

## **Verbesserung der Faser-Additiv-Wechselwirkung**

Dr. K. Erhard, M. Fiedler

### **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>7</b>
4.1	Fahrweise und Dosierstrategie der Versuchspapiermaschine	7
4.2	Papiererzeugung im kleintechnischen Maßstab	9
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>12</b>
5.1	Bewertung der starken elektrostatischen Wechselwirkung	12
5.2	Bewertung der substantiven Wechselwirkung	19
5.3	Bewertung der kovalenten Wechselwirkung	22
5.4	Vorgehensweisen und Werkzeuge zur Verbesserung der Additiv-Effizienz	25
<b>6</b>	<b>Validierung der Ergebnisse in der industriellen Praxis</b>	<b>27</b>
6.1	Anwendung in der Papierfabrik 1 (PF1)	28
6.2	Anwendung in der Papierfabrik 2 (PF2)	29
<b>7</b>	<b>Einordnung der Ergebnisse</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>	<b>31</b>

## 1 Zusammenfassung

<b>Thema</b>	Verbesserung der Faser-Additiv-Wechselwirkung
<b>Ziel des Projektes</b>	<p>Das Forschungsprojekt der Papiertechnischen Stiftung zielte auf die Anwendung standardisierter Untersuchungsmethodiken zur Verfolgung der Verteilungspfade von funktionalen Additiven in Abhängigkeit ihrer Applikation, um</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• die Mechanismen der Faser-Additiv-Wechselwirkungen zu erkennen und</li><li>• eine verbesserte Nutzung der aktiven Faseroberfläche zur Fixierung funktionaler Additive zu erreichen, damit die angestrebten, funktionalen Papiereigenschaften effektiv und kostengünstig erreicht werden.</li><li>• gezielt auf die Stellglieder Auswahl und Aufbereitung der Faserstoffe sowie auf Dosierort und -reihenfolge der Additive Einfluss zu nehmen.</li></ul> <p>Die verbesserte Kenntnis zum Zusammenspiel der Kostenfaktoren Additiv und Faserstoff soll helfen, die Kosten der Papiererzeuger zu senken und die angestrebten, funktionale Papiereigenschaften mit hoher Effizienz zu erreichen.</p>
<b>Aufgaben funktionaler Additive</b>	<p>Funktionale Additive dienen der Ausbildung spezifischer Eigenschaften im Papier. Dazu gehören hauptsächlich Trocken- und Nassfestmittel, Farbstoffe und –pigmente, optische Aufheller sowie Leimungsmittel, um in technischen Spezialpapieren oder in hochwertigen grafischen und Verpackungspapieren gezielt Papiereigenschaften einzustellen.</p> <p>Grundlage für die Ausbildung von funktionalen Eigenschaften sind dabei Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Faser- und Füllstoffen sowie den funktionalen und Prozessadditiven. Für die im Projekt betrachteten holzfreien ungefüllten und gefüllten Papiere war es dabei von Bedeutung, unter welchen Bedingungen die funktionalen Additive am besten retendiert werden, um nachfolgend im Papier die gewünschten Eigenschaften zu entfalten.</p> <p>Durch Konkurrenzreaktionen, insbesondere mit den Füllstoffen, aber auch mit anderen Additiven können Addukte und Simplexverbindungen mit Füll- und Feinstoffen gebildet werden, die entweder schlecht zurückgehalten werden oder die gewünschten Eigenschaften im Papier nicht entfalten können.</p> <p>Die Ausbildung der funktionalen Papiereigenschaft durch ein Additiv ist dabei an die Wechselwirkung mit der Faseroberfläche gebunden. Konkurrenzreaktionen und störende Einflüsse können den gewünschten Reaktionsweg einschränken oder vereiteln.</p>
<b>Kleintechnische Papiererzeugung</b>	<p>Um die verflochtenen Wechselwirkungen zwischen Faserstoffkomponenten und Additiven weiter aufzuklären erfolgten kleintechnische Papiererzeugungsversuche im Technikum unter Anwendung einer Faserstoffmischung aus 20 % Armierungs- und 80 % Eukalyptuszellstoff. Diese besaß eine Gesamtladung von 58,9 meq/kg. Durch Mahlung wurde die, an der Faseroberfläche zugängliche Ladung von 24,6 auf 39,9 meq/kg gesteigert. Nur die unmittelbar an der Faseroberfläche zugängliche Ladung ist zu Wechselwirkungen befähigt. Sie ist die größte geladene Komponente in der Suspension, ihr Ladungsanteil schwankte dabei in Ab-</p>

---

hängigkeit der weiteren eingesetzten Additive zwischen 76 und 98%, wie Ladungsbilanzen belegen.

In den vorgenommenen Untersuchungen kamen unterschiedlich wirksame Additive zum Einsatz. Kationische Stärke (KS), Nassfestmittel (NFM), AKD-Leimungsmittel und kationisches Retentionsmittel (RET) sind befähigt durch ihre kationische Ladung starke Wechselwirkungen zur Faser zu bilden. Hierbei zeigten aber die Untersuchungen zur Ladungsbilanz, dass der Wirkeinfluss des Schutzkolloids kationische Stärke beim AKD gegenüber den anderen Additiven nur marginal war. Wahrscheinlich war dies auch ein Grund für ungenügende AKD-Retention auf der Faser und Konkurrenzreaktionen mit dem Füllstoff.

Gänzlich abweichendes Verhalten zeigten Carboxymethylcellulose (CMC) und optische Aufheller (OA): durch ihre chemische Konstitution und ihre anionische Ladung gingen sie vorrangig substantive Verbindungen mit der Faser ein. Erschwerend wirkten ihre anionischen Ladungen, die vor allem zum Einbruch der Füllstoffretention führten, selbst bei verstärkter Dosierung von Retentionsmittel. Die sich jeweils einstellenden Ladungsverhältnisse beeinflussten das Retentionsverhalten der anionisch eingestellten Farbpigmente und Füllstoffe maßgeblich.

---

#### **Bewertung der Faser-Additiv-Wechselwirkung**

Die Methodik zur Bewertung der Faser-Additiv-Wechselwirkung stützte sich auf die folgenden drei Schritte:

1. Analyse der ladungsgetriebenen Wechselwirkungen in der Suspension durch Verfolgen von Zetapotenzial und Ladungsbilanz,
2. Charakterisieren der resultierenden Papierzusammensetzung (Faser-, Füllstoff- und Additivretention) und
3. Registrieren der sich ausbildenden spezifischen Papiereigenschaften.

Diese Vorgehensweise ermöglichte die Analyse der Faser-Additiv-Wechselwirkungen, indem die Triebkraft der Wechselwirkung – das Zetapotenzial - in Relation zur resultierenden Ladungsmenge gesetzt wurde. Die dabei ergebenden Auswirkungen auf die Papierzusammensetzung in Hinblick auf die angestrebte Papierqualität macht auf verständliche Weise deutlich, wie sich die gefundenen Reaktionsmustern der vorgenommenen Untersuchungen auf Papiereigenschaften auswirken. Dies belegten auch die Demonstrationsanwendungen in zwei Papierfabriken. Die zur Visualisierung entwickelten Diagramme zum Retentionsverhalten in Abhängigkeit von Zetapotenzial und Ladungsbilanz können dabei zur vergleichenden Bewertung von Additivsystemen und der Faser-Additiv-Wechselwirkung herangezogen werden.

Ziel muss es sein, die Additivwirksamkeit, d. h. die durch Einsatz eines funktionalen Additivs angestrebte Eigenschaftsverbesserung im Papier möglichst effizient zu erreichen. Dies wird möglich, wenn Triebkraft und Ladungskapazität des Systems ausgewogen sind.

---

#### **Danksagung**

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. IW 060125 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den

---

---

Projekträger EuroNorm GmbH gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

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

---

## 2 Abstract

**Theme** Improvement of fibre-additive interactions

---

**Project objective** The research project of Papiertechnische Stiftung was aimed at using standardised test methods to follow the distribution paths of functional additives depending on their application, in order to

- detect the mechanisms of fibre-additive interactions and
- make better use of active fibre surfaces for fixing the functional additives, to obtain the desired functional characteristics of paper efficiently and at low cost.
- specifically influence pulp selection and -treatment as control elements, and the dosing points and –sequences of additives.

Improved knowledge of the interactions between additives and fibres – two major cost factors in papermaking – is expected to save manufacturing costs and help achieving the desired functional paper characteristics in a highly efficient manner.

---

**Tasks of functional additives**

Functional additives are used to develop specific characteristics in paper. Dry- and wet strength agents, dyes and pigments, optical brighteners and sizing agents are added to specifically develop the desired properties in technical specialty papers or high-quality graphic and packaging grades.

Basis for the development of functional characteristics is interactions between fibres, fillers, functional- and processing additives. For the wood-free filled and unfilled papers investigated in this project, it was important to identify the conditions leading to optimum retention of functional additives for the subsequent development of desired paper properties.

Competing reactions especially with fillers, but also with other additives, can lead to adduct- and simplex formation with fines and fillers which are then poorly retained or fail to produce the desired paper properties.

To develop functional properties in paper, additives must interact with the fibre surface. Competing reactions and disturbing influences can reduce or even prevent the desired reaction processes.

---

---

**Pilot paper production**

Pilot-scale papermaking trials were performed in a pilot plant, using a pulp mixture of 20 % reinforcement – and 80 % eucalyptus fibres. Aim was the further clarification of intertwined interactions between pulp components and additives. The total charge of the pulp mixture amounted to 58,9 meq/kg. Through refining, the directly accessible surface charge could be increased from 24,6 to 39,9 meq/kg. It is the only charge type capable of interaction, and constitutes the greatest charge-carrying component in the suspension. Depending on the additives used, it makes up between 76 and 98% of the charge balance.

The additives used in the trials differed in function or effect: Cationic starches (CS), wet strength agents (WSA), AKD sizes and cationic retention aids (RET) are –owing to their cationic charge - capable of interacting strongly with fibres. When looking at the charge balances, however, cationic starch showed only marginal effects as protective colloid for AKD as compared to other additives. Presumably, this is also a reason for the inadequate AKD retention on fibres and for competing reactions with fillers.

Carboxymethylcellulose (CMC) and optical brightening agents (OA) showed a completely different behaviour: their chemical constitution and anionic charge cause them to form mainly substantive bonds with fibres. Their anionic charge is detrimental to filler retention – which dropped in these trials even if more retention aid was added. The resulting charge distributions had decisive effects on the retention behaviour of anionically adjusted pigments and fillers.

---

**Evaluation of fibre-additive interactions**

The evaluation of fibre-additive interactions was based on a three-step approach:

1. Analysis of charge-driven interactions in the suspension by monitoring the Zeta potential and charge balance,
2. Characterisation of resulting paper compositions (fibre-, filler- and additive retention) and
3. Simultaneous measurement of the specific paper characteristics developed

This approach made it possible to analyse fibre-additive interactions by relating the Zeta potential – which drives the interactions - to the resulting charge quantity. The effects on paper composition regarding the desired grade characteristics show very clearly how paper properties are influenced by the reaction mechanisms identified in the trials. This was also confirmed by demonstration trials in two paper mills. Diagrams developed to visualise the retention behaviour as a function of Zeta potential and charge balance can be used for comparative assessments of additive systems and fibre-additive interactions.

The main objective of functional additive use, i.e. optimum performance to develop the desired paper properties as efficiently as possible, can be achieved if the system's driving force and charge capacity are well balanced.

---

**Acknowledgement**

The research project IW 060125 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in Small and Medium-sized Enterprises and External Industrial Research Institutions in the New German Countries" and carried out under the umbrella of EuroNorm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

### 3 Einleitung

#### **Funktionale Additive zur Einstellung von Papiereigenschaften**

Funktionale Additive dienen der Ausbildung spezifischer Eigenschaften im Papier. Dazu gehören hauptsächlich die Trocken- und Nassfestigkeit, die Färbung und optische Aufhellung von Papier sowie die Leimung zur Hydrophobierung von Spezialpapieren oder um die Beschreib- und Bedruckbarkeit zu gewährleisten. Die Anwendung dieser Additive ermöglicht die Erzeugung hochwertiger Schreib- und Druckpapiere und sie ist fast ausschließlich für die Eigenschaftsausbildung technischer Spezialpapiere verantwortlich.

Grundsätze der Wechselwirkung dieser Additive mit gemahlten Faserstoffen wurden in der PTS in einzelnen Projekten der Gemeinschaftsforschung untersucht [1, 2]. In diesen Projekten wurden die anzuwendenden Untersuchungsmethoden entwickelt, um die Wechselwirkungsmechanismen zu verfolgen, zu quantifizieren und hinsichtlich der erreichten Papiereigenschaften zu bewerten. Dabei wurde beobachtet, dass nicht die absolute Menge des eingesetzten Additivs über die erzielbare Papiereigenschaft entscheidet, sondern der Grad der Fixierung auf dem Faser- oder Feinstoff, wobei die sich einstellenden Retentionsverhältnisse und die Art der Wechselwirkung mit den Faserbestandteilen über den Verbleib im Papier und die Wirkeffizienz entscheiden.

Hierbei kennzeichnet die durch das Additiv bewirkte Änderung der Papiereigenschaft bezüglich der dosierten oder retendierten Menge die Effizienz des Additiv-einsatzes.

#### **Komplexe Faser-Additiv-Wechselwirkungen effektiv ausnutzen**

Bisherige Untersuchungen erfolgten vorrangig im Labormaßstab in Modellsystemen, um grundsätzliche Reaktionsverläufe und Verteilungspfade aufzuklären. Dabei wurde festgestellt, dass der Beitrag der an Feinstoffen fixierten Additive zur Ausbildung der Papiereigenschaften noch weiter zu klären sind und Konkurrenzreaktionen zwischen verschiedenen Additiven beachtet werden müssen, um den Praxisbedingungen gerecht zu werden.

Neben den Produktadditiven sind natürlich auch die Prozessadditive zu beachten. Die Fixierung auf der Faser kann verschlechtert oder durch Simplexbildung beziehungsweise gegenseitige Verdrängung von der Faseroberfläche gar verhindert werden. Bei einer Zugabe von bis zu 17 verschiedenen Produkt- und Prozessadditiven ist es auch verständlich, dass letztlich die Kenntnisse über die konkurrierenden Wechselwirkungsmechanismen zwischen diesen verschiedenen Additiven und in der Stoffaufbereitung und nachfolgend im Wasserkreislauf der Papiermaschine unzureichend sind.

Die bisherigen Laboruntersuchungen basierten zwar auf der Refiner-Mahlung, die industrielle Mahlungsprozesse erfolgreich nachstellt, berücksichtigten aber die dynamischen Prozesse in der Stoffaufbereitung und an der Papiermaschine nicht oder nur ungenügend.

Will man teure Additive und Faserrohstoffe einsparen, so ist es notwendig, die bisherigen Ergebnisse hinsichtlich ihrer Reaktionsmechanismen mit der Faser zu systematisieren und auf dieser Basis schrittweise standardisierte Werkzeuge zu entwickeln. So werden die vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen für effizienteren Einsatz der funktionalen Additive nutzbar. Hierzu sollten die in diesem Projekt ausgeführten systematischen Untersuchungen beitragen.

## 4 Versuchsdurchführung

### 4.1 Fahrweise und Dosierstrategie der Versuchspapiermaschine

<b>Einflussgrößen</b>	<p>Zur Bewertung der Faser-Additiv-Wechselwirkung war es notwendig Untersuchungen im kleintechnischen Maßstab durchzuführen, um die industriellen Prozesse in der Stoffaufbereitung und an der Papiermaschine hinsichtlich</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• des Verweilzeitverhalten in den einzelnen Prozessstufen,</li><li>• der Komplexität der Wechselwirkungsmechanismen konkurrierender Additive,</li><li>• der Kreislaufwasserbelastung (Additive, Simplexverbindungen, beladene Feinstoffe, Wasserhärte, -temperatur und -leitfähigkeit),</li><li>• der Rückführung von Kreislaufwasser</li><li>• sowie der Scherbeanspruchungen in der Papiermaschine</li></ul> <p>nachstellen zu können. Die Einflüsse verschiedener Faserstofftypen, ihre Vorgeschichte sowie ihres Mahlungsverhaltens auf die Wechselwirkungen wurden eingehend untersucht [3, 4] und als bekannt vorausgesetzt.</p> <hr/>
<b>Vorversuche</b>	<p>Ziel der Vorversuche war es, auf der Versuchspapiermaschine die optimale Dosierreihenfolge der Additive und ihre Zugabestellen im Prozess festzulegen sowie ein Arbeitsfensters für die folgenden Arbeitspakete abzustecken.</p> <p>Folgende Parameter wurden konstant gehalten:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Faserstoffrezeptur,</li><li>• Papiererzeugungsbedingungen für die einzelnen Versuchsreihen und</li><li>• Einsatz von Retentionsmitteln im Wet-End</li></ul> <p>Variiert wurden die Parameter:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Art der Additive,</li><li>• Dosierreihenfolge und</li><li>• Zugabemenge (bezogen auf Faserstoff).</li></ul> <p>Nach dieser Erprobung wurden die Standard-Papiermaschineneinstellungen festgelegt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in [5] dargestellt.</p> <hr/>
<b>Fahrweise der PM</b>	<p>Für die Papiermaschinen-Vorversuche wurde folgende Vorgehensweise gewählt:</p> <p>Die PM wurde so betrieben, dass der Anteil der Faserstoffe an der Flächenmasse der erzeugten Papiere nahezu konstant gehalten wurde. Damit können Papiere auf Basis einer konstanten Faserstoffflächenmasse verglichen werden. Um unter dieser Prämisse die Flächenmasse des Faserstoffanteils konstant zu halten, wurde die Arbeitsgeschwindigkeit der PM variiert, um die Auswirkungen verschiedener Additivwechselwirkungen auf die Retention auszugleichen. Einflüsse der Additive auf die Retention werden so deutlich. Die folgenden weiteren Parameter wurden konstant gehalten:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Faserstoff und Füllstoffe</li></ul> <hr/>

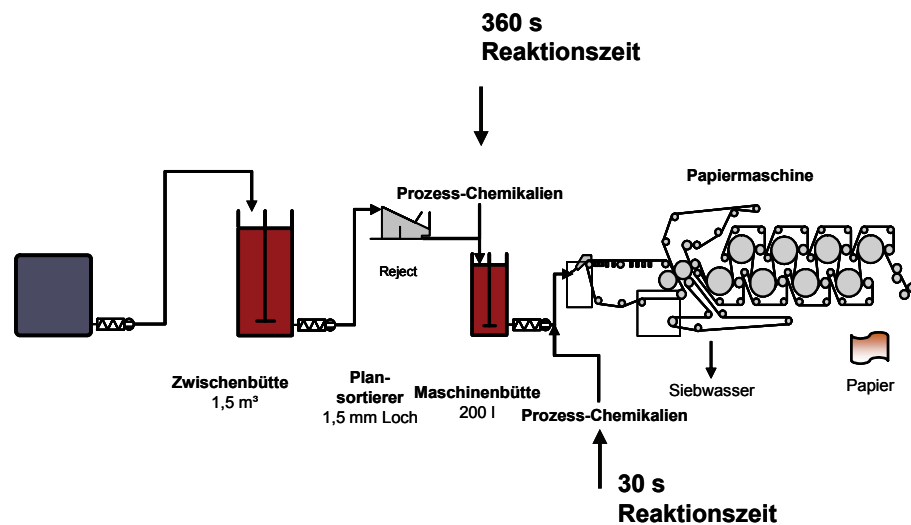
- Temperatur Ganzstoff
- Stoffdichte Stoffauflauf
- Stoffzufuhr Stoffauflauf
- Entwässerung auf dem Sieb
- Trocknungstemperaturen

### Additivzugabe und Reaktionszeit

Die Additividosierung geschah nach folgenden Gesichtspunkten:

- Konstante Zugabe des kationischen Polymers als Retentionsmittel (0,15% - Erhöhung bei CMC-Applikation auf bis 1,7 %).
- Die Zugabe des Füllstoffes wurde so gewählt, dass ein Aschegehalt von etwa 20 % im Papier erreicht wurde.
- Die kationische Stärke und das AKD wurden in zwei Konzentrationsstufen zugegeben
- Die Zugabe des optischen Aufhellers betrug 0,5 beziehungsweise 1,0 %.

Die Additivzugabe erfolgte an verschiedenen Stellen im Konstantenteil der Papiermaschine, wobei durch die gewählten Zugabeorte eine Variation der Verweilzeit bis zum Stoffauflauf von ca. 30 s und 360 s realisiert wurde.



**Abb. 4.1** Variation der Reaktionszeit der Additive

### PM-Grundeinstellungen

Folgende konstante PM-Grundeinstellungen wurden im Ergebnis der Voruntersuchungen [5] für die Versuche angewandt:

- Simplexfahrweise (nur Untersieb) mit Lochwalzenstoffauflauf
- Maschinenglättwerk: Oberwalze Kunststoff / Unterwalze Stahl, Pressdruck 5 bar, Liniendruck 25 kN/m
- Betriebswasser: Trinkwasser Heidenau mit 7° dH

Der pH-Wert der Faserstoffmischung erfolgte mittels NaHCO<sub>3</sub> und betrug nach der Mahlung betrug 7,7. Durch Zugabe des Retentionsmittels wurde er auf 7,3



vor dem Stoffauflauf abgesenkt. Die Zudosierung von Füllstoff, Stärke, AKD und optischem Aufheller nahm kaum Einfluss auf den pH-Wert. Die Werte wurden registriert. Sie lagen im leicht alkalischen Bereich von 7,5 bis 8,0. Bei pH-Werten größer 7 wird die Faser anionischer, so dass kationische Additive durch elektrostatische Wechselwirkungen besser an die Faser gebunden werden können.

### Festlegung Dosierorte

Durch die Konstanz des Faserstoffeinsatzes konnten sehr gut die Zusammenhänge der Wechselwirkungen von Additiven auf Papier- und Suspensionseigenschaften im Wet-End der Versuchs-PM erfasst werden. Aus den Ergebnissen der Vorversuche wurde ersichtlich, dass nur bei Zugabe von optischem Aufheller eine lange Reaktionszeit erforderlich war [5]. Deshalb wurde der optische Aufheller in der Mischbütte nach der kationischen Stärke zugegeben. So konnte eine direkte Wechselwirkung mit der kationischen Stärke vermieden und eine Verweilzeit von 360 s bis zum Stoffauflauf realisiert werden.

Für die weiteren Untersuchungen wurde die in **Tab. 4.1** dargestellte Dosierstrategie der Additive festgelegt: Diese Vorgehensweise kam im Folgenden unter Variation der Additivkombinationen und -konzentrationen zur Anwendung.

**Tab. 4.1** Eingesetzte Additive in der Versuchs-PM: Dosis, Dosierstelle und Verweilzeit bis zum Stoffauflauf

Dosierung der Additive (bei 40 l/min)			Reaktionszeiten	Zugabe und Bezug
Dickstoffbütte				
Dickstoff		NaHCO <sub>3</sub>	je Versuchsansatz	2 % bez. auf FST
		KS - kat. Stärke	je Versuchsansatz	ca. 0,7 und 1,0 % bez. auf FST
		CMC	je Versuchsansatz	ca. 0,2 % bez. auf FST
Mischbütte (1,6 % SD)				
		OA - opt. Aufheller	ca. 360 s	HW 0,5 und 1,0 % bez. auf FST
Konstantteil				
Konstantteil	Dosierstelle 1	FS - subst. Farbstoff	25 s	0,5 u. 2 % HW Farbstoff bez. auf (FST+Füllstoff)
Konstantteil	Dosierstelle 2	GCC	24 s	4 u. 6 % HW AKD bez. auf (FST+Füllstoff)
Konstantteil	Dosierstelle 3	AKD	4 s	nachführen bezüglich der Ret.-verhältnisse
Konstantteil	Dosierstelle 4	NFM	3 s	2 u. 3 % WS NFM bez. auf (FST+Füllstoff)
Konstantteil	dynamischer Mischer			
Konstantteil	Dosierstelle 5	RM - Ret.-mittel	2 s	0,15 % HW Ret.-mittel bez. auf (FST+Füllstoff)
Konstantteil	statischer Mischer			
Konstantteil	Stoffauflauf		0 s	Messung Zeta-Potenzial, Formierung Papier

## 4.2 Papiererzeugung im kleintechnischen Maßstab

**Ziele** Die Herstellung der zu erzeugenden Papiersortimente zielte darauf ab, Papier-

muster unter Variation von typischen Additiven zu erzeugen. Hierbei waren sowohl die Additivkombinationen als auch deren Dosierstufen in einer praxisüblichen Weise zu variieren, wobei die in den Voruntersuchungen ermittelte geeignete Dosierreihenfolge und Faserstoffkombination zur Anwendung gelangte.

Dabei kam es darauf an, Papiere mit einer möglichst vergleichbaren Faserflächenmasse zu erzeugen, um die Auswirkungen der Additivvariationen auf die Suspensions- und Papiereigenschaften zu registrieren und zu systematisieren.

---

**Vorgehen und Bewertung**

Die Bewertung erfolgte dabei anhand der zu erwartenden Wechselwirkungsmechanismen in der Suspension mit Auswirkungen auf die Papierzusammensetzung und die Papiereigenschaften. Eine erste Auswirkung sich ändernder Additivdosierung waren veränderte Ladungsverhältnisse in der Suspension.

Diese sich ändernden Ladungsverhältnisse wurden durch Zetapotenzialmessungen am Stoffauflauf der Papiermaschine ermittelt. Um dabei die Zwischenstufen in der Dosierfolge zu erfassen wurden die Auswirkungen der Additivkombinationen und Dosierstufen jeweils in einer Vorperiode der Papiererzeugung an der Versuchspapiermaschine ermittelt. Dazu wurden die verschiedenen Additivkombinationen im Dickstoff oder der Mischbütte sowie im Konstantteil der Versuchs-PM sequentiell eingestellt und das Zetapotenzial und die Additivretention jeweils durch Probenahme am Stoffauflauf ermittelt. In diesen Versuchen wurden keine Papiermuster erzeugt. Sie dienten einzig dazu, relevantes Probenmaterial aus der Stoffaufbereitung und Papiermaschine zu erhalten um die Ladungs- und Retentionsverhältnisse zu charakterisieren. Durch dieses sequentielle Vorgehen wurde es möglich, Proben aus sonst nicht zugänglichen Zwischenstufen der Additivdosierung zu gewinnen und zu charakterisieren.

Im Anschluss an diese Vorperiode erfolgte dann die Erzeugung der Papiermuster in der ausgewiesenen Weise, wobei die in der Vorperiode ermittelten Potenzialänderungen zwischen den einzelnen Dosierstellen der Auswertung zugrunde gelegt wurden. Diese Untersuchungen sollten zeigen, wie sich additivseitige Änderungen auf die Papierzusammensetzung und die Papiereigenschaften auswirken. Geht man dabei davon aus, dass den Vergleichen ein faserseitig weitestgehend konstant gehaltenes Papier zugrunde lag, so sind sich ändernde Papiereigenschaften auf das Wirken der Additive zurückführbar. Selbstverständlich muss man auch in diesem Fall noch die tatsächlichen Retentionsverhältnisse für den Faserstoff berücksichtigen.

Erwartungsgemäß hat dabei der Einsatz von Füllstoff größte Auswirkungen auf die Retentionsverhältnisse und die Papiereigenschaften. Deshalb war es zwingend erforderlich, ungefüllte und gefüllte Papiere gesondert zu beurteilen, um die Einflüsse von Faserstoff und Füllstoff auf die Papiereigenschaften zu trennen.

Unter technischen Erzeugungsbedingungen werden durch die Kreislaufführung und Anpassung der Füllstoffdosierung Schwankungen im Retentionsverhalten der Papierkomponenten, hervorgerufen durch wechselnde Additivdosierung, ausgeglichen und regelungstechnisch beherrscht. Es wird eine weitgehend konstante Papierqualität erzeugt. Dadurch werden die durch Additiv-Wechselwirkungen hervorgerufenen Effekte hinsichtlich der Prozesseffektivität, insbesondere der Ausnutzungsgrad der Roh- und Hilfsstoffe, und die daraus resultierenden wirtschaftlichen Konsequenzen verschleiert. Umso mehr galt es

---

---

diese aufzudecken, um Additive und Rohstoffe sparsam und effektiv einzusetzen, ohne die Qualität negativ zu beeinflussen.

---

**Erzeugte Papiere** Folgende ungefüllte und gefüllte Papiere (trockenverfestigt sowie ungeleimt und geleimt) wurden auf der Papiermaschine im Technikum der PTS erzeugt:

1. holzfreies, optisch aufgehelltes Papier (TFM kationische Stärke)
2. holzfreies, in der Masse gefärbtes Papier (TFM: kationische Stärke)
3. holzfreies, in der Masse gefärbtes Papier (TFM: CMC) sowie
4. holzfreies, trocken- und nassverfestigtes Papier (KS, CMC, PAAE).

Die Additiv-Anwendung erfolgt jeweils in zwei spezifischen Dosierstufen.

---

**Holzfreies,  
optisch  
aufgehelltes  
Papier**

Die Herstellung dieses Papiers lieferte die Muster und das Datenmaterial für die Wechselwirkung eines anionischen, optischen Aufhellers in Gegenwart kationischer Additive und anionisch dispergiertem Füllstoff.

Die ausgewiesenen Schwankungsbreiten in der Papierzusammensetzung und der Flächenmasse waren das Resultat der Additivdosierung, die in den ausgewiesenen Stufen variiert wurden. Einzig die Füllstoffdosierung wurde geringfügig angepasst, um den Retentionsabfall, verursacht durch den optischen Aufheller, zu begrenzen. Es wurde deutlich, dass sich die Additivdosierung vor allem auf das Retentionsverhalten des ebenfalls anionischen Füllstoffes auswirkt und dadurch die Papierzusammensetzung und die daraus resultierenden Papiereigenschaften beeinflusst wurden.

Neben der substantiven Anlagerung an Faserstoff war der optische Aufheller auch zu starken ionischen Wechselwirkungen befähigt. Dies äußerte sich in Konkurrenzreaktionen mit kationischen Additiven, wie z. B. mit kationischer Stärke oder NFM.

---

**Holzfreies, in der  
Masse gefärbtes  
Papier**

Diese Versuche lieferten das Mustermaterial für die Untersuchungen zum Einfluss eines anionischen Farbpigments auf das Wechselwirkungsverhalten der verschiedenen Additive mit dem Faserstoff und dem Füllstoff.

Anionische Farbpigmente werden vorrangig in lichtstabilen sowie alterungsbeständigen Produkten, wie Dekorpapier oder Etikettenpapier eingesetzt. Insbesondere beim Dekorpapier ist es immens wichtig, stabile Retentionsverhältnisse und vorkalkulierbares Färbeverhalten einzustellen, um zeitlich versetzte Papiererzeugungschargen absolut vergleichbar einzufärben.

Das beobachtete Verhalten war Voraussetzung für die Bewertung der starken ionischen Wechselwirkungen und für den Aufbau des Werkzeuges zur Einstellung optimaler Dosierungen und Additivkombinationen.

---

**Holzfreies,  
geleimtes und in  
der Masse  
gefärbtes Papier  
mit CMC**

CMC als Trockenfestmittel weist eine starke anionische Ladung auf und zeigt deshalb folgendes Verhalten:

- CMC ist befähigt, sich aufgrund seines Molekülbaus an die Cellulose der Faser anzulagern und dieser erhöhte anionische Ladungseigenschaften zu
-

---

verleihen. Diese Anlagerung erfolgte in analoger Weise. Wegen der hohen anionischen Ladung von Faser und CMC verläuft diese Reaktion unter normalen Papiererzeugungsbedingungen auf niedrigem Ausbeuteniveau und kann praktisch vernachlässigt werden. Die hier vorliegende Wechselwirkung mit der Faser beruht auf der Ausfällung von CMC durch Retentionsmittelgaben.

- Die hohe anionische Ladung der CMC in der Suspension führte auch dazu, dass vorrangig Konkurrenzreaktionen ablaufen und kationische Additive vermehrt an CMC angelagert wurden und nicht die angestrebte Wechselwirkung mit den Faserkomponenten eingingen. Deshalb war es auch notwendig, die Retentionsmittelzugabe drastisch von 0,15 % auf 1,70 % zu erhöhen, um tragbare Retentionsverhältnisse zu erhalten auch wenn die Dosierungen der eingesetzten Additive bereits erhöht waren.
  - Außerdem verschlechterte CMC das Entwässerungsverhalten und die Formation wurde verbessert.
- 

### **Holzfreies, trocken- und nassverfestigtes Papier**

Das Zusammenwirken von Nassfestmittel, Leimungsmittel und kationischer Stärke ist notwendig, wenn in hochwertigen Spezialpapieren Festigkeit und Beständigkeit gegenüber Wasser ausgebildet werden müssen. Ein meist hoher spezifischer Einsatz nimmt dabei neben den Rohstoffkosten erheblichen Einfluss auf die Papierkosten. Deshalb ist es besonders in diesen Fällen wichtig, in welchem Maße die hohe kationische Ladung die gegenseitige Retention im System fördert und einen sparsamen Additiv-Einsatz ermöglicht, ohne dass die Papiereigenschaften nachteilig beeinflusst werden und die Erzeugungsprozesse auf einem stabilen Niveau ablaufen.

---

## **5 Ergebnisse**

### **5.1 Bewertung der starken elektrostatischen Wechselwirkung**

#### **Ionische Wechselwirkungen**

Starke ionische Wechselwirkungen beruhen auf Coulomb-Kräften, die sich zwischen den gegensinnig geladenen Molekülen und Teilchen aufbauen, wenn der Wirkabstand ( $1/r^2$ ) unterschritten wird. Die Teilchen ziehen sich an und bilden stabile Addukte (Salze). Ionische Wechselwirkungen dominieren in der Suspension.

Ionen induzieren aber auch Dipole an ungeladenen Molekülen, die ihrerseits dadurch auch befähigt werden, mit anderen Dipolen und induzierten Dipolen in Wechselwirkung zu treten. Die Wirkabstände reduzieren sich aber als Potenz des Molekülradius' und die Wirksphäre ist klein. Die wirkenden Anziehungskräfte, die zur Bildung von Addukten führen können sind in Suspension, wo Scherkräfte wirken und keine so enge Annäherung durch die Hydratisierung der hydrophilen Oberflächen möglich ist, stark eingeschränkt.

In den Versuchen waren folgende kationische Additive zur Reaktion mit anionischen Faserkomponenten befähigt:

- Retentionsmittel (Polymin),
-

- kationische Stärke
- NFM (PAAE) und
- kationische Stärke als Schutzkolloid des Leimungsmittels AKD.

Die unterschiedlichen Ladungsdichten repräsentierten hierbei die zur Verfügung stehende Ladungskonzentration und bestimmten den Umfang der elektrostatischen Wechselwirkungen. Der elektrostatische Charakter der Wechselwirkung zwischen Faser, AKD und PAAE hat nur Bedeutung, solange ausreichend Wasser vorhanden ist, so dass Einfluss auf die Retention ausgeübt wird.

Die mit steigendem Trockengehalt der Papierbahn und dem Temperaturanstieg in der Trockenpartie ablaufenden Reaktionen zur Harzvernetzung (PAAE-NFM) und zur Veresterung mit OH-Gruppen der Faser (AKD) hingegen führen zu kovalenten Bindungen. Die durch AKD und PAAE hervorgerufenen Eigenschaftsveränderungen des trockenen Papiers standen nur bedingt über die Retentionseffizienz in einem kausalen Zusammenhang zur elektrostatischen Wechselwirkung.

---

#### **Konkurrenzreaktionen**

Mögliche Konkurrenzreaktionen, welche die Wirksamkeit der o.g. Additive einschränken, waren

- Verdrängungsreaktionen, also die Konkurrenz um die negativen Ladungen der Carboxylgruppen der Hemicellulosen der sowie
- Simplexbildungen mit gleichzeitig eingesetzten, negativ geladenen Additiven wie
  - Füllstoffen,
  - optischem Aufhellern,
  - anionischem Farbpigment oder
  - CMC.

---

#### **Bewertung der starken WW**

Die Coulomb-Kraftwirkungen als Maß für die WW können in diesem Fall nicht direkt ermittelt werden. Die Bewertung der Wechselwirkungen erfolgte deshalb anhand sich einstellender Ladungsverhältnisse in der Suspension und den daraus resultierenden Additivretentionen. Hierbei muss man sich jedoch im klaren sein, dass sich sowohl bei der Ermittlung des Zetapotenzials als auch der spezifischen Ladung, insbesondere in Gegenwart von Faserfein- und Füllstoffen, Messfehler bemerkbar machen und die Additivretention, ermittelt am fertigen Papier, durch den nicht erfassten Siebdurchfall fehlerbehaftet ist.

Konkurrenzreaktionen oder Siebdurchfall von „elektrisch neutralen“ Feinstoffen können daran erkannt werden dass bei entsprechender Additivdosierung erwartete Retentionsgrade oder Papiereigenschaften nicht erreicht wurden.

Deshalb erfolgte die Bewertung anhand

- des Zetapotenzials und der bilanzierten spezifischen Ladung ohne und mit anionischen Füllstoffen und Farbpigmenten
  - der Additivretention, soweit dies analytisch gesichert möglich war sowie
  - relevanter Papiereigenschaften.
-

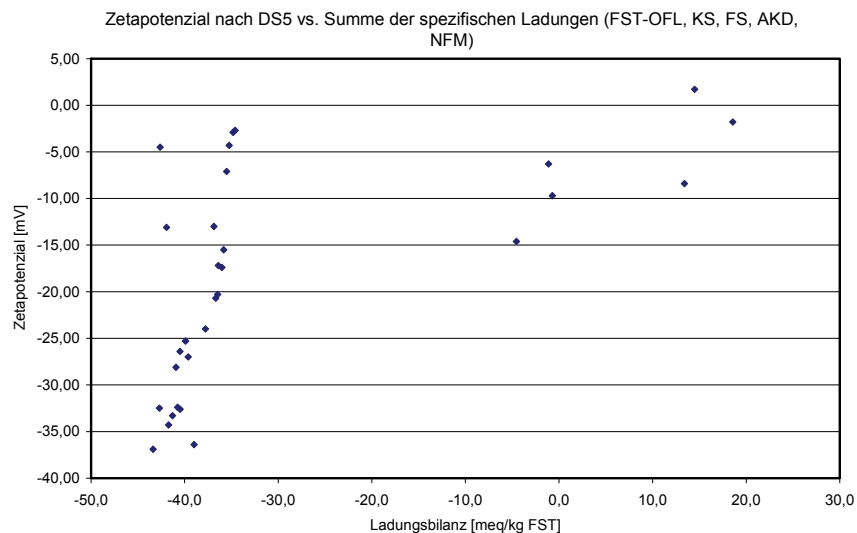
### Einfluss des Faserstoffs

Der Einfluss der Fasereigenschaften wurde konstant gehalten, um die Additivwechselwirkungen an den oben genannten Effekten zu erkennen. Dies bot sich auch an, da bereits in früheren Arbeiten die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen den Faserstoffen und einem jeweiligen spezifischen Additiv untersucht wurden. Diese Arbeiten zielten darauf ab, die Wechselwirkungen zwischen den in der Mahlung gebildeten Faserstoffkomponenten gegenüber jeweils einem definierten Additivtyp zu ergründen [6, 7, 8, 9].

Dieser Kenntnisstand war Ausgangspunkt für die in diesem Projekt vorgenommenen Untersuchungen, um die Wirkmechanismen in einer PM besser zu verstehen, wo die verschiedene Additiv- und Füllstoffkombinationen, sowie verschiedene Dosierstellen im System stoffliche Eigenheiten des gemahlten Faserstoffs überlagerten.

Der Verlust an Faserstoff (Faserstoffretention) konnte auf den Siebdurchfall von primären und sekundär in der Mahlung gebildeten Faserfeinstoffen zurückgeführt werden. Als ladungsrelevant waren hierbei die in der Mahlung gebildeten Feinstoffe der S2-Faserwand einzustufen. Primäre Feinstoffe werden aus Holzfeinstoffen in Kochung und Bleiche gebildet. Durch die intensive Behandlung dieser Feinstoffe in der Zellstofferzeugung sind diese weitgehend frei von Hemicellulosen und waren deshalb nicht relevant für Wechselwirkungen.

### Ladungsbilanz vs. Zetapotenzial



**Abb. 5.1** Entwicklung des Zetapotenzials in Abhängigkeit von der bilanzierten Ladung (Punkte rechts sind das Ergebnis der erhöhten KS, AKD, GCC und NFM-Dosierung)

Die Darstellung der **Abb. 5.1** zeigt für alle Versuche ohne CMC und optischem Aufheller, dass die bilanzierte Ladung (Summe aller spezifischen Ladungen in Suspension, bezogen auf die Behandlung von 1 kg Faserstoff) bis nahe dem Zetapotenzial Null in einem annähernd linearem Zusammenhang zum Zetapotenzial standen.

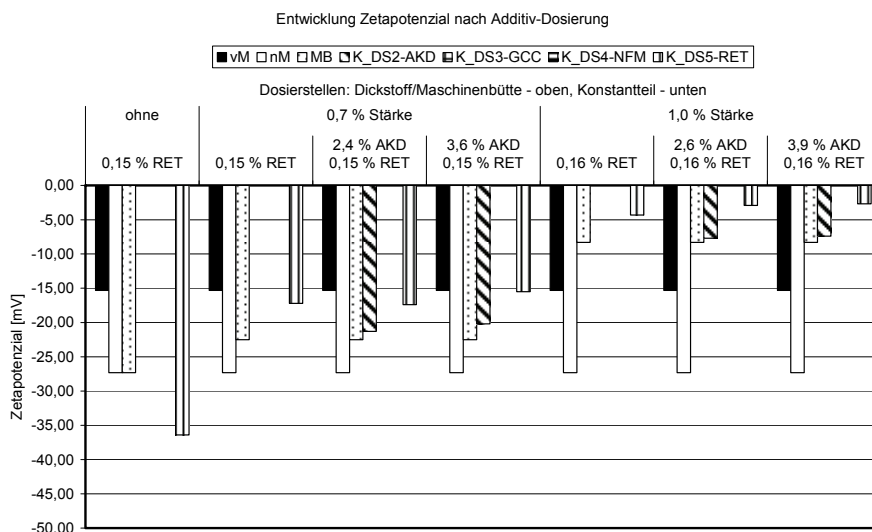
Erhöhte Dosierung führt kaum noch zum Zetapotenzialanstieg aber die bilanzierte Ladung steigt weiter an und reicht bis in den positiven Bereich hinein., Das ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass nahe an der Faseroberfläche liegende

Bereiche der Faserwand an der Wechselwirkung beteiligt sind und somit mehr anionische Gruppen erreichen werden als die ermittelte Oberflächenladung des Faserstoffs, die der Bilanzierung zugrunde gelegt wurde, zum Ausdruck bringt. Dieses Verhalten zeigt an, dass die summarisch eingesetzten Additive ladungsseitig die Sättigungsgrenze des Faserstoffs erreicht haben. Deshalb sinkt die Retention und Effektivität weiterer Dosierung kationischer Additive ist fraglich.

In der **Abb. 5.2** ist beispielhaft detailliert für die verschiedenen Additivkombinationen die Entwicklung des Zetapotenzials vom Dickstoff bis zum Konstantteil dargestellt. Sie zeigen, in welchem Maße das Zetapotenzial durch die vorgenommenen Additivdosierungen beeinflusst wird. Abgesehen vom Füllstoff und Farbpigment, handelte es sich hier um kationische Additive, die einen Anstieg des Zetapotenzials bewirken. Dabei sind die kationische Stärke und das Nassfestmittel die Additive mit dem größten Ladungseinfluss und Auswirkungen auf die Festigkeitseigenschaften. Die mit dem AKD eingesetzte kationische Stärke hat einen geringen Einfluss auf die Ladungsbilanz und bewirkt eine marginale Festigkeitsverschiebung.

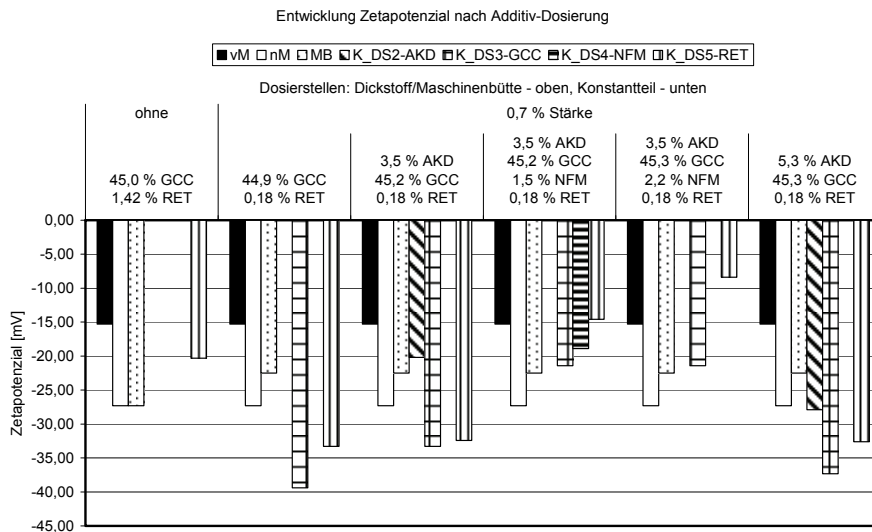
Die AKD-Retention hingegen wird von der An- oder Abwesenheit von GCC-Füllstoff stark beeinflusst. Die Retention steigt bei Vorhandensein von Füllstoff. Diese Konkurrenzreaktion dürfte auch dafür verantwortlich sein, dass in füllstoffreichen Systemen zwar eine akzeptable Retention beobachtet wird, die Leimung des Papiers aber nicht in diesem Maße ansteigt.

**Entwicklung der Zetapotenziale in der Suspension bis zum Stoffauflauf**



**Abb. 5.2** Entwicklung des Zetapotenzials in der Suspension bei Dosierung von 0,7% und 1,0% KS und nachfolgender Zugabe von AKD und Retentionsmittel (ohne Füllstoff)<sup>1</sup>

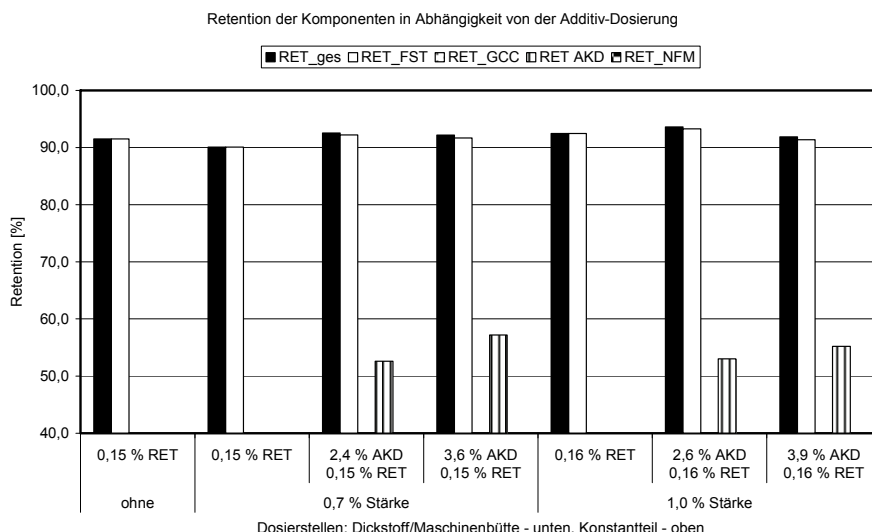
<sup>1</sup> vM – vor Mischbütte, nM – nach Mischbütte, MB – Maschinenbütte, K – Konstantteil, DS - Dosierstelle



**Abb. 5.3** Entwicklung des Zetapotenzials in der Suspension bei Dosierung von 0,7 % KS und nachfolgender Zugabe von AKD/GCC/NFM Dosierkombinationen und Retentionsmittel

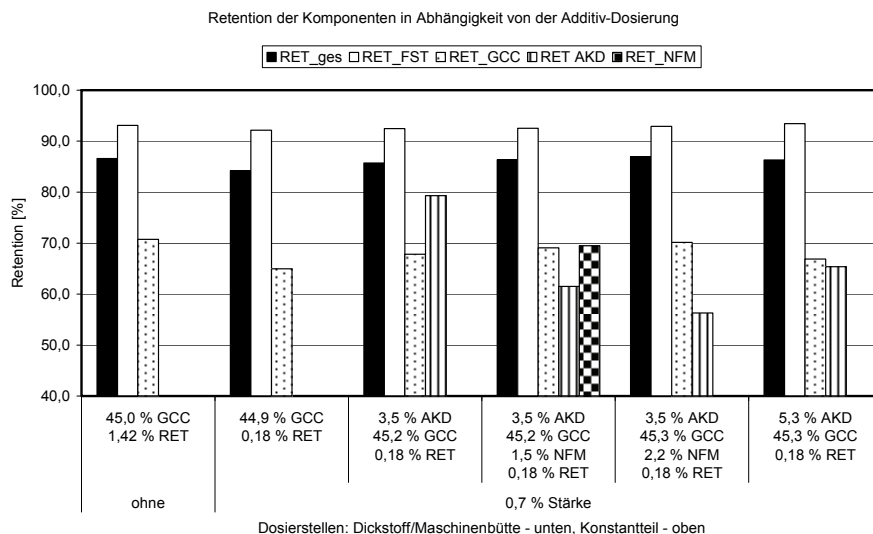
**Entwicklung Retention bei Dosierung von KS, FS, NFM, AKD mit/ohne GCC**

Die **Abb. 5.4** und **Abb. 5.5** zeigen in analoger Weise die Entwicklung der Additivretention vom Dickstoffbereich bis zum Wet-End der Papiermaschine im Vergleich zur Faserstoff und Füllstoffretention. Diese Diagramme machen deutlich, wie durch die verschiedenen Additive neben der Eigenretention, die sich auf funktionale Papiereigenschaften auswirkt, auf die Faser- und Füllstoffretention eingewirkt wurde.



**Abb. 5.4** Retention der Faser- und Füllstoffe sowie der Additive bei Dosierung von 0,7 und 1,0 % KS sowie AKD und Retentionsmittel





**Abb. 5.5** Retention der Faser- und Füllstoffe sowie der Additive bei Dosierung von 0,7 % KS sowie AKD/GCC/NFM-Dosierkombinationen und Retentionsmittel

Erwartungsgemäß werden diese Unterschiede durch anionisch dispergierte Füllstoffe, das betrifft in diesem Fall das Farbpigment und GCC, auf die Retention wirken. Dabei wirkt sich eine Füllstoffzugabe im Retentionssystem günstig auf die Faserstoffretention aus. Das Nassfestmittel, das einen großen Anteil an der kationischen Ladungsmenge hat, wirkt sich aber kaum auf den Grad der beobachteten Retention aus.

Einen starken Einfluss auf die Retention nimmt die kationische Stärke. Sie steigert die Retention der Komponenten vor allem bei Anwesenheit des Nassfestmittels.

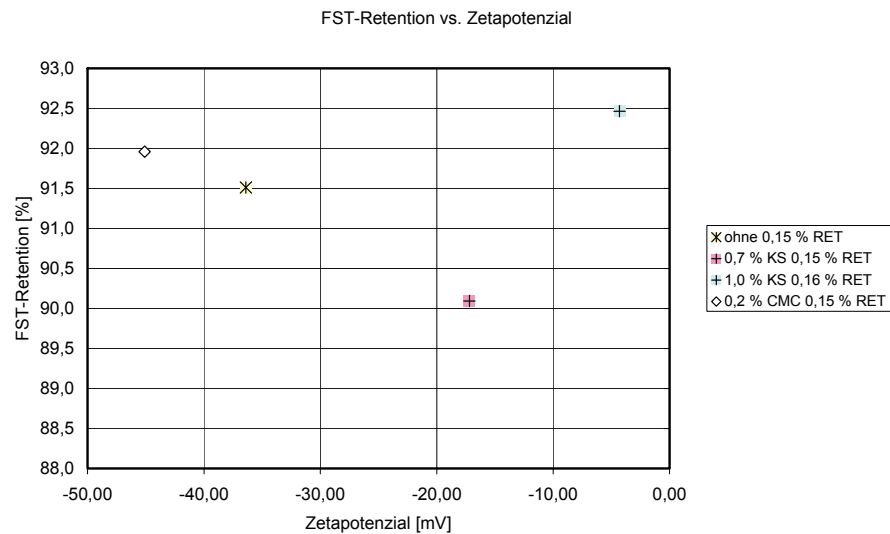
Das anionische Farbpigment erfährt eine hohe Retention in Gegenwart von kationischer Stärke. Die Faser- und Füllstoffretention wird dadurch anionisches Farbpigment nur marginal beeinflusst. Ursache hierfür dürfte der geringe Anteil an der bilanzierten Ladungsmenge sein.

**Faserstoffretention / ungefülltes Papier**

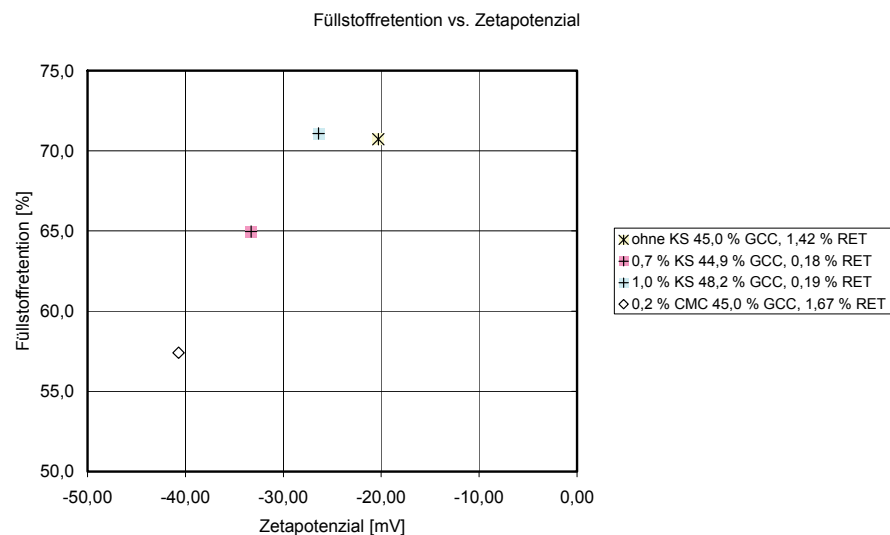
Die folgenden **Abb. 5.6** bis **Abb. 5.8** versuchen in detaillierter Weise die Entwicklung der Faser- und Füllstoffretention zu bewerten. In diesen Diagrammen wurden durch die Farbtiefe sowie Symbolgröße für die einzelnen Additive die Dosierstufen verdeutlicht. Die Symbolart nimmt dabei Bezug auf die jeweilige Additivkombination.

- ⊠ RET
- ⊞ KS+RET
- △ KS+AKD+RET
- KS+OA+AKD+RET
- KS+FS+AKD+RET
- 0,7 % KS / 0,5 % OA (0,5 % FS)
- 1,0 % KS / 0,5 % OA (0,5 % FS)
- 0,7 % KS / 1,0 % OA (1,5 % FS)
- 1,0 % KS / 1,0 % OA (1,5 % FS)
- ◇ CMC anstatt KS
- △ Symbolgröße: AKD-Dosierung

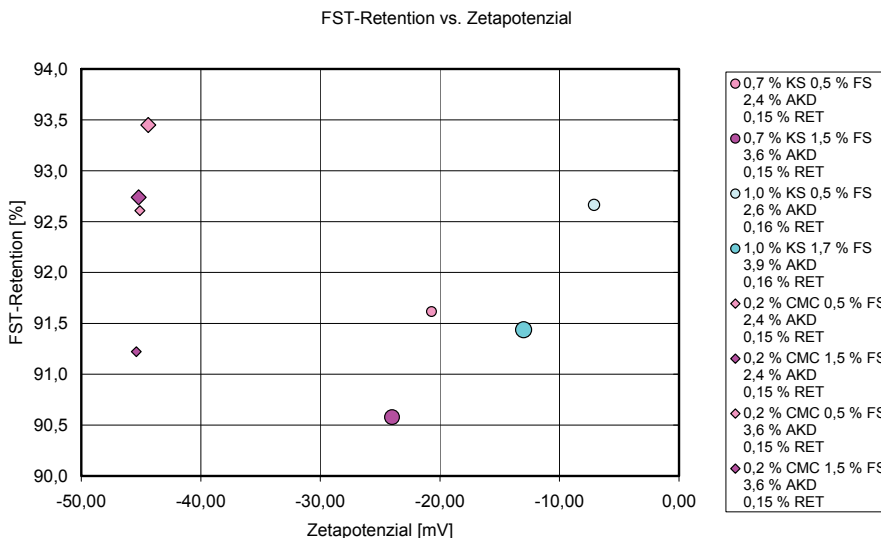
Hierbei zeigte sich deutlich, wie sich Potenzialabfall oder -anstieg auf die Retention auswirken und welchen Einfluss die verschiedenen Additive bewirken. So steigern kationische Stärke und CMC im ungefüllten System die Faserstoffretention. Im gefüllten System bewirkt dies Stärke in Abhängigkeit von der Dosierung auch für den Füllstoff GCC, während hier CMC auf die Füllstoffretention einen nachteiligen Einfluss hat, der nur durch eine gesteigerte Retentionsmittelgabe aufgefangen werden kann. Die folgende Codierung erläutert die angewandte Symbolik, um die mehrdimensionalen Einflüsse darzustellen.



**Abb. 5.6** Faserstoffretention in Abhängigkeit vom Zetapotenzial bei Dosierung von KS oder CMC und Retentionsmittel im Vergleich zur alleinigen Retentionsmitteldosierung (ohne Füllstoff)



**Abb. 5.7** Füllstoffretention in Abhängigkeit vom Zetapotenzial bei Dosierung von KS oder CMC und Retentionsmittel im Vergleich zur alleinigen Retentionsmitteldosierung (mit Füllstoff im Vergleich zu **Abb. 5.7**)



**Abb. 5.8** Füllstoffretention in Abhängigkeit vom Zetapotenzial bei Dosierung von KS, FS und AKD neben dem Retentionsmittel im Vergleich zur alleinigen (ohne Füllstoff)

**Zusammenfassung**

Starke ionische Wechselwirkungen nehmen vor allem Einfluss auf den Grad der Retention. Während hier das Zetapotenzial offensichtlich als Triebkraft wirkt, entscheidet die Ladungsmenge darüber, wieviel Additiv gebunden werden kann, Dabei zeigt das Diagramm des Zetapotenzials über der Ladungsbilanz an, wie viel Additiv zudosiert und Überdosierung vermieden werden kann. Damit ist die Ladungsbilanzierung eine Methode, effektive Additividiosierungen abzuschätzen.

**5.2 Bewertung der substantiven Wechselwirkung**

**Substantiv aufziehende Additive**

Der optische Aufheller ist zu substantiven Wechselwirkungen mit der Faser Oberfläche befähigt. Ähnliches Verhalten zeigen substantive anionische Farbstoffe. Diese Wechselwirkungen beruhen auf Charge-Transfer-Wechselwirkungen des Additivs, dass durch seine Konfiguration mit der polarisierten Faser Oberfläche, die durch OH-Dipole gekennzeichnet ist in Wechselwirkung zu treten. Die dabei ausgebildeten Bindungen sind meist stabil, jedoch sind in der Suspension die Repulsionskräfte zwischen der anionischen bzw. polarisierten Faser Oberfläche und dem substantiven Additiv zu überwinden. Dies ist am besten möglich, wenn eine Zugabe im Dickstoff erfolgt und so dem substantiven Additiv, also dem optischen Aufheller hinreichend Zeit für die Anlagerung gegeben wird. Hohe Stoffdichte soll dabei durch die höhere Faserstoffkonzentration die Anlagerung fördern.

CMC, die zwar nicht zu den substantiven Additiven gerechnet werden kann, zeigt aufgrund ihrer Struktur und Ladung ähnliches Verhalten gegenüber der Faser Oberfläche. Deshalb soll neben dem optischen Aufheller hier das Verhalten von CMC einbezogen werden.

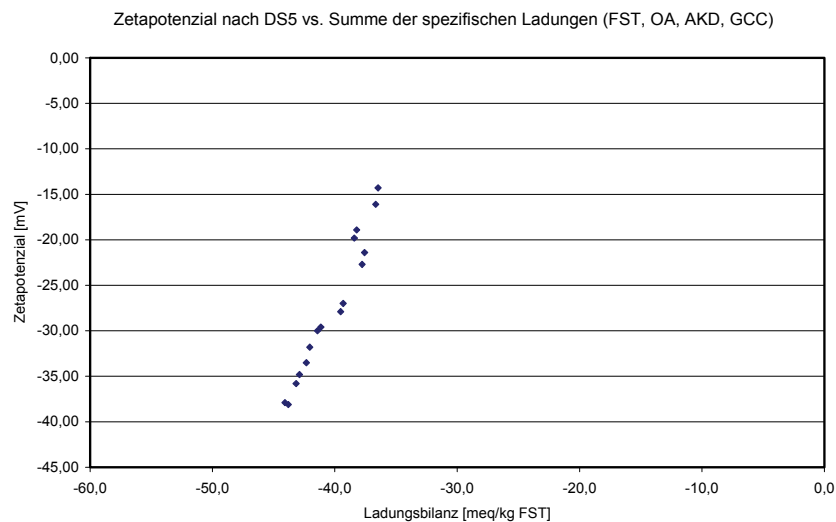
**Konkurrenzreaktionen**

Als Konkurrenzreaktion zum substantiven Aufziehen der Additive auf die Faser sind

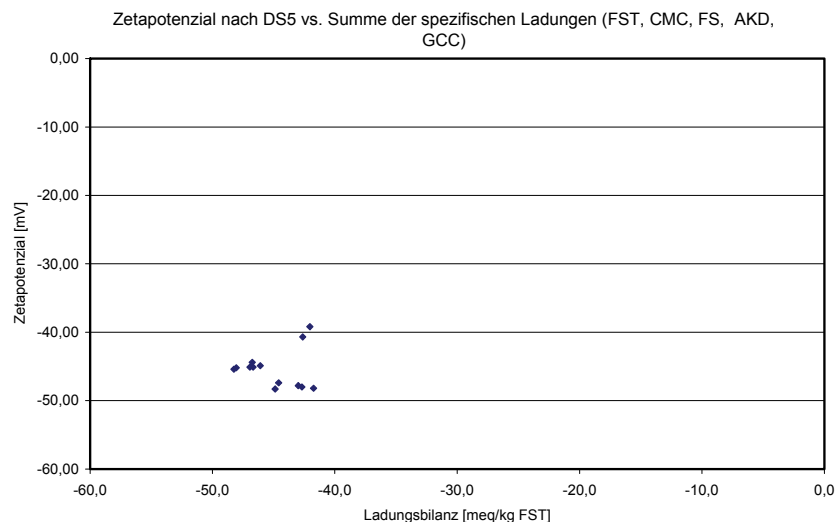
- die substantive Wechselwirkung mit strukturanalogen Additiven und
- vor allem die Simplexbildung mit kationischen Additiven zu betrachten.

Werden gleichzeitig weitere, anionisch geladene Additive oder Füllstoff eingesetzt, steigen die Repulsionskräfte an, so dass das Aufziehen behindert wird.

**Vergleich zwischen OA und CMC**



**Abb. 5.9** Entwicklung des Zetapotenzials in Abhängigkeit von der dosierten Ladungsmenge durch Additivdosierung (optischer Aufheller mit Dosierung von KS, AKD, GCC und RET)



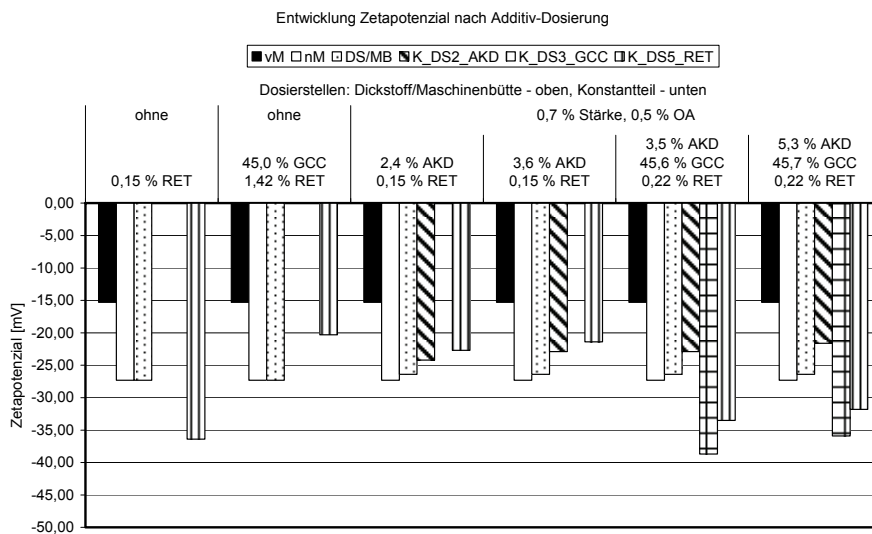
**Abb. 5.10** Entwicklung des Zetapotenzials in Abhängigkeit von der dosierten Ladungsmenge durch Additivdosierung (CMC mit Dosierung von FS, AKD, GCC und RET)

Die Abbildungen zeigen, dass grundsätzlich verschiedenes Verhalten vorliegt: Dies ist auf die unterschiedliche Ladungsmenge die durch CMC-Dosierung oder OA-Dosierung eingetragen wird und die Reaktionswege, zurückzuführen. CMC trägt wesentlich mehr anionische Ladungen in das Retentionssystem ein, kann sich aber unter den Reaktionsbedingungen nur unzureichend an die Faser anlagern, steigert also nicht die anionische Kapazität der Faser. Deshalb ist es auch notwendig bei Einsatz von CMC die Retentionsmittelmenge zu steigern, um noch vertretbare eine vertretbare Füllstoffretention zu erreichen. Dieser Reaktionsweg kann als eine Simplex-Fällung angesehen werden.

Im Gegensatz dazu lagert sich der optische Aufheller zu großen Teilen an die Faser an, macht diese anionischer und schafft dadurch eine höhere anionische Ladungskapazität der Faser. Dadurch führen die Gaben an KS und AKD sowie des Retentionsmittels in diesem Falle zu einem kontinuierlichen Anstieg des Zetapotenzials.

**Entwicklung des Zetapotenzials**

Das folgenden Diagramme zeigen detailliert die Einflüsse von optischem Aufheller und kationischer Stärke mit AKD, und Retentionsmittel in ungefüllten und gefüllten Systemen. Man erkennt, dass man sich in jedem Fall im stabilen anionischen Bereich befindet.



**Abb. 5.11** Entwicklung des Zetapotenzials in der Suspension bei Dosierung von 0,7% KS und 0,5 % OA und nachfolgender Zugabe von AKD und Retentionsmittel (ohne und mit Füllstoff)

**Zusammenfassung**

Substantiven Wechselwirkungen erfordern gegenüber den mehr ladungsgetriebenen starken ionischen Wechselwirkungen eine frühe Dosierung derartig reagierender Additive bei geeigneten Konzentrationsverhältnissen. Bei erhöhter Stoffdichte wird ein frühes Aufziehen auf die Faser möglich. In Abhängigkeit von der Dosiermenge werden die Fasern anionischer. Dies bewirkt einerseits einen geringfügigen Rückgang der Faserstoffretention, andererseits wird aber dadurch die anionische Ladungskapazität der Fasern gesteigert.

---

Drastischer sind die Auswirkungen auf die Füllstoffretention. Durch die hohe anionische Ladung im System, die selbst nach erhöhter Retentionsmittelgabe im Falle CMC noch beobachtet wurde, bricht die Füllstoffretention ein.

---

### 5.3 Bewertung der kovalenten Wechselwirkung

**Reaktive Additive** AKD und NFM sind befähigt kovalente Bindungen zu den Hydroxylgruppen der Faseroberfläche auszubilden. Um dies zu erreichen müssen diese Additive zur Faseroberfläche transportiert werden und die im Bereich des Bindungsabstandes liegende Annäherung an die Faser erreichen.

Dies geschieht in einer ersten Stufe in der Suspension. In der die kationische Ladung des NFM dafür sorgt, dass das Nassfestmittelharz zur anionischen Faser transportiert wird. Im Gegensatz dazu muss AKD, das selbst eine elektrisch neutrale Verbindung ist, durch Einbettung in den Schutzkolloid kationische Stärke zur Faser transportiert werden. Wie die Untersuchungen zeigten, ist das kationische Ladungsreservoir des Schutzkolloides gering, so dass diese ladungsgetriebene Reaktion als schwach einzuschätzen ist.

Die eigentliche Reaktion von AKD mit der Faser erfolgt dann nach Schmelzen und Spreiten des AKD auf der Faser. Für die Verbindung mit der Faser sind dann deren Oberflächenbeschaffenheit, die zur Verfügung stehende Dichte an funktionellen Gruppen und die zur chemischen Bindung führenden Prozessparameter verantwortlich. Die Ausbildung der hydrophoben Faseroberfläche folgt damit anderen Gesetzmäßigkeiten und ist nur hinsichtlich der verfügbaren AKD-Konzentration auf der Faseroberfläche von Retentionsphänomen beeinflusst.

#### Konkurrenzreaktionen

Als Konkurrenzreaktionen zur beabsichtigten Additivwirkung sind

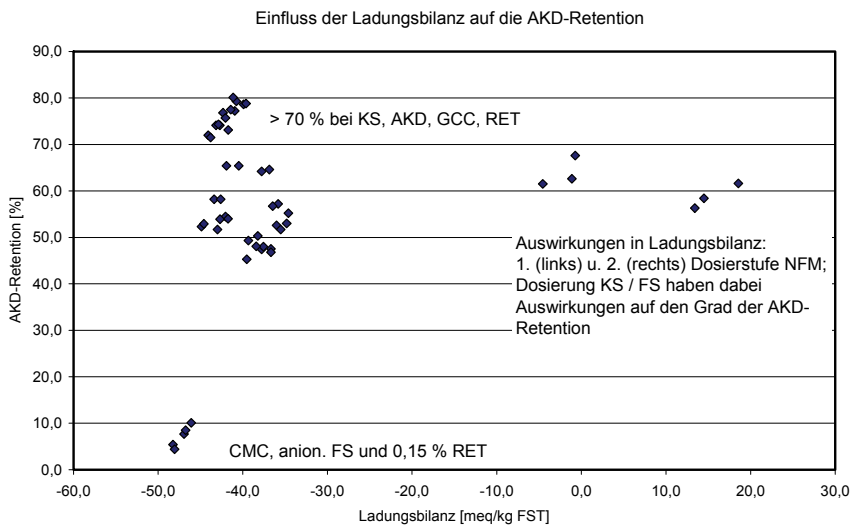
- die Hydrolyse des AKD,
  - die Verdrängungsreaktion durch andere Additive und
  - die Simplexbildung mit anionischen Additiven
- zu berücksichtigen.

#### Ladungsbilanz und Retention

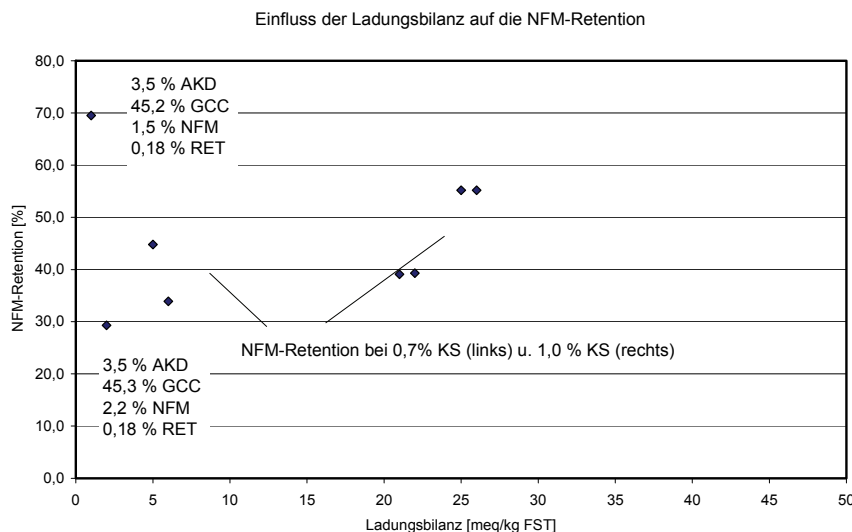
Für reaktive Additive ist ihr Transport zur Faser der erste wichtige Schritt zur Ausbildung der funktionalen Eigenschaft. Die folgenden beiden **Abb. 5.12** und **Abb. 5.13** zeigen, wie die Retention von der Ladungsbilanz beeinflusst wird. Dabei wird deutlich, dass vor allem beim CMC-Einsatz ein erhöhter Retentionsmitteleinsatz dafür sorgt, dass die AKD-Retention in den Bereich von 45 % bis 65 % steigt und Konkurrenzreaktionen so eingeschränkt werden.

Anders liegen die Verhältnisse beim Nassfestmittel. Steigende NFM-Konzentration führt hier offensichtlich zu Konkurrenzreaktionen. Insbesondere in Systemen mit hohen Additivgaben ist deshalb mit einem Einbrechen der Retention gegenüber der Faser zu rechnen. Das zeigt sich dann, wenn in der Ladungsbilanz ein Ladungsanstieg verzeichnet wird, der sich aber nicht mehr in der Additivretention niederschlägt.

---



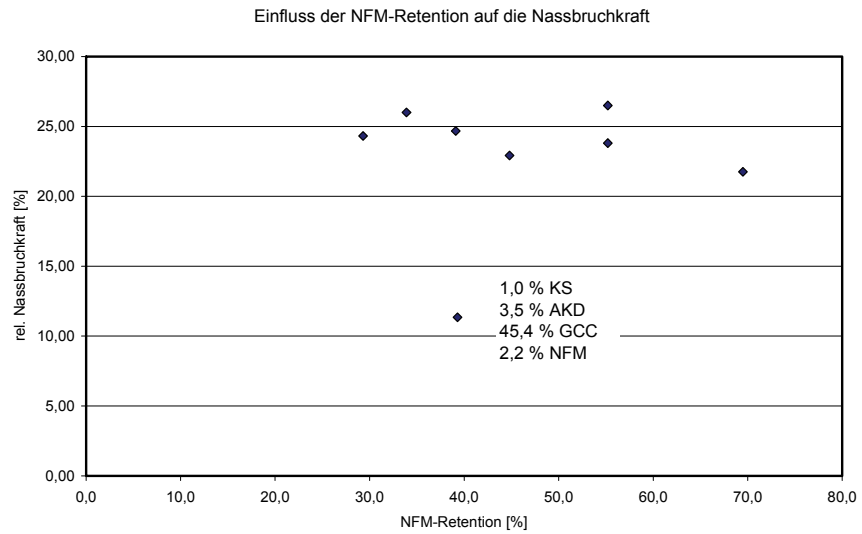
**Abb. 5.12** Einfluss der Ladungsbilanz auf die AKD-Retention. Die Retentionswerte gruppieren sich nach den jeweiligen Dosierkombinationen



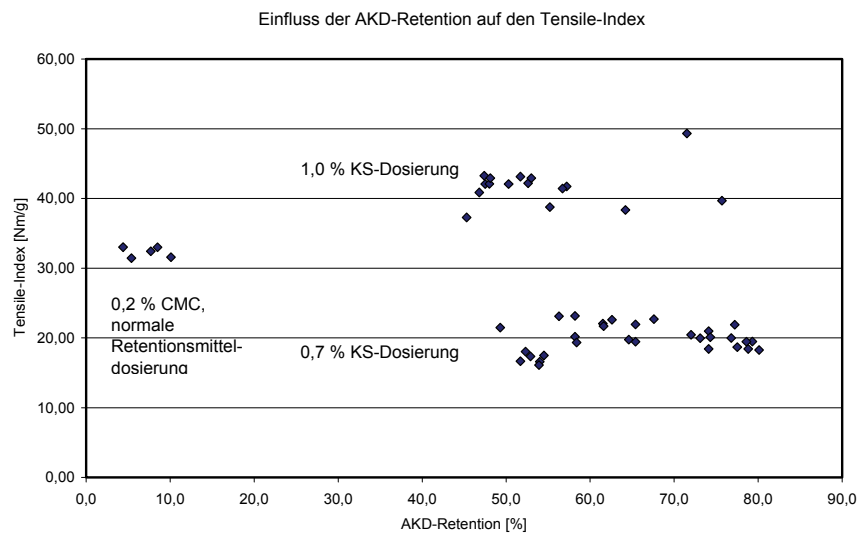
**Abb. 5.13** Einfluss der Ladungsbilanz auf die NFM-Retention. Die Retentionswerte gruppieren sich nach den jeweiligen Dosierkombinationen

**Indikationen mechanischer Papiereigenschaften**

Mechanische Papiereigenschaften können zur Aufklärung der Wirkmechanismen funktionaler Additive herangezogen werden. **Abb. 5.14** zeigt anhand der relativen Nassbruchkraft, dass die NFM-Retention offensichtlich nicht für die Ausprägung von Nassfestigkeit die wesentlichste Tatsache ist. Gemessen an den unterschiedlichen Dosierstufen, pendelt sich eine nahezu konstante relative Nassfestigkeit ein. Dies bedeutet, dass nicht allein die Dosierung und Retention über die Nassfestigkeit entscheidet, sondern die Ausbildung eines nässestabiles Fasernetzwerk entweder durch Konkurrenzreaktionen oder Überdosierung des Nassfestmittel verhindert wurde. In beiden Fällen wäre es nicht gelungen Additvdosierung in funktionale Eigenschaft umzusetzen.



**Abb. 5.14** Einfluss der NFM-Retention auf die Nassbruchkraft.



**Abb. 5.15** Einfluss der AKD-Retention und damit der Retention des Schutzkolloids auf den Tensile-Index

**Abb. 5.15** macht deutlich, dass die mit der steigenden AKD-Retention verbundene Retention des kationischen Stärke-Schutzkolloids praktisch keinen Einfluss auf die Papierfestigkeit ausübt. Es wird aber auch deutlich, dass durch CMC-Einsatz nur dann akzeptable AKD-Retention erreicht wird, wenn die Retentionsmitteldosierung überproportional gesteigert wird.



## 5.4 Vorgehensweisen und Werkzeuge zur Verbesserung der Additiv-Effizienz

### Bewertung der Additiv-Einflüsse und Additiv-Effektivität

Untersuchungen ergaben, dass bei wechselnden Additivkombinationen, so wie sie in den hier vorgenommenen Untersuchungen zum Einsatz kamen, übergreifende Korrelationen zwischen Dosierung, Retention und funktionaler Papiereigenschaft nicht nachweisbar waren.

Wechselnde Additive, unterschiedliche Dosierstufen und verschiedene Wechselwirkungsmechanismen ermöglichten es nicht, die Additivwechselwirkungen mit der Faser in einer einheitlichen Modellvorstellung zu vereinigen.

Die Ergebnisse zeigten aber, dass mit Hilfe verschiedener Werkzeuge zur Analyse der Retentionsvorgänge, Schlussfolgerungen für Wechselwirkungsmechanismen ableitbar waren. Dabei empfahl sich folgende Vorgehensweise:

1. Ermitteln und Visualisieren des Zetapotenzial–Ladungsbilanzverlaufs für Faserstoffe und Additive. Diese Darstellung kann bereits zeigen, ob Spielräume bestehen oder ob ein total überfrachtetes System vorliegt.
2. Ermittlung und Darstellung der Auswirkungen auf die Papierzusammensetzung: Retention von Faser- und Füllstoff sowie der Additiv-Retention in Abhängigkeit von der Ladungsbilanz..
3. Ermitteln der Auswirkungen auf die funktionalen Papiereigenschaften in Relation zur Additiv-Retention

### Zetapotenzial und Ladungsbilanz

Zetapotenzial und Ladungsbilanz lieferten die zentrale Aussage wo das betrachtete Retentionssystem steht. Wie die folgende **Tab. 5.1** zeigt haben verschiedene Additive unterschiedlichen Einfluss auf das Zetapotenzial und die Ladungsbilanz. Den größten Einfluss auf diese Bilanz hat der Faserstoff. Im Mittel machen seine anionischen Ladungen ca. 76 % der Gesamtladung des Systems aus, wobei in den durchgeführten Untersuchungen dieser Einfluss zwischen 37 und 98 % pendelte. An zweiter Position rangiert hier das Nassfestmittel, dass, wo es eingesetzt wurde, ca. zu 42 – 53 % den Ladungshaushalt bestimmte.

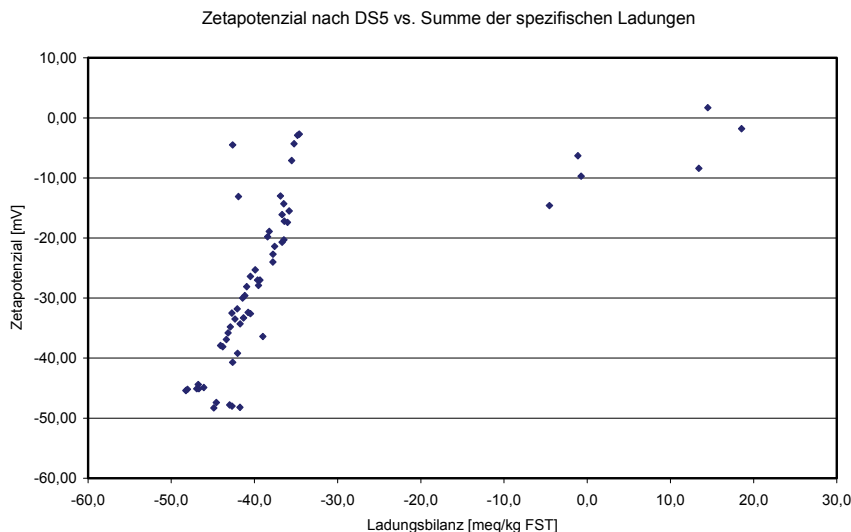
**Tab. 5.1** Anteile der jeweiligen Additivdosierung an der Ladungsbilanz, zusammengefasst für alle Versuche

	Anteil an der jeweiligen Additiv-Ladungsmenge an der bilanzierten Gesamtladung								
	KS	OA	CMC	FS	AKD	GCC	NFM	RET	FST-OFL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>MW</b>	6,0	5,3	14,0	3,1	1,1	8,9	47,7	3,4	75,9
<b>min</b>	2,5	3,3	11,5	1,3	0,5	4,9	42,4	1,0	36,5
<b>max</b>	8,3	7,4	15,8	5,7	1,8	10,9	53,2	15,9	97,8

Die anderen Additive gruppierten sich gemäß obiger Tabelle. Für das neutrale AKD steht hier der kationische Schutzkolloid. Es wird deutlich, dass sein Einfluss auf die Retentionsvorgänge gering ist.

**Tab. 5.1** und die Darstellung des Zusammenhanges zwischen Zetapotenzial und bilanzierter Ladung geben umfassende Informationen zum Ladungshaushalt eines Additiv-Systems. Dies verdeutlicht beispielhaft die folgende **Abb. 5.16**. Dabei charakterisiert das Zetapotenzial die Triebkraft der Wechselwirkung und die Ladungsbilanz das Vermögen mit gegenteilig geladenen Reaktionspartnern zu reagieren. Folgt bei Additivzugabe das Zetapotenzial der Ladungsdosierung

(ein linearer Anstieg ist in **Abb. 5.16** zu verzeichnen), so zeigt dies an, dass das System noch gegenteilig geladene Additive aufnehmen kann und diese auch retendiert werden. Die beobachteten Abweichungen deuten darauf hin, dass überdosiert wurde und die Additivzugabe nicht in funktionale Papiereigenschaft umsetzbar war.



**Abb. 5.16** Zusammenhang zwischen Zetapotenzial und bilanzierter Ladung für alle Versuche

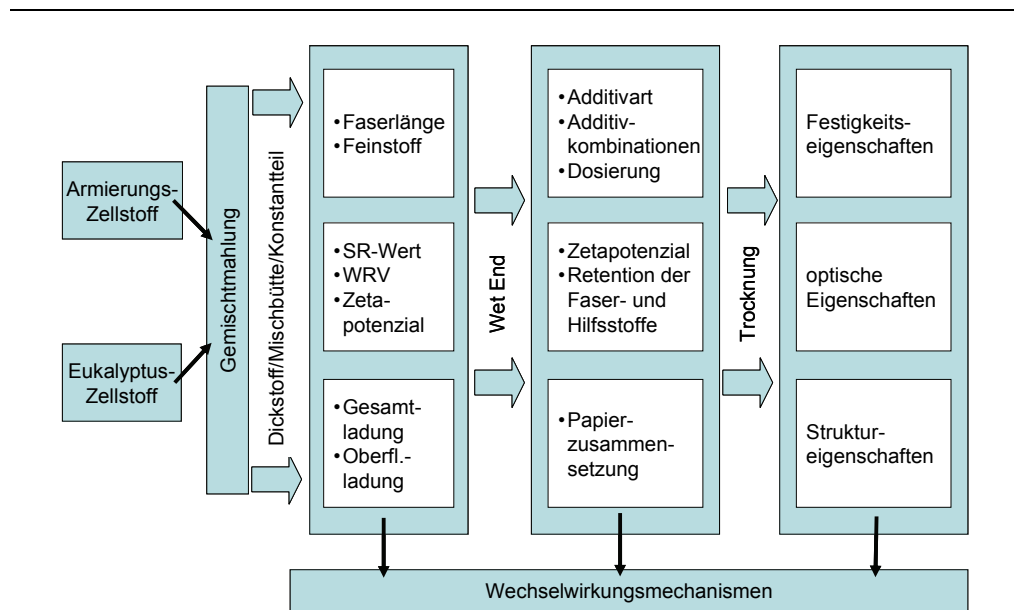
**Papierzusammen-  
setzung und  
Papiereigenschaf-  
ten**

Die Papierzusammensetzung wird durch die Retention der Faser- und Füllstoffe sowie der Additive festgelegt. Für funktionale Additive ist dabei meist der Grad der Eigenretention an der Faser für die Ausprägung funktionaler Papiereigenschaften maßgeblich. Das Verhältnis von Faser- zu Füllstoff entscheidet dabei über Festigkeits-, Struktur- und optische Eigenschaften, vorausgesetzt die Faserstoffeigenschaften wurden konstant gehalten.

Zur Bewertung der Effektivität der Dosierung eines funktionalen Additivs ist das Verhältnis von dosiertem bzw. retendiertem Additiv zur erzielten Papiereigenschaft geeignet.

**Bewertungs-  
schema für  
Faser-Additiv-  
Wechsel-  
wirkungen**

Die folgende **Abb. 5.17** verdeutlicht am Beispiel der durchgeführten Untersuchungen die Vorgehensweise, wie verflochtene Wechselwirkungsmechanismen, die zur Ausbildung funktionaler Papiereigenschaften führen, analysiert und bewertet werden können.



**Abb. 5.17** Bewertungsschema für Faser-Additiv-Wechselwirkungen

## 6 Validierung der Ergebnisse in der industriellen Praxis

### Praxisversuche

Zur Validierung der Ergebnisse hinsichtlich der Vorgehensweisen zur Bewertung und der gezogenen Schlussfolgerungen erfolgten Untersuchungen in Papierfabriken. Hierzu wurden die Erzeugungsbedingungen sowie Additivdosierungen analysiert, wobei die entwickelten Werkzeuge zur Anwendung gelangten. Die Faser-Additiv-Wechselwirkungen wurden so von der Stoffaufbereitung bis zum fertigen Papier verfolgt.

### Vorgehen

Es wurden zwei Papierfabriken ausgewählt, in denen Faserstoffe und Additive zur Anwendung gelangten, in denen aber eine Vielzahl weiterer Parameter auf die Faser-Additiv-Wechselwirkung Einfluss nahmen, wie Kreislaufführung, belastetes Kreislaufwasser sowie weitere Additive, vor allem Prozessadditive.

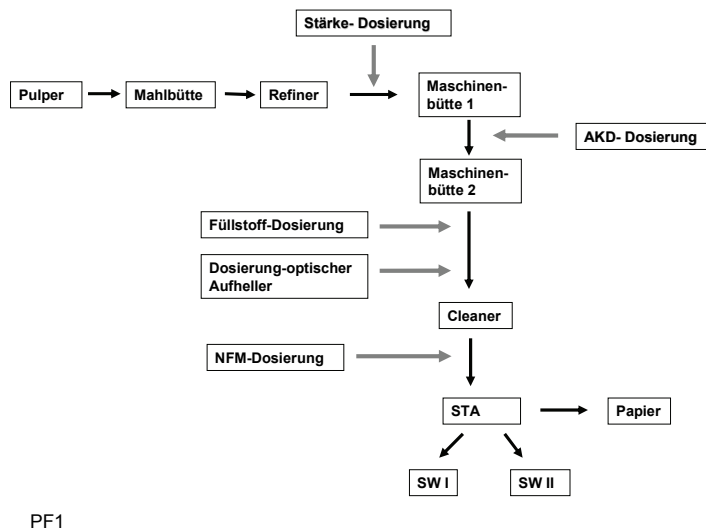
In der Papierfabrik 1 kam ein Eukalyptuszellstoff und in der Papierfabrik 2 ein Gemisch aus Nadelholzzellstoff und Eukalyptuszellstoff zum Einsatz. Unterschiede bestanden in der Faserstoffart und der Mahlung.

In der PF1 wurden zwei Papiersortimente untersucht. Diese unterschieden sich hinsichtlich des Füllstoffgehalts (ohne/mit Füllstoff).

Die Bewertung der Ergebnisse soll Aufschluss über die Faser-Additiv-Wechselwirkungen hinsichtlich der eingesetzten Additive geben. Durch Schlussfolgerungen für Zellstoffauswahl und -mahlung sowie die Prozessführung in der Stoffaufbereitung sollte mögliches Optimierungspotenzial ermittelt werden.

### 6.1 Anwendung in der Papierfabrik 1 (PF1)

**Charakteristik  
PF1**



**Abb. 6.1** Papierfabrik PF1 - Prinzipschema

Papierfabrik 1 erzeugt aus gemahlenem Eukalyptuszellstoff Papier, das mittels Stärke trocken verfestigt und AKD-geleimt wurde. Das Papier wurde optisch aufgehellt, mit Füllstoff versetzt und nassfest ausgerüstet.

**Charakterisierung der eingesetzten Faserstoffe**

Die in PF1 eingesetzten Faserstoffe wurden ebenfalls bezüglich ihrer Ladungs- und Quellungseigenschaften charakterisiert, um das Ladungspotenzial, das vom Faserstoff ausgeht, quantifizieren zu können.

**Tab. 6.1** Ladungscharakteristik der eingesetzten Faserstoffe für PF1

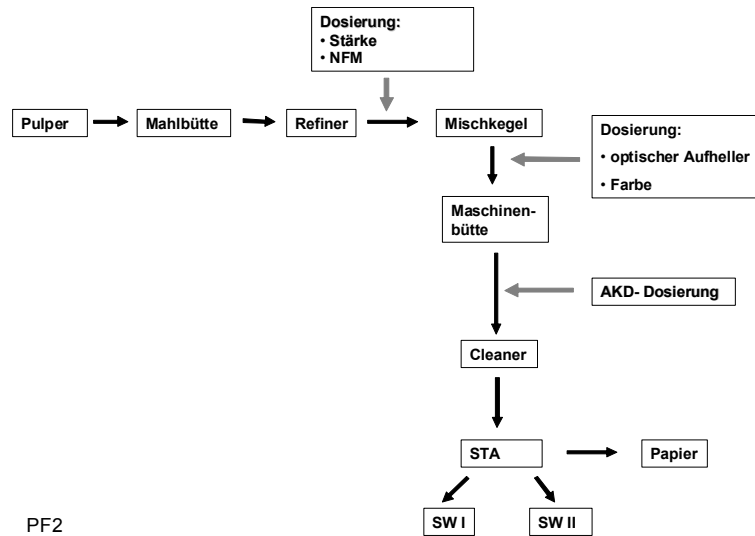
PF1 Sorte 1 und 2	Gesamtladung	Oberflächenladung	WRV	EW
	[meq/kg ZS]	[meq/kg ZS]	[%]	[SR]
Faserstoff für Sorte1	-69,5	-47,14	181	31
Faserstoff für Sorte2	-76,5	-50,18	193	33
Faserstoffmischung TEC-Versuche	-58,9	-39,90	179	26

Die Gesamtladung entspricht dem Gehalt an Carboxylgruppen des Faserstoffes. Carboxylgruppen sind die Ursache für die anionische Ladung der Zellstoffe, reagieren mit kationischen Additiven in der Papiererzeugung und liefern über den osmotischen Druck einen Beitrag zum Quellvermögen der Fasern. Wie aus **Tab. 6.1** ersichtlich wird, zeigte der Faserstoff der PF1 erwartungsgemäß eine höhere Gesamtladung als der Faserstoffmischung der TEC-Versuche, da 100 % Eukalyptuszellstoff eingesetzt wurde.

Die Oberflächenladung des Faserstoffes der PF1 ist höher als die der Faserstoffmischung der TEC-Versuche. Dies resultiert aus der Faserstoffart und der stärkeren Mahlung dieses Faserstoffes. Als Konsequenz kann dieser Faserstoff mehr kationische Additive aufnehmen, ohne übersättigt zu werden.

## 6.2 Anwendung in der Papierfabrik 2 (PF2)

### Charakteristik PF2



**Abb. 6.2** Papierfabrik PF2 - Prinzipschema

PF2 erzeugt ein Papier mit gleichartigen Additiven wie PF1. Eine Rezeptur aus Lang- und Kurzfaserstoff wird gemischt gemahlen sowie mittels Stärke und NFM nass- und trockenverfestigt. Danach erfolgte die Dosierung von optischen Aufheller und Farbe. Das Papier wurde AKD-geleimt.

### Charakterisierung der eingesetzten Faserstoffe

Die in PF2 eingesetzte Faserstoffmischung für Papiersorte 2 wurde ebenfalls bezüglich ihrer Ladungs- und Quellungseigenschaften charakterisiert, um das Ladungspotenzial, das vom Faserstoff ausgeht, quantifizieren zu können.

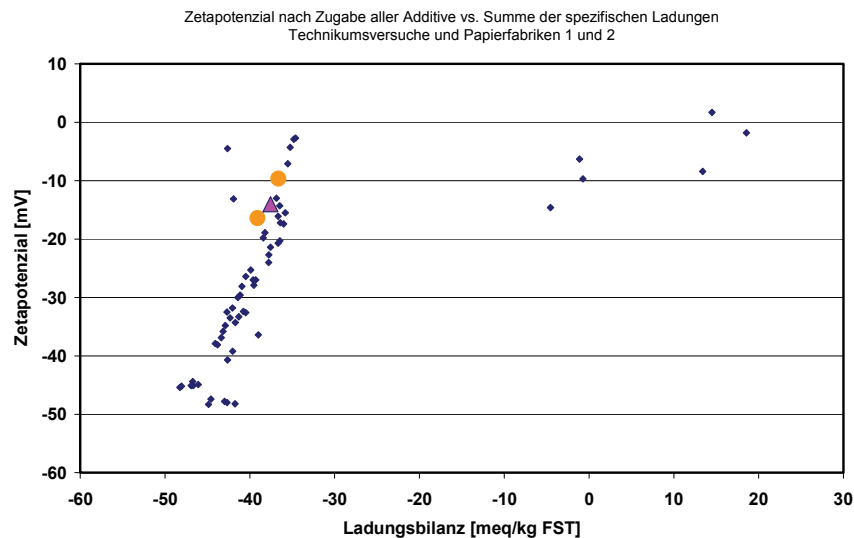
**Tab. 6.2** Ladungscharakteristik der eingesetzten Faserstoffmischung für PF2

PF2 Sorte 1	Gesamt-ladung	Oberflächen-ladung	WRV	EW
	[meq/kg ZS]	[meq/kg ZS]	[%]	[SR]
Faserstoffmischung	-74,4	-45,43	176	25

**Tab. 6.2** zeigt, dass auch die Faserstoffmischung der PF2 eine höhere Gesamt- und Oberflächenladung als die Faserstoffmischung der TEC-Versuche aufwies. Der WRV und der Entwässerungswiderstand waren vergleichbar. Die eingesetzten Faserstoffe bringen gegenüber PF1 ein ähnliches anionisches Potenzial mit, das dem summarischen Potenzial der Additive gegenübergestellt wurde.

### Zusammenfassung

**Abb. 6.3** zeigt den Zusammenhang zwischen Zetapotenzial und balanzierter Ladung der Versuche des Technikums und für die Untersuchungen in beiden Papierfabriken. Die Ergebnisse der drei Praxisversuche ordneten sich in die der Technikumsversuche ein. Dies kann als eine Bestätigung des ermittelten Zusammenhangs zwischen Zetapotenzial und Ladungsbilanz angesehen werden.



**Abb. 6.3** Zusammenhang zwischen Zetapotenzial und bilanzierter Ladung für die PF1 und die PF2 im Vergleich zu den Technikumsversuchen

Auch die Untersuchungen zur Abhängigkeit der Nassfestmittelretention vom Zetapotenzial wurden bestätigt. Eine Erhöhung des Nassfestmitteleinsatzes unter vergleichbaren Potenzialbedingungen führten infolge von Konkurrenzreaktionen auch nicht zu einer höheren NFM-Retention.

Durch die Ergebnisse der Untersuchungen in den zwei Papierfabriken konnten die Aussagen aus den Versuchen im Technikum bestätigt werden.

Die empfohlene Vorgehensweise, anhand umfassender Informationen zum Ladungshaushalt eines Additiv-Faserstoff-Systems auf Wirkungsmechanismen zwischen Faser und funktionalen Additiven zu schließen, erwies sich in den Praxistests als tragfähig. Sie wird zukünftig in weiteren Praxisuntersuchungen und Dienstleistungen in der industriellen Praxis weiter verifiziert.

## 7 Einordnung der Ergebnisse

### Verfahren und technische Lösungen

Die in wässrigen Systemen des Papiererzeugungsprozesses wirksam werden den Ladungsmengen aller Faserstoffe und Additive sind durch Titrationsverfahren oder Zetapotenzialmessungen zugänglich. Wie in der Forschungsarbeit dargelegt, sind die Ladungsverhältnisse von Faserstoff-Additiv-Systemen somit umfassend bewertbar. Sie basieren auf Ladungsbilanzen, welche die Ladungsmengen aller Einzelkomponenten summarisch erfassen.

Es stellte sich heraus, dass anhand der Gegenüberstellung von Ladungsbilanz und dem sich einstellenden Zetapotenzial (**Abb. 5.16**, **Abb. 6.3**) die Bildung von Simplexen beurteilt werden kann. Damit ist es möglich unnötige Additivzugaben, die nicht in nutzbringende Papiereigenschaften umgesetzt werden, unmittelbar zu bewerten. Auf Basis dieser Bewertungsgrundlage können Maßnahmen für einen effizienten Additiveinsatz ergriffen und unnötige Mehrkosten eingespart werden. Daraus kann auch erkannt werden, ob Retentionswerte oder Papierei-

genschaften, welche durch Additivdosierungen angestrebt werden, auch tatsächlich erreichbar sind.

Die Ladungsmengenanteile, welche der Faserstoff und die unterschiedlichen Additive zur Ladungsbilanz beitragen sind in höchstem Maße unterschiedlich (Tab. 5.1). Für maßgebliche Veränderungen der Wirksamkeit eingesetzter Additivsysteme sind vor allem solche Additive heranzuziehen, welche in hohem Maße zur Ladungsbilanz beitragen. Hieraus leiten sich die Wichtung und die Reihenfolge durchzuführender Maßnahmen für die Verbesserung der Faser-Additiv-Wechselwirkung ab.

Die in kleintechnischen sowie in Betriebsuntersuchungen überprüfte Probenahmestrategie kann zur Identifizierung bestehender Defizite im Papiererzeugungsprozess eingesetzt werden. Die Additivwirksamkeit wird hierbei maßgeblich durch den Abgleich zwischen Zetapotenzial und der Ladungsbilanz am Stoffauf-  
lauf beurteilt. So entsteht ein örtlich und damit zeitlich aufgelöstes Gesamtbild des Verhaltens der Additive im Prozess (Ist-Zustand). Nur unter Kenntnis des Ist-Zustandes können Veränderungen der Dosierstrategie (Zugabeorte, Zugabemengen) erfolgen. Angesichts der dargelegten, komplexen Wechselwirkungen ist eine empirische Vorgehensweise zur Additiveinsparung mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zielführend oder bleibt deutlich hinter den aufgezeigten Möglichkeiten zurück.

Die Bewertung der Additivwirksamkeit und ihrer Umsetzung in Papiereigenschaften hat stets, wie im Forschungsbericht aufgeführt, auch im Abgleich mit der Faserstoff- und Füllstoffretention zu erfolgen.

---

## 8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Marktsituation der Papierhersteller

Die Analyse der Kostenfaktoren im Jahr 2007 zeigte, dass etwa 30 % der Kosten auf Roh- und Halbstoffe und 15 % auf sonstiges Material, in dem die Additive enthalten sind, entfielen [10]. Das macht deutlich, welches Kostenpotenzial beide Kostenfaktoren repräsentieren und dass eine nachhaltige Reduzierung dieser Kosten die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Papierindustrie mit bestimmt.

### Kostenkompo- nente Zellstoff

Die angestrebten Eigenschaften im Papier werden durch die Wechselwirkungen zwischen funktionalen Additiven mit gemahlene Zellstoffe erreicht. Dies bedeutet einerseits, dass nicht allein die funktionalen Additive bezüglich der eingesetzter Menge und ihres spezifischen Preises die wirtschaftlichen Effekte sowie die Qualität der erzeugten Papiere beeinflussen, sondern dass auch der Faktor Faserstoff als größte Kostenkomponente in die Betrachtungen einzubeziehen ist.

Marktzellstoffe werden global gehandelt. Größte wirtschaftliche Bedeutung besitzen NBSK-Zellstoffe für Armierungszwecke in den aufgeführten Papiersortimenten sowie die bei BHKP dominierenden Eukalyptuszellstoffe. Sie machen im Mittel etwa 80 % der Masse hochwertiger Papiere aus und werden im Verhältnis 20 / 80 (NBSK / BHKP) eingesetzt. Während der Langfasermarkt nur langsam wächst besteht mittlerweile große Nachfrage nach modernen Eukalyptuszellstoffen. Diese Tendenz spiegelt insbesondere die stetige Verteuerung der Kurzfasern gegenüber den Langfaserzellstoffen wider (Tab. 8.1).

**Kostenkomponente Zellstoff****Tab. 8.1** Preise typischer Papierzellstoffe [11]

Preisindex (PIX) in €/t	Mitte 2005	Mitte 2008
PIX NBSK (north. bleached softwood kraft)	465	569
PIX BHKP (bleached hardwood kraft pulp)	470	534

**Kostenkomponente Additive**

Funktionale Additive werden in der Masse eingesetzt. Additivtypen und einige wirtschaftlich wichtiger Kenndaten dieser Additive fasst die folgende zusammen.

**Tab. 8.2** Funktionale Additivtypen und Einsatzkonzentration (HW – Handelsware, WS – Wirksubstanz)

Additivtyp	Typ. spez. Dosierungen	Typ. Vertreter
Trockenfestmittel (TFM)	Stärke: bis 2,5 % (HW) CMC: bis 2,0 % (HW) Synth. TFM: bis 0,05 % (HW)	Stärke und Stärkederivate, CMC, synth. TFM (Polyacrylamid)
Nassfestmittel (NFM)	bis 10 % (HW)	PAAM-Epichlorhydrinharze
Optische Aufheller	bis 0,35 % (WS)	Disulpho- und Tetrasulpho-Typen
Anion. Direktfarbstoffe	bis 2,5 % (HW)	Azofarbstoffe
Synth. Leimungsmittel	bis 0,3 % (WS)	AKD, ASA

Moderne Additive werden in global agierenden Chemiekonzernen aber auch in innovativen, mittelständischen Firmen erzeugt. Die Haupterzeugungsgebiete sind Westeuropa und die USA.

Die Preise differieren stark: die Preisspanne liegt etwa zwischen 0,50 €/kg und 4 €/kg, in Ausnahmefällen 8 €/kg (HW). Für eine wirtschaftliche Abschätzungen, wie sie hier für grafische und Spezialpapiere erfolgt, ist ein spezifischer Kalkulationspreis von ca. 2,0 bis 2,50 €/kg Handelsware allgemein akzeptiert. Preisnachlässe für verschiedene Firmen in Abhängigkeit von der geordneten Qualitätsstufe und der Menge machen die konkrete wirtschaftliche Abschätzung erst im jeweiligen Anwendungsfall möglich.

**Erfolgsaussichten für KMU**

Insbesondere die häufig als KMU vertretenen Spezialpapierhersteller profitieren von den Projektergebnissen, da die Eigenschaften von Spezialpapieren maßgeblich auf der Beherrschung des Additiveinsatzes aufbauen. Auch die Eigenschaftsvielfalt von Spezialpapieren wird häufig erst durch die Kombination verschiedener Additive und Faserstoffe möglich. Hier liegt die Stärke der deutschen Spezialpapierhersteller: Nischenproduktionen durch die flexible Anpassung an spezielle Verwendungszwecke. Sie zeigt sich in daran, dass in Deutschland mehr als ein Drittel aller im CEPI-Raum hergestellten Spezialpapiere erzeugt werden. Das ist ein höherer Anteil als für andere Papiersorten. Die Wirtschaftskraft dieser oftmals noch als Familienunternehmen geführten Firmen wird durch den systematischen Ausbau ihres Know-Hows weiter verbessert.



**Ansprechpartner für weitere Informationen:**

Dr. Klaus Erhard  
Tel. 03529 / 551-627  
[klaus.erhard@ptspaper.de](mailto:klaus.erhard@ptspaper.de)

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

E-Mail: [info@ptspaper.de](mailto:info@ptspaper.de)  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

**Literaturverzeichnis**

- 1 BAYER R.  
Optimierung des Einsatzes von Nassfestmitteln bei der Papiererzeugung mit ECF- u. TCF-Zellstoffen  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 04/2000
- 2 ERHARD K., FIEDLER M. u. M. PIRGER  
Der Einfluss der spezifischen Oberfläche von Faserstoffen auf die Wirkungsweise von chemischen Additiven und auf wesentliche Papiereigenschaften  
PTS-Forschungsberichte PTS-FB 23/03
- 3 ALBER W.  
Veränderungen der chemischen Reaktivität der Faserstoffkomponenten durch Mahlung  
PTS-Forschungsberichte PTS-FB 20/99
- 4 FROHBERG K. u. K. ERHARD  
Charakterisierung des bei der Mahlung gebildeten Feinstoffs und seiner Wechselwirkung mit chemischen Zusatzstoffen durch Verfolgung des Sedimentationsverhaltens der Faserstoffsuspension  
PTS-Forschungsberichte PTS-FB 28/03
- 5 GEBAUER J.  
Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen Faserstoffen und Additiven bei der Papiererzeugung im Technikum der PTS  
TU Dresden, Lehrstuhl für Papiertechnik, Großer Beleg Nr. 55 (2006), Dresden 2007
- 6 ERHARD K.  
Technologisch-wirtschaftlich optimiertes Färben von Papier durch gezielte Nutzung des Eigenschaftspotenzials moderner Zellstoffe  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 18/02 zum Forschungsvorhaben AiF 12 298 BR
- 7 ERHARD K. u. W. ALBER  
Optimierung des Einsatzes optischer Aufheller bei der Erzeugung graphischer Papiere  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 18/03 zum Forschungsvorhaben AiF 12 804 BR
- 8 ALBER W. u. K. FROHBERG  
Entwicklung der Reaktivität von Eukalyptuszellstoffen gegenüber chemischen Additiven durch Mahlung unter Besonderer Berücksichtigung des gebildeten Feinstoffs  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 03/03 zum Forschungsvorhaben BMWi 332/01
- 9 FIEDLER M. u. K. ERHARD  
Verbesserung der Leimung durch Steuerung der AKD-Faserstoff-Wechselwirkung  
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 14373 zum Forschungsvorhaben AiF 14373 (2007)
- 10 N.N.  
Papier 2008 – Ein Leistungsbericht  
Verband deutscher Papierfabriken (Hrsg.), 2008
- 11 [www.foex.fi](http://www.foex.fi)  
FOEX Indexes Ltd., Finnland