

Titel

Entwicklung einer Methodik zur Produktionssteigerung und Energieeinsparung in Papiererzeugungsanlagen durch Erhöhung der Entwässerungsleistung am Nasssieb

B. Zimmermann

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Abstract	3
3	Einleitung	5
4	Material und Methoden	7
4.1	Auswahl der untersuchten Papiermaschine	7
4.2	Laborversuche	7
4.3	Messmethoden	8
4.4	Datenanalyse, -auswertung und Modellerstellung	9
4.5	Methoden zur Bewertung der Modellgüte	9
5	Datenerhebung	10
5.1	Vorbereitung der Betriebsversuche	10
5.2	Betriebsversuche	12
5.3	Laborversuche zur Entwässerungsoptimierung	13
6	Modellerstellung und modell-unterstützte Optimierung	14
6.1	Modellerstellung zur Einflussprognose.....	14
6.2	Modell-unterstützte Optimierung	20
7	Verallgemeinerung der Prozesskenntnisse	28
8	Synthese des Gesamtvorgehens	28
9	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	30
10	Schlussfolgerung	31
	Literatur	32

1 Zusammenfassung

Zielstellung Ziel des Projektes war die Entwicklung einer methodischen Potenzialanalyse zur Optimierung der Siebentwässerung, um eine Leistungssteigerung und Energiekostenreduzierung zu erreichen. Die erarbeitete Methodik sollte standardisierte und effiziente Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Optimierung der Siebentwässerung beinhalten. Weiterhin sollten moderne und innovative Werkzeuge und Auswerteverfahren vernetzt und eine Quantifizierung der Wirkung von Einzelmaßnahmen zu einer effizienten Bewertungs- und Optimierungsmethodik zusammengeführt werden.

Ergebnisse Mit Hilfe der umfangreichen Daten, die im Rahmen von Vor-Ort-Untersuchungen gewonnen wurden, konnte eine Modellierung der Entwässerung am Sieb und eine Prognose des zu erwartenden Trockengehaltes nach Sieb bei unterschiedlichen Einstellungen in der Siebpartie erreicht werden. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem Modellierungstool zusammengeführt und nutzbar gemacht. Ausgehend von der vorhandenen Ist-Situation kann nun bei Auswahl unterschiedlicher Randbedingungen diejenige Einstellungssituation gefunden werden, die z. B. eine maximal mögliche Einsparung für eine bestimmte Trockengehaltserhöhung ermöglicht. Für konkret modellierte Fälle konnten durch Modifizierung der Sortenzusammensetzung sowie durch Reduzierung der eingesetzten Frischwassermenge und einer damit verbundenen Erhöhung der Wasserkreislaufemperatur und der Entwässerungsleistung Einsparungen von 6,9 €/t bzw. max. 8,0 €/t erreicht werden. Da bei den betrachteten Szenarien die derzeitige Temperatur auf maximal 44°C erhöht wird, sind im Hinblick auf den Arbeitsschutz keine weiteren Maßnahmen notwendig. Die modellierten Potenziale hängen vom jeweiligen Einzelfall ab und können mit den erarbeiteten Tools berechnet werden.

Schlussfolgerung Mit der entwickelten Methodik kann den Papier produzierenden Unternehmen ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, welches die Prognose des Trockengehaltes nach dem Sieb erlaubt. Unter Vorgabe der Grenzen innerhalb derer eine Optimierung erfolgen soll, kann ein optimiertes Szenario ermittelt werden. Dabei können alle wesentlichen Kosten für Rohstoff- und Chemikalieneinsatz, für Energie und Wasser sowie für Entsorgung und Investitionen berücksichtigt werden.

Danksagung

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens IW 090062 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung und Entwicklung bei Wachstumsträgern in benachteiligten Regionen" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Technologie mbH gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten Firmen der Papier- und Zulieferindustrie für die Unterstützung der Arbeiten.

2 Abstract

Theme Target of the project was the development of a methodological potential analysis for optimisation of wire dewatering, to increase machine output and reduce energy costs. The developed methodology should combine standardised and efficient proceedings for systematic analysis and optimisation of wire dewatering. Furthermore modern and innovative tools and evaluation processes should be cross-linked and a quantification of outcome of single measures should be combined to an efficient evaluation and optimisation methodology.

Results A modelling of dewatering on the wire and prognosis of the expected dryness after wire with different settings in the wire section could be reached due to the extensive amount of generated on-site data. The generated results were combined and made useful in a modelling tool. Based on the current situation and on selection of different boundary conditions specific settings of parameters can be found which allows to find, e. g. the maximum possible savings for a given increase of dryness. In practice cases were modelled among others were a modification of raw material combination as well as reduction of consumed amount of fresh water and therefore an increased temperature of water circuit and dewatering performance gained savings of 6,9 €/t and max. 8,0 €/t. In the modelled scenarios process water temperature did not exceed 44 °C so there are no further regulations for work safety to be paid attention to. The modelled potentials are depending on each single case and can be calculated with the developed tools.

Conclusions The developed methodology is a tool for paper producing companies which allows a forecast of dryness after wire. By keeping the limitations within the optimisation has to be carried out an optimised scenario can be determined. All essential costs for raw materials, chemicals, energy and water as well as disposal and investment are included.

Acknowledgement

Research project IW 090062 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme for the “Promotion of Research, Development and Innovation in disadvantaged areas” and carried out under the umbrella of EuroNorm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our thanks to the involved German companies for providing proper samples as well as for supporting project performance.

3 Einleitung

Siebentwässerung und Energie

In der Siebpartie einer Papiermaschine wird der größte Teil des vorab zur Blattformation eingesetzten Verdünnungswassers entzogen. Die weitere Entwässerung und Trocknung in der Pressen- und Trockenpartie ist mit hohem energetischem Aufwand verbunden. Eine Reduzierung des elektrischen und thermischen Energiebedarfs kann erreicht werden, wenn der Trockengehalt nach dem Sieb gesteigert wird.

Aktuelle Entwicklungen

Aktuelle Entwicklungen zur Verbesserung der Entwässerungs- und Trocknungsleistung sind auf die Pressenkonstruktion und die Trockenpartie orientiert [13]. Fortschritte gibt es zudem bei den Besspannungen [46.]. In der Nasspartie liegt der Schwerpunkt der Weiterentwicklungen heute in Hochleistungsmaschinen mit Gapformer [7, 8]. Technische Verbesserungen in der Siebpartie für mittlere Produktionskapazitäten und bestehende Anlagen sind demgegenüber zurückgeblieben. Vor allem aber ist eine methodische Potenzialanalyse der Entwässerung, die alle relevanten Einflüsse beachtet, nicht verfügbar.

Mängel derzeitig üblicher Vorgehensweisen

Papierfabriken selbst verfügen in der Regel nicht gleichzeitig über ausreichende Personal-, Messgeräte- und Auswerte-Ressourcen, Kenntnis der Zusammenhänge sowie die wissenschaftliche Methodik, um die Optimierungsaufgabe wahrzunehmen. Die Zulieferer verfügen über geeignete Messmethoden für Teilbereiche des Optimierungsfeldes. Sie fokussieren jedoch nur auf Teilaspekte; es fehlt ein übergreifender Ansatz. Zudem lässt die vorrangige Motivation, die Papierfabrik vom Nutzen der eigenen Produkte zu überzeugen, fraglich erscheinen, ob objektiv optimale Lösungen erarbeitet werden. Der Ansatz der Sieblieferanten erlaubt keine spezifische Anpassung an Flächengewichte, Maschinengeschwindigkeit, Rezeptur, Flockungsverhalten etc. Nur der Einfluss des Siebtyps wird herausgearbeitet.

Messungen im Betrieb

Zur Entwässerungsbewertung eingesetzt werden Offline-Messungen des Trockengehaltes nach Sieb sowie Entwässerungsprofile. Kontinuierliche Messungen der Entwässerbarkeit werden nur zur Mahlgradkontrolle des Dickstoffs nach Refiner eingesetzt [9]. Online über Messrahmen wird in allen Werken die Feuchte vor Poperoller bestimmt; selten der Trockengehalt der Papierbahn vor Trocknung. Neu entwickelte induktive Foil-Sensoren (SpectraFoil, Honeywell) ermöglichen, die Entwässerung in Stufen entlang der Entwässerungszone kontinuierlich zu messen. Diese Messtechnik ist jedoch aufgrund der hohen Investitionskosten nicht verbreitet. Eine Online-Messung der Entwässerbarkeit des Stoffauflaufstoffs ist als Messgerät verfügbar [10], wird jedoch kaum eingesetzt. Gleiches gilt für den Trockengehalt nach Sieb. Von der Rentabilität der Investition sind die Anlagenbetreiber bislang anscheinend nicht überzeugt. Ein projektbezogener Einsatz zur Potenzialanalyse wurde bislang nicht beobachtet.

Labor	Auch wenn Labormethoden zur Entwässerungsbestimmung insbesondere von Additiv-Zulieferern verbreitet angewendet werden, ist deren quantitative Aussagekraft bisher nicht geklärt. Zahlreiche Messsysteme mit unterschiedlichen Einsatzschwerpunkten sind verfügbar [11, 12].
Modellierung	Eine praxisnahe quantitative und modellierende Beschreibung der Einflüsse auf die Siebentwässerung liegt nicht vor. Für die physikalische Modellierung der Entwässerungsmechanismen in der Blattbildungszone und den Pressen wurden Grundlagen erarbeitet [13]. Das Vorgehen in der beschriebenen Detailtiefe ist angesichts des hohen Kalibrieraufwands jedoch nicht für ein Optimierungsprojekt geeignet.
Schwankungsanalyse	Periodische und stochastische Schwankungen in der Entwässerung behindern die optimale Fahrweise der Papiermaschine knapp an den geforderten Qualitätsspezifikationen. Ursachen für Schwankungen sind verbreitet dem Wet-End-Bereich zuzuordnen [14, 15]. Sie können aber auch am Sieb (Vakua, Sauger) und in den Pressen sowie in der Trocknung auftreten. Mangels Messdaten werden solche Schwankungen bisher nicht oder erst im summarischen Effekt am Poperoller erfasst.
Sorten- und situationsspezifische Betrachtung	Die spezifische Entwässerungsleistung wird relativ gering von der Siebgeschwindigkeit beeinflusst. Demgegenüber wirkt sich eine Änderung der Stoffzusammensetzung deutlich auf das Entwässerungsprofil aus. In der Regel liegt je Papiermaschine nur eine statische Entwässerungsaufnahme für eine Sorte und eine Maschineneinstellung vor, jedoch keine sorten- oder situationsspezifischen Profile.
Optimierung	Die Verbesserung der Entwässerungsleistung bei gleichzeitiger Sicherung der geforderten Papierqualität und Einhaltung anderer Zielgrößen des Prozesses ist ein multivariates Optimierungsproblem. Beim schrittweisen Optimierungsvortasten in der betrieblichen Praxis oder bei Versuch-und-Irrtum-Strategien ist zwar die Wirkung auf alle betroffenen Zielgrößen präsent, um ein Optimum sicher zu erzielen, fehlt es jedoch an der Kostentransparenz. Darüber hinaus sind diese Verfahren zeitintensiv. Eine mathematische multivariate Optimierung verspricht dagegen eine schnelle rechnerische Lösung – Vorbedingung sind jedoch rechnerische Modelle für alle Zielgrößen sowie Kostenzuweisungen zu den Einfluss- und Zielgrößen. Da kaum alle Effekte veränderter Stellgrößen rechnerisch abschätzbar sind, haben mathematische Gesamtkostenoptimierungen bislang für die Papierherstellung kaum Anwendung gefunden. Nur vereinzelte Ansätze existieren [16, 17, 18]. Neben den bisherigen methodischen Begrenzungen ist die Sicht der Betriebe zu beachten: Je mehr die mathematische Methodik in den Vordergrund tritt, desto weniger stoßen die Entwicklungen in den Betrieben auf Akzeptanz. Eine multivariate rechnerische Optimierung der Thematik Entwässerung wurde mangels einer quantitativen Erfassung der Einflüsse bisher nicht angegangen.

4 Material und Methoden

4.1 Auswahl der untersuchten Papiermaschine

Untersuchte Papiermaschine Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine Langsiebmaschine, welche gefärbte Papiere aus den Rohstoffen Zellstoff und Altpapier herstellt. An verschiedenen Stellen wurden Stoff- bzw. Wasserproben entnommen, um den Wasserkreislauf charakterisieren zu können.

4.2 Laborversuche

Durchführung Zur Bewertung der Wirksamkeit von verschiedenen Retentionsmitteln wurden in mehreren Versuchsreihen Sulfatzellstoff und Altpapierstoffmischung (20 % Zellstoff/80 % Altpapier) als Fasergrundstoff eingesetzt. Zur aufgeschlagenen Faserstoffsuspension wurden nacheinander folgende Stoffe zudosiert. Der Einsatz der Additive erfolgte analog zur Papiermaschine:

- Aluminiumsulfat
 - Füllstoff (CaCO_3)
 - Harzleim
 - Kationische Stärke
 - Entwässerungsbeschleuniger (PEI bzw. PAM)
-

Randbedingungen Vor der Durchführung der Laborversuche wurden die Randbedingungen wie folgt festgelegt, um Einflüsse durch die Versuchsdurchführung weitestgehend auszuschließen:

- Stoffdichte: 0,5 %
 - Ansatzgröße: 1 l
 - Durchführung von Doppelbestimmungen
 - konstante Additiv-Einwirkzeit (10 s)
 - konstante Additiv-Dosierreihenfolge
 - konstante Temperatur (23 °C)
 - konstante Scherintensität (Rührgeschwindigkeit des DFR 04) bei 700 U/min
 - konstanter Siebtyp: Standard-Sieb (60 mesh, SR-Sieb),
 - je 4 Varianten pro Dosiermenge (3 Dosierungen und 1 Blindwert).
-

4.3 Messmethoden

Wassermenge auf dem Sieb	Die Ermittlung des Trockengehaltes der Papierbahn auf dem Sieb vor der Vakuumzone erfolgte auf Basis der Messung der auf dem Sieb befindlichen Wassermassen, aus der der Trockengehalt berechnet werden kann. Diese wurden mit Hilfe eines auf Mikrowellenbasis arbeitenden Messgerätes bestimmt, welches die über dem Sensor befindliche Wassermenge erfasst. Um den Entwässerungsverlauf entlang des Siebs abbilden zu können, wurden Kurzzeitmessungen an festgelegten Punkten am Sieb durchgeführt, welche wiederum zu Versuchsreihen zusammengefasst wurden. Pro Versuchseinstellung wurden mehrere Messreihen absolviert.
<hr/>	
Feuchtegehalt Papierbahn nach dem Sieb	Der Infrarot-Feuchtesensor IG55 BM der Firma NDC Infrared Engineering GmbH wurde zur Messung der Feuchte der Papierbahn eingesetzt. Aus Platzgründen wurde dieser nicht direkt nach dem Sieb, sondern nach der 1. Presse installiert.
<hr/>	
Mahlgrad	Zur Mahlgradmessung kam das System KajaaniMAP der Firma Metso Automation GmbH zum Einsatz. Das Gerät wurde mit zwei Messstellen verbunden. Die Messung erfolgte an folgenden Positionen: <ul style="list-style-type: none"> • Nach Egalisierrefiner (Dickstoff) • Nach Maschinenbütte, Stoff bereits mit Siebwasser nachverdünnt (Dünnstoff) <p>Die Ausgabe des Messwertes erfolgte in Canadian Standard Freeness (CSF).</p>
<hr/>	
Stoffdichte und Aschegehalt	Mit Hilfe des bei der PTS verfügbaren Gerätes Ret 20 der Firma BTG Instruments GmbH wurden direkt vor dem Stoffauflauf und im Siebwasser 1 jeweils Stoffdichte und Aschegehalt gemessen. Aus diesen beiden Parametern lässt sich die Retention berechnen und eine Aussage zur Wirksamkeit von verschiedenen Retentionsmitteln treffen.
<hr/>	
Formation	Zur Formationsmessung wurde das Gerät FMS 850 H der Firma VacuTec Messtechnik GmbH verwendet. Die Installation erfolgte aus Platzgründen nach der 3. Presse im Übergang zur Trockenpartie.
<hr/>	
pH, Leitfähigkeit, Temperatur	Zur Erkennung von Veränderungen und Charakterisierung der jeweiligen Situation im Wasserkreislauf der Papiermaschine wurden Sonden zur begleitenden Messung von pH-Wert, Leitfähigkeit und Temperatur der Firma WTW im Siebwasser 1 installiert.
<hr/>	
Weitere Parameter	Weitere Parameter wurden aus dem Prozessleitsystem der Papiermaschine exportiert sowie mit Hilfe von vorbereiteten Formularen direkt vor Ort abgelesen und notiert und aus Betriebstagebüchern entnommen.

4.4 Datenanalyse, -auswertung und Modellerstellung

Durchführung Die Software MS Excel wurde vor allem für folgende Arbeiten eingesetzt:

Datenarchivierung
Datenvorverarbeitung
Ausreißerbereinigung
Graphische Darstellung von Einzelergebnissen und Modellkurven
Übersichtstabellen
Darstellung von Kreuzkorrelationen
Statistische Datenauswertung
Modellerstellung
Güteparameter bei der Modellüberprüfung

Datenvorverarbeitung Die Datenvorverarbeitung umfasste bei der Auswertung der Daten eine Formatierung, eine Zeitrasterung sowie eine Elimination von instationären Zeiträumen und Ausreißern. Eine Berücksichtigung von Zeitverschiebungen und Totzeiten war nicht notwendig.

4.5 Methoden zur Bewertung der Modellgüte

Einleitung Zur Bewertung von Stichproben und der Güte zugehöriger Modelle wurden die Kenngrößen Variationskoeffizient, Kalibrierfehler, Bestimmtheitsmaß und Validierungsfehler ermittelt.

Variationskoeffizient Der Variationskoeffizient (VK) ist das Verhältnis aus Standardabweichung und Mittelwert einer Stichprobe und wurde mit MS Excel bestimmt.

Kalibrierfehler RMSE Zur Bewertung der Modellgüte wurde der mittlere Kalibrierfehler RMSE nach folgender Gleichung berechnet. Dieser Wert sollte möglichst klein sein.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Mit \hat{y}_i = simulierte Outputwerte,
 y_i = gemessene Outputwerte

Bestimmtheitsmaß R² Neben dem mittleren Kalibrierfehler wurde das Bestimmtheitsmaß R² (Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten) aus simulierten und gemessenen Outputwerten mit den Standardwerkzeugen MS Excel und Cornerstone ermittelt. Dieser normierte Wert sollte möglichst hoch sein und kann maximal 1 betragen.

Validierungsfehler Der mittlere Prognosefehler (Validierungsfehler) wurde anhand folgender Gleichung bestimmt. Damit wurden reale Messungen den Modell- bzw. Prognoseergebnissen gegenübergestellt. Die Modellgüte kann bewertet werden.

$$RMSEV = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (2)$$

Mit \hat{y}_i = simulierte Outputwerte,
 y_i = gemessene Outputwerte des neuen Datensatzes

Dieser Validierungsfehler wurde für verschiedene Datensätze ermittelt und ist in der Regel etwas größer als der mittlere Kalibrierfehler.

5 Datenerhebung

5.1 Vorbereitung der Betriebsversuche

Ziel und durchgeführte Arbeiten Kontinuierliche Messungen von Größen, die bislang im kontinuierlichen Betrieb nicht oder nur in geringer Messfrequenz erfasst wurden, wurden vorbereitet. Im Rahmen der Vorbereitungen wurde die Messung folgender Parameter vorbereitet:

- Entwässerbarkeit nach Maschinenbütte und vor Stoffauflauf
- Feststoff- und Aschegehalt im Stoffauflauf und Siebwasser 1
- Feuchte nach dem Sieb
- Formation
- pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur im Siebwasser 1
- Wassergehalt auf dem Sieb

Zum Einsatz kamen die unter Kapitel 4.3 genannten Messgeräte. Nach dem Aufbau wurden alle Messgeräte in Betrieb genommen und auf ihre Funktion hin überprüft sowie der Transfer der aufgezeichneten Daten sicher gestellt.

Prozessaufnahme Im Rahmen der Vorbereitungen und Organisation der Prozessaufnahmen wurde eine Basisauswertung der aufgenommenen Daten durchgeführt. Dazu wurden Gespräche mit den Verantwortlichen geführt und Pläne, bereits durchgeführte Untersuchungen sowie Angaben zum Additiveinsatz ausgewertet. Detailliert aufgenommen wurden weiterhin der Aufbau von Siebpartie und Konstantteil und die verwendeten Entwässerungselemente. Im Zuge der Diskussionen konnten die für das Projekt verfügbaren Online-Parameter herausgestellt werden. Auf Basis der gewonnenen Informationen wurden das Fließschema des Stoff-Wasser-Systems der Papiermaschine und der Dosierstellenplan der Additive erarbeitet. Bei der Prozessaufnahme wurden die Befragung und Datenübernahme für Produktion, Rohstoffeinsatz, Fahrweisen im Untersuchungszeitraum, Strukturrecherchen zur Ergänzung und Korrektur der erstellten Pläne, die Aufnahme der Additividosierung, die Probenahme und Analytik zur Charakterisierung des Stoffsystems sowie der Export und die Aufbereitung von Online-Daten durchgeführt.

Fixierte Referenzsorten

In Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner wurden zwei Sorten als Versuchssorten festgelegt.

Sorte A:

- Rohstoffkombination aus Zellstoff, CTMP und Altpapier
- 80 g/m²

Sorte B:

- 100 % Altpapier
- 60 bzw. 68 g/m²

Der wesentliche Unterschied zwischen den Sorten besteht in der eingesetzten Rohstoffkombination und im Flächengewicht, die ein jeweils unterschiedliches Entwässerungsverhalten bedingen. Damit verbunden sind auch unterschiedliche Aschefrachten und Retentionen, da bei Altpapiereinsatz bereits im Rohstoff mehr Füllstoffe enthalten sind, im Gegensatz zu zellstoffhaltigem Maschinenstoff.

Messpunkte am Sieb zur Entwässerungsmessung

Die Messstellen am Sieb waren aufgrund der baulichen Enge in diesem Bereich schwer zugänglich. Daher wurden folgende Messstellen gemeinsam mit dem Anlagenbetreiber ausgewählt, um die Aussagekraft des Entwässerungsprofils sicherzustellen.

- Messpunkt 1: nach Siebtisch
- Messpunkt 2: zwischen 9. und 10. Einzelfoil
- Messpunkt 3: nach 1. Vacufoilkasten
- Messpunkt 4: zwischen 3. Vacufoilkasten und Egoutteur
- Messpunkt 5: zwischen 7. Flachsaugkasten und Siebsaugwalze
- Messpunkt 6: nach 1. Presse

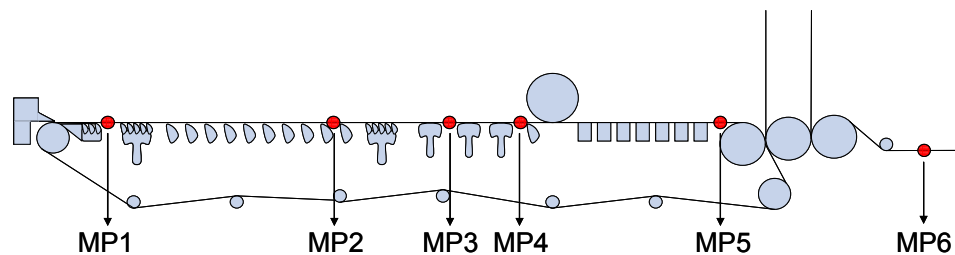


Abbildung 1: Längsschnitt der untersuchten Papiermaschine

5.2 Betriebsversuche

Parameterliste

Um eine breite Prozessparametererfassung zur Integration bisher nicht beachteter aber relevanter Einflussgrößen zu ermöglichen, wurden folgende Parameter erfasst:

Tabelle 1: Aufgezeichnete Parameter während der Betriebsversuche

V	m/min	Geschwindigkeit Poperoller	T_SW1	°C	Temperatur Siebwasser 1
FLG_a	g/m ²	Flächengewicht atro	MP1	g/m ²	Wassermenge Messpunkt 1
FLG_lu	g/m ²	Flächengewicht luro	MP2	g/m ²	Wassermenge Messpunkt 2
Feuchte_Pope	%	Feuchte Poeroller	MP3	g/m ²	Wassermenge Messpunkt 3
Dampfdruck	bar ü	Dampfdruck	MP4	g/m ²	Wassermenge Messpunkt 4
SD_Mahlung	%	Stoffdichte vor Mahlung	MP5	g/m ²	Wassermenge Messpunkt 5
DSR 1	kW	Leistung Doppelscheibenrefiner 1	Lippe	mm	Öffnung Lippe Stoffauflauf
DSR 2	kW	Leistung Doppelscheibenrefiner 2	Stauhöhe	mm	Stauhöhe Stoffauflauf
Vol_Mahlung	%	Durchfluss nach Mahlung	FS3	bar abs.	Vakuum Flachsauer 3
Vol_MaBü	l/min	Dickstoff nach Maschinenbütte	FS4	bar abs.	Vakuum Flachsauer 4
SD_DS_MaBü	%	Stoffdichte Dickstoff nach Maschinenbütte	FS5	bar abs.	Vakuum Flachsauer 5
Alaun	l/h	Menge Alaun	FS6	bar abs.	Vakuum Flachsauer 6
Leim	l/h	Menge Leim	FS7	bar abs.	Vakuum Flachsauer 7
Egalisier	kW	Leistung Egalisierrefiner	SSW	bar abs.	Vakuum Siebsaugwalze
SD_Stoff	%	Stoffdichte Stoffauflauf	PU_Haltezone	bar abs.	Vakuum Pickup Haltezone
Asche_Stoff	%	Asche Stoffauflauf	PU_Presszone	bar abs.	Vakuum Pickup Presszone
SD_SW1	%	Stoffdichte Siebwasser 1	Tensile_MD	N/15 mm	Zugfestigkeit Maschinenrichtung
Asche_SW1	%	Asche Siebwasser 1	Tensile_CD	N/15 mm	Zugfestigkeit quer
Retention_FS	%	Retention Feststoffe	CD/MD	%	CD/MD-Verhältnis / %
Retention_A	%	Retention Asche	Reiß_MD	m	Reißlänge Maschinenrichtung
CSF_MaBü		CSF Dickstoff nach Maschinenbütte	Reiß_CD	m	Reißlänge quer
CSF_Stoff		CSF Stoffauflauf	Reiß_Durchschnitt	m	Reißlänge Durchschnitt
Feuchte_1_Presse	%	Feuchte nach 1. Presse	Berst_abs.	kPa	Berstwiderstand absolut
Kontrast		Kontrast	Berst_rel.	kg/cm ²	Berstwiderstand relativ
Wolkigkeit		Wolkigkeit	Luftdurchlässigkeit	M	Luftdurchlässigkeit (Bendtsen)
Ausrichtung		Ausrichtung	Glätte_OS	ml/min	Glätte (Bendtsen) Oberseite
pH_SW1		pH-Wert Siebwasser 1	Glätte_SS	ml/min	Glätte (Bendtsen) Siebseite
LF_SW1	mS/cm	Leitfähigkeit Siebwasser 1	Cobb	g/m ²	Cobb

Vorversuche

Im Vorfeld zur ausführlichen Versuchsreihe wurden bei der vereinbarten Sorte Variationen im Bereich der Einzelfoils und der Vakufoilkästen durchgeführt und parallel alle relevanten Daten aufgezeichnet bzw. abgefragt. Die Auswertung der Messergebnisse ergab statistisch signifikante Änderungen der Parameter Trockengehalt nach 1. Presse, Formation und Retention, verursacht durch die vorgenommenen Änderungen in der Siebpartie. Das geplante Versuchsprogramm konnte somit durchgeführt werden.

Farbabhängigkeit der Messwerte

Im Rahmen der Vorversuche wurden Abweichungen von Messwerten an einzelnen Messgeräten beobachtet. Dabei wurde festgestellt, dass die optischen Messsysteme von Mahlgrad-, Stoffdichte-, Aschegehalts- und Feuchtemessung von den Farbwechseln an der Papiermaschine beeinflusst wurden. Um dieser Situation zu begegnen, wurden bei jedem Farb- und Rohstoffwechsel begleitend Proben gezogen, um die Messwerte für den jeweils speziellen Fall anpassen zu können.

Anpassung des Versuchsprogramms

Durch die Farbwechsel und die deshalb notwendige Nachführung der Kalibrierung einiger Messgeräte wurde pro Farbe ein Basiszustand aufgenommen, der als Vergleichswert für die dann anschließenden Parametervariationen diente. Innerhalb einer bestimmten Farbe konnten auf diese Weise die aufgetretenen Veränderungen bewertet werden.

Betriebsversuche

Im Rahmen der Betriebsversuche wurden umfangreiche Variationen an den Maschinenparametern durchgeführt. Variiert wurden:

- Anzahl der Foilleisten
- Anzahl der aktiven Vacufoilkästen
- Anzahl der aktiven Flachsauger
- Siebsaugwalze (an/aus)
- Stauhöhe
- Lippenspalt
- Stärkeinsatz
- Spezifische Mahlenergie Egalisierrefiner

Die Veränderung erfolgte sprunghaft, je nach veränderter Größe in unterschiedlichen Schrittweiten. Zwischen den einzelnen Veränderungen musste die Einschwingzeit des Systems auf den neuen Zustand abgewartet werden, bevor weitere Versuche erfolgen konnten. Im Vorfeld wurde mit dem Anlagenbetreiber die maximal mögliche Änderung eines jeden Parameters zur Risikominimierung diskutiert. Diese war teilweise bekannt, teilweise wurden diese im Rahmen der praktischen Versuche erarbeitet. Zur Berechnung der Einschwingzeit wurden die relevanten Rohr- und Behältervolumina ermittelt und dem Volumenstrom der Mischwasserpumpe zur Stoffdichteeinstellung am Stoffauflauf gegenübergestellt. Die experimentell ermittelte Einschwingzeit wurde vor Veränderung eines Parameters jeweils abgewartet.

5.3 Laborversuche zur Entwässerungsoptimierung

Durchgeführte Arbeiten

Die Stoffrezeptur der Papierfabrik wurde im Labor mit Originalstoff aus der Papierfabrik und den bei der Papiererzeugung eingesetzten Additiven nachgestellt, jeweils mit Zellstoff- und Altpapierstoff. Zur Vergleichbarkeit wurden die Untersuchungen zuerst mit dem reinen Stoff ohne Additive durchgeführt, im Anschluss daran dann mit der nachgestellten Rezeptur der Papierfabrik. Im Rahmen eines umfangreichen Versuchsprogramms wurden zusätzlich zwei bisher nicht eingesetzte Retentionsmittel auf Basis von Polyacrylamid (PAM) und Polyethylenimin (PEI) in unterschiedlichen Mengen zugegeben sowie kationische Stärke. Die Einflüsse auf das Entwässerungsverhalten und die Retention wurden untersucht. An Laborblättern, die mit den einzelnen Stoffmischungen gebildet wurden, wurde die Formation gemessen, um den Einfluss auf die Flockung zu untersuchen. Zur Ergänzung wurden die Ladungsverhältnisse (über den kationischen Bedarf und das Faser-Zetapotential) untersucht.

Ergebnisse

Die Untersuchungen haben ergeben, dass PEI weniger wirksam hinsichtlich Retentionssteigerung und Entwässerungsbeschleunigung ist als PAM. PAM ist besonders wirksam in der ersten Stufe der Entwässerung, aber Formation und Retention verschlechtern sich bei zu hoher Dosierung. Höhere Dosiermengen von PAM sollten wegen der Verschlechterung der Formation nicht verwendet werden. Bei zu hoher Entwässerungsgeschwindigkeit kann eine Vliesverdichtung eintreten und damit eine schlechtere Gesamt-Entwässerungsleistung. Insgesamt wurde zusätzlich eine deutliche Reduzierung des kationischen Bedarfs beobachtet. Die Verwendung kationischer Stärke steigert Retention und Entwässerungsgeschwindigkeit signifikant, der Einfluss auf die Formation ist vergleichbar mit dem von PEI. Für die Betriebsversuche wurde daher kationische Stärke als Retentionsmittel gewählt.

6 Modellerstellung und modell-unterstützte Optimierung

6.1 Modellerstellung zur Einflussprognose

Datengrundlage

Als wesentliche Datengrundlage für die Einflussprognose und Modellerstellung wurden in Papierfabrik A ca. 56 Parameter über ca. 10 Wochen erfasst. Dabei wurden die erarbeiteten Daten und weitere Daten aus dem elektronischen Speicher des Prozessleitsystems berücksichtigt. Nach der Datenvorverarbeitung standen ca. 15.000 Datensätze zur Verfügung.

Datenvorverarbeitung

Zur Datenvorverarbeitung wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Formatierung in einheitliche Tabellenformate (MS Excel)
 - Zeitkorrektur von unterschiedlichen Systemuhren und Systemzeiten (MEZ, MESZ, UTC)
 - Entfernung invalider Messwerte durch Min-Max-Blenden
 - Entfernung unplausibler Messwerte nach Durchsicht aller Trendkurven (z. B. Spike-artige Ausreißer)
 - Rasterung in ein einheitliches Zeitraster mit 10-Sekunden-Intervall: Mittelwertbildung für Parameter mit mehr als zwei Messungen pro Intervall, Interpolation für andere Parameter
 - Zuordnung von tambourbezogenen Werten zum Zeitraster
 - Zuordnung der Wassergehaltsmessungen am Sieb zum Zeitraster
 - Markierung nicht repräsentativer Zeitbereiche durch eine Zusatzvariable "ungültig", z. B. nach Abrissen und Stillständen sowie Zeiten nach starken Änderungen (manuelle Prüfung).
 - Elimination von fehlerhaft gemessenen, konstanten oder vollständig mit anderen korrelierenden Variablen.
-

Schrittweise Modellierung

Mit Hilfe einer mehrstufigen Modellierung wurden einzelne Prozessschritte unabhängig voneinander untersucht. Zur Beschreibung der Einflussgrößen entlang des Prozesses wurden unterschiedliche Modellschritte betrachtet. Der Output eines Modellschritts diente jeweils als Input des nächsten. Diese mehrstufige Modellierung stützte sich auf eine datenbasierten Modellierung der einzelnen Modellschritte. Zur Modellierung der Zielgrößen wurden die Messungen an den angegebenen Messorten und die aufgelisteten Einflussgrößen verwendet. Weitere Einflussgrößen wurden bei der Prognose der Zielgrößen nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Übersicht über einzelne Modellschritte

Einflussgrößen	Modellschritt	Zielgröße	Messort	
Rohstoffzusammensetzung, Retentionsmittel (Art, Menge)	1	Mahlgrad	Maschinenbütte	MP A
Mahlgrad an der Maschinenbütte, Egalisierrefiner (Energieeinsatz)	2	Mahlgrad	Stoffauflauf	MP B
Mahlgrad am Stoffauflauf, Einzelfoils	3	Trockengehalt	Auf Sieb	MP 2
Trockengehalt auf Sieb (MP2), Vakufoils, Flachsauger Siebsaugwalze, 1. Presse	4	Trockengehalt	Nach Sieb	MP 6
Trockengehalt auf Sieb (MP2), Vakufoils, Flachsauger	5	Trockengehalt	Nach Sieb	MP 5
Trockengehalt nach Sieb (MP5), Siebsaugwalze, 1. Presse	6	Trockengehalt	Nach Sieb	MP 6
Trockengehalt nach Sieb (MP5), Siebsaugwalze	7	Trockengehalt	Nach Sieb	

Modellschritt 1

Im Modellschritt 1 wurde der Mahlgrad am Dickstoff in der Maschinenbütte in 2 Teilschritten modelliert. Dazu wurde anhand der ermittelten Daten folgendes Modell zur Berechnung des 1. Teilschritts erstellt:

$$CSF_{MB} = 3,0907 \cdot C_{AP1} + 1,1434 \cdot C_{AP3} + 0,7512 \cdot C_{AP2} + 5,5480 \cdot C_{ZS}$$

Im zweiten Teilschritt wird zu dem so berechneten Wert noch der ΔCSF -Wert addiert. Damit konnten im Modellschritt 1 die Einflussgrößen Rohstoffzusammensetzung und Retentionsmittelzugabe berücksichtigt werden.

Modellschritt 2

Anhand der Messergebnisse von Papierfabrik A konnten die Zusammenhänge zwischen den Mahlgraden an der Maschinenbütte und am Stoffauflauf in Abhängigkeit der eingesetzten Mahlenergie am Egalisierrefiner untersucht werden. Dabei kann der Mahlgrad am Stoffauflauf sehr gut anhand des Mahlgrads an der Maschinenbütte und der Leistungsaufnahme am Egalisierrefiner nach folgender Gleichung modelliert werden:

$$CSF_{STA} = 0,7088 \cdot CSF_{MB} - 0,2673 \cdot P_{ER}$$

Einfluss des Mahlgrads auf Trockengehalt	<p>Vor der Modellierung der weiteren Modellschritte erfolgte eine grundsätzliche Untersuchung des Mahlgradeinflusses auf den Trockengehalt. Dabei zeigte sich eine grundsätzlich höhere Entwässerung nach den Einzelfoils beim Einsatz von Zellstoffen im Gegensatz zum Altpapiereinsatz. Im weiteren Verlauf der Stoffentwässerung egalisierten sich die Unterschiede teilweise zwischen den unterschiedlichen Rohstoffeinsätzen. Der Trockengehalt nach der Stoffentwässerung korrelierte sehr stark mit dem Mahlgrad am Stoffauflauf. Die Einflüsse der Foils und Sauger auf den Trockengehalt waren grundsätzlich von geringerer Bedeutung.</p>
Modellschritt 3	<p>Anhand der verfügbaren Messdaten wurden die Zusammenhänge zwischen den Mahlgraden und dem Trockengehalt auf dem Sieb am Messpunkt 2 in Abhängigkeit der eingesetzten Einzelfoils untersucht. Der Trockengehalt auf dem Sieb kann sehr gut anhand des Mahlgrads am Stoffauflauf und den eingesetzten Einzelfoils modelliert werden. Die Modellgüte wird in erster Linie durch die Genauigkeit des Messverfahrens an Messpunkt 2 bestimmt:</p> $TG_{MP2} = 0,0019 \cdot CSF_{STA} + 0,0171 \cdot n_{EF} + 0,3523$
Modellschritt 4	<p>Der Trockengehalt nach der 1. Presse kann nach Auswertung der verfügbaren Messdaten anhand des Trockengehalts auf dem Sieb sowie der eingesetzten Vacufoils, Flachsauger und Siebsaugwalze modelliert und berechnet werden. Aufgrund der Messgenauigkeit an den Messpunkten 2 und 6 konnte für diesen Modellschritt nur eine geringe Modellgüte erreicht werden. Nach der Modellierung berechnet sich der Trockengehalt nach der 1. Presse wie folgt:</p> $TG_{MP6} = 0,7111 \cdot TG_{MP2} + 0,2549 \cdot n_{VF} + 1,1733 \cdot SSW + 0,0295 \cdot n_{FS} + 34,87$
Modellschritt 5	<p>Da mit Modellschritt 4 nur eine geringe Modellgüte erreicht werden konnte, wurde die Modellierung zwischen den Messpunkten 2 und 6 alternativ in zwei Modellschritte 5 und 6 unterteilt. Der Trockengehalt an Messpunkt 5 kann dabei in Modellschritt 5 sehr gut anhand des Trockengehalts auf dem Sieb sowie der eingesetzten Vacufoils und Flachsauger nach folgender Gleichung modelliert und berechnet werden:</p> $TG_{MP5} = 6,3016 \cdot TG_{MP2} + 0,9997 \cdot n_{VF} + 0,4556 \cdot n_{FS}$
Modellschritt 6	<p>Nach Auswertung der verfügbaren Messdaten lässt sich der Trockengehalt nach der 1. Presse in der Pressenpartie (Messpunkt 6) gut anhand des Trockengehalts nach dem Sieb am Messpunkt 5 und der eingesetzten Siebsaugwalze nach folgender Gleichung modellieren und berechnen:</p> $TG_{MP6} = 0,5253 \cdot TG_{MP5} + 1,0481 \cdot SSW + 30,40$

Modellschritt 7

Da in den Modellschritten 4 und 6 bereits die 1. Presse der Pressenpartie als weitere Einflussgröße enthalten ist, wurde ein weiterer Modellschritt 7 zur Berechnung des Trockengehalts nach dem Sieb, also direkt vor der Pressenpartie erarbeitet. Dazu wurden Literaturwerte zur Entwässerungsleistung einer Siebsaugwalze recherchiert [19, 20] und mit den Ergebnissen aus Modellschritt 6 verglichen. Damit kann der Trockengehalt nach dem Sieb wie folgt modelliert und berechnet werden, wenn eine Siebsaugwalze in Betrieb ist:

$$TG_{\text{nachSSW}} = 0,6504 \cdot TG_{\text{MP5}} + 9,6155$$

Falls keine Siebsaugwalze in Betrieb sein sollte, so ist der nach Modellschritt 5 berechnete Wert TG_{MP5} dem Trockengehalt nach dem Sieb gleichzusetzen.

Gesamtmodell, Vorgehen

Um den Trockengehalt nach dem Sieb anhand aller erfassten Einflussgrößen berechnen zu können, bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten.

- Anhand der in oben stehender Tabelle dargestellten Modellschritte und der erfassten Einflussgrößen werden Zwischengrößen berechnet, die wiederum als Einflussgröße für den nächsten Modellierungsschritt dienen. Dabei werden mehrere Modellschritte hintereinander geschaltet bis die gewünschte Zielgröße berechnet wird.
- Die Zielgröße kann auch direkt anhand eines einzigen Modells berechnet werden. Dabei ist dann darauf zu achten, dass nur vollständige Datensätze zur Modellierung verwendet werden, d.h. für alle Einflussgrößen und Zielgrößen müssen Daten vorliegen oder sinnvoll abgeschätzt werden.

Im Rahmen des Projekts wurden Gesamtmodelle mit den beiden Zielgrößen Trockengehalt und Wassergehalt erstellt. Die Berechnung erfolgte dabei für Messpunkt 5 und für Messpunkt 6 nach dem Sieb. Für die weiteren Szenarienrechnungen ist eine Modellierung des Trockengehalts an Messpunkt 5 am besten geeignet, ergänzt um die Modellierung der Siebsaugwalze nach Modellschritt 7. Aus diesem Grunde werden nur die Gesamtmodelle für den Trockengehalt an Messpunkt 5 dargestellt.

Gesamtmodell, Vergleich der Modellgüte

Im Rahmen des Projekts konnten zahlreiche ein- und mehrstufige Gesamtmodelle mit einer unterschiedlichen Anzahl an Einflussgrößen, mit 2 Einflussgrößen Trockengehalt und Wassergehalt sowie für die zwei Messpunkte 5 und 6 nach dem Sieb erstellt werden. Zum Vergleich der Modelle wurde die erreichte Modellgüte, das Bestimmtheitsmaß R^2 , in Abhängigkeit der Anzahl der Einflussgrößen bewertet. In den folgenden beiden Abbildungen kann daraus abgelesen werden, welchen Einfluss die Anzahl der Einflussgrößen, die Zielgrößen Trockengehalt bzw. Wassergehalt, die betrachteten Messpunkte 5 bzw. 6, der Y-Achsenabschnitt und die Auswahl der Einflussgrößen auf die erreichte Modellgüte haben können. Die durchgezogenen Linien geben dabei jeweils einen mittleren Verlauf für die Einzelbestimmungen an. In der nachfolgenden zusammenfassenden Darstellung wurden die Einzelergebnisse nicht mehr abgebildet. Dabei entspricht $b=0$ einem y-Achsenabschnitt von 0.

Modellgüte vs. Anzahl Einflussgrößen - Messpunkt 5

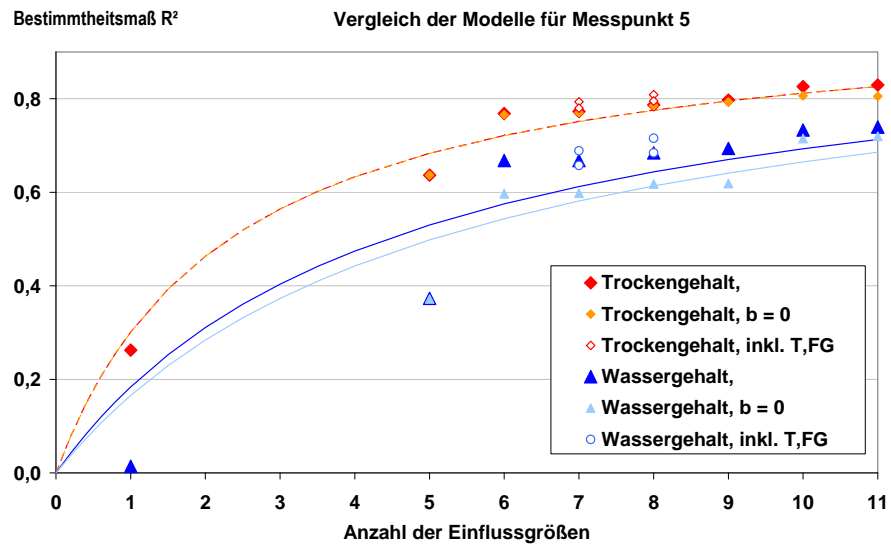


Abbildung 2. Vergleich der Modelle für Messpunkt 5

Modellgüte vs. Anzahl Einflussgrößen - Messpunkt 6

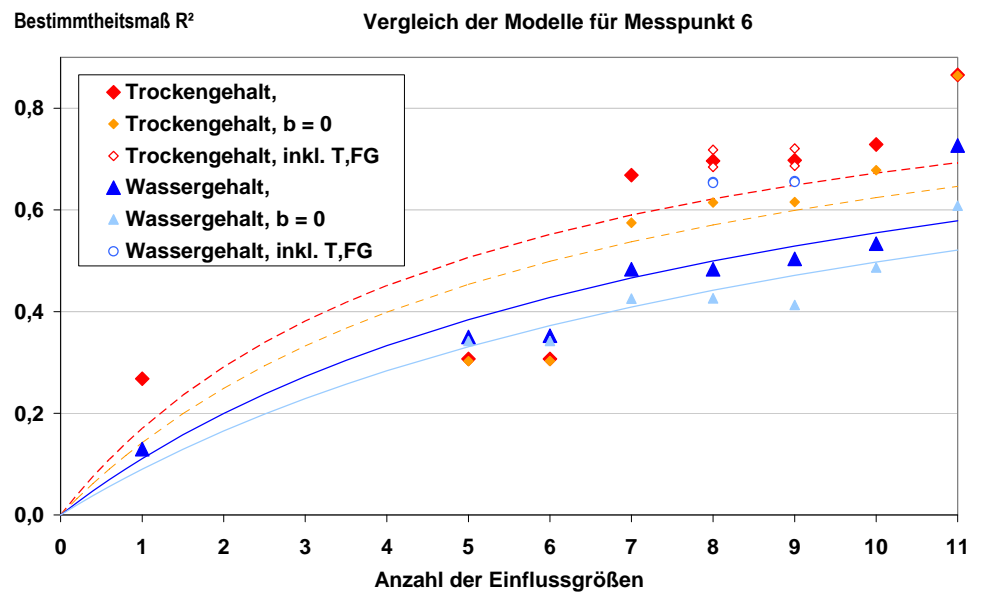


Abbildung 3: Vergleich der Modelle für Messpunkt 6

Zusammenfassung aller Ergebnisse

Zur Auswahl geeigneter Modelle lassen sich alle erzielten Modellierungsergebnisse in folgender Abbildung zusammenfassen. Die Datenpunkte mit Farbfüllung markieren dabei die Ergebnisse der mehrstufigen Modellbildung. Die Datenpunkte ohne Farbfüllung kennzeichnen 1-stufige Gesamtmodelle, bei denen die Auswahl der Einflussparameter so optimiert wurde, dass mit möglichst wenigen Einflussgrößen eine möglichst hohe Modellgüte erreicht werden konnte.

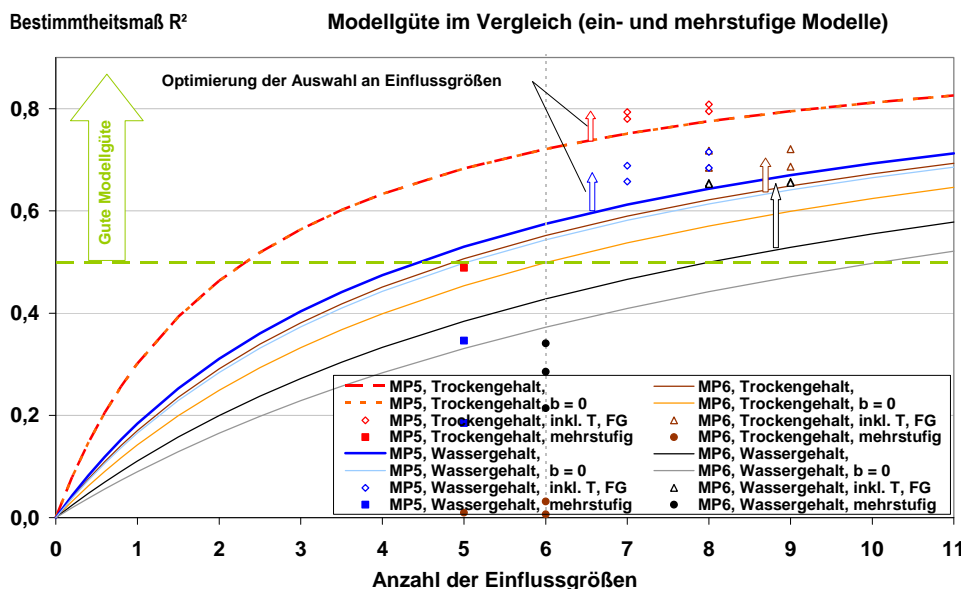


Abbildung 4: Modellgüte bei ein- und mehrstufigen Modellen

Kernaussagen

Damit lassen sich folgende Kernaussagen ableiten:

Anzahl der Einflussgrößen

Mit steigender Anzahl an Einflussgrößen verbessert sich die Modellgüte. Ab 10 Einflussgrößen ist die Verbesserung nur noch sehr gering.

Zielgröße Trockengehalt bzw. Wassergehalt

Mit dem Trockengehalt als Zielgröße lassen sich in der Regel bessere Modelle erstellen als mit dem Wassergehalt. Durch eine geschickte Auswahl an Einflussgrößen lassen sich mit dem Wassergehalt Modelle erstellen, die nahe an die Güte der Modelle mit der Zielgröße Trockengehalt heranreichen.

Messpunkt 5 bzw. 6

Für den Messpunkt 5 lassen sich bessere Modelle erstellen als für Messpunkt 6. Bei Berücksichtigung sehr vieler Einflussgrößen lassen sich auch für den Messpunkt 6 sehr gute Modelle erstellen.

Ein- bzw. mehrstufige Modelle

Nur mit einstufigen Modellen lässt sich eine Modellgüte von $R^2 > 0,5$ erreichen.

**Modellauswahl
für Szenarien-
rechnungen**

Für die Modellauswahl können unterschiedliche Kriterien ausgewählt werden. Für die Szenarienrechnungen wurden letztendlich Modelle ausgewählt die in insgesamt drei Teilschritten den Trockengehalt nach dem Sieb bzw. nach der Siebsaugwalze berechnen.

Schritt 1

Im ersten Schritt wird der Mahlgrad in der Maschinenbütte auf der Basis der Rohstoffzusammensetzung berechnet.

$$CSF_{MB} = 3,0907 \cdot c_{AP3} + 1,1434 \cdot c_{AP1} + 0,7512 \cdot c_{AP2} + 5,5480 \cdot c_{ZS}$$

Schritt 2

Anschließend wird mit einem 1-stufigen Gesamtmodell anhand des so berechneten Mahlgrads und der eingestellten Rahmenbedingungen (Refiner, Foils, Sauger, Temperatur und Flächengewicht) der Trockengehalt nach dem Sieb berechnet.

$$TG_{MP5} = 0,0141 \cdot CSF_{MB} - 0,0335 \cdot P_{ER} + 0,9971 \cdot n_{VF} + 0,4934 \cdot n_{FS} + 0,2654 \cdot T + 0,0449 \cdot FG - 9,5772$$

Schritt 3

Im letzten Schritt wird anhand folgender Gleichung der Trockengehalt nach der Siebsaugwalze berechnet.

$$TG_{nachSSW} = 0,6504 \cdot TG_{MP5} + 9,6155$$

6.2 Modell-unterstützte Optimierung**Zielgrößen**

Zur multivariaten Optimierung wurden neben dem Trockengehalt nach dem Sieb folgende relevante Zielgrößen sowie deren Sollbereiche festgelegt:

- Festigkeiten am Fertigpapier (Tensile-Index, Berstfestigkeit, CD/MD-Verhältnis)
- Farbigkeit am Fertigpapier
- Retention

Modelle

Anhand der im Projekt verfügbaren Datenbasis wurden für die festgelegten Zielgrößen - analog zum Trockengehalt nach dem Sieb - 1-stufige folgende Regressionsmodelle erstellt.

Tensile MD

$$\text{Tensile}_{MD} = 0,0248 \cdot CSF_{MB} - 0,0212 \cdot P_{ER} + 0,1194 \cdot n_{EF} - 1,5626 \cdot n_{VF} - 1,2778 \cdot n_{FS} - 0,0351 \cdot T + 0,8772 \cdot FG + 3,8851$$

Tensile CD

$$\text{Tensile}_{MD} = 0,0079 \cdot CSF_{MB} - 0,0308 \cdot P_{ER} - 0,1051 \cdot n_{EF} - 0,7153 \cdot n_{VF} - 0,9214 \cdot n_{FS} - 0,0317 \cdot T + 0,3239 \cdot FG + 10,1192$$

Berstfestigkeit

$$\text{Berstfestigkeit} = 0,0835 \cdot CSF_{MB} - 0,0000 \cdot P_{ER} + 0,6369 \cdot n_{EF} - 30,7498 \cdot n_{VF} - 17,8777 \cdot n_{FS} - 4,2366 \cdot T - 3,1285 \cdot FG + 581,5019$$

Farbigkeit

$$\text{Farbigkeit} = 0,01 \cdot c_{AP3} + 0,0661 \cdot c_{AP1} + 0,028 \cdot c_{AP2} + 0,0 \cdot c_{ZS}$$

Retention

$$\text{Retention} = 0,0002 \cdot \text{CSF}_{\text{MB}} + 0,0002 \cdot \text{P}_{\text{ER}} + 0,0001 \cdot \text{n}_{\text{EF}} + 0,0111 \cdot \text{n}_{\text{VF}} \\ - 0,0109 \cdot \text{n}_{\text{FS}} - 0,0140 \cdot \text{T} + 0,0043 \cdot \text{FG} + 0,8776$$

Zur Prognose der ausgewählten Zielgrößen wurden die oben genannten Modelle zu einem Simulationsmodell in MS Excel zusammengestellt. Nach dem Sieb wurde in der Pressenpartie eine konstante Trockengehaltserhöhung vorgegeben. Der gewünschte Trockengehalt im Fertigpapier wurde im Modell ebenfalls vorgegeben. Mit dem Simulationsmodell wurden unter Vorgabe von Rahmenbedingungen dann Szenarien- und Optimierungsrechnungen durchgeführt.

Kostenmodellierung

Für jede Szenarienrechnung wurde eine entsprechende Kostenrechnung in MS Excel durchgeführt. Dazu wurden die dazu notwendigen Stoffströme anhand eines einfachen Bilanzmodells in MS Excel berechnet. Bei den Entwässerungsaggregaten wurden mit dem Simulationsmodell der Energieverbrauch und daraus der entsprechende Strom- bzw. Dampfverbrauch bestimmt. Die so ermittelten Stoffströme, Strom- und Dampfverbräuche wurden dann mit den entsprechenden Kostenfaktoren multipliziert. Zusätzlich mussten einzelne Kosten (z. B. Investitionen) händisch bei den einzelnen Verfahrensoptionen berücksichtigt werden. Für jedes Szenario wurden Gesamtkosten und folgende Einzelkosten getrennt ausgewiesen:

- Rohstoffe
Es wurden mittlere Rohstoffkosten für Anfang 2010 recherchiert.
- Energie
Für die Berechnung der Energiekosten wurden Energieverbräuche der einzelnen Prozessstufen berechnet bzw. aus Untersuchungsdaten entnommen. Für Foils, Sauger und die Erwärmung des Faserstoffes wurden die Werte anhand von Praxisuntersuchungen abgeleitet.
- Chemikalien
Die Kosten für den benötigten Chemikalieneinsatz wurden der PTS-Datenbank entnommen.
- Investitionen
Ausgehend von Daten, die über Angebotskosten für verschiedene Aufbereitungsanlagen an der PTS erfasst werden konnten, wurden die Investitionskosten für jedes einzelne Aggregat berechnet. Dabei wurde ein 100 %iger Aufschlag für weitere Kosten (wie z. B. E-MSR, Umbau u.a.), eine Abschreibungszeit von 5 Jahren und ein Zinssatz von 10 % berücksichtigt.

Für die Kostenmodellierung wurden aktuelle Daten für die einzelnen Kostentypen recherchiert. Aus den recherchierten Ergebnissen wurden marktübliche Werte für alle wesentlichen Kostenfaktoren abgeleitet.

Bei der vergleichenden Ergebnisdarstellung wird grundsätzlich der Differenzbetrag zu den Kosten des IST-Zustands ausgewiesen.

**Szenarien-
definition**

Auf der Basis der dargestellten Modelle und des Simulationsmodells wurden Szenarien definiert, die mit Hilfe des Prozessmodells umgesetzt wurden.

IST-Zustand

Im Referenzprozess S0 wurde ein durchschnittlicher IST-Zustand für eine Papierfabrik abgebildet. Dabei wurden 100.000 t/a Altpapier eingesetzt. AP2 und AP3 wurden zu je 50 % eingesetzt. Der Rejektanfall für das gesamte Werk betrug 10 %. Der Frischwassereinsatz wurde auf 18 l/kg eingestellt. Der Egalisierrefiner wurde ausgeschaltet, die Siebsaugwalze war in Betrieb. 9 Einzelfoils, 3 Vakufoils und 5 Flachsauger waren im Einsatz. Die Temperatur betrug 30°C, das Flächengewicht 60 g/m².

Altpapier

Um den grundsätzlichen Einfluss des Rohstoffeinsatzes bewerten zu können, wurden bei den Szenarienrechnungen vier unterschiedliche Rohstoffzusammensetzungen an AP1, AP2, AP3 und Zellstoff (ZS) simuliert.

Refiner

In weiteren Berechnungen wurde der Einfluss des Refiners bei 30, 100 und 200 kWh/t berechnet.

Einzelfoils

Um den Einfluss der Einzelfoils zu untersuchen, wurden sie bei einer Szenarienrechnung ausgeschaltet.

Vakufoils

Analog zu Einzelfoils.

Flachsauger

Analog zu Einzelfoils.

Temperatur

Für unterschiedliche Temperaturen wurden die Auswirkungen auf den Trockengehalt und die damit verbundenen Kosten berechnet. In einem weiteren Schritt wurde die gewünschte Temperaturerhöhung im System durch eine Frischwasserreduktion und eine damit verbundene Wasserkreislaufschließung realisiert. Dabei konnte durch eine 50 %ige Frischwasserreduktion eine maximale Temperatur von 44 °C erreicht werden. Durch Optimierungsrechnungen konnten für eine Temperatur von 40°C der Trockengehalt am Messpunkt 5 maximiert bzw. die Gesamtkosten minimiert werden.

Siebsaugwalze

Um den Einfluss der Siebsaugwalze bewerten zu können, wurde sie bei einer Szenarienrechnung ausgeschaltet.

Optimierung

In drei weiteren Optimierungsrechnungen (Opt.4, Opt.5 und Opt.6) wurden Trockengehalt an Messpunkt 5 bei gleich bleibenden Kosten maximiert bzw. Kosten bei gleich bleibendem Trockengehalt an Messpunkt 5 minimiert. Dabei konnten alle Einstellgrößen verändert werden.

Szenarienübersicht

Die im Bericht dargestellten Szenarienrechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Die bei den Optimierungsrechnungen veränderbaren Parameter sind mit einem „x“ gekennzeichnet.

Tabelle 3: Szenarienübersicht

Szenarienkonzpt	Nr.	Optimierung		Einstellungen und Szenariendefinition														
		TG an MP5	Kosten	Altpapier				ER	EF	VF	FS	Temp	FG	SSW	spez. FW	Red. FW	PEI	PAM
				AP1	AP2	AP3	ZS	kWh/t	n	n	n	°C	g/m ²		l/kg	%	%	%
Ist-Zustand	S0			0	50	50	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
Altpapier	S1.1			0	50	50	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
	S1.2			0	70	30	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
	S1.3			30	0	70	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
	S1.4			60	0	0	40	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
Refiner	S2.1			0	50	50	0	30	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
	S2.2			0	50	50	0	100	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
	S2.3			0	50	50	0	200	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0
Einzeifolis	S3			0	50	50	0	0	3	5	30	60	on	18	0	0	0	
Vakufolis	S4			0	50	50	0	0	9	0	5	30	60	on	18	0	0	0
Flachsauger	S5			0	50	50	0	0	9	3	0	30	60	on	18	0	0	0
Temperatur	S6.1			0	50	50	0	0	9	3	5	35	60	on	18	0	0	0
	S6.2			0	50	50	0	0	9	3	5	40	60	on	18	0	0	0
	S6.3			0	50	50	0	0	9	3	5	35	60	on	13,5	25	0	0
	S6.4			0	50	50	0	0	9	3	5	40	60	on	13,5	25	0	0
	S6.5			0	50	50	0	0	9	3	5	44	60	on	9	50	0	0
	Opt.1	Max	Δ 0	0	50	50	0	0	9	3	5	40	60	on	x	x	0	0
	Opt.2	Max	Δ 0	0	x	x	0	0	9	3	5	40	60	on	x	x	0	0
Opt.3		Min	0	x	x	0	0	9	3	x	40	60	on	x	x	0	0	
Flächengewicht	S7			0	50	50	0	0	9	3	5	30	100	on	18	0	0	0
Siebsaugwalze	S8			0	50	50	0	0	9	3	5	30	60	out	18	0	0	0
Retentionmittel	S9.1			0	50	50	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0,1	0
	S9.2			0	50	50	0	0	9	3	5	30	60	on	18	0	0	0,1
Optimierung	Opt.4	Max	Δ 0	x	x	x	0	0	x	x	x	30	60	on	x	x	x	x
	Opt.5	Δ 0	Min	x	x	x	0	0	x	x	x	x	60	on	x	x	x	x
	Opt.6	Δ 0	Min (Energiekosten)	x	0	0	0	0	x	x	x	x	60	on	x	x	x	x

Rechnerische Optimierung

Zur rechnerischen Optimierung wurden wie bei den Szenarienrechnungen alle relevanten Stellgrößen mit Kosten hinterlegt. Bei den Optimierungsrechnungen wurden darüber hinaus die erlaubten Bereiche der Zielgrößen als Nebenbedingungen (Constraints) formuliert. Dazu wurden mit wenigen Ausnahmen der Tensile-Index auf 48 - 52 N/15mm, die maximale Frischwasserreduzierung auf 50 %, die Farbigeit auf <1,9 und der erlaubte Temperaturbereich auf 25 – 50°C beschränkt. Zur rechnerischen Optimierung wurde der Solver in MS Excel genutzt.

Ergebnisse der Szenarienrechnungen

Ausgehend von den Rahmenbedingungen werden mit den berechneten Verfahrenskonzepten folgende Trockengehalte am Stoffauflauf, nach dem Sieb (Messpunkt 5), nach der Siebsaugwalze, nach der Pressenpartie und im Fertigpapier erreicht:

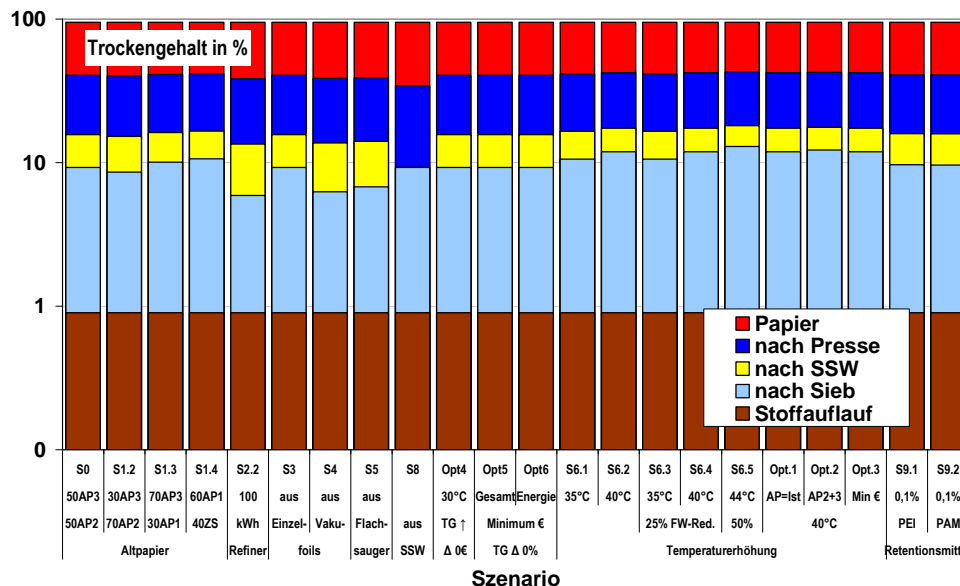


Abbildung 5: Prognostizierte Trockengehalte bei verschiedenen Verfahrenskonzepten

Für folgende Parameter wurden die Simulationsergebnisse berechnet:

- Temperatur im Siebwasser
- Festigkeit am Fertigpapier
- Farbigkeit im Fertigpapier
- Retention
- Entwässerbarkeit an der Maschinenbütte
- Trockengehaltsprofil
- Spezifische Frischwassermenge

**Energiekosten-
änderungen bei
verschiedenen
Verfahrenskon-
zepten**

Mit der hinterlegten Kostenbasis können für die einzelnen Verfahrensoptionen folgende Änderungen der Energiekosten zum Ist-Zustand ausgewiesen werden. Hier fallen die nennenswerten Einsparungen der Trocknungskosten bei den Optionen mit Temperaturerhöhung im Kreislaufwasser ins Auge. Dabei ist dann zu berücksichtigen, dass zusätzliche Kosten durch Erwärmung des Faserstoffes und des Wassers aufzubringen sind.

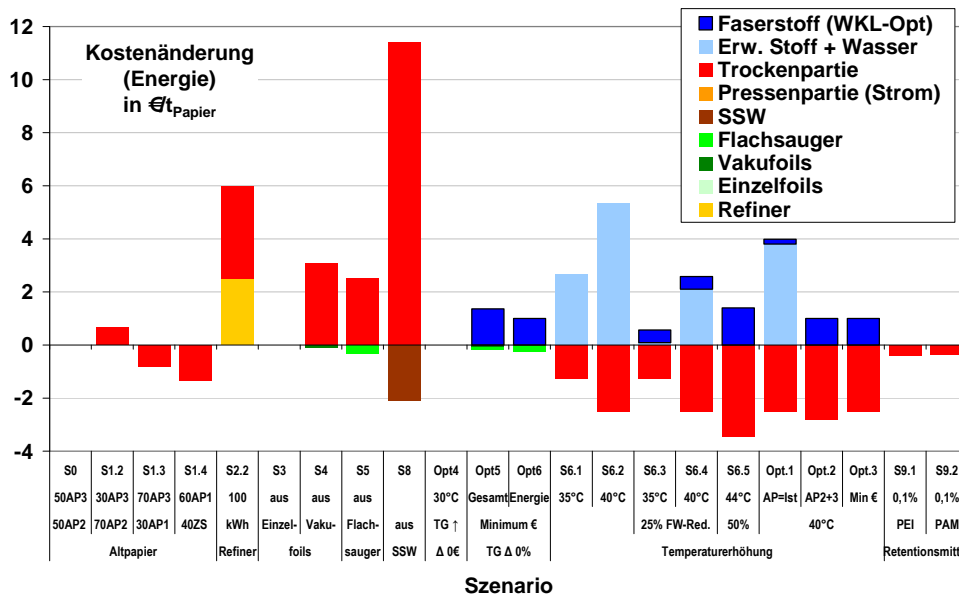


Abbildung 6: Energiekostenänderungen bei verschiedenen Verfahrenskonzepten gegenüber dem definierten Ist-Zustand

**Gesamtkosten-
änderungen bei
verschiedenen
Verfahrenskon-
zepten**

Werden alle Kostenfaktoren betrachtet, so ergeben sich folgende Gesamtkostenänderungen bei den verschiedenen Verfahrenskonzepten:

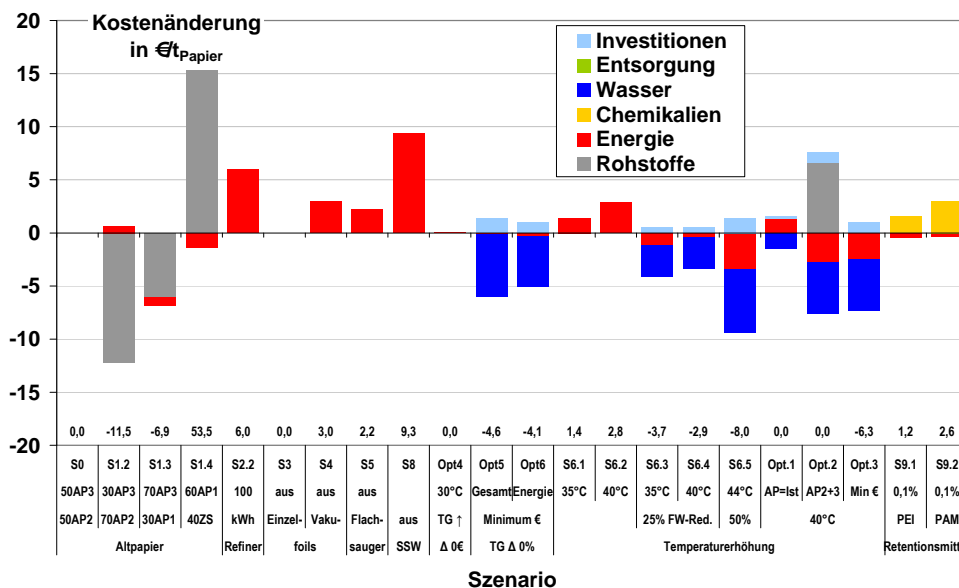


Abbildung 7: Gesamtkostenänderungen bei verschiedenen Verfahrenskonzepten gegenüber dem definierten Ist-Zustand

Vergleich der Konzepte

Zur Bewertung der Szenarien wurden in Abbildung 8 die Kostenänderungen den erreichten Trockengehalten nach dem Sieb gegenübergestellt. Dabei wurde die Änderung des Trockengehaltes gegenüber dem Ist-Zustand S0 in % ausgewiesen.

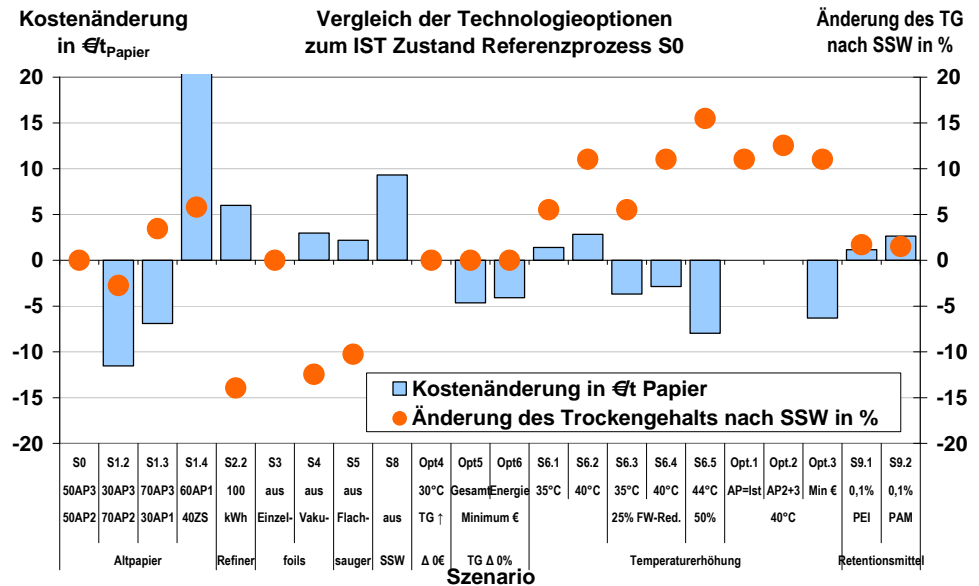


Abbildung 8: Kostenänderungen bei verschiedenen Verfahrenskonzepten gegenüber dem definierten Ist-Zustand

Vergleich der Technologieoptionen

Zum Vergleich der Technologieoptionen eignet sich auch eine x-y-Darstellung mit 4 Quadranten. Dabei sollten favorisierenden Technologieoptionen im linken oberen Quadranten liegen, da hier Kosten eingespart werden und der Trockengehalt erhöht wird.

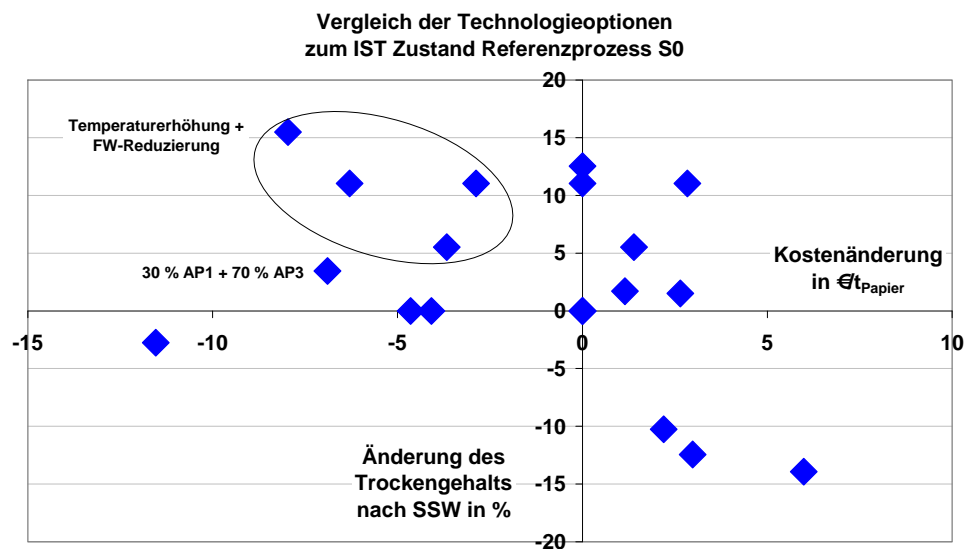


Abbildung 9: Vergleich der Technologieoptionen

Bewertung der Technologieoptionen

Folgende Ergebnisse werden bei den Szenarienrechnungen erreicht, wenn nur eine Einstellgröße verändert wird:

Rohstoffe (Faserstoffe)

Die Szenarienrechnungen zeigen, dass beim Einsatz geeigneter Altpapiersorten Kosten eingespart und der Trockengehalt erhöht werden kann. Dabei können mit der Auswahl an Rohstoffen die größten Kostenänderungen im Vergleich zu den anderen Kostenfaktoren erreicht werden. Durch die Auswahl des Rohstoffes werden darüber hinaus in hohem Maße Fertigpapiereigenschaften, z. B. Festigkeiten, Farbigkeit, beeinflusst, so dass bei der Optimierung der Rohstoffauswahl neben dem Trockengehalt nach dem Sieb weitere Zielgrößen zu berücksichtigen sind.

Refiner

Durch das Einschalten des Refiners entstehen zusätzliche Energiekosten. Der Trockengehalt wird deutlich verschlechtert.

Einzelfoils

Der Einsatz von Einzelfoils ist kostenneutral. Der Trockengehalt nach dem Sieb wird nur geringfügig verschlechtert

Vakufoils

Durch das Abschalten von Vakufoils wird auf der einen Seite Stromenergie zur Erzeugung des Vakuums eingespart. Auf der anderen Seite muss der nach dem Sieb geringere Trockengehalt durch Trocknungsenergie wieder auf den geforderten Trockengehalt im Fertigpapier erhöht werden. Dies ist insgesamt mit zusätzlichen Energiekosten verbunden.

Flachsauger

Hier besteht eine ähnlich Situation wie bei den Vakufoils. Der Effekt ist jedoch etwas schwächer.

Temperatur

Das Aufheizen des Faserstoffes führt zu einer deutlichen Erhöhung des Trockenhalts nach dem Sieb. Durch eine 25% bzw. 50%ige Reduzierung des Frischwasserbedarfs und einer damit verbundenen Kreislaufwasserschließung kann diese Temperaturerhöhung bei einer Verringerung der Gesamtkosten erreicht werden. Durch eine Optimierungsrechnung Opt.1 konnte festgestellt werden, dass die Temperaturerhöhung auf 40°C bei gleichbleibenden Kosten und gleichbleibenden Altpapier Einsatz mit einer Frischwasserreduzierung von 12,6 % erreicht werden. Bei einer Optimierungsrechnung Opt.2 können die Gesamtkosten ebenfalls neutral gehalten werden. Durch eine größere Frischwasserreduzierung und eine Optimierung des Rohstoffeinsatzes kann darüber hinaus die Farbigkeit des Fertigpapiers verbessert werden. Die dritte Optimierungsrechnung zeigt, dass bei gleich bleibender Rohstoffauswahl durch Frischwasserreduzierung die Kosten um maximal 6,3 €/t_{Papier} reduziert werden können.

Siebsaugwalze

Analog zu Vakufoils und Flachsauger

Optimierungsrechnungen

Drei weitere Optimierungsrechnungen zeigen Effekte, wenn alle Einstellgrößen veränderbar sind. Optimierungsrechnung 4 zeigt, dass bei gleich bleibenden

Kosten keine weitere Möglichkeit besteht, den Trockengehalt nach dem Sieb zu erhöhen, wenn Farbigkeit und Festigkeit dem IST-Zustand entsprechen sollen. Die Optimierungsrechnungen 5 und 6 zeigen Energie- bzw. Gesamtkosteneinsparungen bei gleich bleibendem Trockengehalt nach dem Sieb. Die Constraints wurden dabei so eingestellt, dass die Festigkeit auf 55 N/15mm erhöht werden konnte und die Farbigkeit bei 1,9 lag.

7 Verallgemeinerung der Prozesskenntnisse

Verallgemeinerbare Erkenntnisse Im Rahmen der Datenerhebungen, Auswertungen und Modellierungen konnten verallgemeinerbare Erkenntnisse erarbeitet werden:

Beeinflussung des Trockengehaltes:

- Durch Variationen an Einzelfoils, Vacufoils und Flachsaugern lässt sich die entzogene Wassermenge variieren. Insgesamt ist der Einfluss auf den Trockengehalt jedoch gering. Diese Entwässerungselemente sollten unter Berücksichtigung der Formation immer auf eine maximale Entwässerungsleistung eingestellt werden.
 - Sortenrezepturen mit höherem Zellstoffanteil haben im Bereich der Blattbildungszone eine höhere Entwässerung bedingt durch den geringeren Mahlgrad. Im weiteren Verlauf des Siebes egalisiert sich dieser Einfluss jedoch zwischen unterschiedlichen Rezepturen. Der Mahlgrad hat den deutlichsten Einfluss auf die Entwässerung.
 - Höhere Temperaturen des Wasserkreislaufes begünstigen eine Entwässerung und somit eine Trockengehaltssteigerung.
 - Durch Aufnahme von Datenreihen der Parameter Temperatur, Leitfähigkeit, Aschegehalt am Stoffauflauf, Ascheretention und Flächengewicht kann eine signifikant höhere Modellgüte erreicht werden.
 - Das Projekt hat gezeigt, dass selbst eine wenig automatisierte Anlage eine Optimierung ermöglicht. Ein hoher Automatisierungsgrad liefert detailliertere Informationen über den Prozesszustand und erleichtert so eine Optimierung.
-

8 Synthese des Gesamtvorgehens

Entwicklung der Methodik Die Entwicklung eines übergreifenden Bewertungs- und Prognoseverfahrens zur Optimierung der Entwässerung am Nassteil von Papiermaschinen erfolgte anhand von Prozessanalysen in der beschriebenen Papierfabrik. Die Prozessanalyse wurde auf Basis eines eigens für diese Fragestellung entwickelten Schemas durchgeführt, welches im Laufe der Vor-Ort-Untersuchungen fortlaufend angepasst und verfeinert wurde. Im Rahmen des Projektes und der Systemaufnahmen wurden in der Papierfabrik A alle notwendigen Elemente hinsichtlich der Prozessaufnahme und -bewertung sowie der Modellierung des Trockengehaltes nach dem Sieb entwickelt. Auf der Basis der durchgeführten Untersuchungen wurde eine endgültige Methodik zur Bewertung und Optimierung der Entwässerung festgelegt.

Zusammenstellung des Vorgehens zur Entwässerungsoptimierung

Zur Durchführung der Optimierung der Entwässerung sind folgende Arbeiten notwendig und wurden in die standardisierte Vorgehensweise aufgenommen:

- Übermittlung von R+I-Fließbildern durch die Papierfabrik
- Erstellung Prozessschema, Festlegung der Probenahmestellen und -parameter
- Erstellen einer Liste mit vorhandenen Messstellen (On-/Offline)
- Erfassung der veränderbaren Stellgrößen und der Dokumentierbarkeit von Änderungen
- Festlegung und Durchführung von Vorversuchen
- Festlegung von Betriebsversuchen
 - Zu ändernde Größen
 - Maß der Änderung und Anzahl der Änderungen
 - Definition von Maximalwerten für die Änderung und Risikoabschätzung bei Prozessänderungen
 - Versuchs- und Messplan
- Definition der Qualitätsparameter
- Durchführung der Prozessaufnahme im abgesprochenen Zeitraum (Systemaufnahme)
 - Aufnahme der Messreihen zur Entwässerung am Sieb
 - Parallele Aufnahme von Maschinendaten (z. B. Geschwindigkeit, Grammat, Stauhöhe, Lippenspalt, Vakuumniveau, Dampfverbrauch, pH, Leitfähigkeit, Qualitätsparameter usw.)
 - Abfrage Daten aus Stoffaufbereitung (Rohstoffqualität, Sortenrezeptur, Mahlgrad, Refinerfahrweisen, ...)
 - Abfrage weiterer wichtiger Daten (auch historisch)
 - Diskussion mit den Verantwortlichen vor Ort zu Fahrweisen und aufgabenbezogenen Betriebsproblemen
 - Probennahme an allen im Probenahmeplan festgelegten Stellen
 - Laboranalyse der gezogenen Proben
- Datenaufbereitung
- Analyse und Auswertung der gewonnenen Daten
 - Erstellung der Entwässerungsprofile
 - Herausarbeiten von Sortenspezifika
 - Durchführung von Korrelations- und Regressionsanalysen
 - Erstellung von Stoff-Wasser-Bilanzen
- Modellierung der Entwicklung der Entwässerung bei verschiedenen Parametervariationen mit Hilfe des entwickelten Tools
- Erarbeitung von Optimierungskonzepten für die beteiligte Papierfabrik
 - Ableitung von Maßnahmenplänen
 - Kostenrechnungen
 - Überprüfung und Bewertung der Anwendbarkeit und des Nutzens durch Diskussion mit den Verantwortlichen vor Ort
 - Erstellung des Abschlussberichtes

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlicher Nutzen

Mit Hilfe der erarbeiteten Modelle wurden unterschiedliche Optimierungsszenarien zur Erhöhung des Trockengehaltes entworfen und hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Auswirkungen bewertet. Die Kostenrechnungen wurden mit üblichen Preisen zu Energie, Rohstoffen etc. hinterlegt. Sie können nach Bedarf entsprechend angepasst werden.

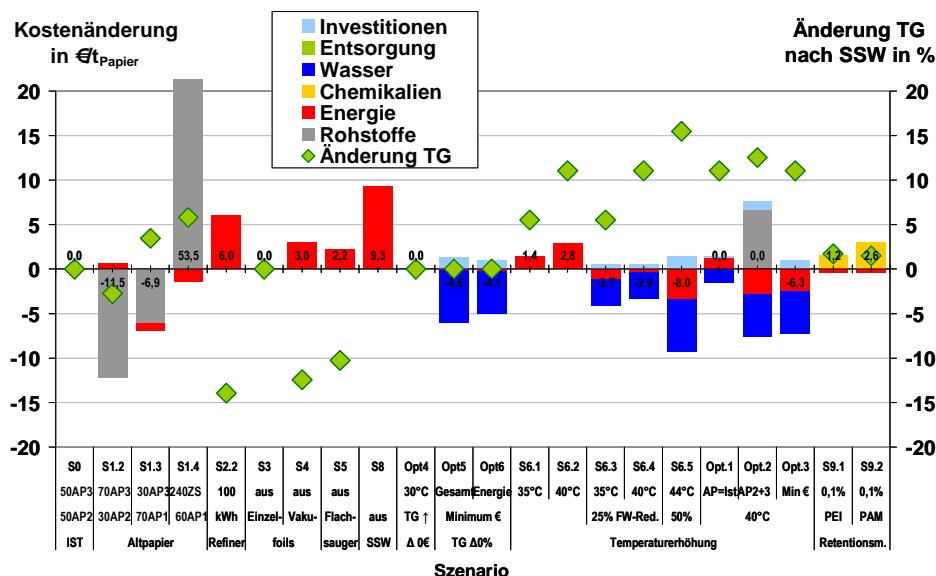


Abbildung 10: Ergebnisse der Optimierungsrechnungen

Die Optimierungsrechnungen zeigen für den gegebenen Fall, dass eine Erhöhung des Trockengehaltes nach SSW z. B. durch eine geeignete Auswahl des Rohstoffes erreichbar ist. Die Kosten können auch durch Auswahl eines geeigneteren Rohstoffes reduziert werden, abzüglich des etwas höheren notwendigen Energiebedarfes in der Trockenpartie durch die schlechtere Entwässerung. Ausgewählte Produkteigenschaften wurden in die Berechnungen mit einbezogen. Vielversprechend sind weiterhin Szenarien, die eine Temperaturerhöhung im Wasserkreislauf durch Reduzierung des Frischwassereinsatzes beinhalten. Hier wurden die größten Einsparungen erreicht, je nach Umfang der Reduzierung des Wassereinsatzes. Den Einsparungen an Energie, z. B. durch Wegfall oder Reduzierung der Siebwasserheizung, und den wegfallenden Kosten für Wasserförderung und -aufbereitung sowie Abwasserbehandlung stehen Investitionen zur Frischwasserverbrauchsreduzierung gegenüber, z. B. neue Spritzdüsen, sperrwasserlose Dichtungen etc. Die Entwicklung der Qualität des Kreislaufwassers muss jedoch beachtet werden, um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können. Da bei den betrachteten Szenarien die derzeitige Temperatur auf maximal 44°C erhöht wird, sind im Hinblick auf einen erweiterten Arbeitsschutz keine weiteren Maßnahmen notwendig. Die Szenarienrechnungen ergaben theoretische Einsparungen (nach Abzug von Investitionen) von bis zu 8 €/t. Kann die Produktionskapazität erhöht werden (Überwindung einer Trocknungslimitierung) ergeben sich noch höhere finanzielle Nutzen. Mit Hilfe der entwickelten Modelle kann innerhalb vorgegebener Grenzen das beste Szenario ermittelt werden.

10 Schlussfolgerung

Konzept und Prognoseverfahren

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Prognoseverfahren entwickelt, das bislang noch nicht zur Verfügung stand. Bisher war die Prognose des Trockengehaltes nach dem Sieb aufgrund von Daten aus dem Konstantteil und vorgelagerten Anlagenteilen der Siebpartie nicht möglich.

Für die Prognose des Trockengehaltes konnten datenbasierte Modelle erstellt werden, die bislang nicht zur Verfügung standen.

Anhand von verschiedenen Modellen und Szenarien konnte die optimale Datenzusammenstellung gefunden werden, die eine höchstmögliche Modellgüte gewährleistet.

Durch die Implementierung der Kostenmodellierung konnte eine praxistaugliche Bewertung der Einflüsse der Trockengehaltsänderung auf die Kosten gewährleistet werden. Die Kostenmodellierung wurde um die Angaben zu Energiekosten für einzelne Anlagenteile oder Zustandsänderungen, wie z. B. Erhöhung der benötigten Trocknungsenergie, höhere Maschinengeschwindigkeit, Variation der Vakuumpkapazität etc. erweitert.

Anwendungsbe- reiche

Der Einsatz der entwickelten Vorgehensweise zur Prozessanalyse als Basis für die Prognostizierung des Trockengehaltes nach Sieb ist prinzipiell auf alle Papierfabriken anwendbar. Eine Übertragung des erstellten Modells auf andere Papierfabriken ist bei vergleichbarer Anlagenkonfiguration und nach geeigneter Kalibrierung ebenfalls möglich. Die Anwendung der erarbeiteten Tools eignet sich insbesondere für:

- Simulation einer kostensparenden Erhöhung/Einstellung des Trockengehaltes nach Sieb
- Simulation einer modifizierten Rohstoffkombination oder einer Reduzierung des Frischwassereinsatzes im Hinblick auf die Prognose des zu erwartenden Trockengehaltes und Kostenänderung
- Simulation der Auswirkungen einer Änderung anderer Prozessparameter im Hinblick auf den zu erwartenden Trockengehalt und Kostenänderung

Ansprechpartner für weitere Informationen

Dipl.-Ing. Björn Zimmermann
Tel. 03529 / 551-687
bjoern.zimmermann@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau
Tel. 03529 / 551-60
Fax 03529 / 551-899

e-Mail: info@ptspaper.de
www.ptspaper.de

Literatur

- 1 MÜLLER J.
Entwicklungsimpulse bei Papiermaschinen
Wochenblatt für Papierfabrikation 7, 338–342 (2008)
- 2 SCHUWERK W., ENGSTLER E.
Value + Komponenten zur Steigerung der Leistungskurve Ihrer Papiermaschine
Wochenblatt für Papierfabrikation 11–12, 694–699 (2008)
- 3 PETTERSSON H.
Energiekontrolle und Möglichkeiten zur Energieeinsparung mit Hilfe von Ventilationssystemen
Wochenblatt für Papierfabrikation 7, 319–325 (2007)
- 4 KERSHAW C.
Strukturgebundene Formationssiebe (SSB Siebe)
Wochenblatt für Papierfabrikation 11–12, 608–612 (2007)
- 5 EBERHARDT M.
Faster – better – more efficient: The increasing influence of clothing
ipw – Das Papier 6, 21–22 (2007)
- 6 SCHUIVENS P., KORTELAJNEN P.
HiSpeed – Eine neue Generation SSB-Nasssiebe für schnelllaufende Papiermaschinen
Wochenblatt für Papierfabrikation 8, 375–379 (2007)
- 7 METSO PAPER – 30 Jahre in Deutschland, Interview mit P. Palovaara
Wochenblatt für Papierfabrikation Nr. 11–12, 568–572 (2007)
- 8 MÜLLER H., TURPEINEN H. et al.
Optimale Bedingungen in der Nasspartie zur Erzielung hoher Festigkeiten für Wellpappenrohapiere
Wochenblatt für Papierfabrikation 11–12, 574–590 (2007)
- 9 VITZTHUM U.
Online-Messung und Regelung im Wet End: Retention und Ladung
In: Wet-End-Prozesse Modul 4: Optimierung von Retention, Entwässerung und Formation
W. Dietz, C. Mannert (Hrsg.)
München: (PTS), (2008)
PTS-Manuskript: PTS-MS 844
- 10 RASER P. et al.
Effizienter Chemikalieneinsatz bei Linerboard
Allgemeine Papier Rundschau (apr) 11, 17-20 (2006)
- 11 ROSCHY A., FISCHER K., KLEEMANN S.
Vergleich moderner Wet-End-Methoden zur Bestimmung von Entwässerung und Retention im Labormassstab
Wochenblatt für Papierfabrikation 130:18, 1187–1196 (2002)
- 12 HUBBE M.A.
Selecting laboratory tests to predict effectiveness of retention and drainage aid programmes
Paper Techn. 44:8, 20–34 (2003)

- 13 LOBOSCO V.
On the modelling of mechanical dewatering in papermaking
PhD thesis, Department of Fibre and Polymer Technology,
Royal Institute of Technology, Sweden (2004)
- 14 SCHWARZ M.
Stabilität vor dem Stoffauflauf,
Allgemeine Papier Rundschau (apr) 128:6, 14–17 (2004)
- 15 BECK M. W.
The importance of paper machine process control and wet end stability,
1997 Engineering & Papermakers Conference, Book 2, TAPPI Press, Atlanta, 593–598 (1997)
- 16 DABROS M., PERRIER M. et al.
Improving the broke recirculation strategy in a newsprint mill
Pulp and Paper Canada 105:4, 45–48 (2004)
- 17 HUBER P., PIERRE C., BERMOND C., CARRÉ B.
Comparing the fiber flocculation behavior of several wet-end retention systems
Tappi J. 3:4, 19–24 (2004)
- 18 DIETZ W., HAMM U.
Geschlossene Wasserkreisläufe unter besonderer Betrachtung des Betriebsaufwandes
Abschlussbericht des VDP-INFOR-Projekts Nr. 74, VDP, Bonn (2006)
- 19 N.N.
papermaker, Homepage 2010
- 20 N.N.
DuoFormer Base II bringt die Zukunft näher
in: Voith twogether 10-06

www.ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung

PTS in München: Heßstraße 134 · 80797 München · Telefon +49 (0)89-12146-0 · Telefax +49 (0)89-12146-36

PTS in Heidenau: Pirnaer Straße 37 · 01809 Heidenau · Telefon +49 (0)3529-551-60 · Telefax +49 (0)3529-551-899