

Prozesssimulation – Papierherstellung virtuell abbilden



Dr. Jörg Reuter

Papiermaschinen Grafisch
joerg.reuter@voith.com



Dr. Florian Wegmann

Papiermaschinen Grafisch
florian.wegmann@voith.com

Ein grundlegendes Verständnis der Teilprozesse bei der Papierherstellung wird immer wichtiger, da moderne Papiermaschinen bei steigender Leistungsfähigkeit auch immer höhere Anforderungen an die erzielbare Papierqualität erfüllen sollen. Der Wunsch, die Einflüsse jeder einzelnen Komponente der Maschine auf die Eigenschaften des Produktes kennen zu lernen, führt zu immer aufwändigeren Versuchsreihen. Aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten können aber oft nicht genügend Untersuchungen durchgeführt werden, um statistische Fehler herauszufiltern. Außerdem können nicht alle gewünschten Daten an jeder Stelle gemessen werden.

Durch die rasant steigenden Leistungen von Computern hat sich mit der Simulationstechnik eine neue Disziplin entwickelt, mit deren Hilfe diese Herausforderungen angegangen werden können. Mit einem Simulationsmodell, das einen Prozess hinreichend genau abbildet, können mit vergleichsweise geringem Aufwand umfangreiche Studien durchgeführt werden. Damit lassen sich beispielsweise die Einflüsse einzelner Eingangsparameter untersuchen, Konstruktionsgrößen und Maschineneinstellungen optimieren sowie ein tieferes Verständnis der physikalischen Vorgänge gewinnen. Die Ergebnisse liefern oft detailliertere Informationen als Messungen.

Vor diesem Hintergrund wird bei Voith Paper eine Gruppe aufgebaut, deren Ziel die Erstellung von Simulationsmodellen für verfahrenstechnische Prozesse in der Papierherstellung ist. Sie soll andere Abteilungen bei der Optimierung bestehender und bei der Entwicklung neuer Kon-

zepte unterstützen sowie zur Erklärung technisch bedingter Grenzen und zu deren Überwindung beitragen. Die bei der Durchführung von Einzelprojekten gesammelte Methodenkompetenz wird bei der Gruppe gebündelt und kommt so zukünftigen Vorhaben zugute, was die Entwicklungszeiten für neue Simulationsmodelle immer weiter verkürzt wird.

Für die Betreiber ergeben sich daraus unmittelbar folgende Vorteile (**Abb. 1**): Den Kundenanforderungen entsprechend kann das passende Maschinenkonzept ausgewählt und dimensioniert werden, um eine optimale Produktqualität zu ermöglichen. Außerdem kann beim Bau neuer oder beim Umbau bestehender Anlagen durch vorhergehende Simulationen das Entwicklungsrisiko minimiert werden. Da die Einflüsse der Maschineneinstellungen auf die Prozessstabilität und die Papierqualität bereits im Vorfeld untersucht werden können, sind zudem kürzere Inbetriebnahmezeiten realisierbar.

Abb. 1: Vorteile der Simulationstechnik aus Sicht des Kunden.



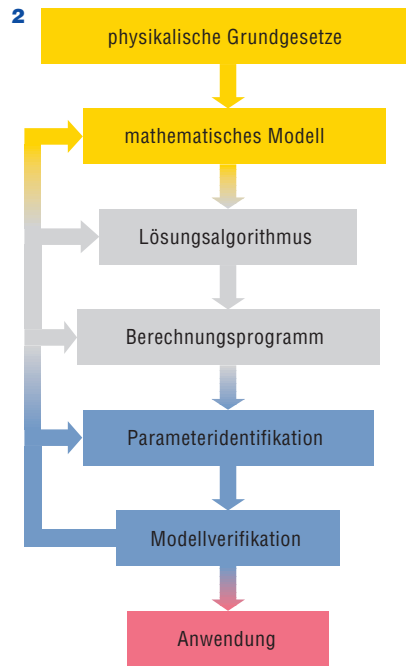


Abb. 2: Vorgehen in der Simulationstechnik.

Abb. 3: Fragestellungen aus den einzelnen Bereichen des Papierherstellungsprozesses.

Das Vorgehen bei Simulationen ist in Abb. 2 dargestellt. Ausgangspunkt sind die Grundgesetze der Physik, bei der Papierherstellung also vor allem der Thermodynamik sowie der Strömungs- und der Materialmechanik. Die beschreibenden Gleichungen werden zu einem mathematischen Modell zusammengefasst. In wenigen Fällen ist eine analytische Lösung der Gleichungssysteme möglich, meist müssen jedoch numerische Verfahren angewandt werden. Neben der Umsetzung eines Lösungsalgorithmus in ein Berechnungsprogramm ist noch eine Identifikation der Systemparameter erforderlich, etwa über Labormessungen. Das vollständige Modell muss schließlich noch durch Versuche verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden, ehe es dem Anwender zur Verfügung gestellt werden kann. Die Simulation kann Experimente also nur zum Teil ersetzen. Erst die Verbindung der beiden ergibt ein effizientes Werkzeug für die Forschung und Entwicklung.

Kennzeichnend für die Papiertechnik ist die Vielfalt der Fragestellungen aus den einzelnen Bereichen des Herstellungsprozesses (Abb. 3). Im Stoffauflauf kann die Simulationstechnik z. B. Aussagen liefern zu Mischvorgängen des Faserstoffes mit Verdünnungswasser, zur genauen Strahlgeometrie oder zur Faserorientierung. Im Former kann mit einer Entwässerungssimulation untersucht werden, wie durch die Absaugung an den Vakuumelementen die Fasern und Füllstoffe umverteilt werden. Von besonderem Interesse ist auch eine Simulation der Entwässerung in Pressen, die die Abhängigkeit des erreichbaren Trockengehaltes von einer Reihe von Maschinenparametern zeigt.

Sie erlaubt außerdem eine Abschätzung der Fließgeschwindigkeit in der Trennfläche zwischen Papier und Filz, die einen Einfluss auf die Oberflächenqualität hat. In der Trockenpartie liegen die Schwerpunkte neben der Thermodynamik auf dem Bahnlauf freier Züge und dem Schrumpfverhalten der Papierbahn. Beim Streichen interessiert unter anderem die Strömungsführung der Farbe. Die Wickeltechnik kann auf die Simulation für Optimierungen des Wickelaufbaus sowie des Tambourwechsels zurückgreifen.

Von besonderer Bedeutung sind die Gemeinsamkeiten der einzelnen Aufgabenstellungen. Sie legen es nahe, eine einzige Simulationsgruppe für alle Bereiche der Papierherstellung aufzubauen. Folgende Themen treten an verschiedenen Stellen auf:

- Für nahezu alle Simulationen werden **Materialgesetze** benötigt. Sie beschreiben elastisches, viskoses und

plastisches Verhalten oder Stoffeigenschaften wie Viskosität und Permeabilität.

- Die Simulation von **Strömungen** ist vor allem in Konstantteil, Stoffauflauf und Former von Bedeutung, aber auch in den Pressen und bei den unterschiedlichen Auftragsverfahren der Streichtechnik.
- Die Untersuchung von Vorgängen in **Pressnips** ist an mehreren Stellen einer Papiermaschine erforderlich, unter anderem in der Pressenpartie und im Kalandrieren.
- Neben dem Papier laufen auch Filze und Siebe mit hohen Geschwindigkeiten durch eine Papiermaschine. Die **Bahnlaufsimulation** kann daher zu einer wichtigen Kernkompetenz der Simulationsgruppe werden.

Ein Beispiel für ein bereits bearbeitetes Projekt ist die Abschätzung der Geschwindigkeiten von Ober- und Untersieb in einem Former. In den einzelnen Abschnitten der Siebschleifen liegen unterschiedliche Spannungen vor, so dass die Dehnungen und damit auch die Geschwindigkeiten über den Umlauf variieren. Im Idealfall sollen die beiden Siebe gleich schnell sein, solange sie sich in direktem Kontakt befinden. Durch diese Fahrweise wird nicht nur die Belastung der Papierbahn durch Schubspannungen

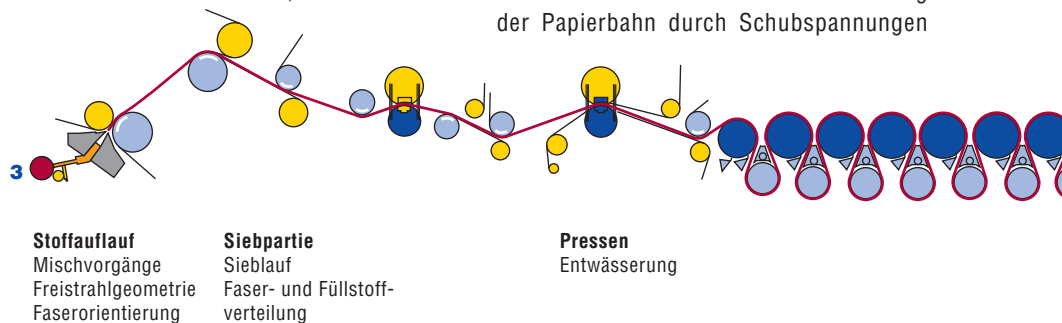
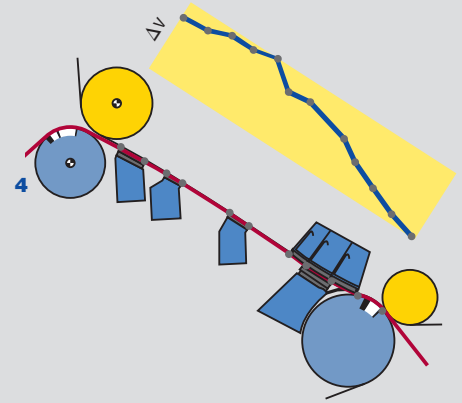


Abb. 4: Relativgeschwindigkeiten zwischen den Sieben im Former.

Abb. 5: Sickergeschwindigkeit des Wassers in z-Richtung in der Papierbahn bei einer Schuhpresse in erster Position.

Abb. 6: Trockengehaltsverteilung der Papierbahn in der ersten Presse.

Abb. 7: Trockengehalt in der zweiten Presse.



vermieden, sondern auch der Siebverschleiß in den Randbereichen minimiert. Das Modell übersetzt die an den Absaugelementen anliegenden Vakua in Reibkräfte. Die Reibungsbeiwerte zwischen Leisten und Sieb wurden aus Messungen an einer Versuchspapiermaschine ermittelt. **Abb. 4** zeigt die simulierten Relativgeschwindigkeiten im Former.

Ein weiteres Projekt befasst sich mit der Simulation der Entwässerung in Pressen. Hier gehen Materialeigenschaften wie die Rheologie und die Permeabilität des Papiers und der Filze ein, die im Labor bestimmt werden können. Das Rechnerprogramm ermittelt iterativ eine Lösung, die sowohl das Darcysche Gesetz als auch die Massenerhaltung für die Phasen Wasser und Luft erfüllt.

Die folgenden Darstellungen zeigen die Ergebnisse der Simulation einer Tandem-Schuhpresse. **Abb. 5** stellt die Fließgeschwindigkeit des Wassers in z-Richtung beim Lauf der Papierbahn durch die erste Presse dar. Die Entwässerung beschränkt sich zunächst auf die beiden Oberflächen, erfasst im weiteren Verlauf des Nips aber zunehmend auch weiter innen liegende Schichten. An der äußeren Kontur des Querschnitts lässt sich ablesen, dass die Bahn nach der Presse wieder geringfügig elastisch expandiert.

In **Abb. 6** ist der zugehörige Trockengehalt aufgetragen. Auf den Oberflächen werden nach der Presse bereits recht hohe Werte erreicht, während im Inneren auch nach dem Nip noch vergleichsweise viel Wasser in den Fasern verbleibt.

Die Verteilung, die sich nach der ersten Presse einstellt, dient als Eingangsprofil für die zweite der beiden Pressen. Wie aus der Trockengehaltsverteilung in **Abb. 7** ersichtlich ist, dringt die Kompression nun bis ins Blattinnere vor. Die äußeren Schichten werden nur in der Nähe der Nipmitte noch weiter entwässert, da nur hier der Druck den bereits in der ersten Presse erreichten Maximaldruck noch übersteigt.

Beide Beispiele verdeutlichen, dass Simulationen detailliertere Informationen liefern können als Messungen. Nach einer Verifikation über messbare Größen an Versuchsanlagen stehen mit den entwickelten Programmen Werkzeuge zur Verfügung, die kostengünstig eine Vielzahl von Parameterstudien ermöglichen.

Mit diesen und weiteren bereits geplanten Projekten wird sich die Simulationsgruppe bei Voith Paper ein breites Know-how über verschiedene Teilprozesse aufbauen. Langfristig sollen die einzelnen Modelle zu einem Gesamtprozessmodell der Papierherstellung zusammengefügt werden.

