezogen auf die Bandlänge

Bei dieser dynamischen Fahrweise legt das Modell die Sollwerte für Temperatur und Ventilatorzahl situationsabhängig fest. Gegenüber der klassischen Rezeptfahrweise ergeben sich einige Vorteile. So kann durch eine vorausschauende Fahrweise der Übergang bei einem Produktwechsel optimiert werden. Dies ermöglicht größere Sprünge bezüglich Banddicke, Solltemperatur oder Bandgeschwindigkeit. Durch die erhöhte Flexibilität steigt die Produktivität der Anlage.

