

## **Titel**

# **Multispektrales Modulares Analysesystem (MuMAS) für die Papierindustrie**

B. Zimmermann

## **Inhalt**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Zusammenfassung</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Abstract</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Einleitung</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>Stand der Technik - Bildanalysesysteme für die Papierindustrie</b> ..... | <b>7</b>  |
| <b>5</b> | <b>Projektergebnisse</b> .....  | <b>9</b>  |
| 5.1      | Überblick .....   | 9         |
| 5.2      | Applikation Schmutzpunkte .....   | 10        |
| 5.3      | Applikation Formation .....   | 11        |
| 5.4      | Applikation Verteilung chemischer Inhaltsstoffe .....                       | 13        |
| 5.5      | Auszug aus der Schnittstellenbeschreibung für Sensoren .....                | 15        |
|          | 5.5.1 Einleitung .....  | 15        |
|          | 5.5.2 Funktionale Anforderungen an die Sensor-DLL.....                      | 16        |
| <b>6</b> | <b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b> .....                                 | <b>18</b> |

## 1 Zusammenfassung

---

**Zielstellung** Ziel des beantragten Forschungsprojektes war die Entwicklung eines neuen multispektralen Mess- und Analysesystems (MuMAS) für die Papierindustrie.

---

**Ergebnisse** Im Rahmen des Projektes wurde ein Messsystem konzipiert und entwickelt, das für die Analyse von Qualitätseigenschaften von Papierprodukten genutzt werden kann. Dazu wurden die Module Formation und Schmutzpunkte portiert und überarbeitet, sowie das Modul Verteilung chemischer Inhaltsstoffe neu umgesetzt. Dabei wurden Hardwareschnittstellen für verschiedene Image-Sensoren (visuell und NIR) implementiert.

Das System stellt eine offene Plattform dar, in die weitere Sensorsysteme und Analysemodule integriert werden können. Des Weiteren dient es als Plattform für die schnelle zukünftige Umsetzung von Forschungsergebnissen in nutzbare Softwareprodukte.

---

**Schlussfolgerung** Durch die Anwendung von MuMAS werden quantitative Effekte vorrangig bei der Qualitätssicherung in der laufenden Produktion erzielt. Die Analyseergebnisse des Messsystems bilden in Kombination mit organisatorischen oder regelungstechnischen Maßnahmen die Grundlage für:

- Schnelle und objektive Einschätzung der Qualität der gelieferten Ausgangsmaterialien, darauf aufbauend ein kostenoptimierter Einsatz von Roh- und Hilfsstoffen zur Herstellung einer geplanten Produktqualität
  - Überwachung von Zwischen- und Fertigprodukten in der laufenden Produktion, Vorbeugen gegen Qualitätseinbrüche
  - Vermeidung von Stillstand nach Abrissen durch Störstoffe (z.B.: klebende Verunreinigungen)
  - Vermeidung von Ausschussproduktion (Material-, Zeit- und Energieverlust)
  - Objektive und schnelle Einschätzung der Qualität bei der Aufbereitung von Rohstoffen aus Recyclingstoffen (z.B.: Altpapier), darauf aufbauend eine effiziente Steuerung von Aufbereitungsanlagen
  - Einsparung zeitaufwändiger klassischer Laboranalysetätigkeit (schnelle Reaktion, höhere Stichprobendichte)
  - Schnellere Bemusterung in Herstellungsprozessen mit hohen Reproduzierbarkeitsanforderungen (z.B.: Herstellung von Dekorpapieren)
  - Schnellere Bearbeitung bzw. Vermeidung von Reklamationen
- 

**Zielerreichung** Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

---

---

**Danksagung**

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens MF 100044 gewonnen, das im Programm zur "Förderung von Forschung und Entwicklung bei Wachstumsträgern in benachteiligten Regionen" mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über den Projektträger EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Technologie mbH aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

**2 Abstract**

---

**Project objective** The objective of the research project was the development of a new multi spectral measurement and analysis system (MuMAS) for the paper industry.

---

**Project results** During the project a measurement system was designed and implemented to analyse quality parameters of paper products. Therefore the DOMAS modules formation and dirt specks have been ported and updated, and the modul for chemical ingredients has been newly developed. Furthermore the hardware interfaces for different imaging sensors (visual and NIR) have been implemented.

The system is designed as an open platform, ready to integrate additional sensor systems and analysis modules. The system will be the basis for further faster implementations of research results into usable software products.

---

---

**Conclusions**

By using MuMAS quantitative effects will be observed while checking quality parameters during running production. The analysis results of the measurement system combined with organisational and automation rules will be the basis for:

- Fast and objective quality control of the delivered raw materials and built up on that the cost effective use of the materials to reach a planned product quality
- Observation of intermediate and end products during running production to avoid quality fall-offs
- Avoidance of stand stills after web breaks as a result of impurities (for example stickys)
- Avoidance of spoilage (Loss of material, time and energy)
- Objective and fast quality evaluation during the material preparation, and built on that an effective control of recycling plants
- Reduction of timeconsuming classic labor work (fast reaction, higher sample density)
- Fast handling or avoidance of complaints

---

**Achievement of objectives**

The objectives of the research project have been reached.

---

**Acknowledgement**

The research project MF 100044 was funded by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi in the programme for the "Promotion of Research, Development and Innovation in disadvantaged areas" based on the decision of the German Parliament and carried out under the umbrella of Euro-Norm in Berlin. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

### 3 Einleitung

#### Zielstellung

Ziel des beantragten Forschungsprojektes war die Entwicklung eines neuen modularen Mess- und Analysesystems (MuMAS) für die Papierindustrie.

Leistungsfähigere und neue Imagesensoren bieten die Möglichkeit, Papierproben in verschiedenen spektralen Bereichen abzubilden. Die unterschiedliche Wechselwirkung der Papierbestandteile mit den verschiedenen Strahlungen und die Verknüpfung der Informationen ermöglichen neue Mess- und Analysemöglichkeiten. Diese müssen branchenspezifisch aufbereitet werden.

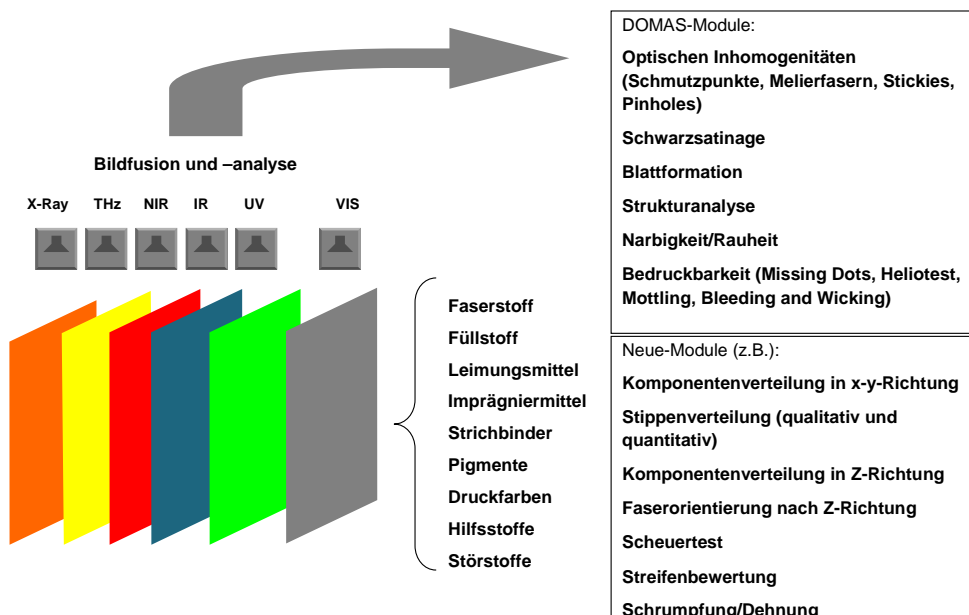


Abbildung 1: Idee für das Mess- und Analysesystems für die Papierindustrie

Das System soll offen für künftige Entwicklungen der Imagesensortechnologie und offen für verschiedene Sensorhersteller sein. Da es nicht möglich ist, alle derzeit aber auch künftig denkbaren Kombinationen von Imagesensoren im Projekt zu realisieren, ist es ein vorrangiges Ziel des Projektes eine offene Struktur zu entwickeln, welche eine effektive Weiterentwicklung gestattet.

Als Produkt soll es durch seine Modularität den Anforderungen und Möglichkeiten der Endkunden angepasst werden.

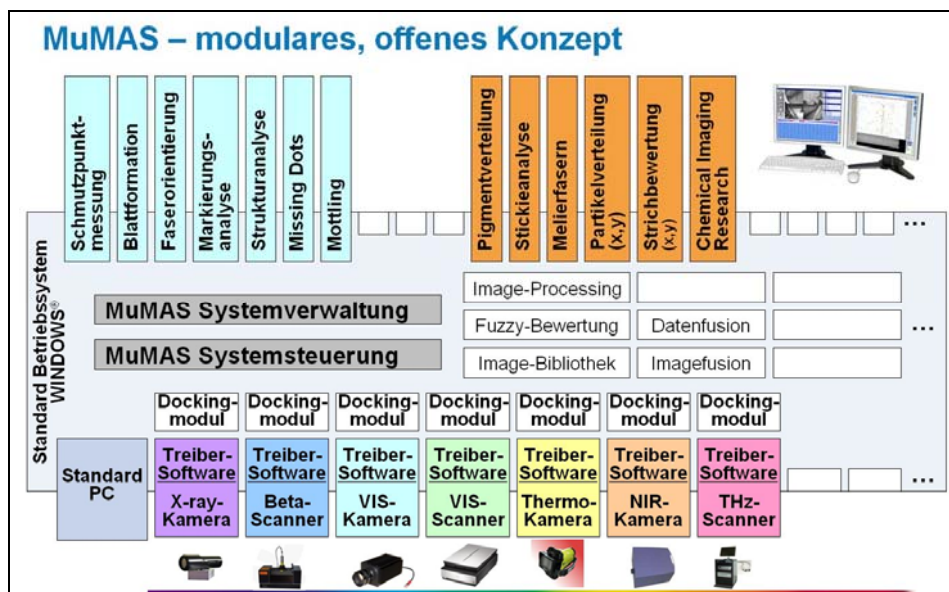


Abbildung 2: Systemüberblick MuMAS

Über das Forschungsprojekt hinaus soll MuMAS eine offene Plattform definieren, die für künftige Forschungsprojekte der PTS, aber auch anderer Forschungseinrichtungen, eine effektive softwaretechnische Basis bildet. Somit können sich die Projekte auf den Kern der messtechnischen Verfahrensentwicklung konzentrieren. Gleichzeitig soll diese Konstellation in Folge dann auch eine schnellere Überleitung der Forschungsergebnisse in für Endkunden nutzbare Produkte ermöglichen.

## 4 Stand der Technik - Bildanalyzesysteme für die Papierindustrie

### DOMAS

Die Bildverarbeitungs- und Bildanalysesoftware DOMAS (**D**igital **O**ptical **M**easurement and **A**nalysis **S**ystem) [1] wurde seit Anfang der neunziger Jahre von der PTS speziell für die Anforderungen der Papier- und deren Zulieferindustrie entwickelt. DOMAS ist zu einem wichtigen Werkzeug für die Kontrolle der Produktqualität und für die Optimierung des Papierherstellungsprozesses geworden und ist im Markt fest etabliert. DOMAS läuft auf PCs unter WINDOWS®-Betriebssystemen [2] und basiert auf der kommerziellen Bildanalysebasissoftware OPTIMAS®/OPTIMATE® [3]. Die Bildgewinnung wird über einen Scanner oder eine Kamera vorgenommen. Folgende Abbildung zeigt den grundlegenden Aufbau:

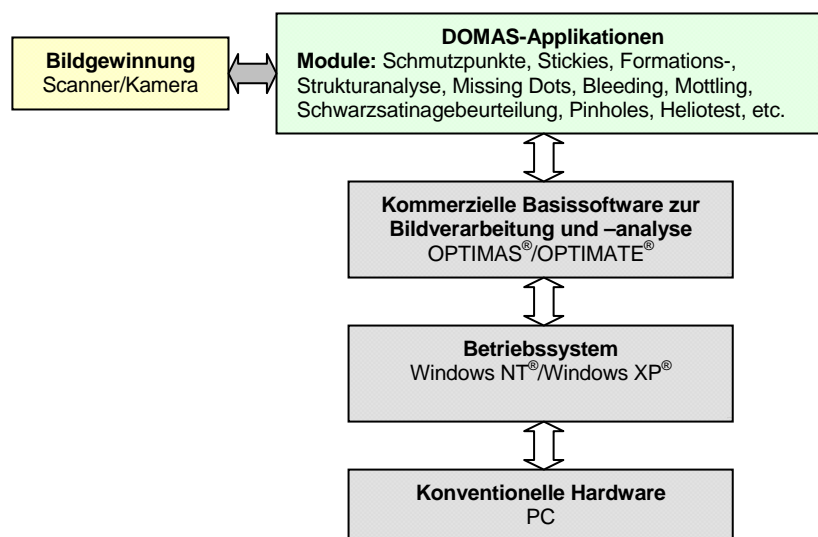


Abbildung 3: Systemüberblick DOMAS

DOMAS ist eine Sammlung von Projektergebnissen, die in Anwendungsmodule umgesetzt wurden. Derzeit existieren Module zur Bestimmung von optischen Inhomogenitäten im Papier (Schmutzpunkte, Melierfasern, Stickies), zur Formations- und Strukturanalyse des Papiers, zur Beurteilung der Bedruckbarkeit (Missing Dots, Bleeding, Mottling, Heliotest), der Schwarzsatinage und von Pinholes. Daneben wurden weitere Module entwickelt, die ausschließlich PTS-intern für Forschungszwecke genutzt werden.

Die Modularität wurde allerdings nicht systematisch aufgebaut und in der Systemarchitektur durchgängig umgesetzt. Das bringt Probleme bei der Wartung und Erweiterung des Systems.

DOMAS setzt auf die kommerzielle Bildanalysebasissoftware OPTIMAS®/OPTIMATE® auf, deren Komponenten für papiertechnische Zwecke erweitert wurden.

Folglich wurde DOMAS in der Programmiersprache ALI (**A**nalytical **L**anguage for **I**mages) [4], der Makrokontrollsprache von OPTIMAS®/OPTIMATE®, programmiert. Mittlerweile gibt es für OPTIMAS®/OPTIMATE® keinen Service vom Hersteller mehr, das heißt die Kompatibilität zu künftigen Betriebssystemversionen ist ungewiss. Auch ist die Verarbeitung von Images mit einer Farbtiefe von 16 Bit nicht möglich und die Verwendung des 1-Byte-ASCII-Codes in OPTIMAS®/OPTIMATE® erschwert die Schaffung internationaler Nutzeroberflächen (z.B.: japanisch, chinesisch). Schlussfolgernd ist eine grundlegende Erneuerung notwendig.

---

**Andere bildanalytische Systeme**

Weitere ähnlich aufgebaute Systeme werden im folgenden Abschnitt genannt. Sie haben vergleichbare Funktionalität in unterschiedlichem Ausbau. Für alle Systeme gleich ist die Tatsache, dass es sich um geschlossene Softwarepakete handelt, die teilweise sogar fest an spezielle Hardware gekoppelt angeboten werden.

Seit der Einführung dieser Systeme hat es enorme Weiterentwicklungen im Bereich der Hardware gegeben. So verfügen heutige PCs über ein Vielfaches an Speicherkapazität und Rechenleistung im Vergleich zu damaligen Geräten. Als Folge dieser Hardwareentwicklungen hat es ähnlich dramatische Neuentwicklungen auch bei den Softwaretechnologien gegeben. Entsprechend ist heute die Entwicklung sehr viel mehr speicherplatz- und rechenintensiverer Analysealgorithmen möglich, die in sehr großer Geschwindigkeit hervorragende Resultate liefern.

Daneben ist die Leistungsfähigkeit der Bildgewinnungsgeräte beträchtlich gewachsen. So liegt die maximale Auflösung heutiger Kameras und Scanner deutlich höher als bei älteren Geräten. Entsprechend lassen sich heute sehr viel präzisere Bilder von Proben erheben. Zusätzlich wuchs die Vielfalt der angebotenen Geräte, allerdings bei gleichzeitig immer kürzeren Produktzyklen.

---

**Konkurrenz-Produkte**

Neben dem Analysesystem der PTS existieren einige konkurrierende fachspezifische Bildverarbeitungs- und Bildanalysewerkzeuge. Beschränkt man sich auf Analysewerkzeuge, die mit vergleichbaren technischen Mitteln, d.h. Bildgewinnung über Scanner oder Kamera und Analyse auf handelsüblichen PCs operieren, dann sind im Wesentlichen die Tools der Unternehmen Apogee Systems, OpTest Equipment und Verity IA zu nennen.

Das Apogee-Produkt Spec\*Scan [5] kommt in seiner Funktionalität dem DOMAS-System noch am Nächsten, erreicht aber nicht dessen Funktionsumfang. Es wird dort jedoch eine EBA-Schmutzpunktmessung nach der TAPPI-Norm angeboten. Die Benutzeroberfläche ermöglicht dem Laborpersonal keine Möglichkeit einen individuellen Labormodus einzurichten.

Die Analyseprodukte von OpTest Equipment Inc., Kanada [6] z.B. Paprican Micro-Scanner sind auf die Bedürfnisse der Papier- und Druckindustrie abgestimmt. Sie decken nicht den Funktionsumfang von DOMAS ab. Die einzelnen Module werden zusammen mit jeweils einem speziell auf das jeweilige Modul abgestimmten Bilderfassungsgerät als Stand-Alone-Geräte angeboten. Eine Schmutzpunktmessung findet nur nach dem EBA-Verfahren statt.

VERITY IA, LLC (USA) [7] bietet allgemeine Software zur Bildanalyse an. Daher sind die verwendeten Algorithmen im Vergleich weniger gut auf die speziellen Bedürfnisse der Papieranalyse hin optimiert. Zudem decken die angebotenen Tools nicht alle Analyseaufgaben ab, die im Zuge des Papierherstellungs- und Weiterverarbeitungsprozesses notwendig werden. Es werden Werkzeuge zur Formationsmessung, zur Bestimmung von Mottling und Druckschärfe sowie Schmutzpunktmessungen (EBA nach TAPPI T-563) angeboten. Die Benutzeroberfläche ist recht unübersichtlich gestaltet und es werden zu viele Farben eingesetzt.

Das Bildanalyzesystem Simpatic (TECHPAP / CTP, Frankreich) [8] bietet eine Schmutzpunktanalyse und ist vorrangig in Frankreich und Spanien verbreitet.

Hersteller von Imagesensoren bieten allgemeine Tools zur Messwertaufnahme, Visualisierung und Speicherung (Beispiel: Scanner-Sw ImagePro Objektanalyse

---



---

[9], Helios-Viewer für NIR-Kamera [10]) an. Diese Tools bieten allerdings keine branchenspezifische Auswertung. Hier wird eher durch die Einführung eines offenen System die Chance gesehen in Kooperation mit Sensorherstellern im beiderseitigen Interesse den Markt zu bearbeiten.

---

## 5 Projektergebnisse

### 5.1 Überblick

**Analysemodul Schmutzpunkte** Das Analysemodul Schmutzpunkte kann hauptsächlich zur Qualitätsbeurteilung der Stoffaufbereitung genutzt werden. Analysiert werden meist runde Proben, die aus Stoffproben aus der Stoffaufbereitung auf einem Laborblattbildner hergestellt wurden. Prinzipiell kann das Analysemodul aber auch andere Bilder bewerten.

Analysiert werden alle Bereiche des Bildes, die schwellwertbasiert als „Schmutzpunkte“ gefunden werden. Dabei werden die Anzahl, die Größe und die Form der Objekte bewertet.

---

**Analysemodul Formation** Das Analysemodul Formation kann hauptsächlich zur Qualitätsbeurteilung der Papierproduktion genutzt werden. Die Formation beschreibt dabei die Gleichmäßigkeit der Papiere im Durchlicht. Der Papiermacher beschreibt diese Eigenschaft manchmal auch als Wolkigkeit.

Analysiert wird ein rechteckiger Bereich des Bildes. Dabei werden der Kontrast, die Flockengröße und die Orientierung der Flocken gemäß Zellcheming Merkblatt bewertet.

---

**Analysemodul Verteilung chemischer Inhaltsstoffe** Die mit dem NIR-Auswertemodul erzeugten chemischen Bilder können visualisiert oder mit anderen Abbildungen zwecks weiterführender Auswertungen fusioniert werden. Die Visualisierung erfolgt mit den Tools des Nutzerinterfaces und Auswertungen unter Nutzung von Basistools. Das wurde beispielhaft anhand der Bewertung klebender Bestandteile (Stickies) in Papierproben umgesetzt.

---

**Hardwaremodule** Im Rahmen des Projektes wurden drei Imaging-Sensoren exemplarisch implementiert:

- NIR-Kamera von LLA
- Flachbettscanner von EPSON
- RGB-Kamera von IDS

Die Implementierungen bedienen dabei alle eine standardisierte Schnittstelle. Diese wurde offen definiert, sodass zukünftig auch weitere Hardware schnell in das System integriert werden kann. Ein Auszug ist im Kapitel 5.5 enthalten.

---

---

**Systembasis**

Die Software für das Messsystem wurde für einen PC mit einem Microsoft Windows™ - Betriebssystem (64 Bit) entwickelt. Zur Ausführung wird das .net-Framework 4.0 und die Matlab-Runtime benötigt. Dabei handelt es sich um frei verfügbare Bibliotheken, die auf dem PC installiert werden müssen. Weitere kostenpflichtige Lizenzen sind für das System nicht erforderlich.

---

**5.2 Applikation Schmutzpunkte****Überblick**

Das Analysemodul Schmutzpunkte kann hauptsächlich zur Qualitätsbeurteilung der Stoffaufbereitung genutzt werden. Analysiert werden meist runde Proben, die aus Stoffproben aus der Stoffaufbereitung auf einem Laborblattbildner hergestellt wurden. Prinzipiell kann das Analysemodul aber auch andere Bilder bewerten.

Analysiert werden alle Bereiche des Bildes, die schwellwertbasiert als „Schmutzpunkte“ gefunden werden. Dabei werden die Anzahl, die Größe und die Form der Objekte bewertet.

---

**DOMAS**

Eine wesentliche papierspezifische Anwendung von DOMAS ist die Schmutzpunktanalyse. Sie basiert auf Aufnahmen von Labor- und Fertigblättern, welche mit Hilfe eines Farbscanners erstellt werden [1].

---

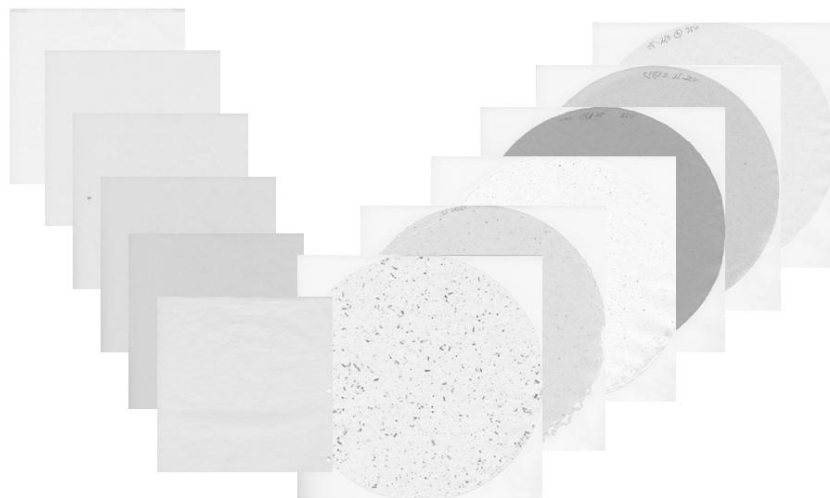
**Beispielbilder**

Abbildung 4: Verschiedene Schmutzpunktproben

---

**Normative Grundlagen**

In der INGEDE-Methode 2 „Bestimmung optischer Eigenschaften von Deinkingstoffen und Filtraten“ [11] wird das Bewertungsverfahren der Qualität von Recyclingzwischenprodukten beschrieben. DOMAS ist als eines der grundlegenden Arbeitsmittel beschrieben. Inhaltlich wurde das Messverfahren in den letzten Jahren systematisch verbessert.

Im außereuropäischen Markt erfolgt eine Schmutzpunktbewertung nach der amerikanischen EBA (Equivalent **Black Area**) – Norm [12]. Diese Norm ist weniger bedeutsam in Europa, aber in USA und Asien ein Standard. Die Integration der Algorithmen nach dieser Norm in DOMAS war jedoch durch die Möglichkeiten der Basissoftware unverhältnismäßig aufwändig.

**Ergebnisse**

Für die Applikation Schmutzpunkte wurden folgende Teilaufgaben bearbeitet:

- Entwurf des Analyse-Moduls (Ablaufsteuerung, Visualisierung, Protokoll)
- Einbindung der Schnittstelle zum Dockingmodul VIS-Sensor
- Implementierung der Algorithmen nach INGEDE und TAPPI

**5.3 Applikation Formation****Überblick**

Das Analysemodul Formation kann hauptsächlich zur Qualitätsbeurteilung der Papierproduktion genutzt werden. Die Formation beschreibt dabei die Gleichmäßigkeit der Papiere im Durchlicht. Der Papiermacher beschreibt diese Eigenschaft manchmal auch als Wolkigkeit.

Analysiert wird ein rechteckiger Bereich des Bildes. Dabei werden der Kontrast, die Flockengröße und die Orientierung der Flocken gemäß Zellcheming Merkblatt [13] bewertet.

**Bedeutung der Formation**

Eine weitere papierspezifische Anwendung von Bildanalyse-Systemen ist die Formationsmessung. Hohe Gleichmäßigkeit der Masseverteilung (Fasern und andere Papierbestandteile) im Papier ist eine der wichtigsten Zielstellungen des Papierherstellungsprozesses. Der Papiertechniker spricht bei der Beurteilung der Papiergleichmäßigkeit meist von Formation oder Wolkigkeit.

Die Formation ist in der DIN 6730 [14] als die räumliche Verteilung der Fasern im Papier definiert. Allerdings gibt es in der Norm bislang keine Angaben dazu, in welcher Form eine Messung der Formation durchzuführen ist, oder welche quantitativen Parameter die Formation auszeichnen.

Diese Unklarheit hat in der Praxis dazu geführt, dass es sehr viele verschiedene Formationsmesssysteme gibt, die sich in ihrer Hard- und Software deutlich unterscheiden und deren Messdaten untereinander nicht vergleichbar sind. Selbst Trends werden teilweise unterschiedlich oder ungenau wiedergegeben. Eine dieser Lösungen bietet DOMAS an.

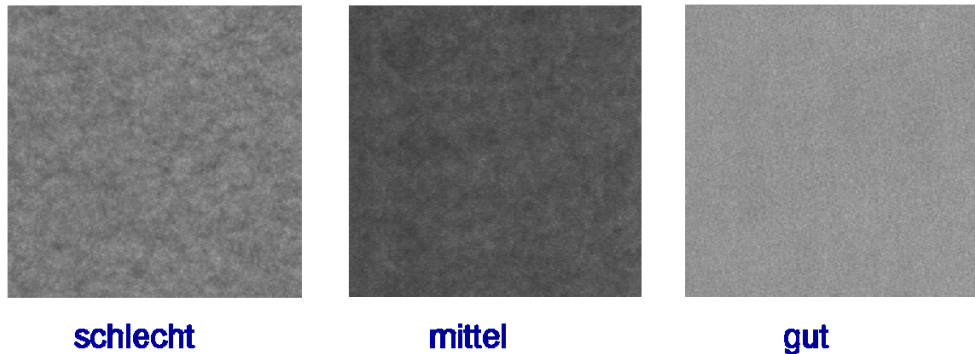
**Beispielbilder**

Abbildung 5: Durchlichtaufnahmen von drei Papieren mit unterschiedlicher Formation

**Zellcheming-Merkblatt**

Im Rahmen des Forschungsprojektes IW 070117 „Online-Formation“ hat die PTS einen Vorschlag für eine standardisierte Online-Formationsbewertung formuliert. Daraus entstand im Rahmen eines Zellcheming-Fachausschusses ein Zellcheming-Merkblatt, was mit einem Industrie-Standard gleichzusetzen ist. Für die Bewertung wurden sowohl die bekannten Linien-Algorithmen als auch PSA-Algorithmen einbezogen.

Neben der Verwendung in onlinefähigen Messsystemen besteht die Notwendigkeit der Umsetzung der von der PTS entwickelten Algorithmen in ein Mess- und Analysesystem zur Qualitätssicherung in der Laborumgebung. Somit kann eine Übereinstimmung zwischen Formationsbewertung im industriellen Herstellungsprozess und Laborbewertung geschaffen werden.

**Ergebnisse**

Für die Applikation Formation wurden folgende Teilaufgaben bearbeitet:

- Entwurf des Analyse-Moduls (Ablaufsteuerung, Visualisierung, Protokoll)
- Einbindung der Schnittstelle zum Dockingmodul VIS-Sensor
- Implementierung der Algorithmen

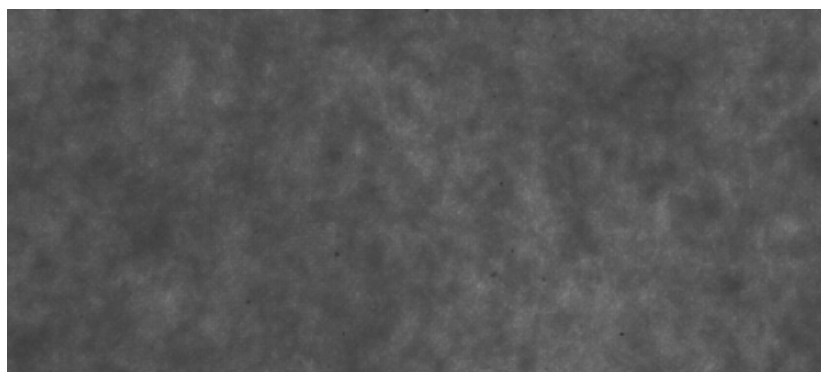
**Beispiel**

Abbildung 6: Darstellung Scan Formationsprobe

## 5.4 Applikation Verteilung chemischer Inhaltsstoffe

### Überblick

Die mit dem NIR-Auswertemodul erzeugten chemischen Bilder können visualisiert oder mit anderen Abbildungen zwecks weiterführender Auswertungen fusioniert werden. Die Visualisierung erfolgt mit den Tools des Nutzerinterfaces und Auswertungen unter Nutzung von Basistools. Das wurde beispielhaft anhand der Bewertung klebender Bestandteile (Stickies) in Papierproben umgesetzt.

### Beispiel

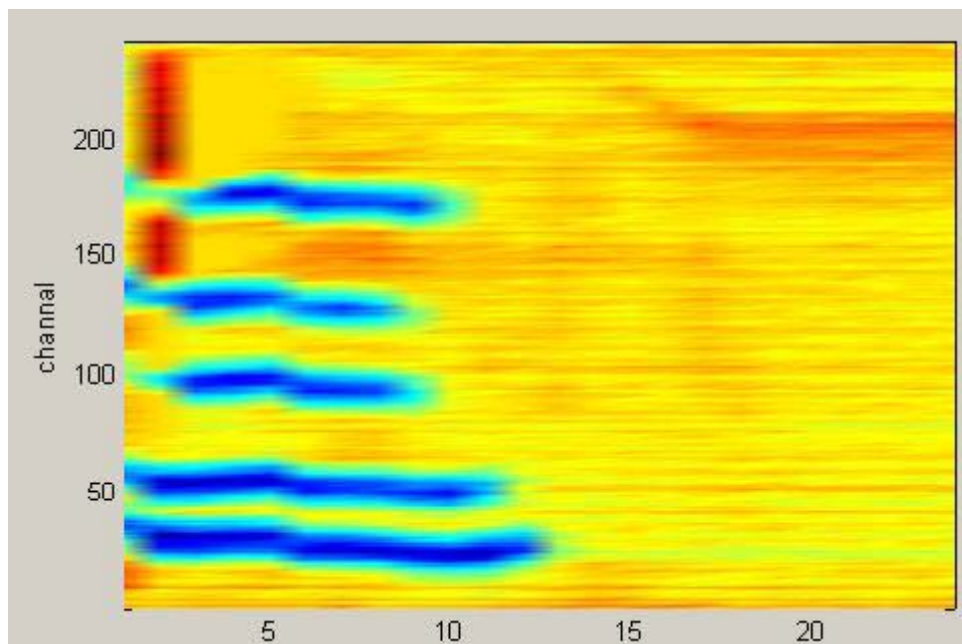


Abbildung 7: Darstellung klebender Verunreinigungen

### Schwingungs- spektros- kopische Analyse- methoden

Schwingungsspektroskopische Messmethoden, wie die Nahinfrarot (NIR)-, Infrarot (IR)- und Raman-Spektroskopie, sind besonders gut geeignet Papiere und Papieroberflächen strukturchemisch zu analysieren [15, 16]. Mit entsprechenden Reflexionsmethoden können Papierproben direkt und ohne Probenvorbereitung gemessen werden. Die Spektren enthalten dabei sowohl qualitative als auch quantitative Informationen. Die Lage der Schwingungsbanden ist charakteristisch für bestimmte Molekülgruppen und somit von chemischen Verbindungen. Die Intensität der Banden hängt ab vom quantitativen Anteil eines chemischen Stoffes.

### Chemical Imaging

Diese spektroskopischen Messverfahren werden bereits seit längerer Zeit auch für die orts aufgelöste Analyse von Materialien eingesetzt. Doch erst in den letzten Jahren konnten durch wesentliche Fortschritte in der Entwicklung von Hochleistungs-Mehrkanaldetektoren und von spezifischen Auswertalgorithmen die Mess- und Auswertzeiten drastisch verringert werden. Dadurch ist es möglich geworden, auch praxisrelevante, größere Probenflächen zu analysieren. Die Auswertung der Messungen ergeben sogenannte chemische Bilder (chemical images), die neben der Information, was und wie viel von einem chemischen Stoff in der Probe enthalten ist, auch die lokale Verteilung anzeigen [17, 18].

### Prinzip des Chemical Imaging

In der Abbildung ist das Prinzip des Chemical Imaging dargestellt. Jeder Punkt des Bildes enthält ein Spektrum. Die chemische Information jedes Spektrums wird farbkodiert dargestellt. In diesem Beispiel handelt es sich um die Verteilung einer pharmazeutischen Wirksubstanz in einer Tablette.

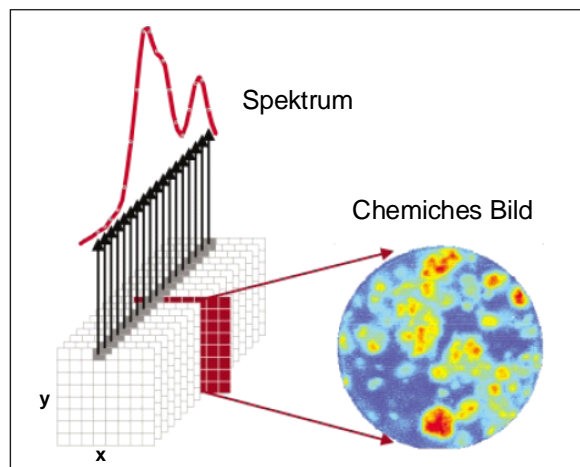


Abbildung 8: Prinzip des Chemical Imagings

### Auswertungsmethoden zur Erzeugung von chemischen Bildern

Für die Darstellung der chemischen Bilder, d. h. für die Farbkodierung der Messpunkte gibt es folgende Möglichkeiten:

- Intensität einer charakteristischen Bande im Spektrum
- Verhältnisse von Intensitäten oder Flächen zweier Banden, z. B. der Matrix und des zu bestimmenden Inhaltsstoffs [19]
- Klassifizierung der Spektren mit chemometrischen Methoden, wie Hauptkomponenten- oder Clusteranalyse [20]
- Berechnung quantitativer Gehaltsangaben mit chemometrischen Kalibriermodellen [21]

Durch die Variation der Auswerteparameter ist es möglich, aus einem Spektrendatensatz mehrere chemische Bilder zu erzeugen, die jeweils die Verteilung von verschiedenen Substanzen darstellen.

### Auswertung der chemischen Bilder

Die Auswertung der erhaltenen chemischen Bilder kann zum Einen rein visuell erfolgen. Es können aber auch anhand der erhaltenen Zahlenwerte für jeden Bildpunkt, Verteilungskurven oder Histogramme erstellt werden. Des Weiteren können die chemischen Bilder als Grau- oder RGB-Bilder abgespeichert und mit klassischen bildanalytischen Methoden ausgewertet werden.

### Anwendungen

Beispiele für hochaufgelöste Analysemethoden im Mikrometerbereich sind insbesondere aus der Medizin und in der pharmazeutischen Industrie bekannt. In der industriellen Praxis wird das Chemical Imaging u. a. für die Produktionsüberwachung und Sortierung eingesetzt [22].

**NIR Chemical Imaging**

Aus NIR-Spektrendatensätzen lassen sich ebenfalls in der oben beschriebenen Weise chemische Bilder erzeugen. Die folgende Abbildung zeigt das NIR-chemische Bild einer Papierprobe (A4-Format) mit Quadraten (4 cm) aus verschiedenen Kunststoffen. Die Farbcodierung erfolgte anhand der Intensitätsverhältnisse der charakteristischen NIR-Bande von Papier (Cellulose) bei 1480 nm mit der Intensität bei der Wellenlänge 1720 nm, die für Kunststoffe charakteristisch ist. Beispielspektren sind rechts dargestellt. (Quelle: PTS)

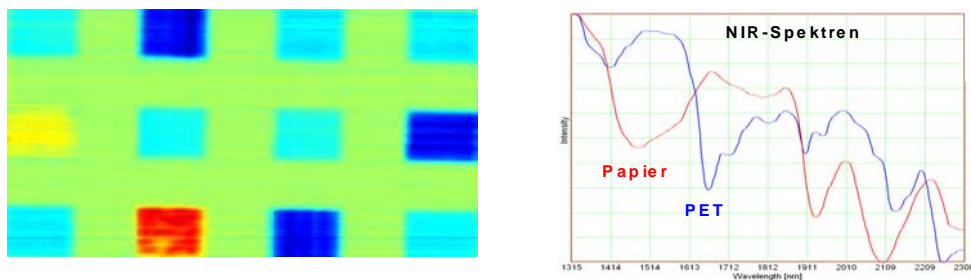


Abbildung 9: NIR-chemisches Bild einer Papierprobe und Beispielspektren

Anhand des chemischen Bildes lassen sich deutlich die verschiedenen Kunststoffe unterscheiden und identifizieren: Polystyren (gelb), Polyester (rot), Polyethylen (hellblau) und Polypropylen (dunkelblau).

**Ergebnisse**

Für die Applikation Verteilung chemischer Inhaltsstoffe wurden folgende Teilaufgaben bearbeitet:

- Entwurf des Analyse-Moduls (Ablaufsteuerung, Visualisierung, Protokoll)
- Implementierung der Datenvorbehandlung
- Einbindung der Schnittstelle zum Dockingmodul NIR-Sensor
- Implementierung der Algorithmen
- Herstellung und Vermessung von Referenzproben

**5.5 Auszug aus der Schnittstellenbeschreibung für Sensoren****5.5.1 Einleitung****Inhalt des Dokuments**

Dieses Dokument beschreibt eine Standard-Schnittstelle für Sensoren zur Einbindung in das MuMAS-System der Papiertechnischen Stiftung (PTS).

Nach einem Überblick über das Gesamtsystem folgt eine Beschreibung der funktionalen Anforderungen an die Sensor-Schnittstelle sowie eine Übersicht über die Softwareumsetzung.

**MuMAS**

MuMAS ist das modulare multispektrale Mess- und Analysesystem der PTS zur objektiven Bewertung von Papierproben und ähnlichen Materialien. Das System bietet die bewährte DOMAS-Funktionalität auf einer modernen Plattform an. Des Weiteren dient es zur einfachen Integration und Nutzung neuer Sensorik und zur

Fusion von Daten aus verschiedenen Sensoren.

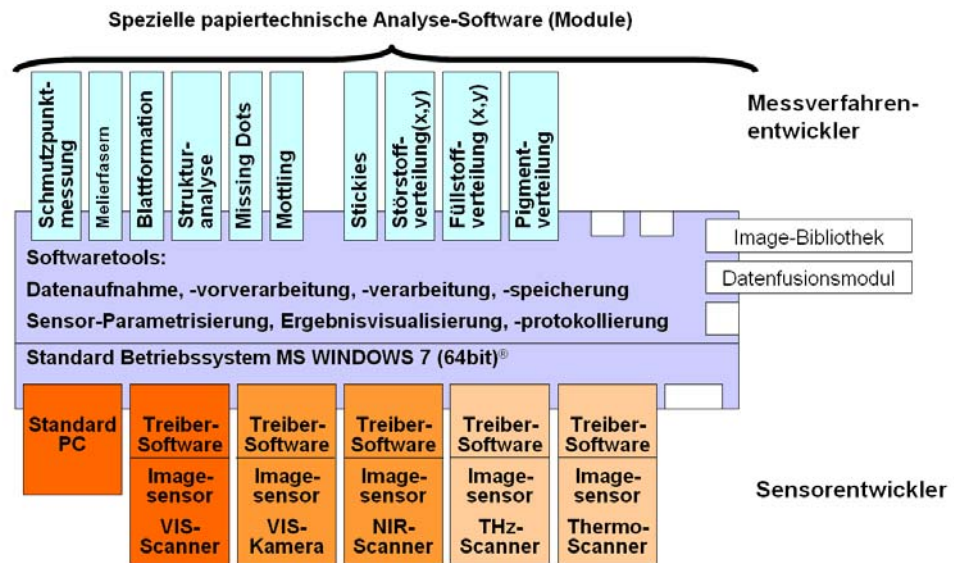


Abbildung 10: MuMAS-Systemkonzept

Auf der Basis eines Standard-PC mit einem 64bit-Windows®-Betriebssystem (Windows7 und höher) läuft die MuMAS-Software, wobei sowohl die verschiedenen Anwendungsmodul als auch die Dockingmodule für die Sensorik modular als DLL in das System eingebunden werden können.

**Software-umgebung**

MuMAS stellt folgende Anforderungen an die Softwareumgebung:

- 64bit-Windows®-Betriebssystem (Windows7 und höher)
- .net-Framework Version 4
- Programmiersprache C#
- Bibliothek Matlab 2012b (Runtime)

**Einbindung von Sensoren**

Für die Einbindung von Sensoren stellt MuMAS eine offene Schnittstelle (Interface) zur Verfügung. Jede DLL, die dieses Interface implementiert, kann danach einfach in das System integriert und genutzt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die funktionalen Anforderungen an die Geräte-Implementierung näher beschrieben.

**5.5.2 Funktionale Anforderungen an die Sensor-DLL**

**Zielstellung**

MuMAS verfolgt das Ziel, eine universelle Plattform für unterschiedliche Analysen zur Verfügung zu stellen. Dazu zählt auch, dass verschiedene Sensoren sehr einfach und schnell zur Datengewinnung in das System integriert werden können. Aus diesem Grund wird eine offene universelle Standardschnittstelle angeboten. Jeder Sensor, dessen Treibersoftware diese Schnittstelle implementiert, kann in MuMAS verwendet werden.



**Systemübersicht** Im Hinblick auf die Einbindung unterschiedlicher Sensoren ist in der folgenden Abbildung eine Systemübersicht dargestellt. Vom MuMAS-Basisprogramm ausgehend bedienen alle Geräteimplementierungen eine einheitliche Software-schnittstelle, sodass alle Sensoren gleich angesprochen werden können, egal um welche spezifische Implementierung und Sensorvariante es sich handelt.

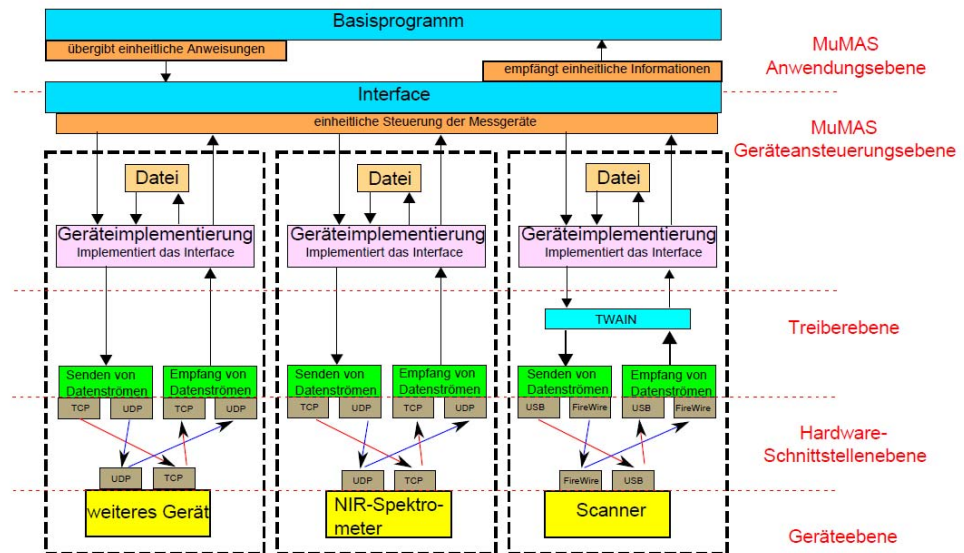


Abbildung 11: Systemübersicht Sensoren im MuMAS

Die Schnittstelle wird im Code als Interface „Hardware“ bezeichnet. Zu dieser Schnittstelle gehören bestimmte Funktionen, Zustände, Datendefinitionen und Callbacks. Die Geräteimplementierung stellt dabei das Bindeglied zwischen dem universellen Interface und der speziellen Treibersoftware des Gerätes dar. Im Idealfall kann auch ganz auf ein solches Bindeglied verzichtet werden, wenn die Treibersoftware schon das Interface implementiert.

**Hinweis**

In den folgenden Kapiteln werden für die Beschreibungen der Syntax die Datentypen und Bezeichnungen von C# verwendet.

**Gerätezustände**

Die Implementierung der Gerätesoftware muss threadsicher erfolgen. Das bedeutet, dass die DLL auch parallele Anforderungen verarbeiten können muss. Dazu wurde ein Zustandsmodell entwickelt, wobei jede Funktion nur dann ausgeführt werden darf, wenn sich das Gerät gerade in einem erlaubten Anfangszustand befindet. Anderenfalls muss auf eine solche Anfrage mit einer Fehlermeldung reagiert werden.

## 6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

### Zielgruppen und Anwendungsbereiche

- Papierindustrie, Papier verarbeitende Industrie, Druckereien, Roh- und Hilfsstofflieferanten für die Papierindustrie, Dienstleistungsunternehmen

In den genannten Industriezweigen sind Labore für Qualitätssicherung der Produktion, Entwicklungsabteilungen der Unternehmen und externe Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen die potentiellen Einsatzorte.

- Hersteller von Produktionsausrüstungen, die in unmittelbarem Kontakt mit den Produkten kommen, wie Siebe und Filze in der Papierproduktion.
- Hochschulen und Universitäten Einsatz für die Ausbildung

Benachbarte Industriezweige der Herstellung und Verarbeitung von Textilien und Faserverbundstoffen werden optional unter der Gemeinsamkeit Fasermaterial als Markterweiterung angesehen, im Folgenden aber nicht in die Berechnungen einbezogen.

### Verwertung des FuE-Ergebnisses

Die Verwertung der Forschungsergebnisse erfolgt durch den Vertrieb des Messsystems. Weiterhin werden auch Dienstleistungen durch die PTS durchgeführt werden, falls Kunden nur eine geringe Anzahl von Proben prüfen möchten.

Das Messsystem stellt auch die Basis für die Verwertung von zukünftigen Forschungsergebnissen dar.

### Kosteneinsparung und Mehrerlöse aus der Vermarktung bei Anwenderunternehmen

In einem insgesamt stagnierenden Papiermarkt in Zentraleuropa liegt der Haupteffekt in der Kostensenkung durch die Einsparung von Material, Energie und Produktionszeit. Durch die Anwendung von MuMAS werden quantitative Effekte vorrangig bei der Qualitätssicherung in der laufenden Produktion erzielt. Einsparungseffekte entstehen immer aus der Kombination der Messergebnisse mit organisatorischen oder regelungstechnischen Maßnahmen.

- Schnelle und objektive Einschätzung der Qualität der gelieferten Ausgangsmaterialien, darauf aufbauend ein kostenoptimierter Einsatz von Roh- und Hilfsstoffen zur Herstellung einer geplanten Produktqualität
- Überwachung von Zwischen- und Fertigprodukten in der laufenden Produktion, Vorbeugen gegen Qualitätseinbrüche
- Vermeidung von Stillstand nach Abrissen durch Störstoffe (z.B.: klebende Verunreinigungen)
- Vermeidung von Ausschussproduktion (Material- und Energieverlust)
- Objektive und schnelle Einschätzung der Qualität bei der Aufbereitung von Rohstoffen aus Recyclingstoffen (z.B.: Altpapier), darauf aufbauend eine effiziente Steuerung von Aufbereitungsanlagen
- Einsparung zeitaufwändiger klassischer Laboranalysetätigkeit (schnelle Reaktion, höhere Stichprobendichte)
- Schnellere Bemusterung in Herstellungsprozessen mit hohen Reproduzierbarkeitsanforderungen (z.B.: Herstellung von Dekorpapieren)
- Schnellere Bearbeitung bzw. Vermeidung von Reklamationen

Wegen der Modularität von MuMAS und den sehr vielfältigen Anwendungen ist eine spezifische Quantifizierung schwierig. Aus den Erfahrungen mit DOMAS kann davon ausgegangen werden, dass die Einsparungen pro Jahr im Durchschnitt der verschiedenen Anwendungen etwa in der Höhe der Investitionssumme der Messtechnik liegt. Ein Return of Invest für das Analysesystem in einem Jahr ist eine realistische Erwartung

Weitere allerdings schwerer zu quantifizierende Effekte gibt es im Bereich der Forschung und Entwicklung. Sowohl beim Produktdesign als auch bei der Neu- und Umgestaltung von Produktionsprozessen können durch das Analysesystem schneller Informationen zu den Ergebnissen von Entwicklungsschritten generiert werden. Das bringt sowohl Einsparung beim einzelnen Schritt als auch die Einsparung ganzer Entwicklungsschritte (Verringerung der notwendigen Versuchstage).

In Hinsicht auf den Folgenutzen bei Drittunternehmen wird die PTS besondere Anstrengungen für die Papierfabriken in den Neuen Bundesländern als Endnutzer unternehmen. Eine effektive Qualitätssicherung auf Basis internationaler Standards spielt im Wettbewerb eine entscheidende Rolle.

**Ansprechpartner für weitere Informationen:**

Dipl.-Ing. Björn Zimmermann  
Tel. 03529 / 551-687  
[bjorn.zimmermann@ptspaper.de](mailto:bjorn.zimmermann@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 DOMAS User manual, PTS Heidenau
- 2 [http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Windows](http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Windows)
- 3 <http://www.weiss-imaging.de/Webseiten/Software/Optimas/Optimas.htm>
- 4 <http://www.ali.cs.umass.edu/>
- 5 <http://www.apogeessystems.com.oak.arvixe.com/Home.aspx>
- 6 <http://www.optest.com/>
- 7 VERITY IA, Print & Paperquality, Manual, Verity IA LLC, <http://www.verityia.com>
- 8 [http://www.petax.de/pdf/te\\_Simpatic.pdf](http://www.petax.de/pdf/te_Simpatic.pdf)
- 9 <http://www.mediacy.com/index.aspx?page=IPP>
- 10 <http://www.evk.co.at/produkte/?ID=17>
- 11 <http://www.ingede.com/ingindx/methoden/meth-d.html>
- 12 TAPPI Norm T 563 om-03, Black Area (EBA) and count of visible dirt in pulp, paper and paperboard by image analysis, TAPPI, 2003.
- 13 N.N., Zellcheming Merkblatt: Optische Online-Bestimmung der Formation; Juni 2011
- 14 N.N., DIN 6730, Papier und Pappe; Begriffe, Ausgabe 06.2000
- 15 H. W. Siesler (Ed.) Near-Infrared Spectroscopy. Principles, Instruments, Applications. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2001
- 16 R. Salzer and H.W. Siesler (Eds.), Infrared and Raman Spectroscopic Imaging, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2009
- 17 H.F. Grahn and P. Geladi (Eds.), Techniques and Applications of Hyperspectral Image Analysis, John Wiley & Sons Ltd., Chichester 2007
- 18 F. W. Koehler et al., Near infrared spectroscopy : the practical imaging solution, Spectroscopy Europe, 14 (3) (2002) 12-19
- 19 Ch. Krafft et al., Analysis of human brain tissue, brain tumors and tumor cells by infrared spectroscopic mapping, The Analyst, 129 (2004) 921-925
- 20 K. Danzer (Hrsg.), Chemometrik. Grundlagen und Anwendungen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2001
- 21 O. Kolomiets, U. Hoffmann, P. Geladi and H.W. Siesler, Quantitative Determination of Pharmaceutical Drug Formulations by Near-Infrared Spectroscopic Imaging, Appl. Spectrosc., 62 (11) (2008) 1200-1208
- 22 D. Sandu, Chemical Imaging in der Schüttgutsortierung, Schriftenreihe der GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff und Umwelttechnik, Heft 122, Tagung Sensortgestützte Sortierung 2010, Aachen, Seite 59