

PTS-FORSCHUNGSBERICHT IGF 16315

METHODE ZUR PROGNOSE DES WEISSGRADES VON DEINKSTOFFEN (DIP) ALS GRUNDLAGE FÜR DIE PROZESSOPTIMIERUNG DER DRUCK-FARBENENTFERNUNG

Titel**METHODE ZUR PROGNOSE DES WEIßGRADES VON DEINKSTOFFEN (DIP) ALS GRUNDLAGE FÜR DIE PROZESSOPTIMIERUNG DER DRUCKFARBENENTFERNUNG**

T. Kuntzsch, G. Meinl, F. Nießner

Inhalt

1	Zusammenfassung	2
2	Abstract	3
3	Einleitung	6
3.1	Ausgangssituation	6
3.2	Möglichkeiten zur Nutzung einer Prognose der optischen Eigenschaften	7
3.3	Schmutzpunktartikel und ihre Wirkung auf optische Papiereigenschaften	8
3.4	Modellmäßige Beschreibung des Einflusses von Druckfarbenpartikeln auf die optischen Papiereigenschaften	9
4	Forschungsziel und Konzeptentwicklung	11
5	Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisauswertung	14
6	Erarbeitung einer Methodik zur Weißgradprognose	16
6.1	Beschreibung des Einflusses von Faser- und Füllstoff auf die Lichtstreuung	16
6.2	Beschreibung des Partikelgrößeneinflusses auf die Absorptionswirkung der Druckfarbe	18
6.3	Anteilmäßige Wichtung der Effekte von Druckfarbe und Hintergrund	25
6.4	Zusammenführung der Einzelschritte zur Weißgradprognose	27
7	Praxisvalidierung und Modellanwendung in Szenarienrechnungen	30
7.1	Praxisvalidierung in Papierfabriken	30
7.2	Modellüberprüfung und Anwendung in Szenarienrechnungen	34
8	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)	38

1 Zusammenfassung

Thema	Methode zur Prognose des Weißgrades von Deinkstoffen (DIP) als Grundlage für die Prozessoptimierung der Druckfarbenentfernung
Zielstellung	<p>Ziel des Forschungsprojektes war die Bereitstellung einer Methode zur sicheren Prognose des Weißgrads in Fertigstoffen und anderen Stoffen auf Basis folgender bilanzierbarer und durch die Prozessoptimierung beeinflussbarer Größen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Beladung und Größenverteilung Druckfarbenpartikel• Stoffzusammensetzung (Faserfraktionen, Füllstoffe)• Hintergrundweiße des druckfarbenfreien Stoffes
Ergebnisse	<p>Als Ergebnis wurden eine Methode zur Berechnung des Weißgrades unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Druckfarbenpartikel und der weiteren Stoffkomponenten bereitgestellt und folgende Teilergebnisse erzielt:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bereitstellung von Modellen für den Zusammenhang zwischen der durch die Druckfarbe verursachten Absorptionswirkung und der Größenverteilung bzw. Flächenbeladung der Druckfarbenpartikel• Nutzbarmachung und Anpassung von Berechnungsansätzen zur Bestimmung der anteiligen Wirkung von Druckfarbe und übrigen Komponenten der Stoffsuspension (Fasern, Füllstoffe, ...)• Eignungsnachweis der Prognosealgorithmen für den Praxis relevanten, routinemäßigen Einsatz anhand umfangreicher Praxisdaten• Nachweis der Modellgüte als Voraussetzung für eine spätere Kombination mit Prozessmodellen zur Gewährleistung sicherer Ergebnisvoraussagen
Schlussfolgerungen	<p>Die im Projekt entwickelte Methodik „Prognose Weißgrad“ bietet in Kombination mit Modellen für die Druckfarbenentfernung (Entwicklung in Vorprojekten) die wesentlichen Voraussetzungen für eine Offline-Optimierung der Prozessführung von Deinkinganlagen zur Reduzierung des Rohstoff- und Additiveinsatzes und damit eine Erhöhung der Prognosesicherheit bei der Entwicklung (künftiger) Verfahrenskonzepte und Fahrweisen in der Deinkingtechnologie. Prinzipiell ist auch ein späterer Einsatz für eine Modell basierte Online-Optimierung von Deinkinganlagen denkbar.</p>
Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)	<p>Das Anwendungsfeld der angestrebten Forschungsergebnisse liegt neben den Erzeugern und Verarbeitern von Deinkstoffen vor allem bei den für die Papierindustrie tätigen Planern, Ingenieurbüros und Beratungsfirmen. Die Forschungsergebnisse sind insbesondere für die Erstellung von Optimierungskonzepten und im Rahmen von Beratungen einsetzbar. Die erarbeiteten Modellierungsansätze können von Zulieferern aus den Bereichen der Softwareherstellung, der Prozessleittechnik und der Regelungstechnik genutzt werden, um Software basierte Optimierungen zu erstellen.</p> <p>Weitere mögliche Anwender sind Hersteller der für die Druckfarbenentfernung notwendigen Anlagentechnik und der Zulieferindustrie (Messtechnik, Additive),</p>

die eine Verbesserung der Anwendbarkeit ihrer Produkte erreichen können.

Aufgrund der beabsichtigten Allgemeingültigkeit sind die Forschungsergebnisse auch für Druckfarbenhersteller und für das Druckgewerbe von Nutzen.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF 16315 BR der AiF-Forschungsvereinigung PTS wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



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

Forecasting method for the brightness of deinked pulp (DIP) as basis for optimization of ink removal processes.

Objective

Aim of this research project was the development of a method making it possible to reliably forecast the brightness of finished and other pulps on the basis of the following parameters which can be influenced by process optimization:

- loading and size distribution of ink particles,
 - pulp composition (fibre fractions, fillers) and respective “background brightness”
-

- Research results** The result of the research project is a method making it possible to reliably calculate the brightness taking into account the properties of ink particles and other suspension components. The following results are the outcome of the project work:
- provision of models to describe the relationship between the absorption effects caused by ink particles and the size distribution as well as total area loading of ink particles,
 - utilization and adaptation of calculation approaches to determine the proportional effects of ink and other suspension components (fibres, fillers, ...),
 - verifying the suitability of forecasting algorithms for practically relevant, routine application, based on extensive practical data,
 - verifying the quality of models as a prerequisite for combining them with process models later on to ensure reliable result forecasts.
-

Economic benefits for small and medium enterprises (SME)

A calculation method for brightness is a key prerequisite for simulation-based optimizations of ink removal processes as well as for stabilizing and improving the DIP quality. The research results can therefore be used primarily by companies producing or using deinked pulps. The calculation method is not limited to deinked pulps, though. There is a growing demand for high brightness also in the production of certain packaging papers, which must be met by suitably selected raw materials and treatment processes.

The calculation method contributes significantly to the transfer of knowledge about the optimization of individual process stages and evaluation of overall pulp treatment concepts, resulting in the following main economic effects:

- reduction of raw material, disposal and chemical costs,
 - less costly and time-consuming process optimizations and reduced risk of new process concepts,
 - fast estimation of the effects of alternative raw materials.
-

Acknowledgement

The IGF 16315 BR research project of the AiF research association PTS was funded within the program of promoting “pre-competitive joint research (IGF)” by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi based on a decision of the German Bundestag and carried out under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. 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 companies for providing proper samples as well as for supporting project performance.

3 Einleitung

3.1 Ausgangssituation

Optische Eigenschaften: Bedarf und Maßnahmen

Bei der Herstellung von graphischen Papieren und bei der Produktion von Verpackungspapieren, die zunehmend als Werbeträger dienen, sind die optischen Papiereigenschaften von besonderem Interesse. Dies gilt auch für eine Reihe weiterer Sorten, die mengenbezogen weniger bedeutend sind.

Zur Gewährleistung der hohen Ansprüche an die optischen Eigenschaften sind immer aufwändigere Verfahren in der Altpapieraufbereitung mit entsprechend höheren Investitions- und Betriebskosten erforderlich, weil einerseits die Altpapiereinsatzquote weiter steigt (gegenwärtig ca. 70 % [1]) und sich andererseits die Qualität des zur Verfügung stehenden Altpapiers durch Zunahme des Mehrfarbendrucks und der eingesetzten Druckfarbenmenge verschlechtert [2, 3, 4].

Zur Verbesserung der Prozesseffizienz durch optimierte Prozessführung werden neue (Modell basierte) Regelungsstrategien und -verfahren eingesetzt. Die derzeit bekannten Lösungen nutzen Daten basierte Ansätze, die auf ein bestehendes Stoff- und Verfahrenssystem kalibriert sind und nur mit erheblichem Aufwand auf andere Papierfabriken oder Schaltungskombinationen angepasst werden können [5, 6, 7, 8, 9, 16].

Anlagenbauer sind aufgrund der beschriebenen Zwänge bestrebt, neue Prozesstechniken zu entwickeln. Die Auswirkungen der daraus resultierenden künftigen Verfahrenskonzepte auf das Fertigpapier lassen sich naturgemäß nicht erfahrungsbasiert abschätzen, Praxisversuche fehlen in der Regel. Eine Prognose der erzielbaren Fertigstoffqualität, die auf der erwarteten Performance der neuen Technik basiert, wäre von großem Nutzen, da eine Realisierung mit hohen wirtschaftlichen, technologischen und planerischen Risiken für Planer, Ingenieurbüros, Anlagenbauer und Betreiber (Papierfabriken) verbunden ist.

Bewertung des Deinkstoffs und Ansatz für Forschungsprojekt

Die wesentliche Kenngröße zur Bewertung der Deinkstoffqualität ist der Weißgrad, welcher von den im Stoff enthaltenen Druckfarbenpartikeln sowie Faser- und Füllstoffen abhängt. Wesentlichen Einfluss hat neben der Konzentration bzw. Menge an Druckfarbenpartikeln auch deren Größenspektrum, das in den verwendeten Aufbereitungsprozessen z.B. durch Zerfaserung, Dispergierung oder Flockung entscheidend beeinflusst werden kann [10, 11, 12].

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollte aufbauend auf einer leistungsfähigen Messmethodik, die eine Erfassung auch der kleinen Partikel bis hinab zu 1..2 µm unter weitgehender Unterdrückung des Faserhintergrunds (Absolut-Messung) gestattet, eine Vorgehensweise zur Berechnung des Weißgrades in Abhängigkeit der Beladung und Größenverteilung an Druckfarbenpartikeln erarbeitet werden.

3.2 Möglichkeiten zur Nutzung einer Prognose der optischen Eigenschaften

**Online- Prozess-
optimierung auf
Basis modell-
basierter
Regelungen**

Modell basierte Regelungen zur Einhaltung eines geforderten Weißgrads stützen sich in der Regel auf eine Online-Messung integraler Stoffeigenschaften (Lichtabsorptions- und Lichtstreuoeffizienten, Aschegehalt u.a.) [5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15]. Dabei können die unterschiedlichen Einflüsse auf den Weißgrad durch Druckfarbenpartikel und Faser- bzw. Füllstoff im Allgemeinen nicht getrennt erfasst werden. In Einzelfällen gelingt durch geschickte Datenauswertung anhand teilweise abgeschätzter Werte eine Trennung dieser Einflüsse [16, 17].

In Verbindung mit neuen Online-Messtechniken [18], die neben der Bestimmung der Stoffzusammensetzung auch die Bestimmung der Druckfarbenpartikel in verschiedenen Größenklassen ermöglichen, bietet die angestrebte Methodik zur Weißgradprognose die Möglichkeit, einen verbesserten Softsensor für die Online MPC-Regelung des Weißgrads in Deinkinganlagen zu entwickeln.

Durch die Messung und Auswertung der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung und eine darauf aufbauende Prognose des Weißgrads besteht nun die Möglichkeit, die Druckfarbenentfernung und die Bleiche besser getrennt zu regeln. Die Nutzung der neuen Methode zur Prognose des Weißgrads schafft damit Voraussetzungen, die einzelnen Prozessschritte und den Gesamtprozess stabiler zu betreiben.

**Offline:
Auswirkung von
Prozess-
änderungen**

Um die optischen Eigenschaften im Fertigstoff und Auswirkungen von Prozessänderungen berechnen zu können, wurde ein Modell zur Prognose der Druckfarbenpartikelgrößenverteilung an unterschiedlichen Stoffen und Fertigpapieren erarbeitet [19]. Wesentlicher Kern dabei ist die Modellierung der Druckfarbenentfernung durch Betrachtung der 4 Mechanismen (s. Abb. 1): Ablösung/Anlagerung (1), Zerkleinerung/Agglomeration (2), Austrag (3) und Bleiche/Vergilbung(4) [20, 21, 22]. Damit kann auf der Basis einer bekannten anfänglichen Stoffzusammensetzung und der relevanten Prozessparameter die Fläche, Anzahl und Verteilung der Druckfarbenpartikel an relevanten Prozessorten und im Fertigstoff berechnet werden [22, 23].

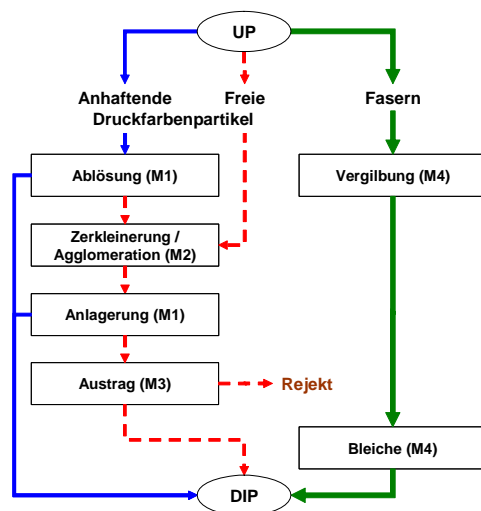


Abb. 1: Schema des 4-Mechanismen-Modells

3.3 Schmutzpunktartikel und ihre Wirkung auf optische Papiereigenschaften

Druckfarbenpartikelgrößen im Recyclingstoff

Die mittlere Größe und die Größenverteilung der Druckpartikel im recycelten Faserstoff werden maßgeblich durch die Art der Druckfarbe und des Papiers (gestrichen/ungestrichen) bestimmt (s. Tabelle 1). Während die Primärpartikelgrößen der Rußpigmente in der Druckfarbe in der Größenordnung von 15-30 nm liegen, findet man im Recyclingfaserstoff Partikelgrößen von kleiner 1 µm bis größer 100 µm. Die Schichtdicke der Druckfarbe liegt je nach Druckverfahren im Bereich von 0,5 bis 10 µm, häufig zwischen 0,8 und 4 µm [24].

Tabelle 1: Größe der Druckfarbenpartikel im Recycling-Faserstoff [24]

Art der Druckfarbe	Größe der Druckfarbenpartikel	
	Ungestrichenes Papier	Gestrichenes Papier
Letterpress	2 - 30 µm	10 - 100 µm
Offset	2 - 30 µm	50 - 100 µm
Water-based Flexo	0,3 - 1 µm	0,7 - 2 µm
Rotogravure	2 - 30 µm	5 - 30 µm

Bildanalytische Schmutzpunktbestimmung

Für die zumeist qualitative Bestimmung der optischen Inhomogenität (Schmutzpunkte >50µm) werden in der Regel Bildverarbeitungssysteme (z.B. Scanner basierte Messsysteme) eingesetzt. Bei der Prozessbewertung ist jedoch die absolute Beladung an Druckfarbenpartikeln zu bestimmen, wobei das gesamte Partikelgrößenspektrum einschließlich des Bereichs 1 bis 50 µm zu erfassen ist [29, 25, 26]. Für die quantitative Bestimmung der Druckfarbenpartikel und deren Größenverteilung wurde daher an der Forschungsstelle eine Methode entwickelt, bei der mittels Scanner und Mikroskop aufgenommene Bilder ausgewertet werden [12, 30, 26]. Mit einer speziellen Probenpräparation wird sichergestellt, dass eine Monoschicht vorliegt und die Druckfarbenpartikel sich nicht überdecken.

Einfluss der Druckfarben-Partikelgröße auf den Weißgrad

Druckfarbenpartikel im Stoff führen zu einer Abnahme des Weißgrades. Diese Abnahme ist umso größer, je höher der Ausgangsweißgrad der druckfarbenfreien Stoffsuspension ist [27]. Außerdem hängt die Abnahme des Reflexionsvermögens von der Partikelgröße ab. Infolge ihrer größeren spezifischen Oberfläche führen kleine Partikel zu deutlich höheren Weißgradverlusten als große. Bei gleichbleibender Druckfarbenkonzentration ist die Weißgradverringering umso größer, je geringer die mittlere Druckfarbenpartikelgröße ist (s. Abb. 2).

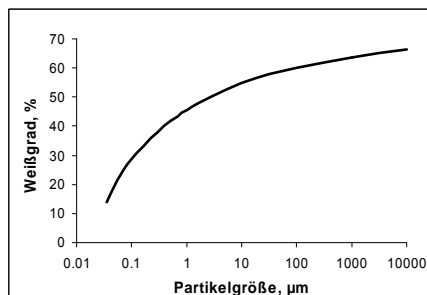


Abb. 2: Abhängigkeit des Weißgrades von der Größe der Druckfarbenpartikel (bei jeweils 1% Druckfarbe im Linters-Faserstoff [28])

Absorptionskoeffizienten K700 und K950

Eine Bewertung der Druckfarbenabtrennung erfolgt häufig unter Verwendung von Absorptionskoeffizienten auf Basis spektrometrischer Reflexionsmessungen bei Wellenlängen $\geq 700\text{nm}$ (K_{700} , ERIC K_{950}). Bei diesen Wellenlängen kann die Absorptionswirkung fast ausschließlich den schwarzen Druckfarbenpartikeln zugeordnet werden. Faserstoff (Lignin), Bleiche und Nuancierung haben hier nahezu keinen Einfluss [29]. Mit Hilfe solcher Kennwerte lassen sich relative Änderungen im Prozess gut charakterisieren. So kann z.B. anhand der K-Werte an Stoffen vor und nach einer Hyperwäsche das mögliche Verbesserungspotenzial bewertet werden [30]. Integrale optische Messgrößen hängen jedoch in erheblichem Maß vom Größenspektrum der Druckfarbenpartikel ab, gestatten aber keine Rückschlüsse auf deren Verteilung. Sie sind für eine Prozessbewertung nur eingeschränkt nutzbar, weil Trennprozesse in der Regel größen selektiv sind und die Aufbereitungsprozesse wiederum die Größenverteilung maßgeblich beeinflussen können.

3.4 Modellmäßige Beschreibung des Einflusses von Druckfarbenpartikeln auf die optischen Papiereigenschaften

Lichtfangeffekt

Beim Rasterdruck tritt eine optische Punktvergrößerung auf, die mit Hilfe des Lichtfang- bzw. Yule-Nielsen-Effektes erklärt wird [31]. Abb. 3 zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung dieses Phänomens. Ein Teil des im unbedruckten Bereich eintreffenden Lichtes gelangt durch Rückstreuung innerhalb des Blattes in das Gebiet unter der Druckfarbe und wird dort absorbiert. Dadurch nimmt das Reflexionsvermögen im Vergleich zum bedruckten Flächenanteil überproportional ab. Dieser Sachverhalt führt bei Druckfarbenpartikeln bzw. Schmutzpunkten im Recycling-Faserstoff aufgrund des Einflusses der unterschiedlichen spezifischen Oberfläche zu einer Partikelgrößenabhängigkeit der Abnahme des Reflexionsvermögens bei gleicher Druckfarbenkonzentration. Yule und Nielsen geben auch eine Formel zur rechnerischen Ermittlung des Reflexionsvermögens von anteilig bedrucktem Papier unter Berücksichtigung des Lichtfangeffektes an. Ein darauf aufbauender Berechnungsansatz von Walmsley und Nguyen [32] enthält auch Kennwerte der Druckfarbenpartikel, wie z.B. mittlere Partikelgröße und Schichtdicke (vgl. [33]).

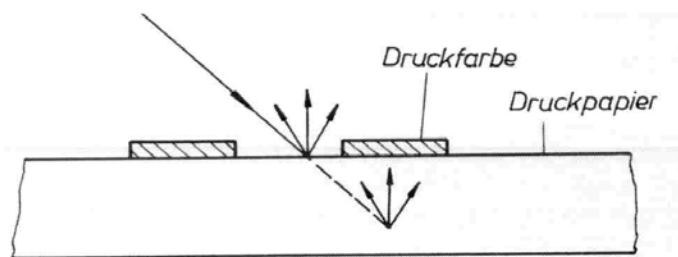


Abb. 3: Abbildung zum Lichtfangeffekt, Lichtstreuung an der Oberfläche und im Inneren des partiell mit Farbe bedruckten Papiers [34]

Kubelka-Munk-Theorie

Die von Kubelka und Munk [35, 36] entwickelte Lösung der Strahlungs-Transport-Gleichung ist allgemein gebräuchlich zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen optischen Papiereigenschaften (Weißgrad, Opazität, ...) und dem dichtebezogenen Lichtstreu- und Absorptionskoeffizienten S bzw. K :

$$S = \frac{1}{w} \cdot \frac{1}{1/R_\infty - R_0} \cdot \ln \left(\frac{1 - R_0 R_\infty}{1 - R_0/R_\infty} \right) \quad (1)$$

$$K = S \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (2)$$

(w - Flächenmasse des Papiers; R_0 bzw. R_∞ - Reflexionsfaktor der Probe über einer schwarzen Unterlage bzw. einem Stapel aus Blättern gleichen Papiers)

Die Abschätzung der optischen Eigenschaften einer Mischung aus mehreren unterschiedlichen Komponenten kann häufig mit ausreichender Genauigkeit anhand der jeweiligen massebezogenen Mischungsanteile μ_i erfolgen [37]:

$$S = \sum_{i=1}^n \mu_i S_i \quad (3)$$

$$K = \sum_{i=1}^n \mu_i K_i \quad (4)$$

Bei Vorhandensein von Druckfarbenpartikeln ergeben sich S und K aus den Masseanteilen von unbedrucktem Papier (Fasern, Füllstoffe, ...) und Druckfarbenpartikeln. Da der Absorptionskoeffizient der Druckfarbe um mehrere Größenordnungen höher ist als der des unbedruckten Papiers, haben bereits kleine Druckfarbenmengen einen deutlichen Einfluss auf die optischen Eigenschaften. Bei Untersuchungen von Jordan und O'Neill [38] wurden Werte für den Absorptionskoeffizienten schwarzer Druckfarben von bis zu 15000 m²/kg gemessen, wobei teilweise eine deutliche Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge auftrat.

Weitere Ansätze

Mit Hilfe der Gleichungen aus der Kubelka-Munk-Theorie kann auch eine sog. Punktstreuungsfunktion abgeleitet werden [39], welche die Ortsabhängigkeit der Lichtstreuung und Lichtabsorption im Papier beschreibt. Betrachtet wird dabei die Verteilung des Lichtes, das aus der x-y-Ebene des Papiers im Abstand vom Eintrittspunkt austritt. Aus dem Kurvenverlauf der Punktstreuungsfunktion können dann die örtliche Lichtstreuung und der Helligkeitsverlust infolge des Lichtfanges an den unbedruckten Stellen beurteilt werden.

Alternativ zur Kubelka-Munk-Theorie, welche auf der Annahme eines homogenen Mediums beruht, kann auch das Streuverhalten am Einzelpartikel betrachtet werden. Die Berechnung der Wechselwirkung zwischen Licht und kugelförmigen Partikeln ist mit Hilfe der Mie-Theorie [40] möglich. Die Intensität der durch ein Partikel hervorgerufenen Wechselwirkung (Streuung, Absorption) mit einem Lichtstrahl wird üblicherweise in Form eines Wirkungsquerschnittes angegeben. Die resultierende Transmission bzw. Extinktion lässt sich dann für geringe Partikelkonzentrationen (Vernachlässigung von Mehrfachstreuung) nach Lambert-Beer [41] berechnen. Prinzipiell ist es auch möglich, anhand dieser Ergebnisse die für die Kubelka-Munk-Formeln benötigten Werte (S , K) zu bestimmen [37]. Die Berechnung ist jedoch sehr komplex, beinhaltet sehr starke Vereinfachungen und ist daher für praxisnahe Anwendungen kaum geeignet.

4 Forschungsziel und Konzeptentwicklung

Ziel Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Methode zur sicheren Prognose des Weißgrades von Deinkstoffen (DIP) als Grundlage für die Prozessoptimierung der Druckfarbenentfernung auf Basis der bilanzierbaren Größen Druckfarbenpartikelbeladung und -größenverteilung, Stoffzusammensetzung (Faserfraktionen, Füllstoffe) und Hintergrundweiße.

Vorgehen Abb. 4 zeigt die wesentlichen durchgeführten Schritte. Auf Basis bilanzierbarer Messgrößen wurden insgesamt 3 Berechnungsansätze entwickelt, so dass der Weißgrad mit Hilfe der Kubelka-Munk-Theorie ermittelt werden kann. Vergleichsmessungen dienten dazu, die erarbeiteten Modelle zu validieren.

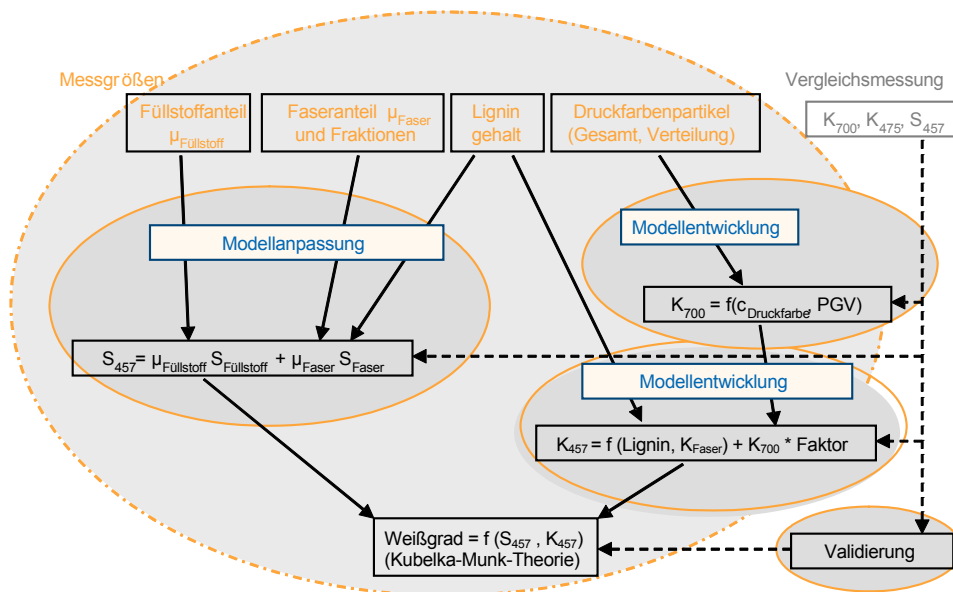


Abb. 4: Schema zum Vorgehen bei der Projektbearbeitung

Teilaufgaben bei der Projektbearbeitung Im ersten Schritt der Konzeptentwicklung und Planung erfolgten die Auswahl und Festlegung der zu berücksichtigenden Qualitäten und Einflussgrößen (Druckpapierarten, Druckverfahren, zu erfassende Prozesszustände). Die an der Forschungsstelle vorliegenden Daten wurden gezielt aufgearbeitet, systematisiert und für die weitergehende Auswertung verfügbar gemacht. Weiterhin wurde ein Versuchsplan für die notwendigen experimentellen Untersuchungen erstellt.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen und Ergebnisauswertung wurden zur Bereitstellung der Datenbasis Messungen sowohl an bereits vorhandenen Prüflättern als auch an neu gebildeten Blättern und Stoffproben vorgenommen.

Bei der eigentlichen Modellentwicklung wurde zunächst ein Ansatz zur Berechnung des Lichtstreuungskoeffizienten (S_{457}) und des Lichtabsorptionskoeffizienten (K_{457}) eines Stoffes bereitgestellt, um daraus anschließend anhand der Kubelka-Munk-Gleichungen den Weißgrad prognostizieren zu können. Die Berechnung

des K_{457} dazu erfolgte in zwei Schritten: Anhand von Messwerten sollte ein neues Modell zur Berechnung von K_{700} bzw. K_{950} erstellt werden. Eingangsgrößen für die Berechnung waren dabei die Beladung an Druckfarbenpartikeln und deren Größenverteilung. Im zweiten Schritt wurde unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit und der Hintergrundweiße der Wert K_{457} berechnet.

Die entwickelte Methodik zur Weißgradprognose wurde dann durch Praxisuntersuchungen validiert und deren Leistungsfähigkeit anhand von Szenarienrechnungen demonstriert.

Konzept- entwicklung

Es erfolgten zunächst die Auswahl und Festlegung der zu berücksichtigenden Qualitäten und Einflussgrößen (Druckpapierarten, Druckverfahren, zu erfassende Prozesszustände). Auf dieser Basis wurden an der Forschungsstelle vorliegende Untersuchungsdaten gezielt aufgearbeitet, systematisiert und für die weitergehende Auswertung im Rahmen des Forschungsprojektes zugänglich gemacht. Weiterhin wurde ein Versuchsplan erstellt.

Auf dieser Grundlage wurde eine Datenbasis bereitgestellt, die das in der Praxis übliche Spektrum hinsichtlich Beladung und Größenverteilung der Druckfarbenpartikel und Stoffzusammensetzung in Deinkinganlagen abdeckt und folgende Einflussgrößen erfasst:

- Wesentliche in Deinkingware vorkommende Papiersorten (Modellaltpapiere und Praxismischungen)
 - Praxisrelevante Druckverfahren (Offset, Inkjet- und Tonerdruck mit durchschnittlicher bzw. extremer Partikelgrößenverteilung) mit den entsprechend unterschiedlichen Spektren an Druckpartikelgrößen
 - Wesentliche Prozessschritte, wie Einlauf, Auslauf und Flotat von Vor- und Nachflotation sowie Einlauf und Auslauf Disperger
-

Übersicht Daten

Tabelle 2 enthält eine Übersicht der im Projekt berücksichtigten Stoffproben. Diese beziehen sich auf Modellstoffe, Basisaltpapiere und Praxisproben aus Papierfabriken. Die zugehörigen Messdaten wurden im Rahmen dieses Projektes durch umfangreiche experimentelle Arbeiten beschafft oder auch teilweise aus anderen Projekten übernommen.

Tabelle 2: Übersicht der verfügbaren bzw. neu untersuchten Stoffproben

Bezeichnung	Bemerkung
1) Modellstoffe (Laborversuche)	Daten wurden teilweise aus parallel bearbeitetem Projekt (IK-MF 090185) bereitgestellt; weitere Messungen erfolgten im Rahmen von „Prognose Weißgrad“
1a) mit Laserdruck bedrucktes Kopierpapier	
1b) Inkjet-bedrucktes Kopierpapier	
1c) Zeitung, Offsetdruck (Tageszeitung „Sächsische Zeitung“ bedruckt und unbedruckt)	
2) Basisaltpapiere (Labor- u. Technikumsversuche)	Blätter und Daten (teilw.) wurden aus vorangegangenem Projekt (IW-073007) bereitgestellt; neue Auswertungen und Schmutzpunktmessungen erfolgten im Rahmen von „Prognose Weißgrad“
Sortiertes gemischtes Altpapier (1.02)	
Deinkingware (1.11)	
Weißer Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleberücken (2.03.01)	
sortiertes Büroaltpapier (2.05)	
Bunte Akten (2.06)	
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei (3.04)	
weiße Akten, Holzfrei (3.05)	
Multidruck (3.10.)	
weißes, gestrichenes Papier, holzfrei, ohne Kleberücken (3.16)	
weiße ungestrichene Späne, holzfrei (3.18.01)	
weißes gestrichenes und ungestrichenes Papier, hh (3.15)	
3) Praxisproben aus Papierfabriken	
Daten aus 4 Papierfabriken <ul style="list-style-type: none"> - Stoffproben entlang der Prozesskette mit Erfassung aller wesentlicher Prozessschritte - jeweils mehrere Probenahmezyklen - teilweise Berücksichtigung von mehreren Produkten in einer Papierfabrik 	

5 Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisauswertung

Erfasste und ausgewertete Messgrößen

Tabelle 3 zeigt die angewandten Methoden und die ermittelten Messgrößen. Die Messung der integralen optischen Eigenschaften erfolgte an standardisierten Nutschen- und Laborblättern. Die Analyse der Druckfarbenpartikel wurde an standardisierten Monoschichten durchgeführt.

Tabelle 3: Messgrößen und Methoden

Parameter	Messmethode / Norm
Laborblattbildung	INGEDE Methode 1
Nutschenblattbildung	INGEDE Methode 1
Bildung von Monoschichten	PTS –Methode
Reflexionsfaktor R_{457} (Weißgrad)	DIN 53 145-T01
Reflexionsfaktor R_{∞} bei 700 nm	INGEDE-Methode 2
spektr. Lichtstreuoeffizienten S_x, S_y, S_z, S_{457}	DIN 54500
spektr. Lichtabsorptionskoeffizienten K_x, K_y, K_z, K_{457}	DIN 54500
Druckfarbenpartikel (Menge und Größenverteilung)	PTS-Methode
Faserfraktionen (Langfasern, Kurzfasern, Feinstoff)	FiberLab
Bestimmung des Füllstoffanteils als Glührückstand	DIN 54370
Messung des Lignin- bzw. Holzstoffanteils	NIR (PTS-Methode)

Um aussagekräftige Messergebnisse zu erhalten, ist eine standardisierte und vergleichbare Probenpräparation und Messmethodik wichtig. So müssen die integralen Messgrößen Weißgrad, S und K an standardisierten Nutschen- bzw. Laborblättern gewonnen werden. Von der INGEDE wurde diese Probenvorbereitung entsprechend standardisiert, damit der Verlust von Feinstoffen sowie die inhomogene Verteilung von Fasern, Druckfarben und Füllstoffen berücksichtigt wird und bei allen Messungen vergleichbar ist. Die Bestimmung der Druckfarbenpartikel erfolgte an Monoschichten (zumeist 1 g/m²), damit keine Überlagerung von Fase- und Füllstoffen sowie Druckfarbenpartikeln stattfindet und eine quantitative Bestimmung in mm²/m² bzw. mm²/kg möglich ist.

Messmethode Partikelgrößenverteilung Schmutzpunkte

Große Schmutzpunkte (GSP, > 50 µm) wurden mit einem Flachbettscanner, kleine Schmutzpunkte (KSP, < 50 µm) mit einem hochauflösenden Mikroskop erfasst. Grundsätzlich haben die Probenvorbereitung, die Bildaufnahme und die Bildverarbeitung einen entscheidenden Einfluss auf das Messergebnis. Die Messmethode zur Bestimmung der kleinen Schmutzpunkte wurde im parallel bearbeiteten Projekt IK-MF 090185 „Kostenminimierung helle Papiere“ [42] gegenüber dem bisherigen Stand noch weiterentwickelt und damit die Ergebnisqualität und Auswertegenauigkeit wesentlich verbessert. Die für die Weißgradprognose verwendeten Daten wurden alle mit dieser neuen Methode gewonnen.

Ergebnisparameter Druckfarbenpartikel

Als Ergebnis der Druckfarbenpartikelmessung wurde deren Menge (Anzahl/m² bzw. Flächenanteil mm²/m²) in den einzelnen Partikelgrößenklassen für große und kleine Schmutzpunkte ermittelt.

Abb. 5 zeigt die verwendeten Größenklassen anhand von zwei Beispielen. Der Überlappungsbereich der getrennten Messmethoden für kleine und große Schmutzpunkte liegt zwischen 50 und 100 µm Partikelgröße (flächenäquivalenter Kreisdurchmesser). Hier wurde eine gute Übereinstimmung im Messergebnis der beiden unterschiedlichen Messverfahren erzielt.

Für den Weißgrad maßgeblich sind die Gesamtfläche an Druckfarbenpartikeln und die Größenverteilung. Als charakteristischer Kennwert wurde von den Proben auch eine flächengewichtete mittlere Partikelgröße bestimmt.

Für die Bewertung der optischen Inhomogenitäten wurden die Werte der groben Partikelgrößenklassen > 250 µm bereitgestellt.

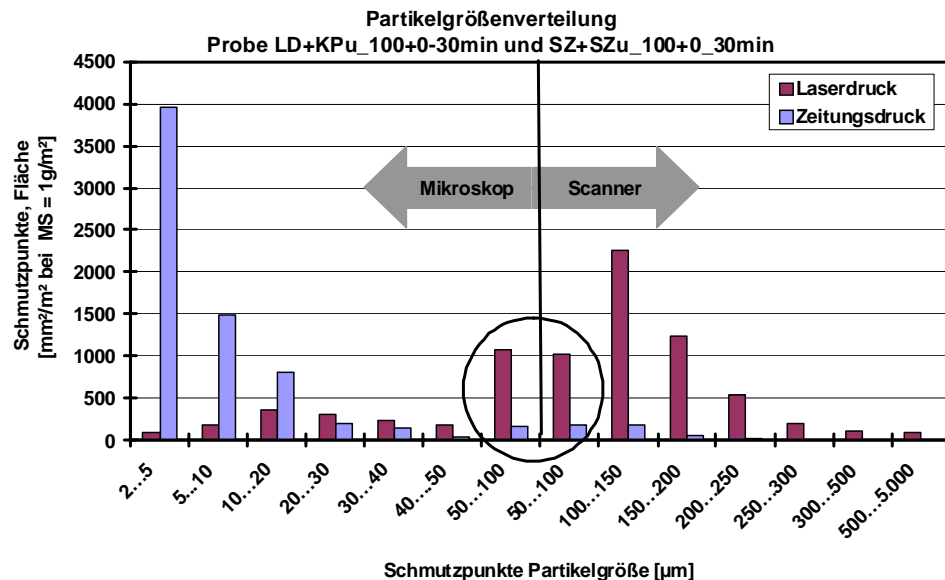


Abb. 5: Zusammenführung der Partikelgrößenverteilung Mikroskop (KSP) und Scanner (GSP) anhand zweier Beispiele

Auswertung und Ergebnisbereitstellung

Zu allen Proben-Varianten wurden die folgenden Kennwerte ermittelt:

- Größenverteilungen und Gesamtbeladung der Druckfarbenpartikel
- Kennwerte der Reflexometer-Messungen (integrale optische Eigenschaften)
- Kennwerte zur Zusammensetzung der Stoffsuspensionen (Faser- und Füllstoff)

Die nachfolgenden Arbeiten bauten dann auf den bereitgestellten Daten auf, um die Anteile der Stoffkomponenten (Fasern, Füllstoffe, Druckfarbe) bezüglich Lichtstreuung und Lichtabsorption im Zusammenhang mit deren Veränderung durch die einzelnen Schritte der Stoffaufbereitung modellmäßig zu beschreiben.

6 Erarbeitung einer Methodik zur Weißgradprognose

6.1 Beschreibung des Einflusses von Faser- und Füllstoff auf die Lichtstreuung

Durchgeführte Arbeiten In diesem Schritt erfolgte eine umfangreiche Auswertung der Versuchsdaten hinsichtlich Lichtstreuverhalten (Lichtstreckoeffizient) und der Zusammensetzung der Stoffproben. Anhand der Ergebnisse wurde eine Vorgehensweise zur Differenzierung und Quantifizierung der Einflüsse von Fasern und Füllstoffpartikeln auf die Lichtstreuung erarbeitet. Für die Druckfarbe wurde gezeigt, dass aufgrund der geringen Konzentration an Druckfarbenpartikel im Gesamtstoffstrom die Lichtstreuung durch Druckfarbenpartikel vernachlässigbar ist.

Spektrale Lichtstreckoeffizienten Der Lichtstreckoeffizient (gemäß der Kubelka-Munk-Theorie) eines Materials ist durch Form und Oberfläche seiner Bestandteile und die Anzahl der Grenzflächen gegenüber Luft determiniert. Tabelle 4 enthält eine Übersicht über die Größenordnung des Lichtstreckoeffizienten der einzelnen Stoffkomponenten.

Tabelle 4: Lichtstreckoeffizienten (bei etwa 460 nm) ausgewählter Stoffe [43]

Stoff	Zellstoff	Holzstoff	Kaolin/Kalziumkarbonat	Titanoxid
S [m²/kg]	20-40	30-70	100-150	1000

Unabhängigkeit von der Druckfarbenmenge In der vorliegenden Fachliteratur [29] wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der Druckfarbenpartikel auf den Lichtstreckoeffizienten vernachlässigt werden kann. Eigene Untersuchungen bestätigten diese Annahme. Damit kann der Gesamtlichtstreckoeffizient in guter Näherung aus den Anteilen der Faserstoffkomponente und der Füllstoffkomponente berechnet werden:

$$S_{457} \approx \mu_{\text{Füllstoff}} S_{\text{Füllstoff}} + \mu_{\text{Faser}} S_{\text{Faser}} \quad (5)$$

Werte Faserstoffkomponente Für die Faserkomponente der typischen Basisaltpapieren ergibt sich ein Wertebereich für den Lichtstreckoeffizienten von ca. 40 bis > 70 m²/kg (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: Lichtstreckoeffizienten der Faserstoffkomponente (Basisaltpapiere)

Basisaltpapiere	S₄₅₇, m²/kg
Sortiertes gemischtes Altpapier (1.02)	46,5
Deinkingware (1.11)	50,0
Weißer Späne mit leichtem Andruck (2.03.01)	77,6
sortiertes Büroaltpapier (2.05)	41,9
Bunte Akten (2.06)	47,2
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei (3.04)	45,6
weiße Akten, Holzfrei (3.05)	53,7
Multidruck (3.10.)	44,1
weißes, gestrichenes Papier, hf, ohne Kleberücken (3.16)	48,9
weiße ungestrichene Späne, holzfrei (3.18.01)	43,5
weißes gestrichenes und ungestr. Papier, hh (3.15)	68,8

Werte Füllstoffkomponente

Die optischen Eigenschaften der Füllstoffe und deren Modellierung wurden in einem abgeschlossenen Forschungsprojekt eingehend betrachtet (IW 072042 „Einstellung Papiereigenschaften/Füllstoff“). Dort wurden unter anderem Zusammenhänge zwischen dem Lichtstreuverhalten und Kenngrößen wie mittlere Partikelgröße, spezifische Oberfläche, Aspect ratio der Füllstoffe hergestellt und z.B. für Kaoline Werte um 100 bzw. für PCC von bis 190 m²/kg für den Lichtstreuoeffizienten bestimmt.

Beim Umgang mit Altpapierstoffen sind diese Parameter in der Regel nicht verfügbar oder einfach zugänglich. Bei Praxisstoffen treten typischerweise Gemische aus Kaolin und Calciumkarbonat auf. Die folgenden Diagramme zeigen jeweils die Abhängigkeit des Gesamtlichtstreuoeffizienten vom Füllstoffanteil (typische DIP-Qualität + Mischung CaCO₃/Kaolin) für praxisübliche Mischungen aus Technikums- (Abb. 6) bzw. Praxisversuchen (Abb. 7).

Aus den Messwerten wurden mittels Regressionsanalyse die Lichtstreuoeffizienten der Faser- und der Füllstoffkomponenten ermittelt. Werte der Faserkomponente (DIP) liegen oft bei 50-55 m²/kg; Füllstoffgemische bei 120 – 140 m²/kg.

Faserstoff: 15% Soft wood; 85% DIP

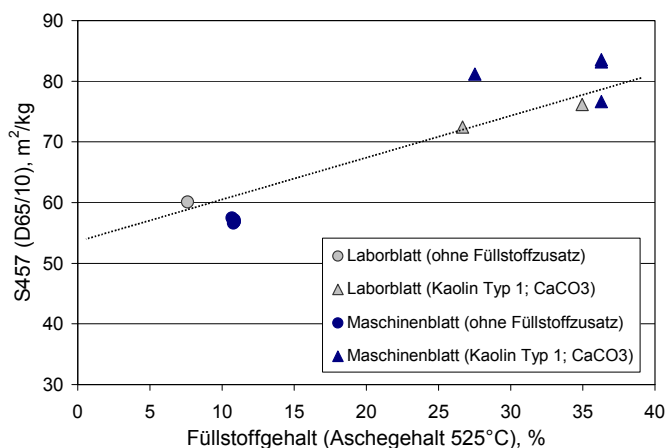


Abb. 6: Abhängigkeit des Gesamtlichtstreuoeffizienten vom Füllstoffanteil, Daten aus Technikumsversuchen PTS ($S_{Faser} = 53 \text{ m}^2/\text{kg}$; $S_{Filler} = 123 \text{ m}^2/\text{kg}$)

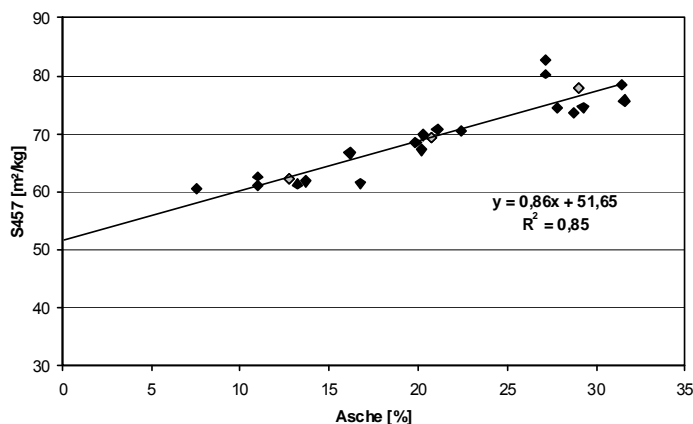


Abb. 7: Abhängigkeit des Gesamtlichtstreuoeffizienten vom Füllstoffanteil, Daten aus Praxisuntersuchungen ($S_{Faser} = 52 \text{ m}^2/\text{kg}$; $S_{Filler} = 138 \text{ m}^2/\text{kg}$)

Ergebnisse

Als Ergebnis wurde eine formelmäßige Beschreibung der „Mischungsregel“ von Faserfraktionen und Füllstoffen bzgl. des Lichtstreuungskoeffizienten unter Verwendung der Kubelka-Munk-Formeln bereitgestellt.

Maßgeblich sind die Anteile an Faser- und Füllstoff in den einzelnen Probenzuständen bei den jeweiligen Prozessschritten. Die spezifischen Koeffizienten von Füll- und Faserstoff bleiben näherungsweise über die gesamte Stoffaufbereitung konstant.

Die für die Weißgradprognose benötigte Zusammensetzung (Anteile der Komponenten können auf verschiedene Weise durch Messungen (offline, online), über die Zusammensetzung der Rohstoffe aus Basisaltpapieren (s. Tabelle 5) oder mit Hilfe von Simulationen unter Verwendung von Prozessmodellen bereitgestellt werden. Änderungen der Zusammensetzung ergeben sich an den Stellen, wo prozessbedingt Anteile der Stoffkomponenten geändert werden (z.B. bei Flotation, Mischung,...). Die Lichtstreuereigenschaften können dann direkt mit den Prozessmodellen (Bilanzierung der Stoffkomponenten) gekoppelt werden. Dies wird in Abschnitt 6.4 beispielhaft für die Flotation erläutert.

6.2 Beschreibung des Partikelgrößeneinflusses auf die Absorptionswirkung der Druckfarbe

Lichtabsorption der Druckfarbe

Die Beschreibung der Absorptionswirkung der Druckfarbenpartikel erfolgte anhand des Lichtabsorptionskoeffizienten der Kubelka-Munk-Theorie bei großen Wellenlängen (950nm), d.h. bei ausschließlicher Absorptionswirkung der Druckfarbe. Dabei wurden die Gesamtfläche und die Partikelgrößenverteilung der Druckfarbenpartikel sowie eine größenabhängige Korrekturfunktion berücksichtigt. Die in der Literatur beschriebenen Modellansätze wurden geprüft und ein geeigneter Ansatz für die weiteren Rechnungen implementiert.

Abb. 8 veranschaulicht den Effekt unterschiedlicher Partikelgrößen. Während sehr feine Druckfarbenpartikel nicht mehr individuell wahrgenommen werden, aber eine signifikante Vergrauung verursachen, stellen gröbere Partikel deutlich sichtbare optische Inhomogenitäten dar.

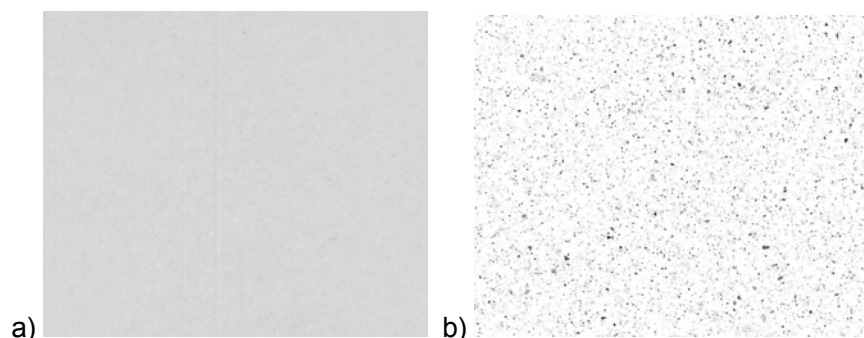
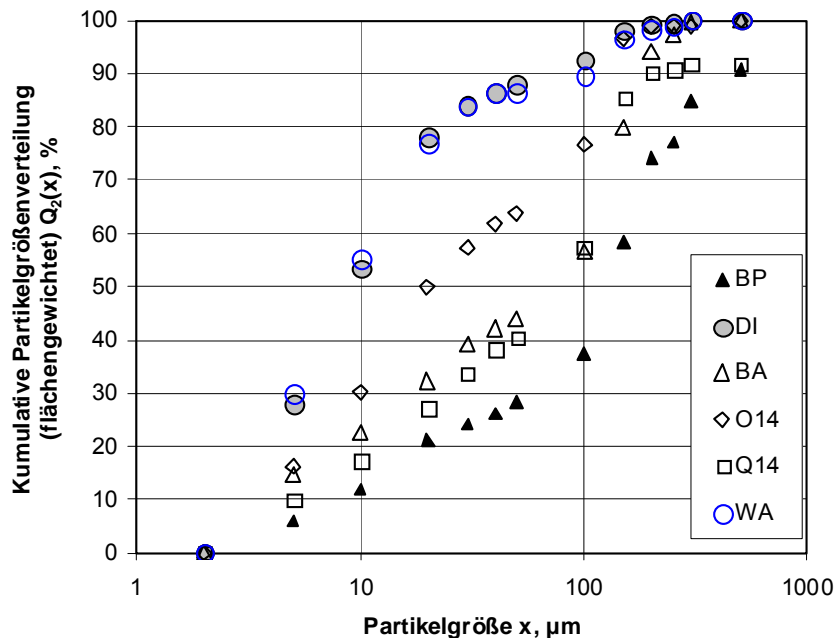


Abb. 8: Bildaufnahme der untersuchten Monoschichten für Faserstoff mit sehr feinen Inkjet-Farbpartikeln (a) bzw. deutlich größeren Laserdruckpartikeln (b)

Partikelgrößenverteilung der Basisaltpapiere

Die folgenden Abbildungen zeigen ein Spektrum unterschiedlicher Partikelgrößenverteilungen für typische Rohstoffe. Die mittleren Partikelgrößen der Basisaltpapiere liegen bei 10 bis 100 µm. Kleine Partikelgrößen treten z.B. bei Deinkingware auf, große bei Büroaltpapieren.



Deinkingware	DI
Weißer Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleberücken	O14
sortiertes Büroaltpapier	BP
Bunte Akten	BA
weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei	Q14
weiße Akten, Holzfrei	WA

Abb. 9: Partikelgrößenverteilungen verschiedener Basisaltpapiere (nach Vorsortierung)

Partikelgrößenmodellstoffe

Bei den Modellstoffen ergibt sich eine ähnliche Breite wie bei den Basisaltpapieren. Auffällig ist die relativ grobe Verteilung für Inkjetpartikel. Diese rührt daher, dass der Hauptteil der Partikel kleiner als die untere Messgrenze (1..2µm) ist, und nicht erfasst wird. Nur einige grobe Schmutzpunkte werden detektiert.

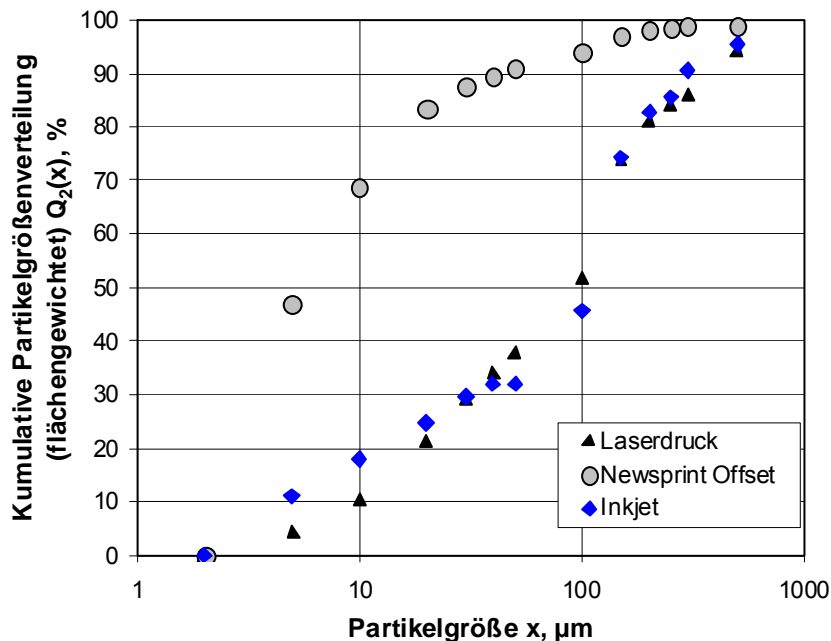


Abb. 10: Gemessene Partikelgrößenverteilungen der Modellstoffe

Partikelgrößenveränderung durch Prozesseinfluss Flotation

Aufgrund des größenabhängigen Druckfarbenpartikelaustrages bei der Flotation unterscheiden sich die Verteilungen von Inlet und Gutstoff deutlich. Begründet wird dies durch die größere Abtrenneffizienz bei Druckfarbenpartikeln im zwei-stelligen Mikrometerbereich im Vergleich zu sehr kleinen oder sehr großen Partikeln. Die Unterschiede in den Größenverteilungen sind jedoch nicht so groß wie bei den Basisaltpapieren (Niveau Vorsortierung).

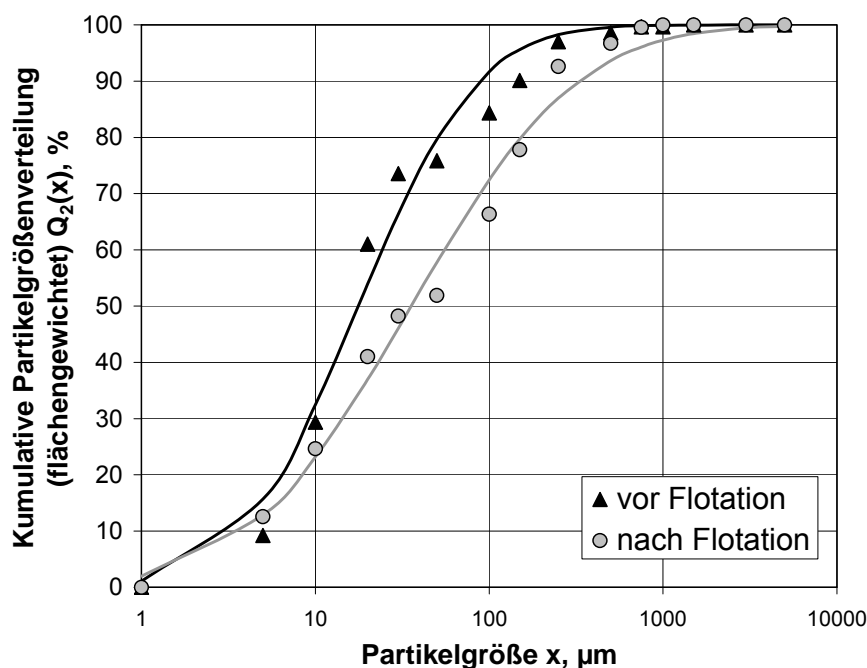


Abb. 11: Partikelgrößenverteilungen vor und nach Flotation

**Einfluss der
Partikelgröße auf
Lichtabsorption**

Zur Modellierung des Einflusses der Partikelgröße auf die Lichtabsorption wurden die in Abschnitt 3.4 vorgestellten Ansätze untersucht und diejenigen auf die Versuchsergebnisse angewendet, die eine Beschreibung mit Hilfe der Absorptionskoeffizienten gemäß der Kubelka-Munk-Formeln zulassen [28, 44] (Kompatibilität zur angestrebten Methode der Weißgradprognose). Eine zweckmäßige Beschreibung zeigt Abb. 12, welche eine größenabhängige Korrektur des Lichtabsorptionskoeffizienten der Druckfarbe gestattet mit

$$K \sim 1/\text{Partikelgröße}^{0,5} \quad (6)$$

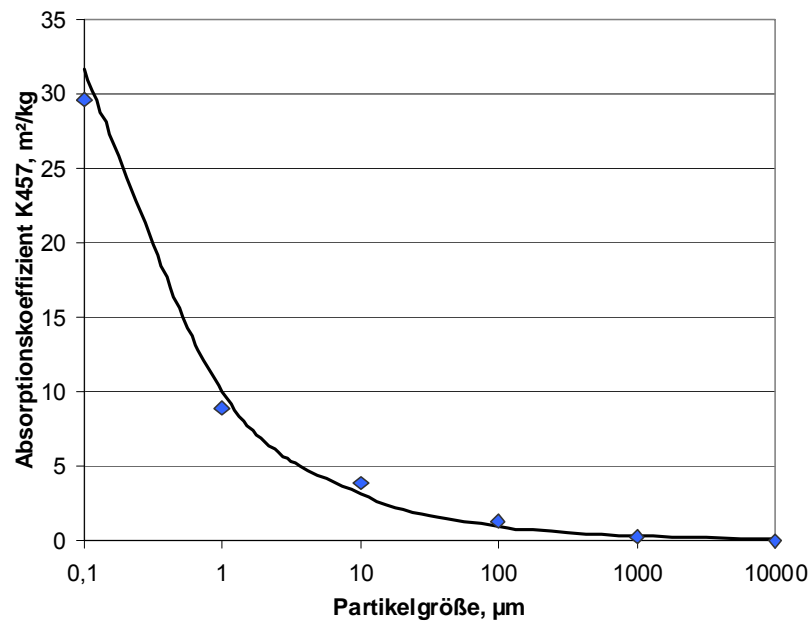


Abb. 12: Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Größe der Druckfarbepartikel unter Verwendung der Werte von [28] (Annahme eines Lichtstreuungskoeffizienten für Linters-Zellstoff von $S = 40 \text{ kg/m}^2$)

Einfluss der Partikelgröße – Versuchsergebnisse

In Abb. 13 wurde ein auf jeweils gleiche Gesamtfläche normierter K_{950} -Wert über der mittleren Partikelgröße aufgetragen. Es zeigte sich ein insbesondere bei Partikelgrößen $< 50\mu\text{m}$ deutlicher Anstieg der Lichtabsorption. Unter Verwendung des beschriebenen Ansatzes wurde folgender Zusammenhang abgeleitet:

$$\frac{K_{950}}{K_{950,Ink}} = \frac{7}{D_{Ink}^{0,5}} \cdot \frac{A_{Ink}}{1000} \quad (7)$$

(A_{Ink} Gesamtdruckfarbenfläche in mm^2/m , D_{Ink} – mittlere Partikelgröße in μm)

Dabei wurde für $K_{950,Ink}$ (Lichtabsorptionskoeffizient der reinen Druckfarbe) ein mittlerer Wert von $8250 \text{ kg}/\text{m}^2$ angenommen (vgl. Abschnitt 6.3).

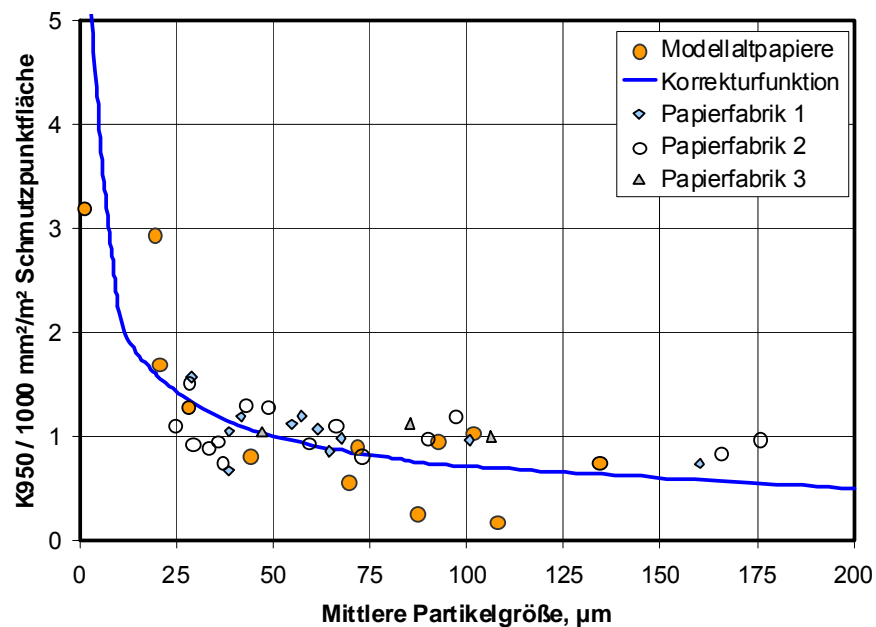


Abb. 13: Absorptionskoeffizient K_{950} in Abhängigkeit von der Größe der Druckfarbenpartikel für die untersuchten Basaltpapiere und Praxisproben sowie die abgeleitete Korrekturfunktion

Anwendung Korrektur für Basaltpapiere

Die Partikelgrößenkorrektur wurde angewendet, um zunächst für die Basaltpapiere jeweils eine effektive von der Größe abhängige Gesamt-Schmutzpunktfäche zu bestimmen. Damit wurde eine deutliche Verbesserung der Korrelation erreicht (Abb. 14). Verbliebene Abweichungen sind möglicherweise verursacht durch die Art der Druckfarbe bzw. nicht messbare Schmutzpunkte $< 1..2 \mu\text{m}$.

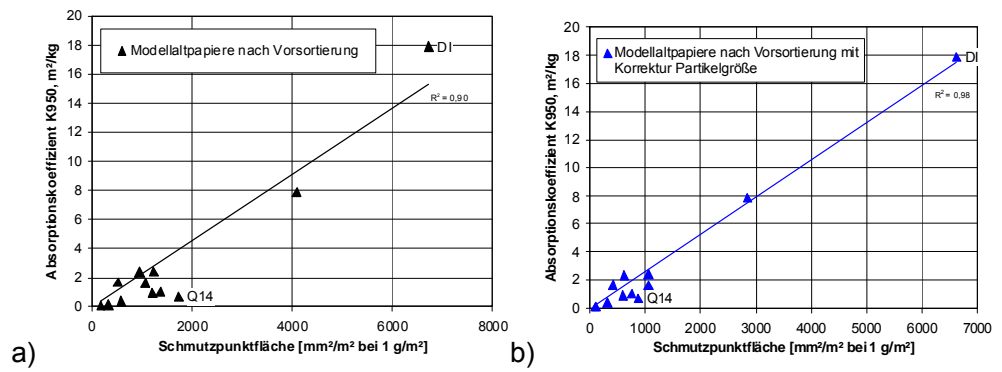


Abb. 14: Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der wirksamen Gesamtschmutzpunktfäche ohne (a) und mit (b) Partikelgrößenkorrektur

Spezialfälle

Bei den Praxisuntersuchungen wurde festgestellt, dass die Gesamtfläche (Summe der großen und kleinen Druckfarbenpartikel) in manchen Fällen auch ohne Partikelgrößenkorrektur gut mit dem Lichtabsorptionskoeffizienten korreliert (s. Abb. 15). Das ist dadurch zu erklären, dass die Partikelgrößenverteilungen in diesen Fällen über den gesamten Prozess sehr ähnlich waren, oder überwiegend im Bereich größerer Partikel > 50 bzw. 70 µm lagen, wo der Größeneinfluss kaum noch ausgeprägt ist.

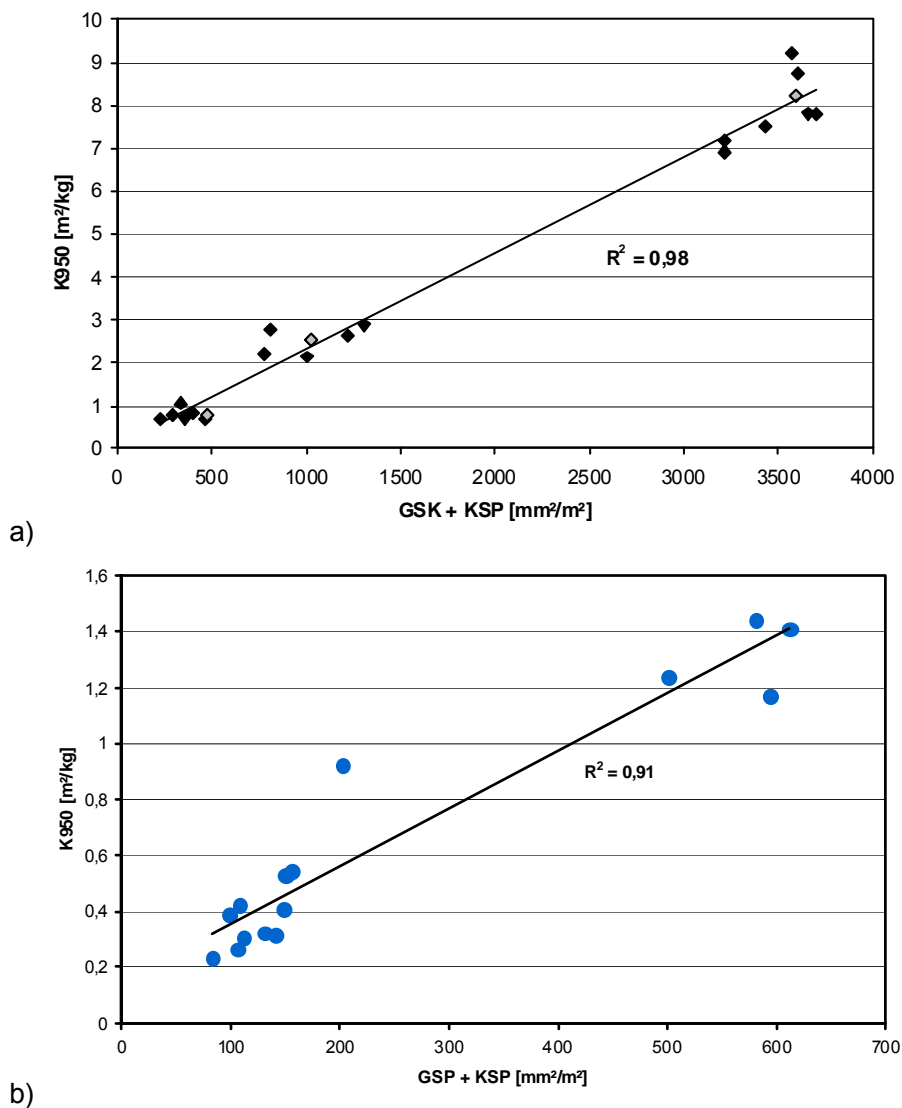


Abb. 15: Lichtabsorptionskoeffizient K_{950} in Abhängigkeit der Gesamtfläche an gemessenen Druckfarbenpartikeln für Daten aus zwei Papierfabriken bei höherem (a) bzw. niedrigem (b) Niveau an Druckfarbe im Stoff

Schlussfolgerungen Partikelgrößeneinfluss

Es wurde eine formelmäßige Beschreibung des Einflusses der Menge und Größenverteilung an Druckfarbenpartikeln auf den Lichtabsorptionskoeffizienten bei großen Wellenlängen bereitgestellt. Nicht mittels der Schmutzpunktanalyse messbare Partikel im Bereich um 1 µm bzw. darunter wurden über die Kenntnis der Zusammensetzung (z.B. Anteile Inkjet, Flexo) bzw. indirekt über die Messung der integralen optischen Eigenschaften erfasst. Moderne Messverfahren wie das bei PTS entwickelte AP-Monitoring [45] sind in der Lage, z.B. Anteile an Flexodruck anzuzeigen. Dies kann ausgenutzt werden, um auch die damit verbundenen sehr kleinen Druckfarbenpartikel entsprechend zu berücksichtigen.

6.3 Anteilmäßige Wichtung der Effekte von Druckfarbe und Hintergrund

Bestimmung der Lichtabsorption bei der Weißgradwellenlänge

Der Lichtabsorptionskoeffizient bei 457 nm (Weißgradwellenlänge) setzt sich aus den Anteilen der Einzelkomponenten (Druckfarbe, Faser- und Füllstoff) zusammen.

Die Absorptionswirkung der Druckfarbe wird durch den dichtebezogenen Absorptionsfaktor bei größeren Wellenlängen (700 bzw. 950 nm) erfasst. Bei der Auswertung der Literatur [29] und eigener Versuche konnte gezeigt werden, dass der Absorptionskoeffizient der Papierprobe proportional der Gesamtmenge an enthaltenen Druckfarbenpartikeln ist.

Dieser Wert ist auf die Wellenlänge der Weißgradmessung (457 nm) zu übertragen. Hierfür wurde der Verlauf des Lichtabsorptionskoeffizienten der Druckfarbe in Abhängigkeit von der Wellenlänge für diverse Druckprodukte anhand von Literaturwerten und eigenen Untersuchungen analysiert.

Übertragung K_{950} auf Wellenlänge 457nm

Die nachfolgenden Abb. 16 und Abb. 17 zeigen die dichtebezogenen Absorptionskoeffizienten schwarzer Druckfarben in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Das erste Diagramm mit Absolutwerten macht deutlich, dass die Werte um bis zu 4000 m²/kg bzw. sogar darüber hinaus schwanken können. Für praxisübliche Rohstoffeinsätze mit überwiegend Offset-Druckpapieren wurden bei den eigenen Untersuchungen Werte für K_{950} im Bereich 8000-9000 m²/kg abgeschätzt. Bei Normierung auf den Wert der Weißgradwellenlänge zeigt sich bei fast allen Kurven ein sehr ähnlicher Verlauf; der Absorptionskoeffizient bei 950 nm beträgt das 0,65- bis 0,8-fache des Wertes bei 457 nm. Diese Abhängigkeit wurde durch eigene Messwerte prinzipiell bestätigt und für die Bestimmung einer Übertragungsfunktion genutzt.

Abhängigkeit von der Wellenlänge (absolut, Literaturangaben)

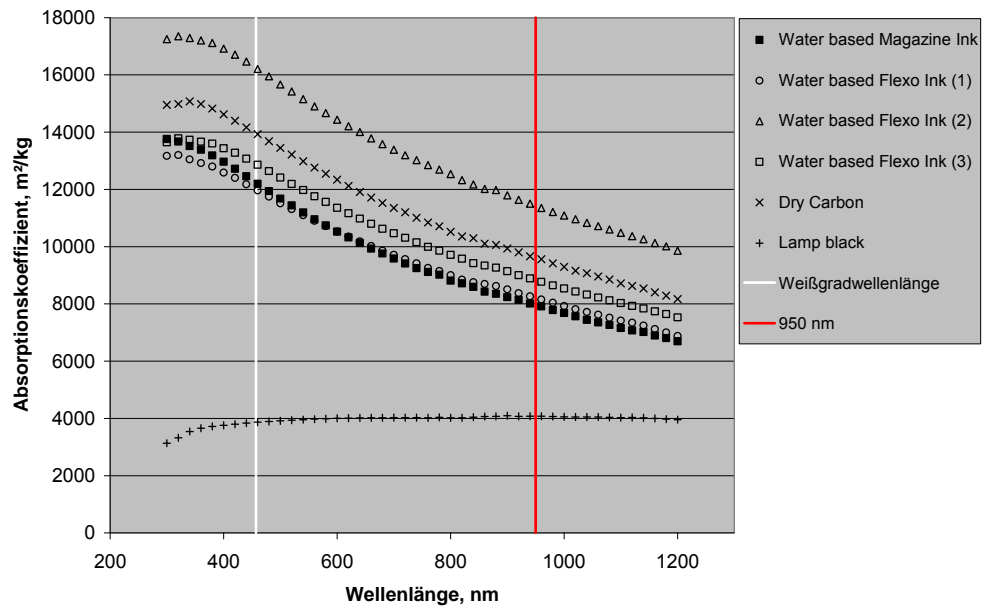


Abb. 16: Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Wellenlänge für verschiedene schwarze Druckfarben nach Literaturangaben [38]

Abhängigkeit von der Wellenlänge (relativ, Literaturangaben)

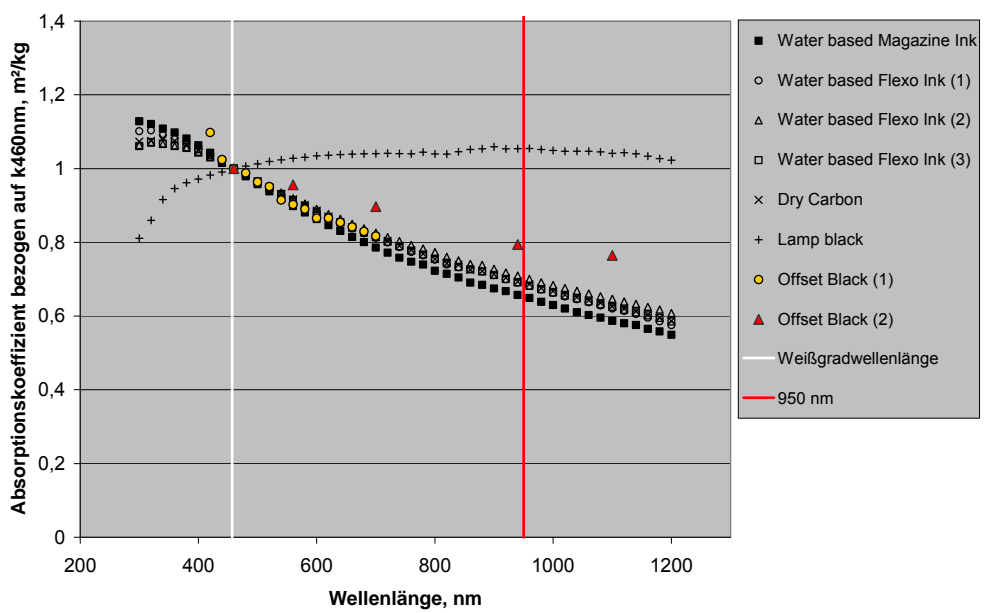


Abb. 17: Relativer Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Wellenlänge (bezogen auf Wert bei 460nm) für verschiedene schwarze Druckfarben nach Literaturangaben [29, 38]

**Wichtung
Lichtabsorptions-
koeffizienten**

Der Lichtabsorptionskoeffizient bei der Weißgradwellenlänge setzt sich dann additiv aus den Anteilen μ von Druckfarbe, Füllstoff und Faserstoff zusammen.

$$K_{457} = \mu_{\text{Faserstoff}} \cdot K_{457,\text{Faserstoff}} + \mu_{\text{Füllstoff}} \cdot K_{457,\text{Füllstoff}} + \mu_{\text{Druckfarbe}} \cdot K_{457,\text{Druckfarbe}} \quad (8)$$

mit

$$K_{457,\text{Druckfarbe}} = (1.2 \dots 1.7) \cdot K_{950,\text{Druckfarbe}} \quad (9)$$

Einen Überblick über typische Werte von Faser- und Füllstoffen gibt die nachfolgende Tabelle. Die entsprechenden Werte wurden auch für die untersuchten Stoffe (Modellstoffe, Basaltpapiere, Praxisproben ermittelt).

Tabelle 6: Lichtabsorptionskoeffizienten bei 457 nm für Faser- und Füllstoffe

Stoff	K_{457} [m ² /kg]
Zellstoff	0,2 - 2
Holzstoffe	1 - 4
Füllstoffe	0,05 - 3

6.4 Zusammenführung der Einzelschritte zur Weißgradprognose

**Durchgeführte
Arbeiten**

Die Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte wurden zu einer einheitlichen Berechnungsmethode zusammengefasst. Folgende Schritte wurden ausgeführt:

- Aufbau eines Datenpools an Vergleichsdaten und Algorithmen
- Bereitstellung der wesentlichen Parameter zur Kennzeichnung der Stoffzusammensetzung für die relevanten AP-Sorten für die untersuchten Modellalt-papiere und praxisrelevante Sorten bzw. Sortengemische
- Herstellung der Kompatibilität mit Modellen für Prozesse der Stoffaufbereitung (bereits vorhandene bzw. parallel erarbeitete Prozessmodelle)

**Bereitstellung
Stoffzusammen-
setzung**

In den vorangegangenen Abschnitten wurde beschrieben, wie aus der Stoffzusammensetzung (Anteile der Komponenten Faserstoff und Füllstoff, Menge und Größenverteilung der Druckfarbenpartikel) die für die Weißgradberechnung notwendigen Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizienten ermittelt werden können. Die Stoffzusammensetzung selbst kann für die unterschiedlichen eingesetzten Rohstoffqualitäten bzw. nach den einzelnen Prozessschritten auf verschiedene Weise bereitgestellt werden:

a) Definition der AP-Sorten aus den Basisaltpapieren (Datenbank)

Die Rohstoffzusammensetzung kann über die Anteile der enthaltenden Basisaltpapiere verfügbar gemacht werden. Dazu wurde eine Datenbank der Basispapierprodukte erstellt.

b) Offline- und Online-Messungen

Weiterhin können Messungen unmittelbar einbezogen werden. Dies betrifft Offline-Methoden (vgl. Abschnitt 5) oder Online-Messungen, wie die an der PTS neu entwickelte Methodik für ein Altpapier-Monitoring mittels Messung von NIR-Spektren [45] sowie in der Praxis etablierte Sensoren (z.B. Aschemessung).

c) Prozesssimulation unter Verwendung von Prozessmodellen

Die Berechnung der Stoffzusammensetzung kann erfolgen mit Hilfe von Prozessmodellen für die Stoffaufbereitung (s. nächster Abschnitt).

Prozessmodelle

Simulationswerkzeuge zur Quantifizierung der optischen Eigenschaften entlang der Prozesskette von Deinkinganlagen wurden in einem parallel bearbeiteten PTS-Forschungsprojekt entwickelt und umfangreich beschrieben [42]. Mit diesen Modellen wurde die Berechnung des Weißgrades anhand der Zusammensetzung der Stoffkomponenten bei allen wesentlichen Prozessstufen ermöglicht:

- Änderung des Größenspektrums (Zerfaserung, Dispergierung)
- Trennprozesse (Vorflotation/Nachflotation, Wäsche, Eindicken, Cleanerung)
- Bleiche (oxidativ, reduktiv)

Anhand der Rohstoffzusammensetzung und einer prozessspezifischen Übertragungsfunktion werden die Stoffqualität nach jeder Prozessstufe und daraus der Weißgrad bestimmt. Nachfolgender Abschnitt beschreibt dies beispielhaft für den Prozessschritt der Flotation, bei der sich sowohl Menge und Partikelspektrum der Druckfarbenpartikel als auch die Anteile Faserstoff/Füllstoff ändern können.

Umsetzung Beispiel Flotation

Das Übertragungsverhalten des Flotations-Prozesses (Trenneffizienz der einzelnen Komponenten) kann z.B. anhand von Sortierdiagrammen (Abb. 18) gekennzeichnet werden. Wesentliche Stellgrößen sind hierbei neben der Additivdosierung insbesondere die massebezogenen Rejekt- bzw. Überlaufraten der einzelnen Flotationsstufen. Durch eine Änderung der Rejekt- bzw. Überlaufraten wird die Abtrenneffizienz von Druckfarbenpartikeln, Füllstoffen und Fasern beeinflusst, bei den Druckfarbenpartikeln erfolgt dies Größenselektiv. Entsprechend verändern sich die Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizienten des Gutstoffes, welches wiederum den resultierenden Weißgrad festlegen.

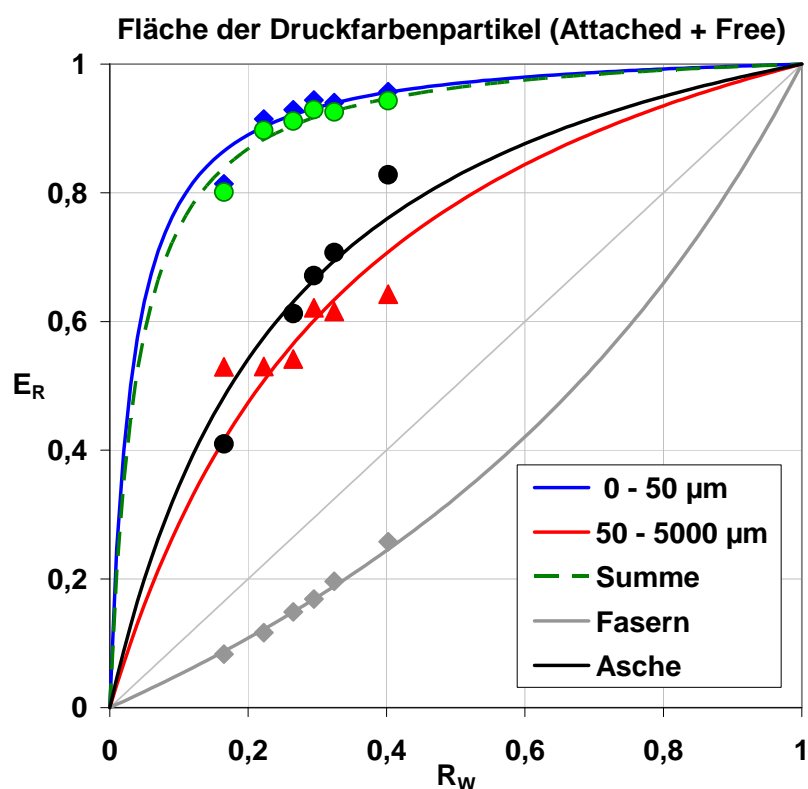


Abb. 18: Sortierdiagramm für die Abtrennung von Druckfarbenpartikeln, Asche und Fasern bei der Flotation: Trenneffizienz E_R in Abhängigkeit von der massebezogenen Rejekt- bzw. Überlaufrate R_W (= Überlaufrate)

Modellrechnung Flotation

Abb. 19 zeigt den Einfluss der Rejekt- bzw. Überlaufraten auf die optischen Kenngrößen. Infolge der Abreicherung von Druckfarben- und Füllstoffpartikeln ergeben sich eine Verringerung des Lichtabsorptions- und des Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizienten und ein Anstieg des Weißgrades. Mit Hilfe der Kombination der Modelle können auf diese Weise Änderungen der Stoffzusammensetzung unmittelbar bzgl. der optischen Eigenschaften bewertet werden.

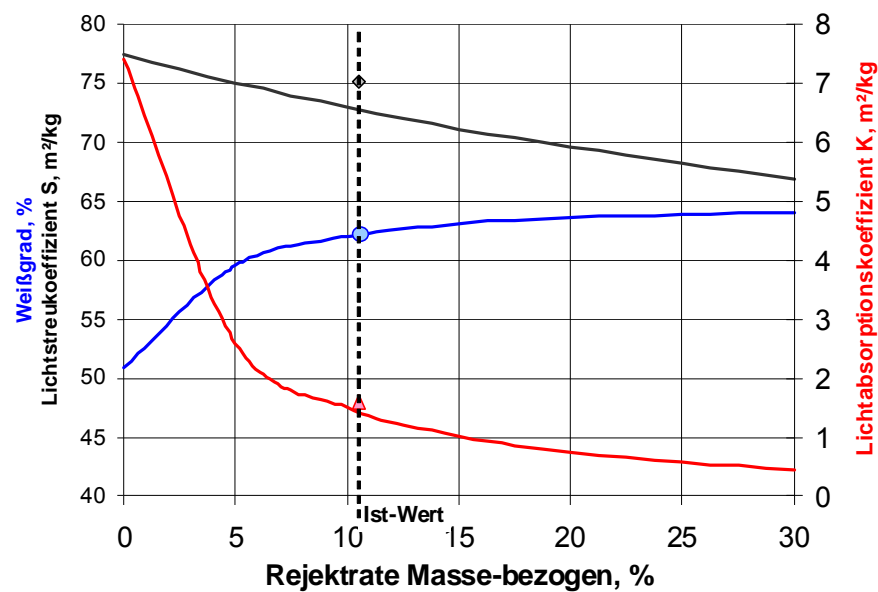


Abb. 19: Weißgrad, Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizient in Abhängigkeit von der Rejektate für einen Flotationsprozess

7 Praxisvalidierung und Modellanwendung in Szenarienrechnungen

7.1 Praxisvalidierung in Papierfabriken

Validierung

Im Rahmen der Praxisvalidierung erfolgte in verschiedenen Papierfabriken eine umfangreiche Probennahme mit nachfolgender Probencharakterisierung zur Erfassung der Stoffzusammensetzung und den damit korrespondierenden optischen Eigenschaften entlang der Prozessabschnitte der Stoffaufbereitung.

Für den erfassten Ist-Zustand bzw. vor Ort beobachtete Änderungen der Stoffzusammensetzung wurden dann mit Hilfe der Prognosemodelle verschiedene Szenarien simuliert. Die Ergebnisse wurden mit den gemessenen Eigenschaften bzw. Eigenschaftsänderungen verglichen und diskutiert.

Die Validierung umfasste die folgenden Schritte:

- Entnahme von Faserstoffproben vor Ort
- Anwendung der Methode zur Schmutzpunktmessung und Messung der integralen optischen Kennwerte sowie zur Charakterisierung der Stoffzusammensetzung
- Durchführung von Modellrechnungen
- Vergleich von gemessenen und berechneten Werten für die Stoffkomponenten und die resultierenden optischen Eigenschaften (Lichtstreuungskoeffizienten, Lichtabsorptionskoeffizienten sowie den Weißgrad)

Spannbreite der Praxisproben

Die beiden nachfolgenden Diagramme zeigen die Spannbreite der untersuchten Praxisproben bezüglich ihrer Lichtstreu- und Lichtabsorptionskoeffizienten.

Darstellung Weißgrad über K₄₅₇

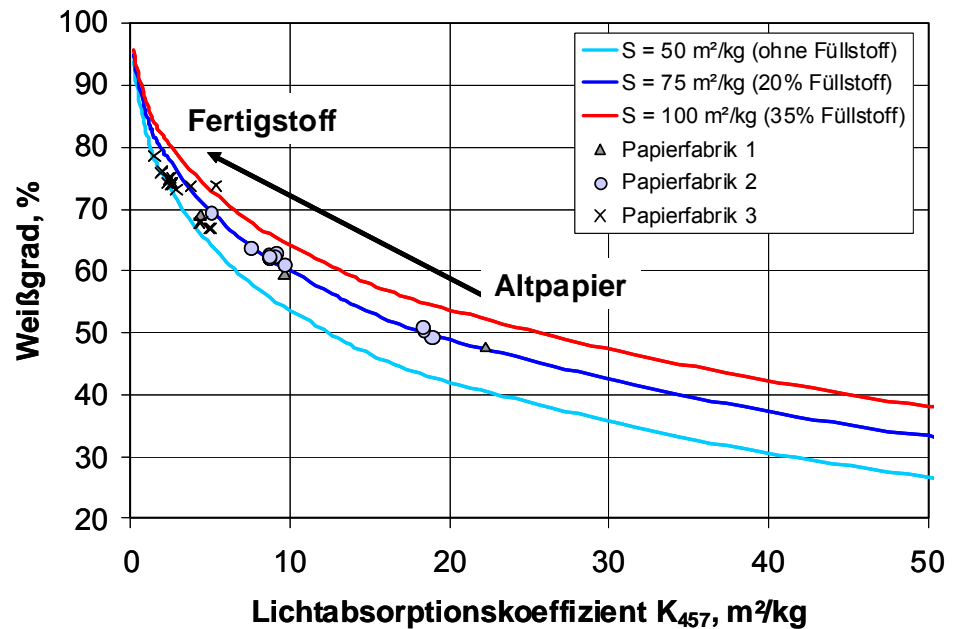


Abb. 20: Spannbreite des Weißgrades in Abhängigkeit vom Lichtabsorptionskoeffizient für Praxisproben

Darstellung Weißgrad über S₄₅₇

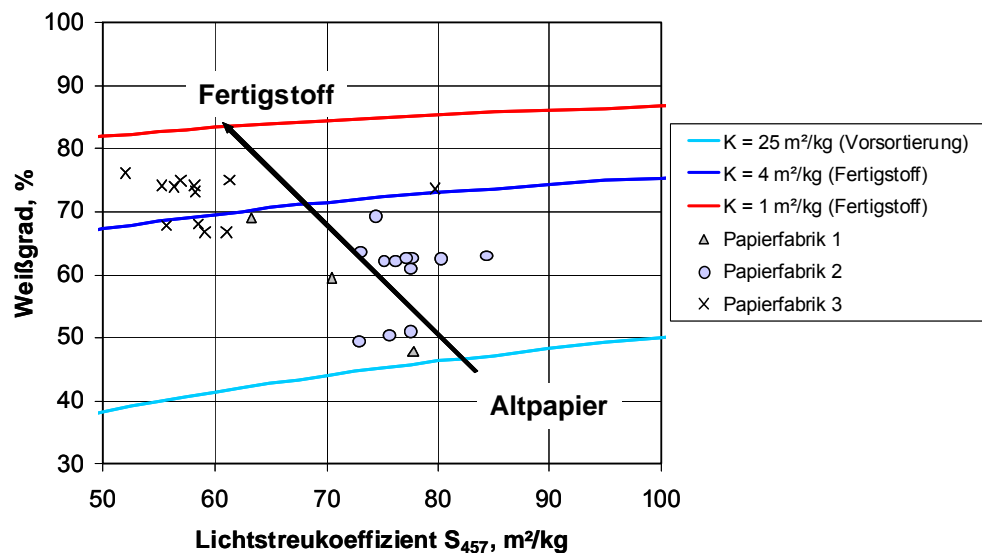


Abb. 21: Spannbreite des Weißgrades in Abhängigkeit vom Lichtstreuoeffizienten für Praxisproben

Einflüsse K457 und S457

Die Lichtstreuung S steigt grundsätzlich mit zunehmendem Füllstoffgehalt bzw. sinkt ab infolge des Füllstoffaustrages in der Stoffaufbereitung. Die Lichtstreuung S reduziert sich in der Stoffaufbereitung max. um Faktor 1,3, während die Lichtabsorption K (Druckfarben, Faserhelligkeit) bis um Faktor 10 - 20 signifikant reduziert wird. Insbesondere bei höheren Weißgraden wirkt sich eine Redzierung von K deutlicher aus, als eine Erhöhung von S.

Validierung Papierfabrik A

Der Ist-Zustand der Papierfabriken wurde mit Hilfe der Modelle nachgebildet und für ausgewählte Prozessschritte den Messwerten gegenübergestellt. Nachfolgende Tabelle enthält dazu die wesentlichen Prozessparameter beispielhaft für Papierfabrik A.

Tabelle 7: Prozessparameter Papierfabrik A

<i>Prozess</i>	<i>Prozessparameter</i>	<i>Wert</i>	
1a*	Bleiche (ox.)	Bleichmitteldosierung	0,4%
1b*	Vorflotation	Rejektrate	18%
2	Eindicker	Rejektrate	3%
3	Disperger	Spez. Dispergierarbeit	60 kWh/t
4	Bleiche (ox.)	Bleichmitteldosierung	1,6%
5	Nachflotation	Rejektrate	7%
6	Bleiche (red.)	Bleichmitteldosierung	0,8%

* Zudosierung von Bleichmittel während der Vorflotation

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Gegenüberstellung von Messwerten der Probennahme zu Simulationsergebnissen des Ist-Zustandes für Schmutzpunktfläche, Anteil kleiner Schmutzpunkte (KSP), Lichtabsorptionskoeffizienten bei 950nm und 457nm (K950 bzw. K457), Asche, Lichtstreuoeffizient bei 457nm (S457) und Weißgrad für Papierfabrik A.

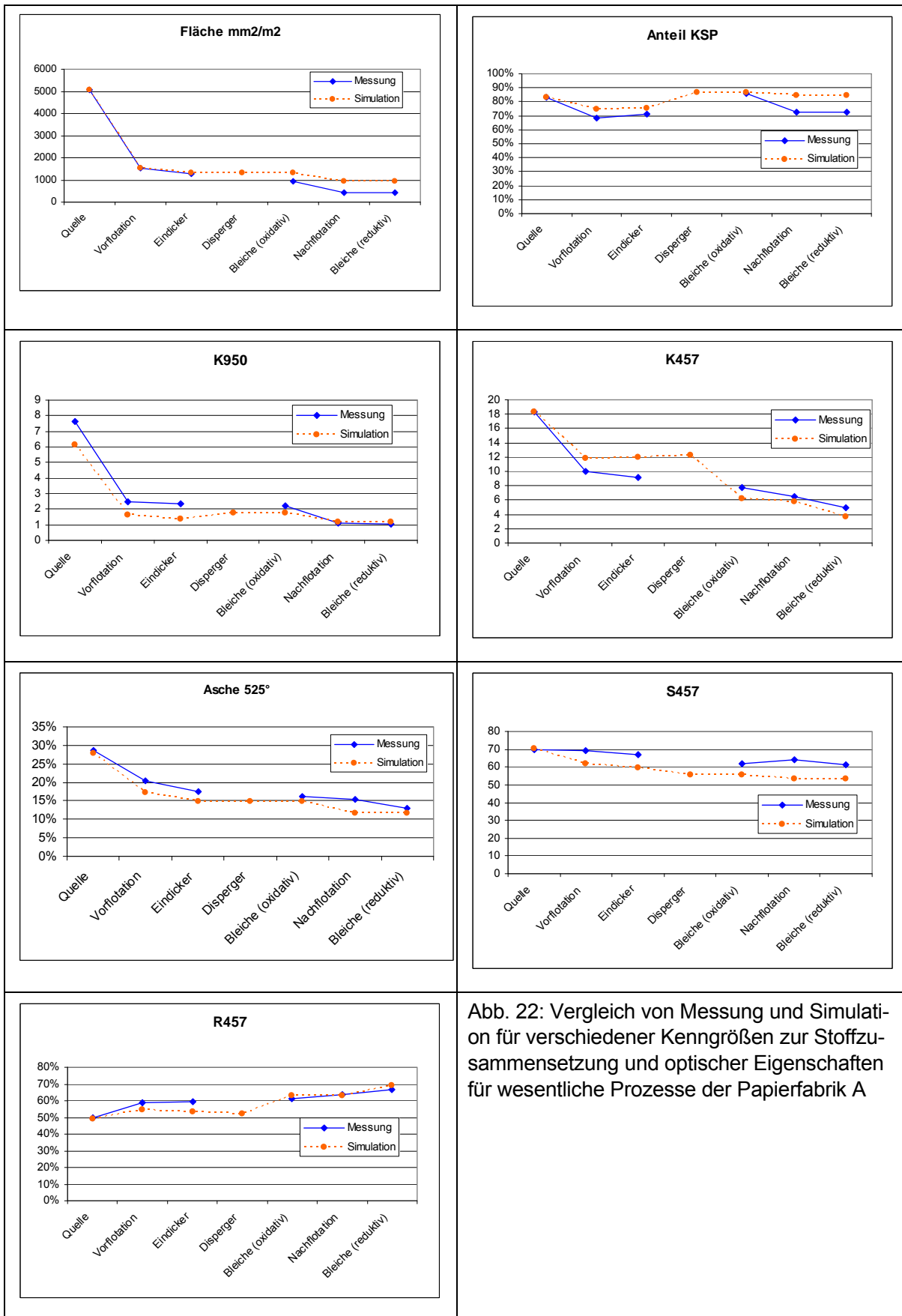


Abb. 22: Vergleich von Messung und Simulation für verschiedener Kenngrößen zur Stoffzusammensetzung und optischer Eigenschaften für wesentliche Prozesse der Papierfabrik A

**Bewertung
Praxisvalidierung** Schmutzpunktfäche und Anteil kleiner Schmutzpunkte (KSP) werden überwiegend sehr gut vom Modell wiedergegeben. Für den Lichtabsorptionskoeffizienten K950 tritt bei den ersten Prozessschritten eine systematische Abweichung auf, während der Trend generell gut erfasst wird. Die genaue Charakterisierung des Rohstoffniveaus ist offensichtlich nicht immer möglich, da trotz einer differenzierten Beschreibung der Sortenzusammensetzungen nicht alle Schwankungen der Rohstoffqualität erfasst werden können. Für den Absorptionskoeffizient K457 wird ebenfalls der Trend gut wiedergegeben, lediglich der Effekt der oxidativen Bleiche wird vom dem auf Labor- bzw. Technikumsversuchen basierenden Modell überschätzt. Für den Lichtstreuoeffizienten wird vom Modell wegen der Ascheabreicherung ein deutliches Absinken prognostiziert, welches durch die Messung nur teilweise bestätigt wird. Gemessene Weißgrade und Prognose stimmen insgesamt für die untersuchte Papierfabrik sehr gut überein.

**Nachweis Praxis-
tauglichkeit** Als Ergebnis der Arbeiten liegen umfangreiche Daten zu Zusammensetzung und optischen Eigenschaften von Praxisstoffen vor. Damit wird eine sichere Abgrenzung des relevanten Anwendungsbereiches möglich. Die Ergebnisse der Modellrechnungen belegen, dass die in der Praxis beobachteten wesentlichen Prozesseffekte in der Regel gut von den Modellen wiedergegeben werden können. Weiterhin wird die Übertragbarkeit der anhand von Laborproben und Modellaltpapieren entwickelten Methodik auf die in Papierfabriken üblichen Konstellationen bzgl. Stoffzusammensetzung und Prozesseffekten bestätigt.

7.2 Modellüberprüfung und Anwendung in Szenarienrechnungen

**Modellprognose
Anwendungs-
szenarien** Anhand der Ergebnisse der Praxisvalidierung erfolgten teilweise parallel zu dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Vorgehen eine Modellüberprüfung und eine schrittweise Verbesserung der Modelle. Es konnte gezeigt werden, dass die Modelle den vorgefundenen Ist-Zustand der Praxisprozesse überwiegend gut bis sehr gut widerspiegeln bezüglich der Größenordnung der Absolutwerte und der Trendentwicklungen in den verschiedenen Prozessstufen.

Weiterhin wurden Szenarienrechnungen ausgeführt, bei denen die Auswirkung von Änderungen in der Rohstoffqualität untersucht wurde. Die Ergebnisse wurden mit Messwerten abgeglichen, die bei vergleichbaren Effekten in einer Papierfabrik gewonnen wurden. Die Berechnungen wurden zunächst auf Basis der unterschiedlichen Sortendefinitionen unter Verwendung der Modellaltpapiere durchgeführt. Später wurden für eine weitere Modellverbesserung auch Online-gemessene Daten aus einem anderen Forschungsprojekt [45] hinzugezogen.

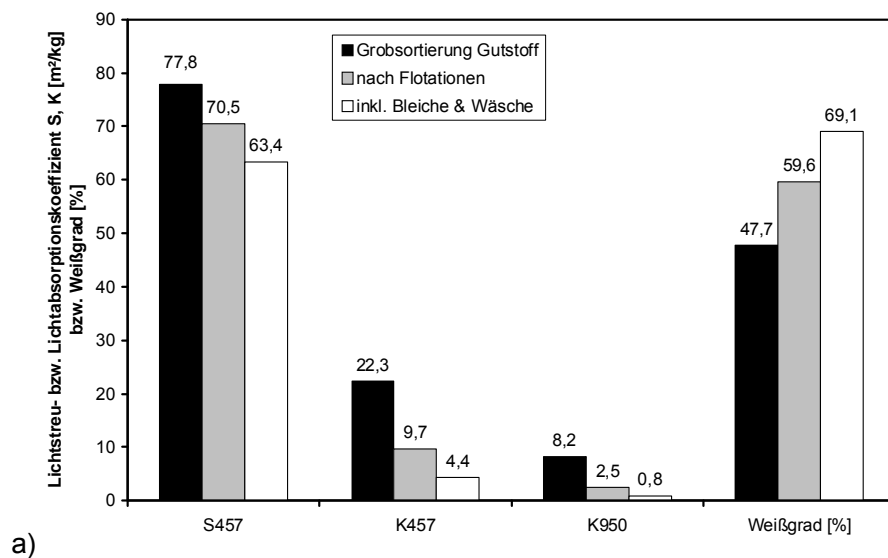
Folgende Szenarien einer schwankenden Rohstoffqualität wurden untersucht:

- 1) Schwankung des Aschegehaltes durch Änderung des Rohstoffeintrages (Verhältnis von Zeitungen zu Zeitschriften, ohne Betrachtung einer veränderten Druckfarbenabtrennung)
 - 2) Schwankung des Verhältnisses Zeitungen/Zeitschriften mit Auswirkung auf Aschegehalt und Druckfarbenabtrennung
 - 3) Störanteile schlecht deinkbarer Druckprodukte im Altpapier (Inkjet-Druck)
-

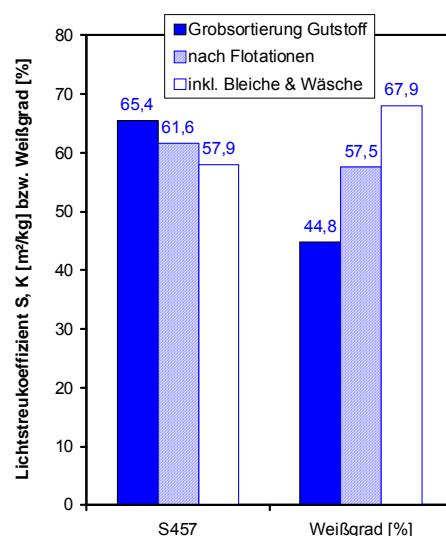
Szenario 1

Bei Szenario 1 wurde die Auswirkung einer Reduzierung des Aschegehaltes von 29% auf 15% auf die optischen Eigenschaften untersucht. Die nachstehende Abbildung zeigt die optischen Kennwerte (Koeffizienten für Lichtstreuung S und Lichtabsorption K sowie den Weißgrad) für die Messung in der Papierfabrik (IST-Wert schwarz) und die Berechnung im Modellszenario (blau).

Die Ascheänderung bewirkt eine Reduzierung des Lichtstreckoeffizienten und damit des Weißgrades. Der Weißgrad im Altpapier sinkt deutlich um ca. 3 Prozentpunkte. Durch die Ascheabreicherung in verschiedenen Prozessstufen (Flotation, Wäsche, Eindicken) ist der Unterschied im Fertigstoff jedoch deutlich geringer. Der allein durch die Änderung des Aschegehaltes (hoher Anteil gestrichener Papiere bei Zeitschriften) bewirkte Effekt im Fertigstoff ist vergleichsweise moderat und erklärt die bei einem Versuch mit einer reinen Zeitungsfraction gemessenen Werte (ca. 5% Unterschied nach Flotation) nicht vollständig. Hier muss berücksichtigt werden, dass sich mit der Zusammensetzung Zeitungsen/Zeitschriften auch die Abtrennbarkeit der Druckfarbenpartikel ändert (vgl. Literaturangaben in [46]). Dies wurde dann bei Szenario 2 berücksichtigt.



a)



b)

Abb. 23: Optische Kenngrößen für Szenario 1 (Reduzierung Aschegehalt), Ist-Zustand (a) und Modellrechnungen (b)

Szenario 2

Bei Szenario 2 wurde die Auswirkung einer Änderung des Anteils von Zeitungen von ca. 25 % auf 100% untersucht. Der Aschegehalt reduzierte sich wie bei Szenario 1 von 29 % auf 15%. Die nachstehende Abbildung zeigt die optischen Kennwerte (Koeffizienten für Lichtstreuung S und Lichtabsorption K sowie den Weißgrad) für die Messung in der Papierfabrik (IST-Wert schwarz) und die Berechnung im Modellszenario (grün). Durch die Reduzierung des Aschegehaltes ergibt sich eine Verringerung des Lichtstreckoeffizienten wie in Szenario A gezeigt. Weiterhin bewirkt die schlechtere Abtrennbarkeit der Druckfarbe einen höheren Lichtabsorptionswert K950 nach Flotation bei gleichbleibender Menge im Ausgangsstoff. Der Weißgrad sinkt dadurch gegenüber dem Ausgangszustand um ca. 4,5 Punkte nach Flotation bzw. um ca. 2,5 Punkte im Fertigstoff. Die Prognosewerte stimmen damit gut mit den Messungen (Online-Helligkeitssensor bei Versuch „Zeitungspeak“ in Papierfabrik) überein.

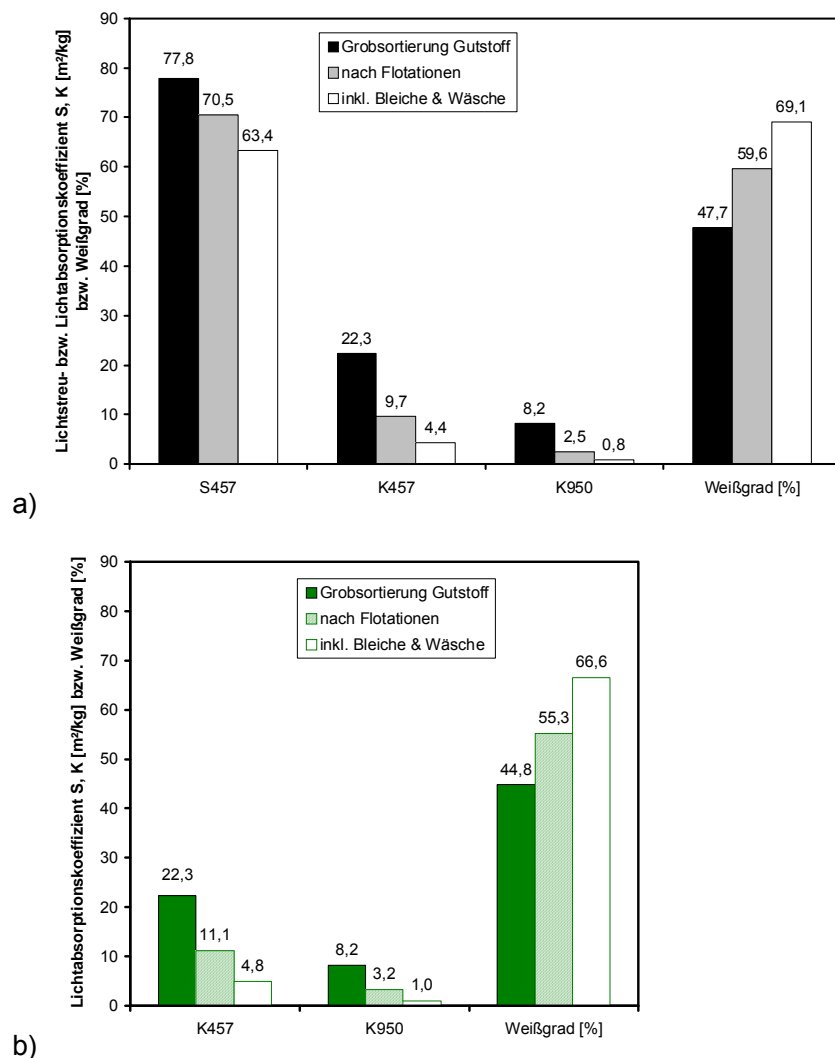


Abb. 24: Optische Kenngrößen für Szenario 2 (Änderung Anteil Zeitungen/Zeitschriften), Ist-Zustand (a) und Modellrechnungen (b)

Szenario 3

Szenario 3 zeigt den Effekt eines Störanteils schlecht flotierbarer Druckerzeugnisse (z.B. Inkjet). Dabei wurden 30% der Offsetdruckfarbe im Altpapier durch 10% Inkjetdruckfarbenpartikel ersetzt. Da die feinen Druckfarbenpartikel der Flexo-Druckprodukte wegen ihrer großen spezifischen Oberfläche eine größere Auswirkung auf optische Eigenschaften haben bleibt die Lichtabsorptionswirkung (gemessen als Lichtabsorptionskoeffizient K950 im AP nahezu konstant. Das folgende Diagramm zeigt die optischen Kennwerte (Koeffizienten für Lichtstreuung S und Lichtabsorption K sowie den Weißgrad) für die Messung in der Papierfabrik (IST-Wert schwarz) und die Berechnung im Modellszenario (orange). Die schlechtere Abtrennbarkeit der sehr kleinen Inkjet-Partikel bewirkt einen höheren Lichtabsorptionswert K950 nach Flotation bei gleichbleibendem K950 im Ausgangsstoff. Für die Stoffqualität nach Flotation ergibt sich ein ähnlicher Weißgrad wie bei Szenario 2 (100% Zeitungen). Gegenüber dem Ausgangszustand tritt trotz insgesamt 20 % weniger Druckfarbe im Altpapier ein deutlicher Weißgradverlust im Fertigstoff auf.

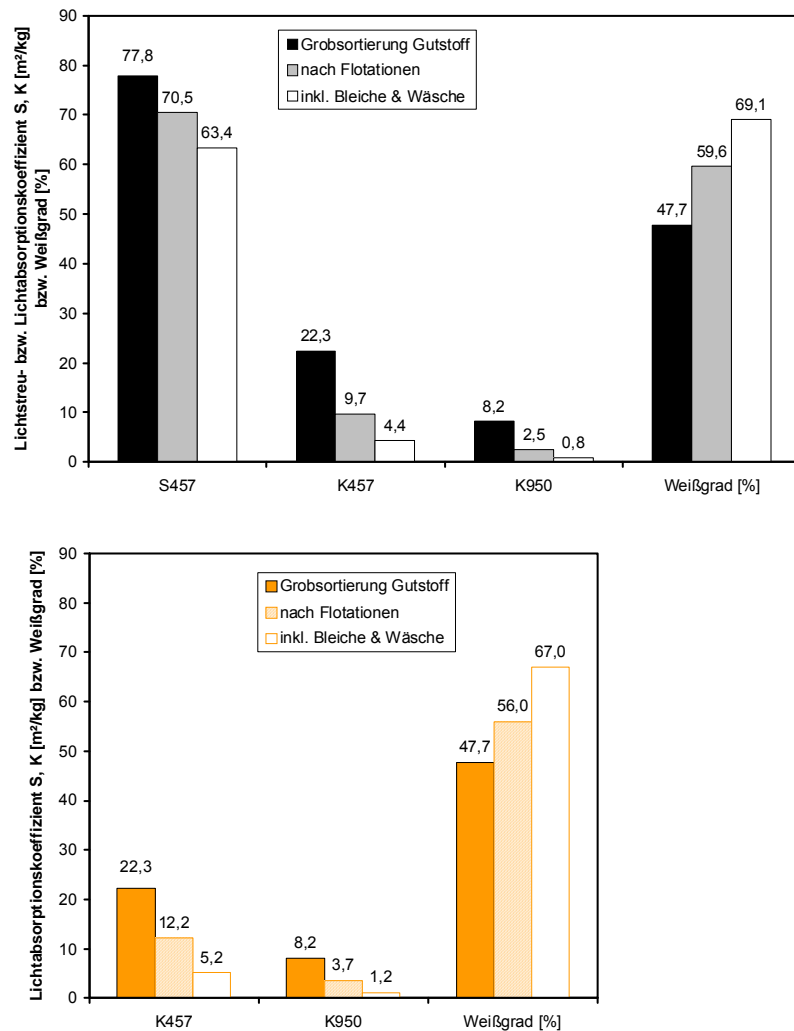


Abb. 25: Text Optische Kenngrößen für Szenario 3 (Störanteil schlecht flotierbarer Bestandteile, Ist-Zustand (a) und Modellrechnungen (b))

Fazit Modellrechnungen

Die Effekte einer Änderung der Rohstoff-Zusammensetzung auf die zu erwartenden optischen Eigenschaften können prognostiziert werden mit Differenzierung hinsichtlich der einzelnen Komponenten (Fasern, Füllstoffe, Druckfarbe) sowie der einzelnen Prozessschritte. Weiterhin können Auswirkungen unerwünschter Bestandteile (Inkjet-Druckprodukte) abgeschätzt werden.

Schlussfolgerung Modellgüte

In sehr vielen Fällen können mit Hilfe der Prognosemodelle die zu erwartenden Praxiswerte in der Größenordnung der Absolutwerte und insbesondere bezüglich der Trendentwicklung sicher und praxistauglich berechnet werden. Die Rohstoffeigenschaften unterliegen jedoch mitunter deutlichen zeitlichen Schwankungen, die bei den Modellrechnungen zunächst nicht berücksichtigt werden. Hier kann die Einbeziehung geeigneter Online-Messwerte beitragen (z.B. durch das im Projekt IGF15905BR „AP-Monitoring“ entwickelte Messprinzip), die Modellgüte noch weiter zu verbessern.

8 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

Nutzung der Forschungsergebnisse für KMU

Die Methode zur Prognose des Weißgrads bietet die Voraussetzung für eine Simulationsbasierte Prozessoptimierung der Druckfarbenentfernung (statische Offline Optimierung zum Design von Anlagen, zur Entwicklung von Anlagenkonzepten und Fahrweisen sowie zur Erarbeitung von Maßnahmen hinsichtlich der Prozessoptimierung) sowie für eine Stabilisierung und Verbesserung der DIP-Qualität (Online-Optimierung mit Hilfe einer modellbasierten Regelung).

Das Anwendungsfeld der angestrebten Forschungsergebnisse liegt neben den Erzeugern und Verarbeitern von Deinkstoffen vor allem bei den für die Papierindustrie tätigen Planern, Ingenieurbüros und Beratungsfirmen. Die Forschungsergebnisse sind insbesondere für die Erstellung von Optimierungskonzepten und im Rahmen von Beratungen einsetzbar.

Die erarbeiteten Modellierungsansätze können von Zulieferern aus den Bereichen der Softwareherstellung, der Prozessleittechnik und der Regelungstechnik genutzt werden, um Software basierte Optimierungen zu erstellen.

Weitere mögliche Anwender sind Hersteller der für die Druckfarbenentfernung notwendigen Anlagentechnik und der Zulieferindustrie (Messtechnik, Additive), die eine Verbesserung der Anwendbarkeit ihrer Produkte erreichen können.

Steigerung Wettbewerbsfähigkeit

Die entwickelte Berechnungsmethode ermöglicht eine Verknüpfung der praktisch relevanten Größe Weißgrad mit den Ergebnissen der bisherigen Prozesssimulationen. Dadurch wird der Transfer der Kenntnisse zur Optimierung der einzelnen Prozessstufen und zur Bewertung von Gesamtkonzepten für die Stoffaufbereitung maßgeblich unterstützt. Folgende wirtschaftlichen Effekte sind möglich:

- Hersteller der für die Druckfarbenentfernung notwendigen Anlagentechnik und der Zulieferindustrie (Messtechnik, Additive) können die Anwendbarkeit ihrer Produkte deutlich verbessern, da die Auswirkung der Maßnahmen bereits vorab prognostiziert werden können.

-
- Der Zeit- und Versuchsaufwand kann bei der Optimierung der Prozesse zur Druckfarbenentfernung deutlich reduziert werden.
 - Planern, Ingenieurbüros und Beratern eröffnen sich Möglichkeiten, Dienstleistungen schneller, effektiver und mit höherem Aussagewert anzubieten.
 - Zulieferer aus den Bereichen Prozessleittechnik, Regelungstechnik und Softwareherstellung können die Projektergebnisse und die Berechnungsmethode nutzen, um ihr Leistungsspektrum zu erweitern und zu verbessern.
 - Auch Druckfarbenhersteller und Druckereien können profitieren, da die Projektergebnisse auch bei der Optimierung der Druckfarbenpartikel, insbesondere deren Deinkingverhalten, und des Druckprozesses nutzbar sind.

In den Papierfabriken selbst können weitere Einsparungen erreicht werden:

- Reduzierung von Rohstoff- und Entsorgungskosten des Chemikalienbedarfes (Altpapier ist mit 40 - 55 % der Gesamtkosten der größte Kostenfaktor),
 - Verringerung des Aufwandes für die Abschätzung der Auswirkung von alternativen Rohstoffen und
 - Reduzierung des technologischen und planerischen Risikos neuer und zukünftiger Verfahrenskonzepte.
-

Ansprechpartner für weitere Informationen:

Dr. Timo Kuntzsch

Tel. 03529/551-614

timo.kuntzsch@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS

Institut für Zellstoff und Papier IZP

Pirnaer Straße 37

01809 Heidenau

Tel. (03529) 551-60

Fax (03529) 551-899

e-Mail: info@ptspaper.de

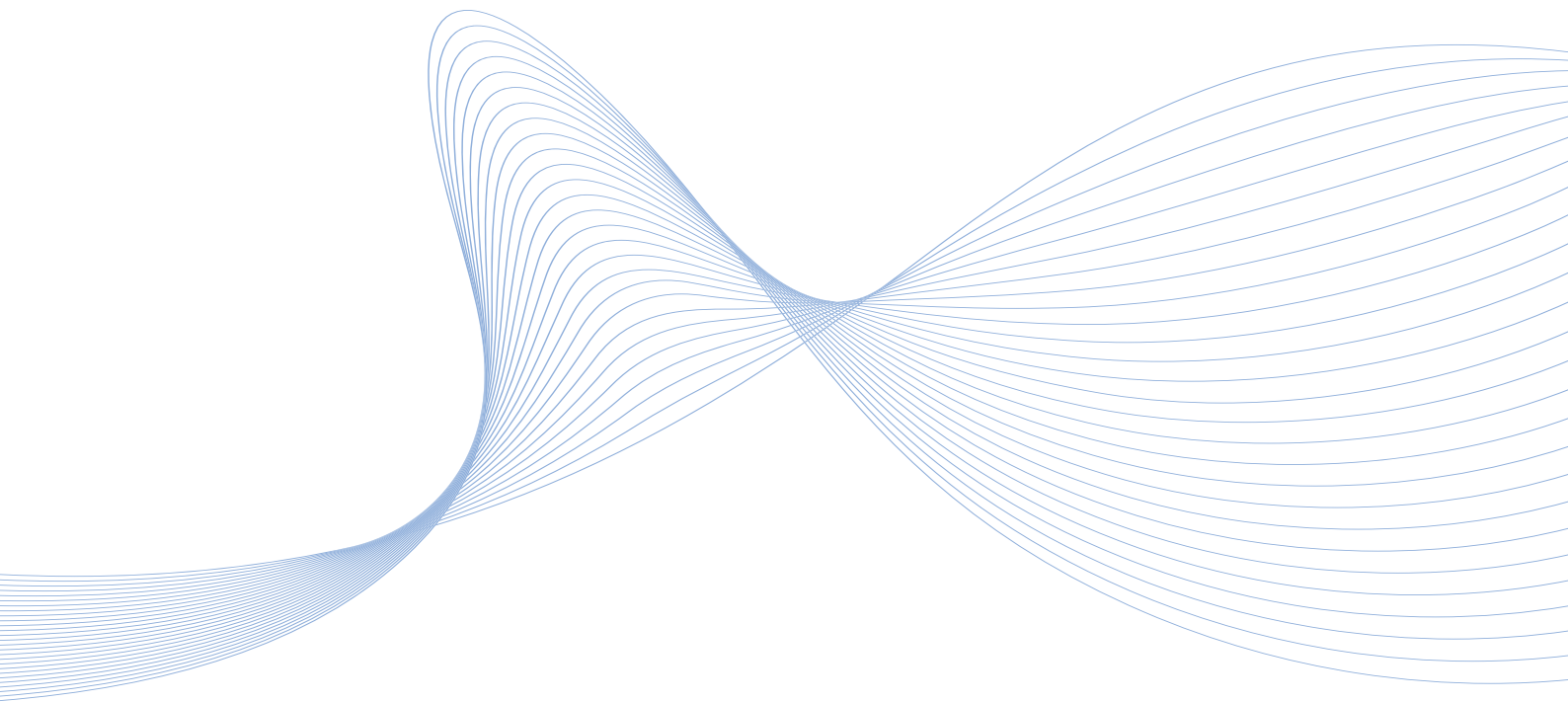
www.ptspaper.de

Literaturverzeichnis

- 1 N.N.
Papier 2012, Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie
Verband deutscher Papierfabriken e.V. (VdP), Bonn 2012
- 2 SCHUSTER H., HANECKER E. u. K. RENNER
Fortschritte bei der Deinkingtechnik und problematische Entwicklungen beim Rohstoff Altpapier, Vortrag
beim Internationalen Münchner Papiersymposium 2003 – Fortschritte bei der Papierherstellung, München
26. – 28. März 2003
- 3 SCHUSTER H. u. E. HANECKER
Rohstoff- und Prozessbenchmarking der deinkenden Papierindustrie,
Internationale Papierwirtschaft (2004) 9, T157-T160
- 4 HANECKER E. u. A. FAUL
Veränderungen in den Qualitätseigenschaften von Altpapierstoffen
ipw – Das Papier (2007) 1-2, T10-T14
- 5 BERTHEL T., SIEBER A.
Higher quality at lower cost by controlled bleaching in a deinking plant
Wochenblatt für Papierfabrikation 136, 189 – 190 (2008), Nr. 5
- 6 KAISER P., MAYER A.M.
Model predictive controllers (MPC)
Internationale Papierwirtschaft -, 19 – 20 (2006), Nr. 11-12
- 7 KAWAKITA M, MORI Y., NISHIMURA J.
A multivariable brightness control of bleaching process by model predictive control
Jpn Tappi J 61, 50 – 54 (2007), Nr. 3
- 8 MALMBERG B, EDWARDS L.
Dynamic modelling of pressurized peroxide stages with application to full bleach plant simulation
Tappi J. Vol. 6, 9 – 17 (2007), Nr. 2
- 9 DINKEL M, VILLFORTH K., MICKAL V., SIEBER A.
Measurement and control strategies for bleaching, COST action, Tampere 2006
- 10 BENEVENTI, D.:
Ink removal: technological aspects.
Proceedings 8th Advanced Training Course Deinking, Grenoble 29/31 May 2007, 10
- 11 AYALA, C.; CARRÉ, B.:
Deinking wood free recovered paper.
Proceedings 8th Advanced Training Course Deinking, Grenoble 29/31 May 2007, 31
- 12 STRAUSS, J.; BLASIUS, K.:
Verbesserung der optischen Eigenschaften des Deinkstoffes unter Berücksichtigung der Partikelgrößen-
verteilung von Druckfarben beim Deinkingprozess, PTS-Forschungsbericht 01/06 (AiF 13632),
www.ptspaper.de
- 13 REINBOTH F, GRAUSE R., MAYER M., KALLICH C.
Das bringt eMPC* in der Deinkinganlage Stora Enso Sachsen Mill – Erfahrungsbericht über Methode.
Technik und Aufwand sowie monetären und immatriellen Nutzen
13. PTS-CTP-Deinking-Symposium, G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.), München: PTS 2008, PTS
Symposium: DE 804
- 14 OLSSON B.
Inline-Echtzeitmessung zur Optimierung des DIP-Prozessen
12. PTS-CTP-Deinking-Symposium, G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.), München: PTS 2006, PTS
Symposium: DE 604

- 15 RUETZ S. u. T. RUNKLER;
Siflot – Ein Optimierungssystem zeigt in der Flotation sein Potenzial;
Wochenblatt für Papierfabrikation, 1272 - 1278 (2002), Nr. 10
- 16 DINKEL M, SIEBER A, DOIWA T, VILLFORTH K, MICKAL V.
Kostenoptimale Produktion in der gesamten Altpapieraufbereitung (Langfassung)
IPW -, 76-80 (2007), Nr.6
- 17 DINKEL M, MICKAL V., RUNKLER T., VILLFORTH K,
Strategien zur kostenoptimalen Steuerung einer Deinkinganlage
Wochenblatt für Papierfabrikation 132, 997 - 1001 (2004), Nr. 17
- 18 N.N.
PulpVision. The Challenge: To detect dirt in pulp before it contaminates the high-density tower or the stock prep area. Graz: Andritz 2008, www.andritz.com
- 19 BIENERT Ch., CORDIER O., HANECKER E., KAPPEN J.
Innovatives Management der Größenverteilung der Druckfarbenpartikel zur Prozessoptimierung von Deinkinganlagen
13. PTS-CTP-Deinking-Symposium, G. Galland und E. Hanecker (Hrsg.), München: PTS 2008, PTS Symposium: DE 804
- 20 STRUNZ, A. M.:
Höhere Effektivität der Druckfarbenentfernung in Deinkinganlagen unter Nutzung einer neuen Bewertungsmethode. PTS-Forschungsprojekt IW 070152
- 21 STRAUSS, J.:
Verbesserung der Qualitätseigenschaften deinkter Faserstoffe durch effizienten Einsatz der Prozessstufe Dispergierung unter Nutzung einer neuen Bewertungsmethode, AiF-PTS Forschungsantrag 12-07
- 22 HAMANN, L.; KAPPEN, J.:
Entwicklung einer praxisnahen und effizienten Beschreibung der komplexen Prozesse bei der Abtrennung von Verunreinigungen in der Flotation am Beispiel der Druckfarbenentfernung in der Altpapierstoffaufbereitung, Forschungsprojekt IW 071029, www.ptspaper.de
- 23 HAMANN, L.; KAPPEN, J.:
Entwicklung eines computergestützten Prognoseverfahrens zur Reduzierung des technologischen und planerischen Risikos neuer Prozesskonzepte in Deinkinganlagen, Forschungsprojekt IW 80059, www.ptspaper.de
- 24 RENNER, K.:
Deinkability of printing inks. In: Papermaking Science and Technology. Book 7, recycled fiber and deinking. Helsinki: Fapet Oy 2000
- 25 RENNER, K.; PUTZ, H.-J.; GÖTTSCHING, L.:
Druckfarbenpartikel-Bilanzierung in industriellen Deinkinganlagen.
Das Papier 1995, 10A, V48/V56
- 26 KLEIN, R.; SCHULZE, U.; HANECKER, E.:
Stand und Entwicklungstrend der messtechnischen Bewertung von optischen Inhomogenitäten als Grundlage einer Prozessbeurteilung und -optimierung.
WfP 2006, 7, 350/358
- 27 JORDAN, B. D.; POPSON, S. J.:
Measuring the concentration of residual ink in recycled Newsprint.
Journal of Pulp and Paper Science vol. 20 (1994), 6, J161/J167
- 28 ZABALA, J. M.; MCCOOL, M. A.:
Deinking at Papelera Peninsular and the philosophy of deinking system design.
Tappi Journal August 1988, 62/68
- 29 ACKERMANN, C.; GÖTTSCHING, L.:
Quantitative Bewertung von Druckfarbenpartikeln in Deinkingstoffen
Teil 1: WfP 2002, 5, 299/305; Teil 2: WfP 2002, 6, 357/362; Teil 3: WfP 2002, 7, 426/431

- 30 KAPPEN, J.; HAMANN, L.:
Entwicklung einer Systemanalyse zur Kontrolle der Schmutzpartikel bei der Erzeugung von Papieren aus Deinkstoff. PTS Forschungsbericht 2007 (IW 50282), www.ptspaper.de
- 31 YULE, J. A. C.; NIELSEN, W. J.:
The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction.
Proc. Tech. Assoc. Graphic Arts 3 (1951), 2, 65/76
- 32 WALMSLEY, M. R. W.; NGUYEN, K. L.:
A method for studying the effect of ink speck size on recycled paper brightness.
Appita vol. 47 (1994), 6, 483/486
- 33 LEVESQUE, M.; DESSUREAULT, S.; BARBE, M. C.:
Determination of recycled pulp optical properties from sheet inked area.
Journal of Pulp and Paper Science vol. 23 (1997), 6, J254/J262
- 34 HELBIG, T.:
Grundlage der Qualitätsbewertung im Offsetdruck. Frankfurt (a.M.): Polygraph Verlag, 1993
- 35 KUBELKA, P.; MUNK, F.:
Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. Zeitschrift für technische Physik 1931, 11A, 593/601
- 36 KUBELKA, P.:
New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part1.
Journal of the Optical Society of America vol. 38 (1948), 5, 448/457
- 37 LESKELÄ, M.:
Optical properties. In: Papermaking Science and Technology Book 16, Paper physics.
Helsinki: Fapet Oy 1998
- 38 JORDAN, B.; O'NEILL, M.:
The Kubelka-Munk absorption coefficients of several carbon blacks and water-based printing inks.
Journal of pulp and Paper Science vol. 20 (1994), 12, J371/J375
- 39 PRAAST, H.; ZIEGENBEIN, T.; GÖTTSCHING, L.:
Der Einfluss von Lichtfang und Druckübertragungsprozess auf die Druckqualität.
Teil 1: ipw - Das Papier 5/2003, 43-48; Teil 2: ipw - Das Papier 6/2003, 53/60
- 40 MIE, G.:
Beiträge zur Optik trüber Medien. Ann. Physik 25 (1908), 377/445
- 41 LAMBERT, J. H.:
Photometrie (Photometria sive de Mensura et Gradibus Luminis, Colorum et Umbrae), 1760.
Reprint. Leipzig: Wilhelm Engelmann 1892
- 42 MEINL, G.:
Minimierung von Rohstoff- und Prozesskosten bei Sicherung definierter optischer Eigenschaften AP-basierter heller Papiere. PTS-Forschungsvorhaben IK-MF 090185 „Kostenminimierung helle Papiere“, 2012
- 43 PAULER N.:
Optische Eigenschaften von Papier. AB Lorentzen & Wettre, Kista, 1998.
- 44 N.N.: Titel
In: Doshi, M.R. and Dyer, J.: Paper recycling challenge. Vol.IV, Process control and mensuration.
Appleton, WI : Doshi & Associates Inc., 1999
- 45 PIGORSCH, E.; HANECKER, E.:
Bewertung des Einflusses der Altpapierqualität auf die Effizienz von Deinking-Anlagen als Basis für eine dynamische Optimierung. PTS-Forschungsvorhaben IGF 15905 BG „AP-Monitoring“, 2010
- 46 CARRE B.:
Deinking of Wood Containing Recovered Papers.
9th CTP/PTS Advanced Training Course on Deinking Technology, Grenoble, 3.-5.6.2009.



www.ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung

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

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