EVK DI Kerschhaggl GmbH

Arbeitskreis Prozessanalytik
in der GDCh-Fachgruppe Analytische Chemie und in der DECHEMA

arbeitskreis prozessanalytik

6. Kolloquium, 8. und 9. November 2010, in Waldbronn
in Zusammenarbeit mit Polytec

Anwendungen von Chemical Imaging Kameras zur Inline-Sortierung von Kunststoffen in der Recycling Industrie

M. Burgstaller

Waldbronn, 09.11.2010

Das Unternehmen

EVK
DI Kerschhaggl GmbH
Elektronisch Visualisieren Klassifizieren

gegründet: 1987

Josef-Krainer-Str. 35, A-8074 Raaba
A U S T R I A

Wir entwickeln und produzieren industrietaugliche Sensorsysteme zur Klassifizierung und Sortierung von Schüttgut "nach Farbe, Form, Größe, Struktur und Materialeigenschaften"

Die Mitarbeiter

Mitarbeiter:	**29** (8/2010)
Produktentwicklung & Verkauf:	**19** (TU, FH & HTL)
Produktion:	**5**
Administration:	**5**
Umsatz:	ca.3 Mio €

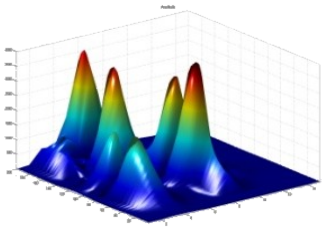
Die Produkte

… Visualisierung und Klassifizierung von Schüttgut nach “Farbe, Form, Größe, Struktur und Materialeigenschaften”

Colour Imaging
Produktlinie: **EOS**

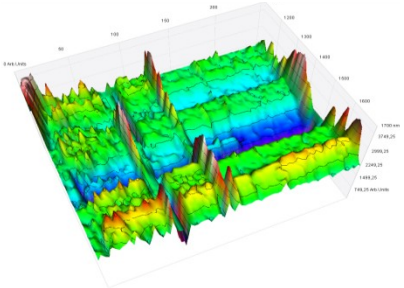
Conductivity Imaging

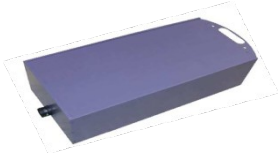
Produktlinie : **ARGOS**



Chemical Imaging

Produktlinie : **HELIOS**





Inhalt

a) Ökologische Betrachtung

b) Prinzipieller Aufbau eines Sortiersystems

c) Sensor Technologien im Recycling

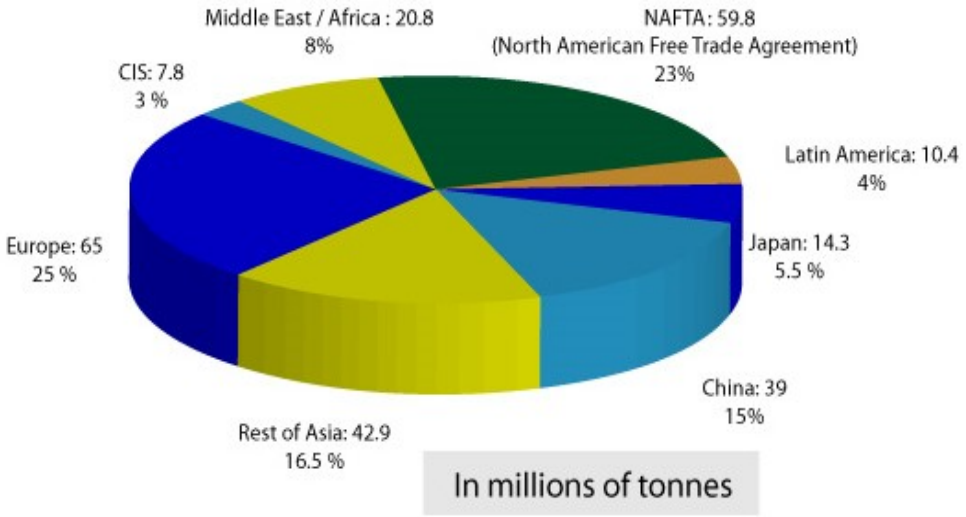
d) Datenverarbeitung von HSI-Daten

e) Kundenbedürfnisse

f) Smartkamera System zur Erhebung chemischer Eigenschaften und Darstellung als Farbinformation

g) Recycling Maschinen

Ökologische Betrachtung



Quelle: *PlasticEurope Market Research Group [PEMRG]*

Bedarf im Jahr 2007: 270 Mio. Tonnen
EU27 Länder: 25% → 65 Mio. Tonnen
Steigender Bedarf: 9% / Jahr

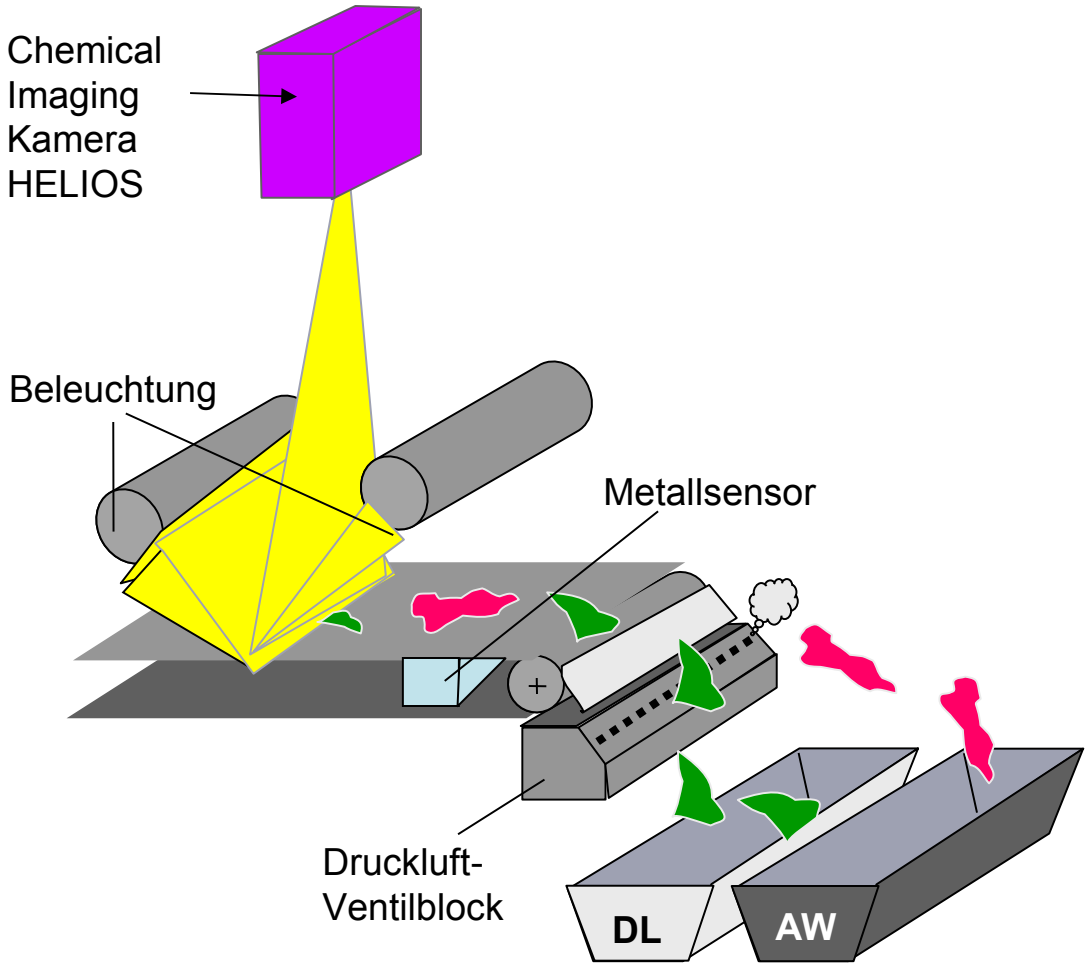
Konsequente Schonung von Resourcen notwendig!

Einsatz von klassifizierenden Systemen deutlich gestiegen.
Chemical Imaging Systeme bereits einige Jahre im Einsatz.

Wertschöpfung durch klassifizierende Systeme:

- Wiederverwertbarkeit von Rohstoffen (Sekundärrohstoffe)
- Gewinnung “sauberer” Ersatzbrennstoffe
- Sicherstellung Sortenreinheit → Erhöhung Produktqualität

Prinzipieller Aufbau eines Sortiersystems



Beispiel: Beförderung des Materials mittels Band. Geschwindigkeit ~2m/s. Bandbreiten ~1.4m - 2m.

Leistungsstarke Linienbeleuchtung. In der Regel mehrere tausende Watt.

Messung der Objekte in Reflexion.

Oft zusätzliche Sensorsysteme wie Metalldetektoren (Sensorfusion).

Ausbringung mit Druckluft (~4 – 6bar). Oft mehr als hundert parallel geschaltete Düsen im Einsatz.

Separation des Materials in der Regel mit 2-Wegesystemen, “Durchlauf” (DL) und “Auswurf” (AW). Auch 3- oder Mehrwegesysteme werden angeboten.

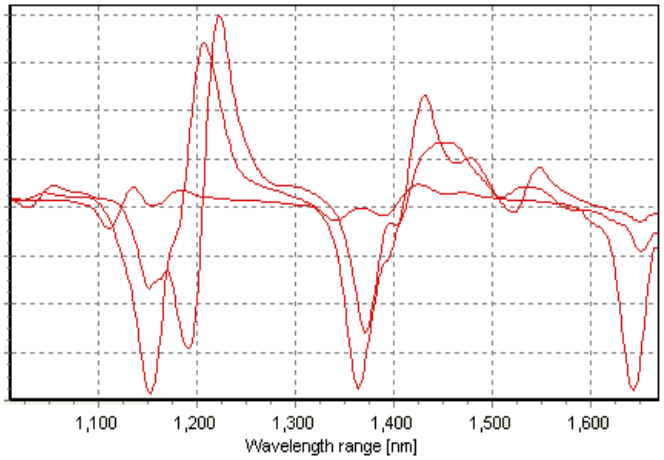
Sensor Technologien im Recycling

Wellenlängenbereich:

Aussagen über die molekulare Zusammensetzung des Sortiergutes erforderlich.

Unterschiedliche Kunststoffe → Unterschiedliche Absorptionsbanden

Wellenlägenbereich: vorwiegend NIR (InGAs, MCT)



1. Ableitung von Kunststoffspektren (PE, PS, PET)

Weitverbreitet sind 3 Technologien:

Linescan I: Auswertung der Intensität an diskreten Wellenlängenpositionen zu einem Zeitpunkt. Betrachtung benachbarter Ortspunkte durch Ablenkung mittels Spiegel.

- **Linescan II:** Auswertung eines Spektrums zu einem Zeitpunkt. Betrachtung benachbarter Ortspunkte durch Ablenkung mittels Spiegel.

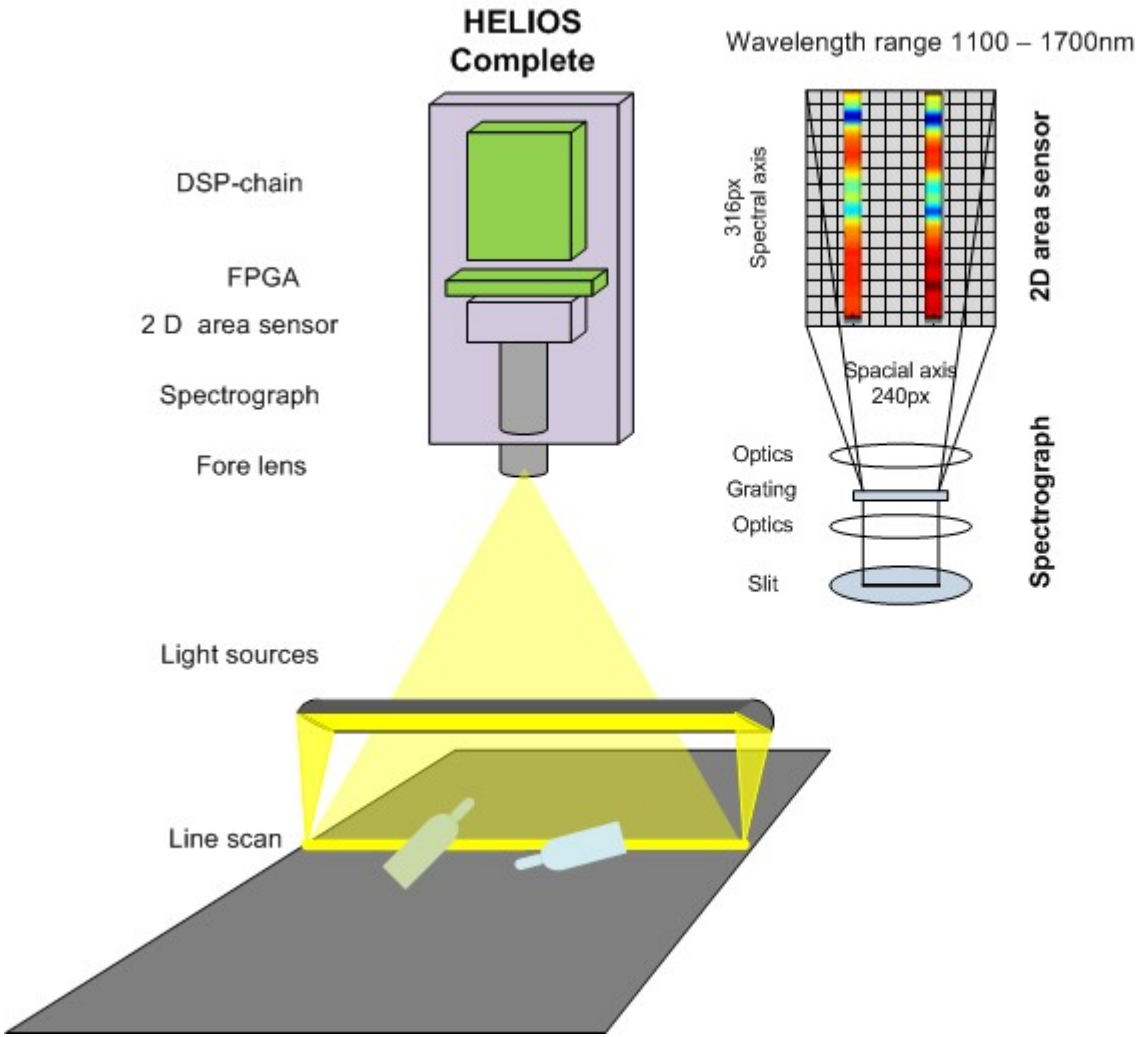
- **Chemical Imaging Systeme:** Folgen dem Prinzip des “Pushbroom Imagers”. Parallele Aufnahme von Spektren entlang einer Linie von Ortspunkte.

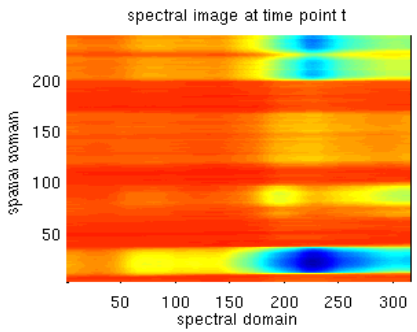
~ 6-32 Intensitätswerte / Zeitpunkt

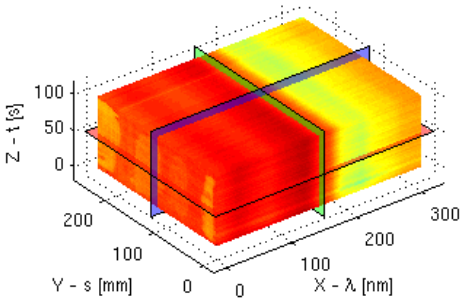
1 Spektrum / Zeitpunkt

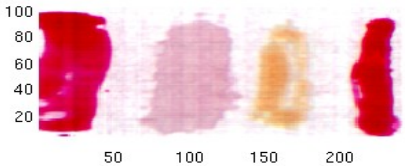
Spektralbild / Zeitpunkt

Sensor Technologien - Chemical Imaging

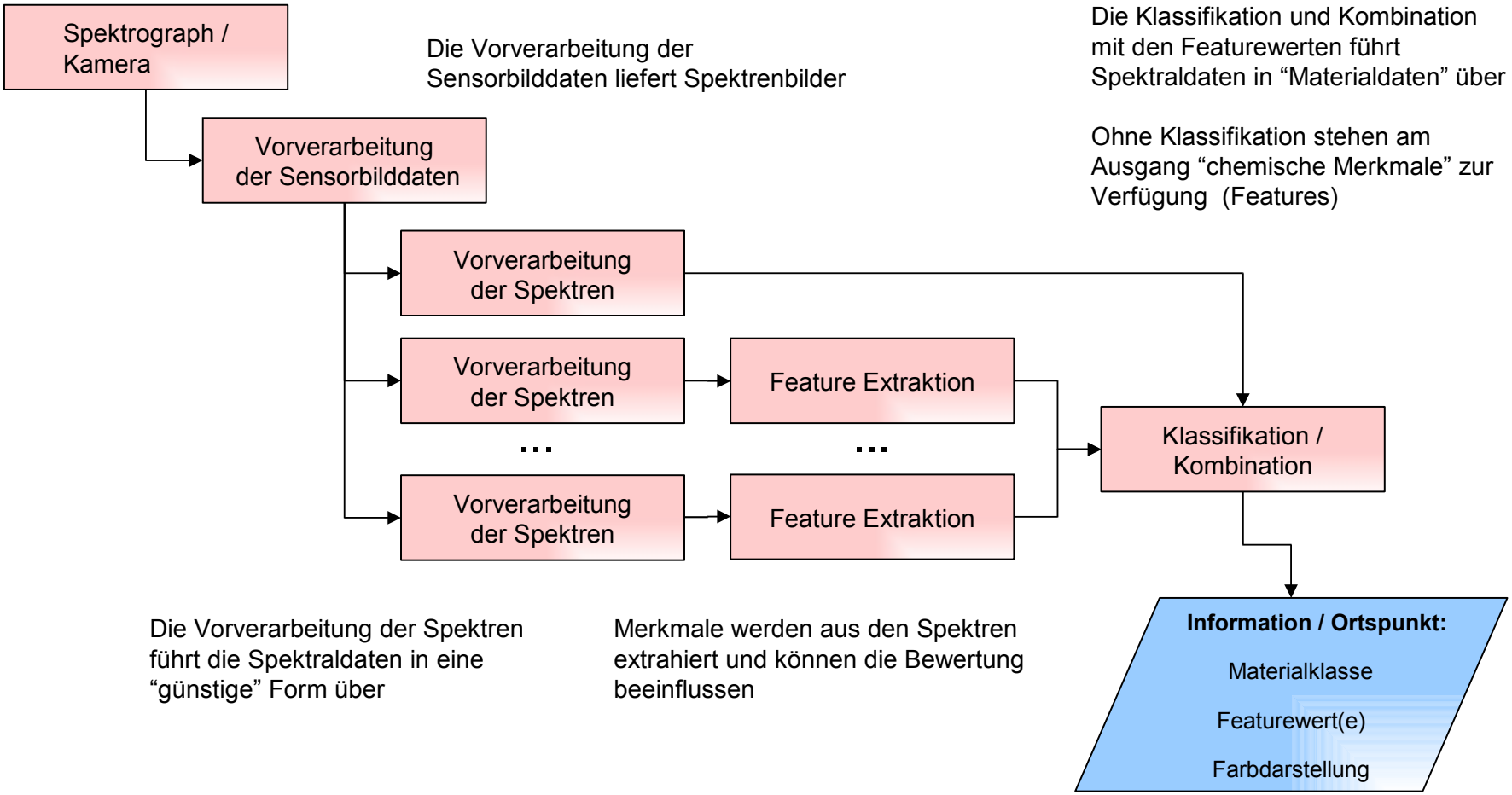








Datenverarbeitung von HSI-Daten



Vorverarbeitung der Sensorbilddaten

Beseitigung von FPN
Subtraktion des Dunkelbildes – Systematische Unregelmäßigkeiten des Sensors werden beseitigt.

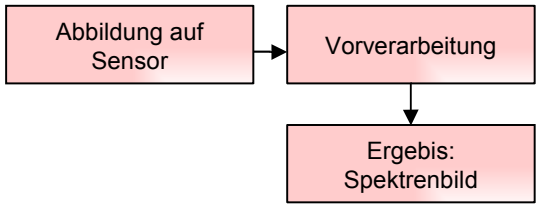
Defektpixel Elimination
Üblicherweise <2% des Sensors (InGAs) sind Defektpixel. Korrektur durch Filterung oder Interpolation bzw. Maskierung.

Sensordaten Registrierung
Korrektur von Smile- und Keystoneverzeichnung. Registrierung der Daten auf das HSI-Koordinatensystem (Ort x Wellenlänge)

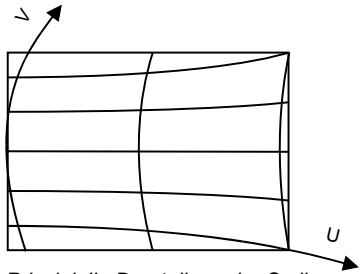
Unterdrückung des Sensorrauschens
Wenn die spektrale Abtastrate deutlich größer ist als die "optische Auflösung", kann durch spezielle digitale Filter (FIR-Filter) das hochfrequente Sensorrauschen beseitigt werden, ohne die interessierende optische Information zu stören.

Intensitätskalibration
"Hell-Abgleich" des Sensorbildes auf die gegebenen Beleuchtungsverhältnisse. In weiterer Folge wird relativ zum "Hell-Bild" gemessen.

Multiple ROI/Binning
Je nach Anwendung macht das Zusammenfassen von Orts- und Spektralbereichen Sinn → Erhöhung SNR.



Ausschnitt eines InGAs Sensorbildes. 2 Defektpixelbereiche. Vertikal verlaufendes FPN (FPN zur besseren Darstellung stark verstärkt).



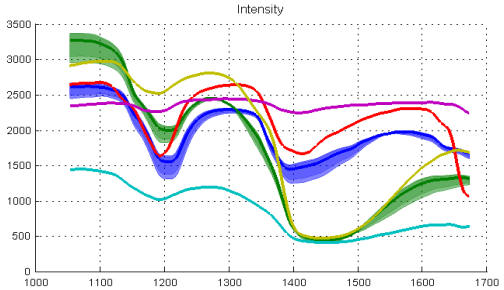
Prinzipielle Darstellung der Smile- und Keystone Verzeichnung.

Nach Korrektur und Registrierung.

Im Kunststoffrecycling finden all diese Vorverarbeitungsschritte Anwendung.
Inline-Verarbeitung notwendig!

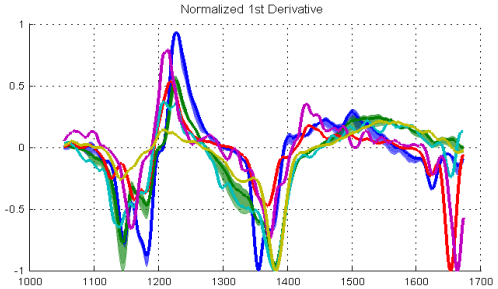
Vorverarbeitung von Spektrenbilddaten

Typische Vorverarbeitungsmethoden bei der Inline-Sortierung von Kunststoffen:



Reflektionsspektren von Kunstoffen der Kategorie “PE” und “chloridhaltig”.

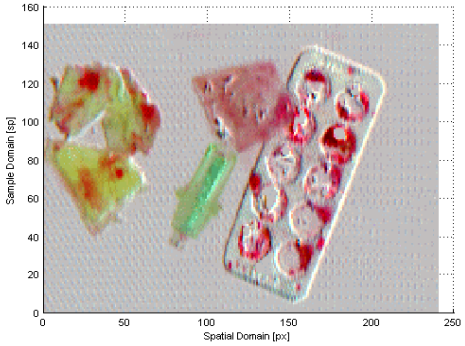
Ableitung
Durch die erste Ableitung der Reflexionsspektren werden die Spektralpositionen der Absorptionsbanden “greifbar”.



Spektren der erste Ableitung (normiert) von Kunstoffen der Kategorie “PE” und “chloridhaltig”.

Normierung
Durch Normieren werden die abgeleiteten Spektren in einen gemeinsamen Wertebereich gebracht.

Korrekturschritt
Durch Methoden der MCR werden ungewollte spektrale Einflüsse reduziert. Beispiel: Beseitigung des spektralen Wassereinflusses feuchter Kunststoffe.



Farbliche Darstellung des spektralen Einflusses von Wasser (rot). Materialien: 3 Proben PE (links), 3 chloridhaltige Proben (rechts).

Feature Extraktion

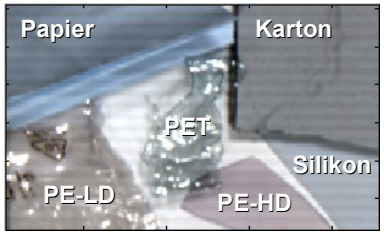
Features welche zur Unterscheidung von Vordergrund und Hintergrund eingesetzt werden:

Basislinien Offset (mittlere Intensität)
Die mittlere Intensität eines Reflektionsspektrums liefert oft ein gutes Kriterium zur Unterscheidung. Auch NIR-inaktive Materialien können dadurch vom Hintergrund unterschieden werden (Glas, Metall, etc).

Basislinien Steigung
Die Basislinien Steigung kann zur Trennung von vielen Materialien vom Hintergrund verwendet werden. Voraussetzung: Die Materialien weisen unterschiedliche Steigung zum Hintergrundmaterial auf (oft im Zusammenhang mit Förderbandtransport).

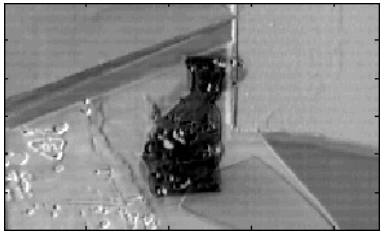
Beschreibung von Materialien durch eine Kombination von Featurewerten:

Überführung von Spektralinformationen in Farbinformation
Durch chemometrische Berechnung von 3 Featurewerten pro Ortspunkt und Abbildung dieser in den Farbraum, kann ein Farbbild erhalten werden, welches chemische Eigenschaften der Materialien durch Farbe ausdrückt. Ähnliche Farben weisen auf spektral ähnliche Materialien hin.

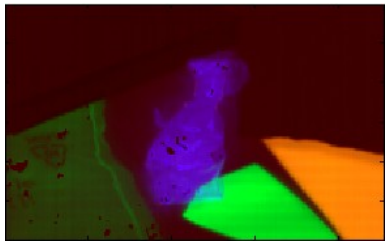


Einige Materialien typisch für die Sortierung von Baustellenmüll (PE-LD, PE-HD, PET, Silikon, Papier, Karton).

Basislinien Offset dargestellt als Grauwertbild.



Basislinien Steigung dargestellt als Grauwertbild.



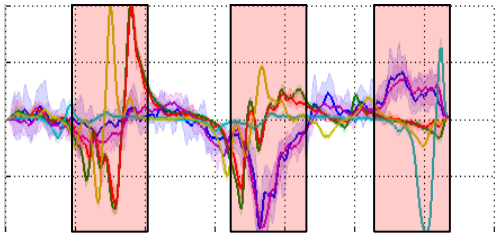
Farbliche Unterscheidung von Materialien durch Kombination von multivariat erhobener Features (Methode: PCR, rot=PC1, grün=PC2, blau=PC3)

Klassifikation / Kombination

Einige Klassifikationsmethoden zur Inline-Sortierung von Kunststoffen:

Beurteilung der quadratische Abweichung zu Referenzspektren

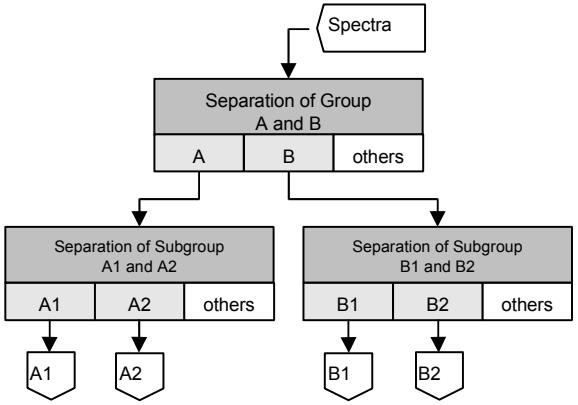
Die quadratischen Abweichung des aktuellen Spektrums zu einem Satz von Referenzspektren, ist ein robustes Kriterium für eine Klassifikation. Das Referenzspektrum mit der größten Nähe bestimmt das Klassifikationsergebnis.



Darstellung von Referenzspektren sowie spektrale Beurteilungsbereiche zur Erhebung der quadratischen Abweichung.

Verschachtelung von Beurteilungen

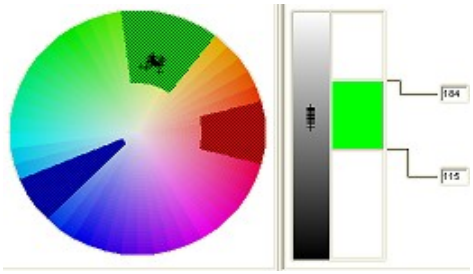
Eine Beurteilung wird in der Regel durch Anwendung eines PLS-Modells und anschließender Überprüfung des Ergebnisbereiches durchgeführt. Durch Verschachtelung mehrer solcher “Stufen” kann hinsichtlich der Beurteilung vom “Groben” ins “Feine” gegangen werden.



Prinzipieller Aufbau einer verschachtelten Beurteilung.

Klassifikation von multivariat erhobenen Farbinformationen

Die Beurteilung wird durch Vorgabe von Wertebereichen durchgeführt. Eine vorherige HSV-Transformation führt oft zu einer geeigneteren Darstellung.



Klassifikationsbereiche und Farbpunktewolke in der HSV-Darstellung.

Kombination des Klassifikationsergebnisses mit Featurewerten (Sensorfusion)

Durch Kombination der Materialklassifikation mit z.B. der Vordergrund/Hintergrund-Information, kann die Qualität der Materialdaten erhöht werden → bessere Abgrenzung.

Kundenbedürfnisse

Langzeitstabilität, Robustheit selbst bei rauhen industriellen Bedingungen

- Vibrationen, Erschütterungen
- Thermische Schwankungen
- Unregelmäßige Luftfeuchte

Niedriger Produktpreis

- ...speziell im Kunststoffrecycling

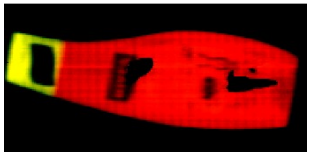
Einfache Anbindung an bestehende Peripherie

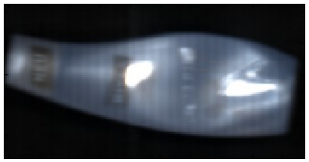
- …wenn z.B. die Materialdatenverarbeitung und Ansteuerung der Effektorik bereits besteht

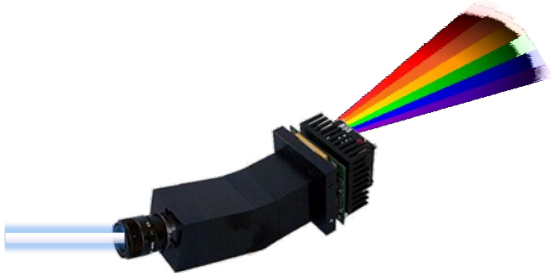
Einfache und verständliche Konfigurations- und Anzeigemöglichkeiten

- Kunde will selbst Applikations-Know-How aufbauen.
- Geringere / keine Abhängigkeit zum Sensorsystemhersteller gewünscht
- Verstärkt Live-Visualisierungen von Material und Klassifikationsdaten

Smartkamera System zur Erhebung chemischer Eigenschaften und Darstellung als Farbinformation



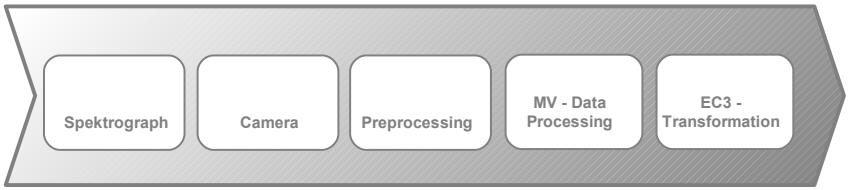




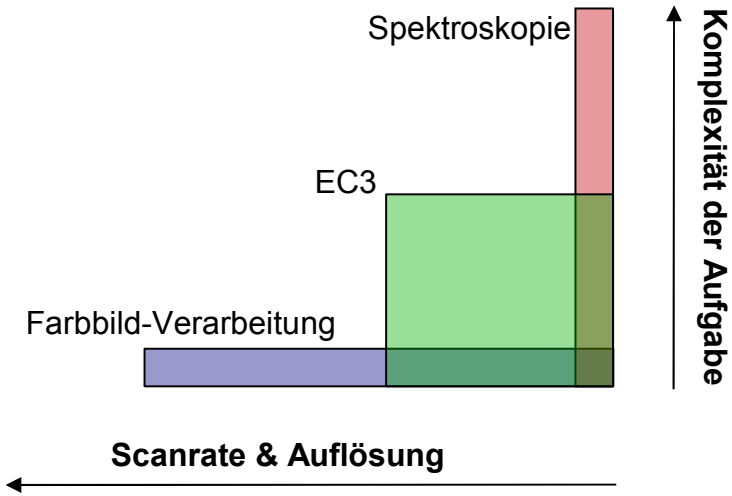
EC3: **E**VK – **C**hemical **C**olour **C**amera

- Für den Anwender wie eine Farbzeilenkamera betreibbar
- Erhebung von chemischen Eingenschaften durch intergrierte multivariate Datenverarbeitung.
- Erstellung von Konfigurationssätzen (Modelle) durch ein einfaches PC-Programm.
- Für verschiedene Anwendungen verschiedene Wellenlängenbereiche.

Bindeglied zwischen Spektroskopie und Farbbild-Verarbeitung



Einsatzbereich und Nutzen



Spektroskopie

+ Hochgenaue Lösungen für komplexe Problemstellungen möglich

- Expertenkenntnis erforderlich, niedrige Scanraten und örtliche Auflösung

Farbbild-Verarbeitung

+ Gut eingeführte Standards und viele Algorithmen zur Verfügung

- Reduzierte Information (R, G, B) → reduzierte Einsetzbarkeit

EC3

Versucht Vorteile der Spektroskopie mit den Vorteilen moderner Farbbild-Verarbeitung zu kombinieren. Fast kein Expertenwissen erforderlich!

Methoden zur Erstellung eines Farbmodells

Sind spektrale Unterschiede enthalten?

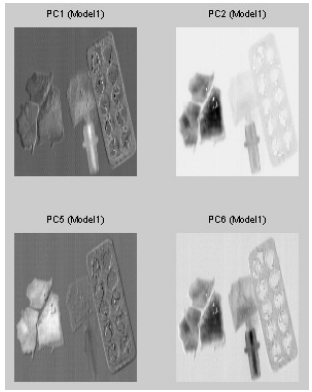
Analyse der örtlich 2 dimensionalen Datenmenge.
Methoden: PCA (SVD sowie Nipals)

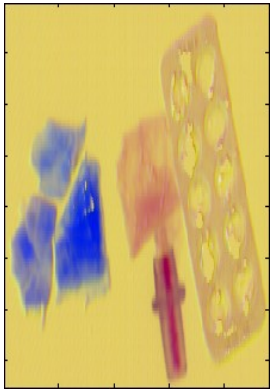
Sollen Farben erzwungen werden?

Vorherige Analyse sinnvoll!
Wenn notwendig und sinnvoll können verschiedenen Materialien verschiedene Farben zugeordnet werden.
Methode: PLS-1 und PLS-2

Anteilsmäßige Darstellung von Inhaltsstoffen?

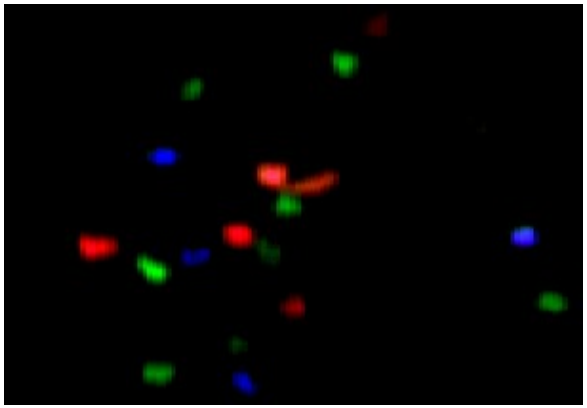
Generierung von Modellen zur Messung von bis zu 3 Anteilen und Zuordnung zu den Farbkanälen (R, G, B).
Anteilsrelationen zeichnen sich durch eine individuelle Farbe aus.
Methode: PLS-1, Anwendung der pseudo-inversen Reinkomponentenmatrix





Analyse PE (3 Proben links) und chloridhaltiges Material (3 Proben rechts).
Darstellung der Score-Images von PC1, PC2, PC5 und PC6.
Methode: PCA (Nipals).

Farbbilddarstellung: rot=PC2, grün=PC6, blau=PC5



Kunststoff-Granulat aus dem Elektronikschrott.

Zugewiesene Farben:
Rot = PE
Blau = PC
Grün = PS
Nicht zugewiesen:
Dunkel Grün = ABS

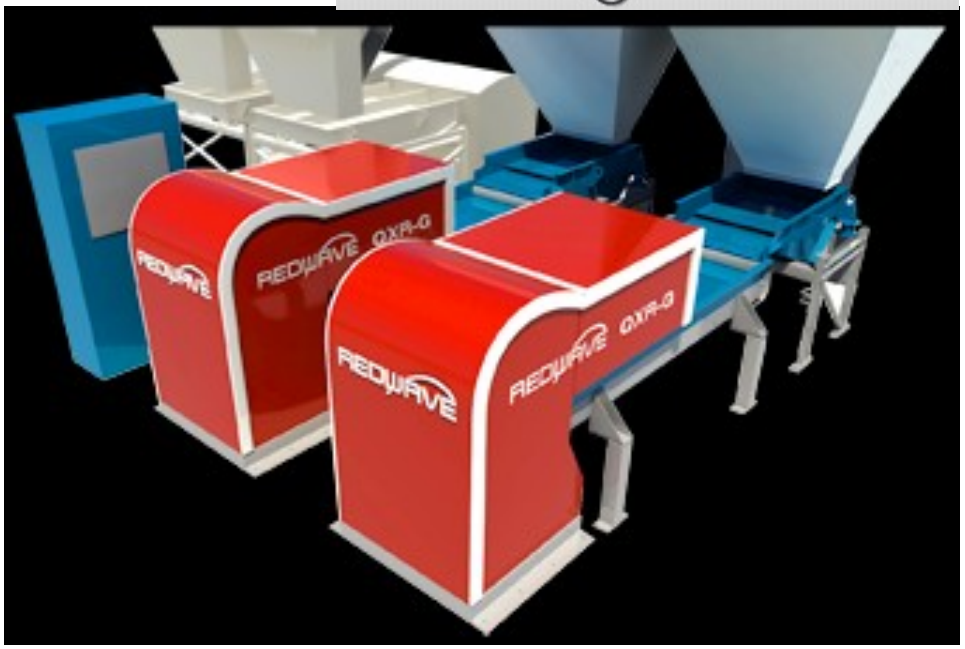
Methode: 3 x PLS-1

Kunststoff Recycling

EOS – Colour Imaging

HELIOS – Chemical Imaging

ARGOS – Conductivity Imaging



Kunststoff Recycling

IMRO MASCHINENBAU GMBH

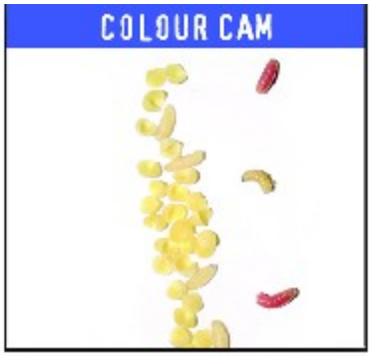
HELIOS – Chemical Imaging

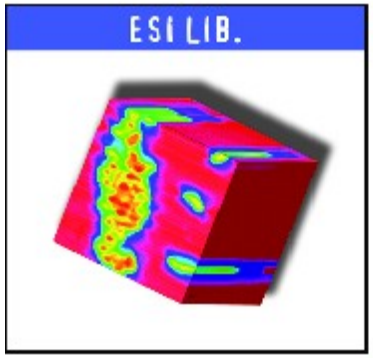
Papier Recycling

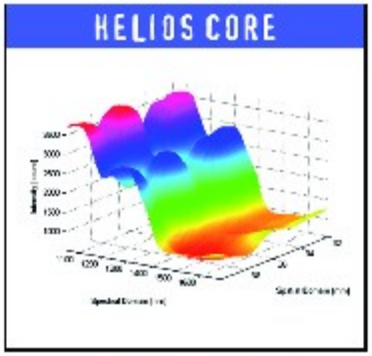
EOS – Colour Imaging

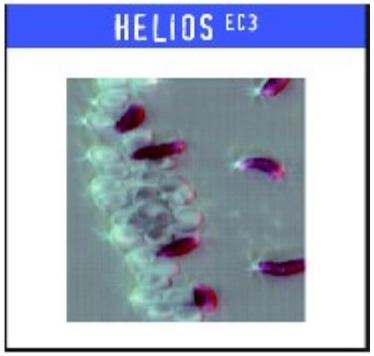
HELIOS – Chemical Imaging

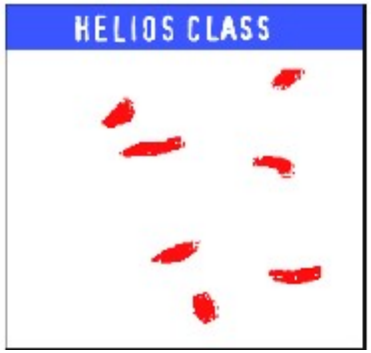
Chemical-Imaging Systeme

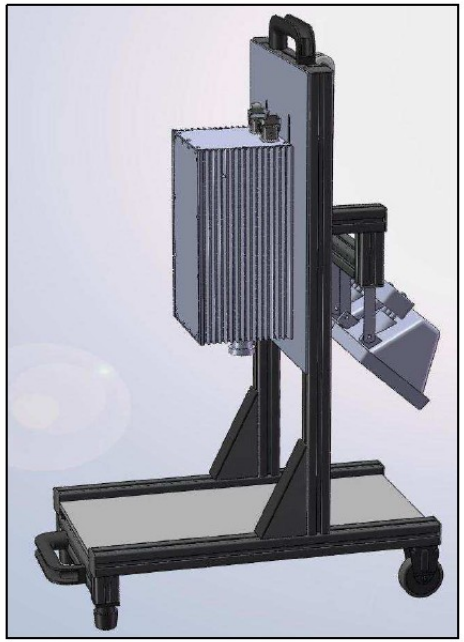












EVK
DI Kerschhaggl GmbH
Elektronisch Visualisieren Klassifizieren

Josef-Krainer-Str. 35
A-8074 Raaba
Tel.: +43 316 461664 0
www.evk.biz
www.chemical-imaging.com

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!