



BETRIEBLICHES ENERGIE- UND STOFF- STROMMANAGEMENT (BEST)

Konvoi-Projekt im IHK – Bezirk „Südlicher Oberrhein“



AUGUST KOEHLER AG, KEHL/OBERKIRCH

Oktober 2004

1. Zusammenfassung

Gegenstand des Projektes bei der August Koehler AG war der Aufbau eines generischen Modells einer Papiermaschine. Im Rahmen des Projektes wurde dazu ein grundsätzlicher Aufbau mit obligatorischen und optionalen Prozessen erarbeitet. Die Spezifikation der einzelnen Prozesse orientierte sich an dem grundlegenden Trocknungsprozess und dem Abgleich mit der Realität. Zudem wurde eine Excelanwendung realisiert, über die Prozessspezifikationen schnell in das Modell übertragen werden können. Durch das Modell will das Unternehmen eine vergleichbare Basis für alle betriebenen Papiermaschinen sowie eine Grundlage für weitere spezifische Modellierungen schaffen. Die Analyse ökologischer und ökonomischer Optimierungen stand hingegen nicht primär im Mittelpunkt des Interesses.

2. Unternehmensvorstellung

Mit einem Umsatz von 525 Mio. Euro und einem Absatz von 410.000 Tonnen Papier in 2003 gehört die Koehler-Gruppe zu den letzten unabhängigen Unternehmen der Papierindustrie in Deutschland. Neben dem Werk auf dem Stammsitz in Oberkirch wird in weiteren Werken in Kehl, Ettlingen, Bensheim und Greiz moderne Papierproduktion betrieben. Konzernweit werden über 1850 Mitarbeiter beschäftigt. Das Produktspektrum reicht dabei von Feinpapieren über farbige Papiere und Kartons bis hin zu Spezialpapieren, wie Selbstdurchschreibepapiere, Thermopapiere und Dekorpapiere.



Abbildung 1: Papierfabrik in Oberkirch (Quelle: August Koehler AG)

3. Motivation

Produktionstechnisch schon sehr weit fortgeschritten, interessierte sich das Unternehmen für die analytischen und planerischen Aspekte des Instrumentes der Stoffstromanalyse allgemein und des Softwaretools Umberto im Besonderen. Besonders die Option der Erarbeitung eines generischen Modells einer Papiermaschine und damit die Möglichkeit der Vergleichbarkeit der Stoff- und Energieströme ähnlicher Maschinen motivierte das Unternehmen zur Teilnahme am Projekt. Die Erarbeitung konkreter ökologischer oder ökonomischer Optimierungen war hingegen nicht primär von Interesse.

4. Schwerpunkte und Handlungsbereiche

Prozessbeschreibung

Der Prozess der industriellen Papiererzeugung lässt sich wie folgt beschreiben. In der *Stoffauflösung* erfolgt die Auflösung des zugegebenen Zellstoffs bzw. der internen Rückflüsse mittels Wasser. Die anschließende *Mahlanlage* zerkleinert eventuell zurückbleibende grobe Bestandteile, so dass eine feine Zellstoffmasse in die eigentliche Papiermaschine gelangen kann.



Abbildung 2: Papiermaschine am Standort Kehl (Quelle: August Koehler AG)

Dieser Eintrag erfolgt durch die Zugabe auf das Langsieb, welches sich aus dem sog. *konstanten Teil*, der *Siebpartie* und der *Pressenpartie* zusammensetzt. Im konstanten Teil wird durch die Zugabe von Wasser der Trockengehalt der Zellstofflösung auf ca. 5% gesenkt. In der Siebpartie und in der Pressenpartie wird im Wesentlichen durch mechanische Arbeit ein Großteil des Wassers wieder ausgeschleust. An die Pressenpartie schließt sich die *Vortrockenpartie* an, wo über Dampfzugabe eine erste Trocknung des Papiers stattfindet. Im nachfolgenden *Auftragswerk* besteht die Möglichkeit das Papier mit entsprechenden Speziallösungen zu beschichten (z.B. Thermopapier). Der *Nachtrockenprozess* ist nach der Vortrocknung der energieintensivste Prozess. Hier besteht die Möglichkeit über *Infrarottrocknung*, *Heißlufttrocknung* oder *Kontaktrocknung* das Papier auf den endgültigen Trockengehalt zu bringen. Optional können vor dem Prozess *weitere Glättwerke* und *Zwischentrocknungen* installiert sein. Nach einem letzten *Glättwerk* schließt die *Aufrollung* an.

Handlungsbereiche

Aufgrund der gut aufgestellten Produktion und dem Betrieb von mehreren ähnlichen Anlagen besteht die Möglichkeit über ein generisches Modell die Stoff- und Energieströme der einzelnen Maschinen zu vergleichen. Basierend auf diesem Vergleich können zum einen Erkenntnisse über grundlegende Prozesscharakteristika und über die Verknüpfung der Prozesse zueinander gewonnen werden. Zum anderen lassen sich zu einem späteren Zeitpunkt durch den direkten Vergleich Optimierungspotenziale an den einzelnen Anlagen(teilen) ableiten. Des Weiteren besteht die Möglichkeit Maßnahmen zur Anlagenoptimierung planerisch über das Modell zu berechnen.

5. Modellierung und Vertiefung

Modellgrundlagen

Das Modell geht im Grundsatz vereinfacht von dem *Trocknungsprozess* als zentralen Prozess der Papierherstellung aus. Die Überlegung ist, dass im Wesentlichen die Erwärmung des Zellstoffes (bzw. Papier) sowie die Erwärmung und Verdampfung des mitgeführten Wassers den Energieeinsatz bestimmen. Die Menge der eingesetzten Energie kann über die spezifischen Wärmekapazitäten des Zellstoffes bzw. Papiers, des Wassers und des entstehenden Wasserdampfes sowie über die Verdampfungswärme des Wassers berechnet werden. Weiterhin spielen die Eingangstemperatur der Lösung sowie die Prozesstemperatur eine Rolle.

Aufgrund von Wärmeverlusten bzw. der schrittweisen Zuführung von Wärme kann das Modell auf die geschilderte Weise nur einen Teil – den tatsächlich notwendigen Wärmeeinsatz – abbilden. Aus diesem Grund ist ein Abgleich mit Daten aus dem realen Produktionsprozess unerlässlich. Die Unterschiede können über einen Korrekturfaktor ausgeglichen werden. Die Höhe des Korrekturfaktors kann dabei wichtige Hinweise auf Wärmeverluste bzw. ungenügende Wärmedämmung liefern.

Weiterhin werden die elektrischen Antriebsleistungen betrachtet, die sich aus der gemessenen Leistung und aus der durchschnittlichen Maschinenlaufzeit errechnen.

Modellaufbau

Der grundsätzliche Aufbau des Modells geht aus den folgenden Abbildungen hervor. Das Modell wurde aus folgenden Prozessen bzw. Aggregaten aufgebaut:

- Zellstoffauflösung
- Mahlanlage
- Konstanter Teil
- Siebpartie
- Pressenpartie
- Vortrockenpartie
- Glättwerk
- Auftragswerk
- Nachtrocknung
- Aufrollung

Optional ist die Zuschaltung weiterer Glättwerke, Zwischentrockenpartien und Auftragswerke möglich.

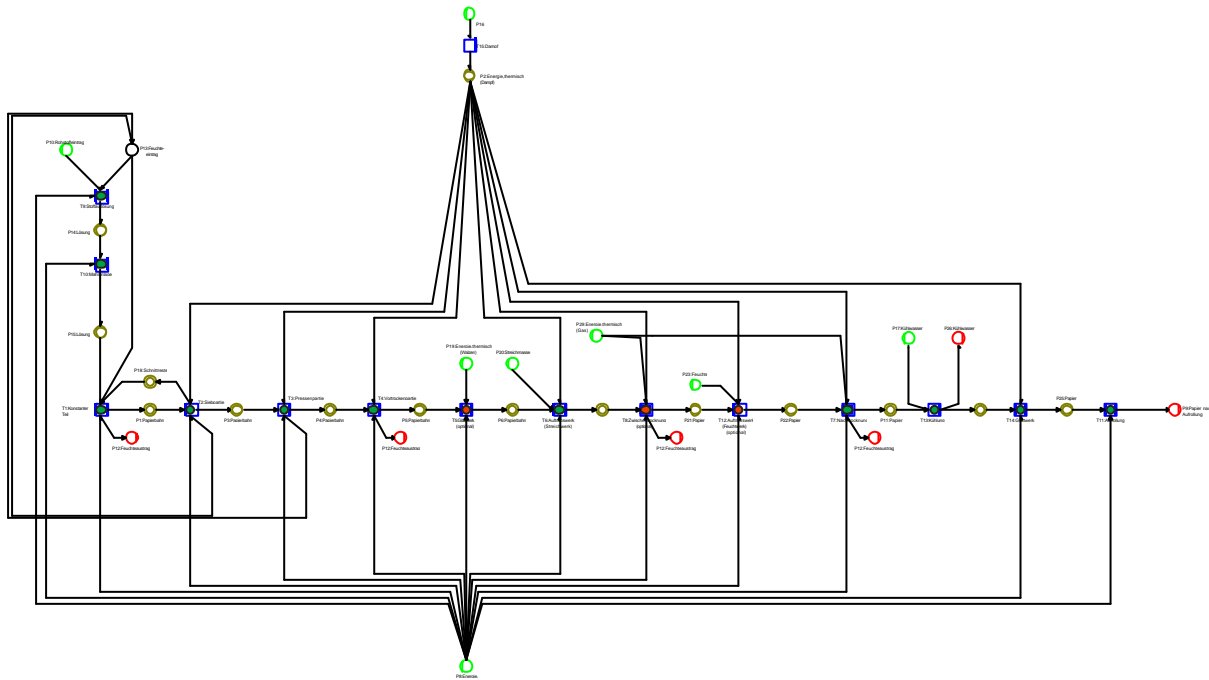


Abbildung 3: Stoffstromnetz einer generischen Papiermaschine (Netzdarstellung)

Das Modell benötigt zur Berechnung für die meisten Prozesse folgende Parameter, die als Transitionsparameter angelegt sind:

- Trockengehalt [%]
- Eingangstemperatur [°C]
- Durchschnittliche Maschinenlaufzeit [t/h]
- Elektrische Antriebsleistung [kW]

Für die Siebpartie können zudem noch Retentionsverluste, für die Auftragswerke Trockengehalt und Menge des Strichauftrags angegeben werden.

Die spezifischen Wärmekapazitäten, die spezifische Verdampfungswärme sowie der übliche Trockengehalt des betrachteten Papiers und die nutzbare Dampfenergie sind als Netzparameter angelegt. Ausgangsgröße für die Berechnung ist die spezifische Menge an produziertem Papier.

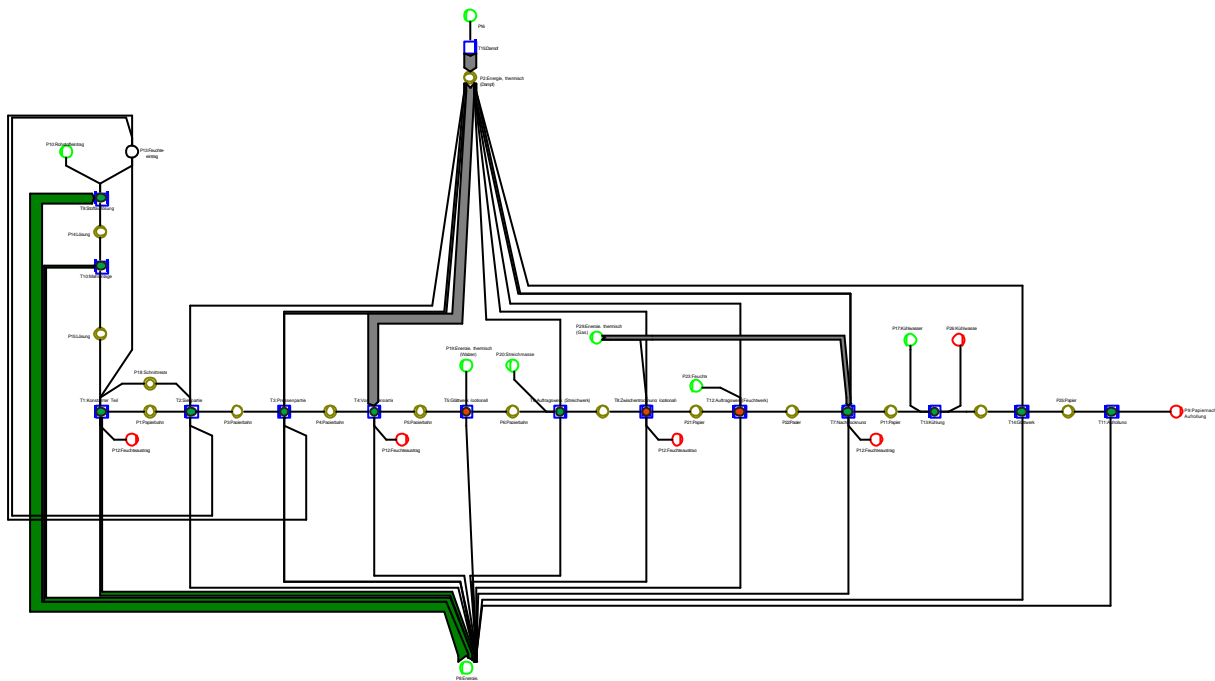


Abbildung 4: Sankey-Darstellung der Energieflüsse einer beispielhaften Papiermaschine

Automatisierter Datenimport

Aufgrund der großen Menge an verschiedenen Parametern bot sich die Möglichkeit eines automatisierten Datenimports über eine Exceltabelle an. Dabei kann Excel durch ein Makro bzw. Script über definierte Schnittstellen auf verschiedene Objekte in Umberto, z.B. Parameter in Transitionen und Netzen zugreifen und Daten importieren (vgl. Abbildung 5)

Innerhalb der Excelanwendung wurde zudem eine benutzerfreundliche Eingabemaske erstellt, mit der auch ein unkundiger Anwender die Prozesse schnell spezifizieren kann.

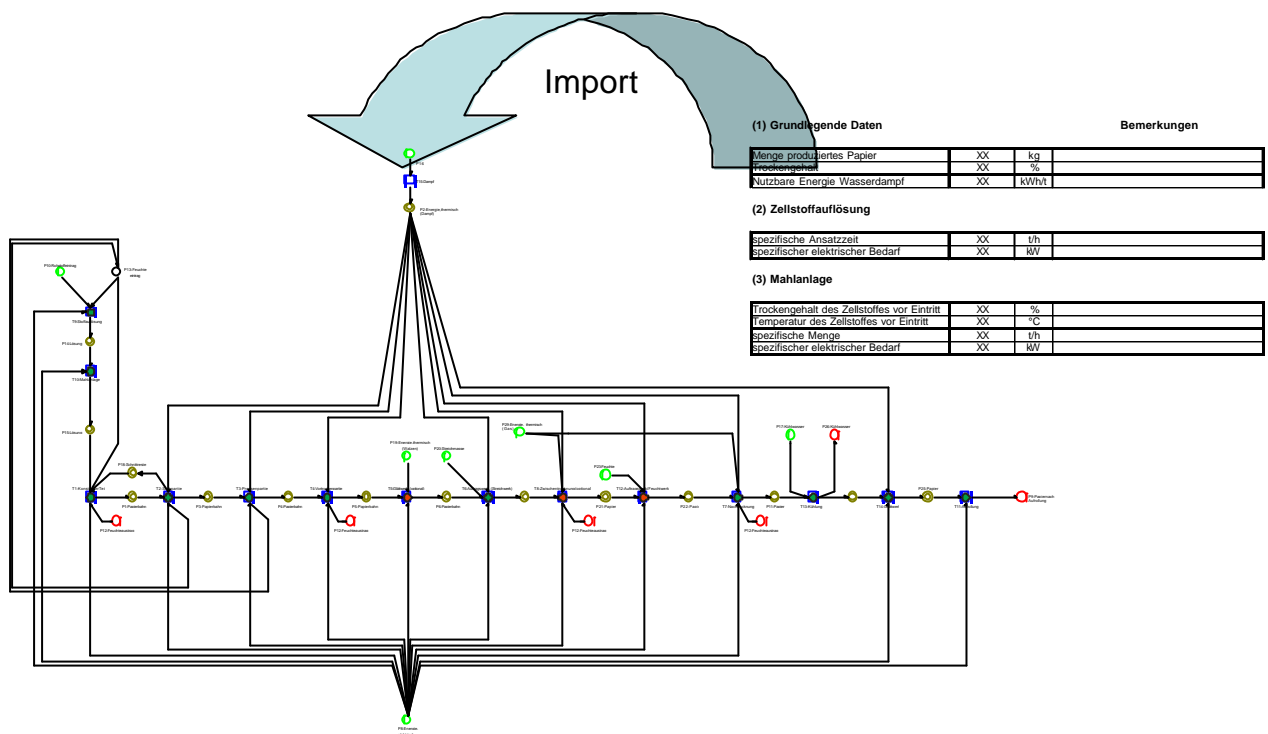


Abbildung 5: Automatisierter Datenimport über COM-Schnittstellen

Vergleich ähnlicher Maschinen

Über das generische Modell und die Excelanwendung zum Datenimport wurden spezifische Modelle für die Papiermaschinen 1, 2 und 5 erstellt. Dabei wurde für die Spezifikation jeweils ein spezifisches Produkt angenommen.

Im nächsten Schritt wurden die berechneten Werte zu Strom-, Dampf- und Gaseinsatz mit realen, gemessenen Werten aus dem Produktionsprozess abgeglichen und für die Prozesse der Pressenpartie und Vortrocknung Korrekturfaktoren in Bezug auf den Dampfeinsatz gebildet. In den anderen Prozessen hingegen entsprachen die Modellwerte zumindest größenordnungsmäßig den realen Werten.

6. Auswertung

Auswertung zur Realitätsnähe des Modell

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 1.4.4 wurden die Modellwerte mit realen, gemessenen Werten verglichen. Dabei wurden lediglich für die Prozesse Pressenpartie und Vortrocknung Korrekturfaktoren für den Dampfeinsatz eingeführt. Tabelle 1 zeigt dabei deutlich, dass die Korrekturfaktoren teilweise noch sehr hoch sind und hierbei noch weiterer Modellierbedarf besteht, um die Prozesse der Vortrockenpartie in geeigneter Weise abzubilden. Deutlich wird auch, dass die Korrekturwerte von Papiermaschine 1 stark von den anderen abweichen. Hier liegt der Fall der Betrachtung zweier unterschiedlicher Produkte in der Realität und im Modell vor, d.h. die Daten zum Abgleich aus der Realität beziehen sich auf ein anderes Produkt, als

im Modell berechnet wurde. Dieser Fall zeigt die besondere Bedeutung einer künftigen Produktorientierung im Vergleich der Papiermaschinen.

Tabelle 1: Korrekturfaktoren für Dampfeinsatz zum Abgleich der Modellwerte

Aggregat	Korrekturfaktor Dampf [%]		
	PM 1	PM 2	PM 5
Pressenpartie	93	18	23
Vortrocknung	10	46	65

Auswertung des Vergleiches ähnlicher Maschinen

Aus den Modellwerten lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt folgende Punkte festhalten:

- Aus Sicht der *Antriebsenergie* weist Papiermaschine 5 den energetisch geringsten Verbrauch auf.
- Aus Sicht des *Dampfeinsatzes* weist Papiermaschine 2 den energetisch geringsten Verbrauch auf.

Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass das Modell die Prozesse erst größenordnungsmäßig beschreibt und für genauere Aussagen eine Verfeinerung des Modells notwendig ist.

7. Empfehlungen

Das während des Projektes erarbeitete Modell bildet eine Basis, auf der Papiermaschinen mit einem klaren Produktbezug verglichen werden können. Es stellt zudem eine Grundlage für die modellhafte Vertiefung weiterer Prozesse dar.

Für das weitere Vorgehen werden folgende Punkte empfohlen:

- Weiterer Abgleich des Modells mit der Realität durch zusätzliche Messdaten

Über zusätzliche Messdaten über mehrere verschiedene Produkte hinweg, können die wesentlichen Steuerungsparameter der einzelnen Prozesse besser mit realen Werten hinterlegt werden bzw. die Korrekturfaktoren differenzierter heraus gearbeitet werden.

- Verfeinerung des Modells hinsichtlich der Trocknungsprozesse

Aufgrund der hohen Korrekturwerte bei den Trocknungsprozessen erscheint es als sinnvoll, diese feiner zu modellieren. Dazu ist eine weitere Umsetzung des Wissens über die Trocknungsprozesse bzw. sind weitere Untersuchungen der Trocknungsprozesse notwendig. Ggf. kann hierbei auch auf Kooperationen mit den Maschinenherstellern zurückgegriffen werden.

- Durchführung von Varianten- bzw. Szenarienrechnung

Aufbauend auf einem verfeinerten Modell können für die einzelnen Papiermaschinen verfahrenstechnische oder anlagentechnische Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich der Veränderung von Stoff- und Energieströmen und den damit verbundenen Kosten bzw. Kostenreduzierungen berechnet werden. In diesem Fall erfährt besonders der planerische Aspekt des Instrumentes Stoffstrommanagement besondere Entfaltung.