



## Applikationsentwicklung für die Wertstoffsortierung mit Hyperspektralkameras

Wildau 8. März 2022

David Mory

# Kurzvorstellung LLA Instruments

- 1993 Ausgründung aus der Akademie der Wissenschaften
- Firmensitz WISTA Wissenschafts- & Technologiepark, Berlin-Adlershof
- 30 Mitarbeiter
- Entwicklung & Fertigung von Sensor-Lösungen basierend auf NIR-Spektroskopie
- Weltweite Installationen
  - ~ 800 Installationen KUSTAx.xMPL (seit 1999)
  - ~ 500 Installationen KUSTAx.xMSI (seit 2011)
- In-house Entwicklung
  - Optik, Elektronik, Konstruktion, Applikation und Software
- 2019 Metallsortierung mittels XRF



# Produktportfolio

## SWIR Hyperspectral Imaging Systems

KUSTA1.7MSI  
KUSTA1.9MSI  
KUSTA2.2MSI



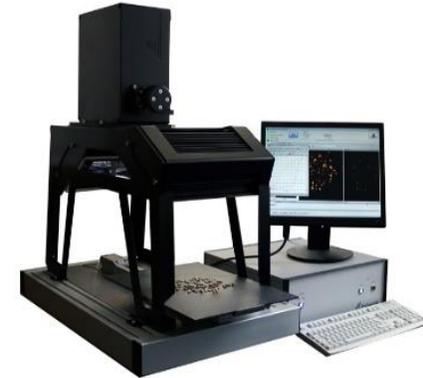
## VIS-NIR Hyperspectral Imaging Cameras

uniSPEC0.9HSI



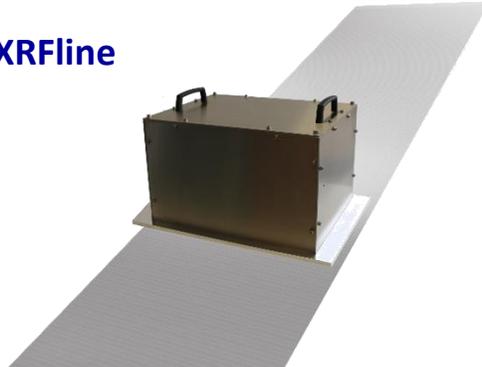
## Hyperspectral Imaging Scanner

ProScan-HSI



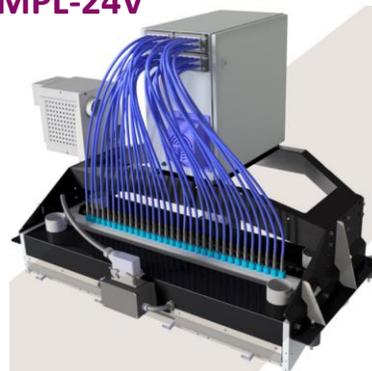
## XRF Metal Sorting System

XRFline



## NIR Multiplexed Spectrometer

KUSTA1.9MPL-24V



## RGB Line Scan Camera

uniScanRGB

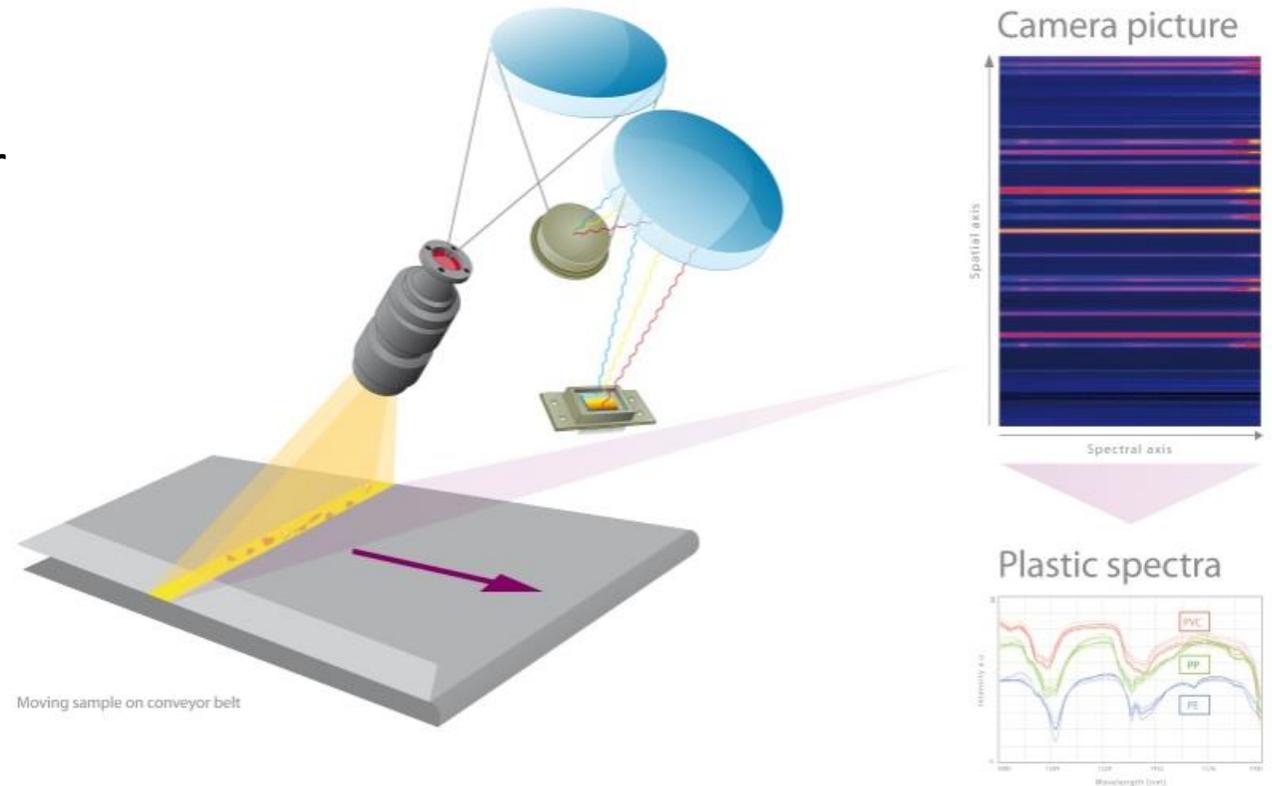


# Hyperspektralkameras

- Messbereich wird beleuchtet
- Objektiv bildet den Messbereich auf den Eintrittspalt ab
- Spalt wird ortserhaltend auf den Detektor abgebildet
- Sequentielles Abscannen des Messfeldes erzeugt den 3-Dim Datenkubus  $(x,y,\lambda)$

## Pushbroom – Imaging

Abbildendes Spektrometer mit Detector Array (320 x 256)

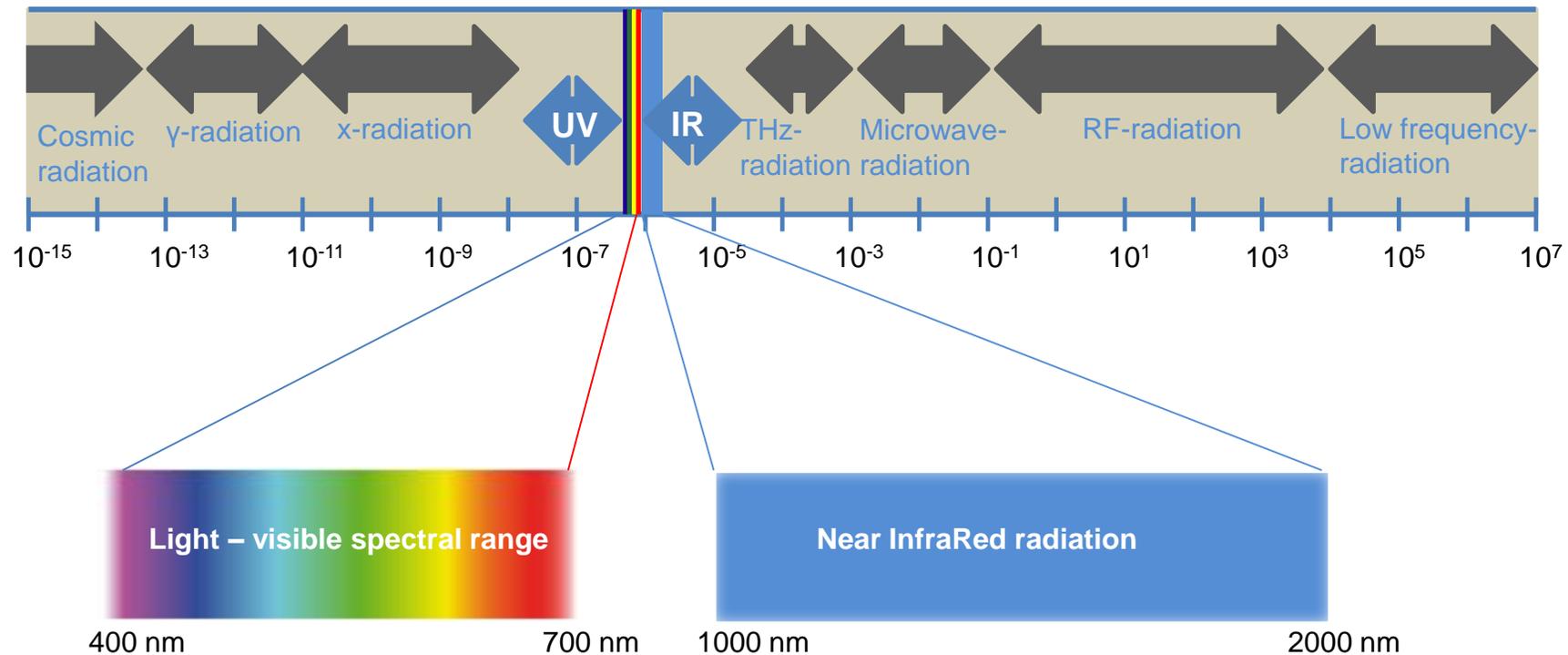


# Vorteile von Hyperspektralkameras

- Ergebnisse in Echtzeit (Online-Verfahren mit bis zu 800 Hz Messwiederholrate)
- kosteneffizient durch hohen Durchsatz
- keine oder sehr einfache Materialvorbereitung
- berührungslose, zerstörungsfreie Messungen
- der gesamte Materialstrom kann überwacht werden
- geringer Wartungsaufwand, geeignet für 24/7-Anwendungen

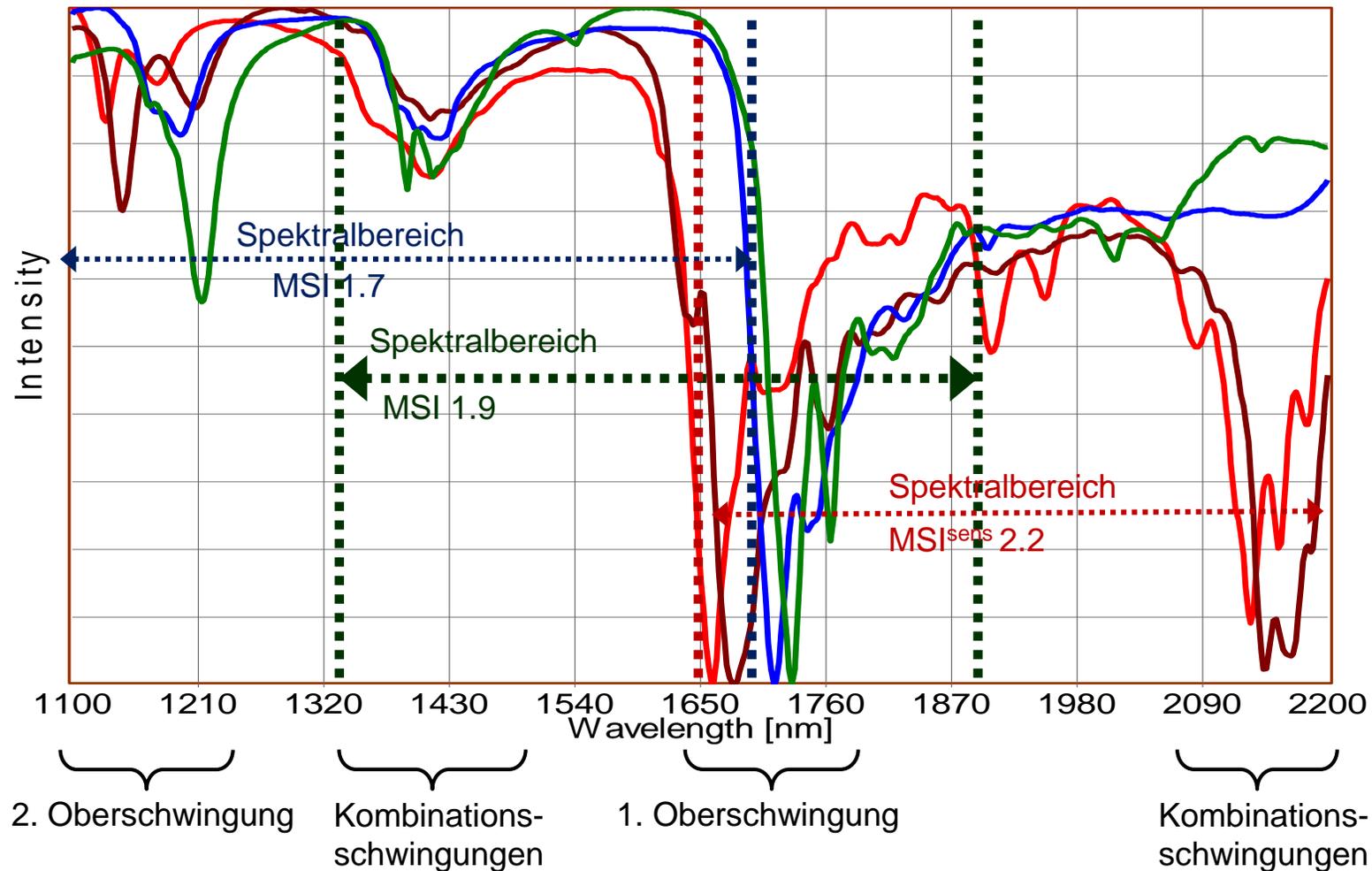


# Spektralbereiche



NIR-Spektroskopie: Untersuchung der chemischen Zusammensetzung zur Identifizierung von Materialien

# Spektralbereiche



PET  
PVC  
PE  
PS

# Anwendungsbeispiele



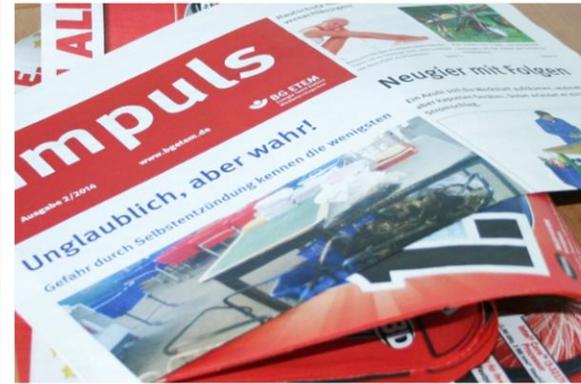
Analyse von Kunststoffen, Flakes, WEEE, PCB für die Sortierung

Qualitätskontrolle Beschichtungen



Analyse von Lebens- / Futtermittel Qualitätskontrolle & Sortierung

Mineralienanalyse



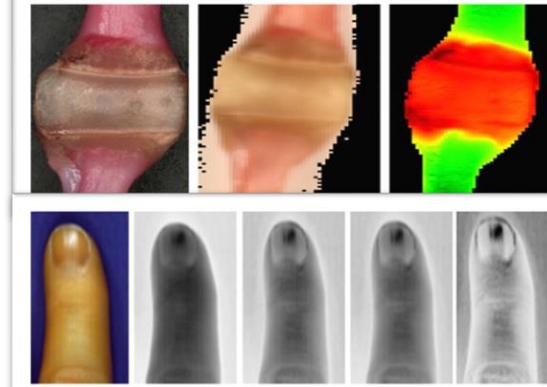
Analyse für Papiersortierung und Prozessoptimierung

Gewebe- & Hautanalysen

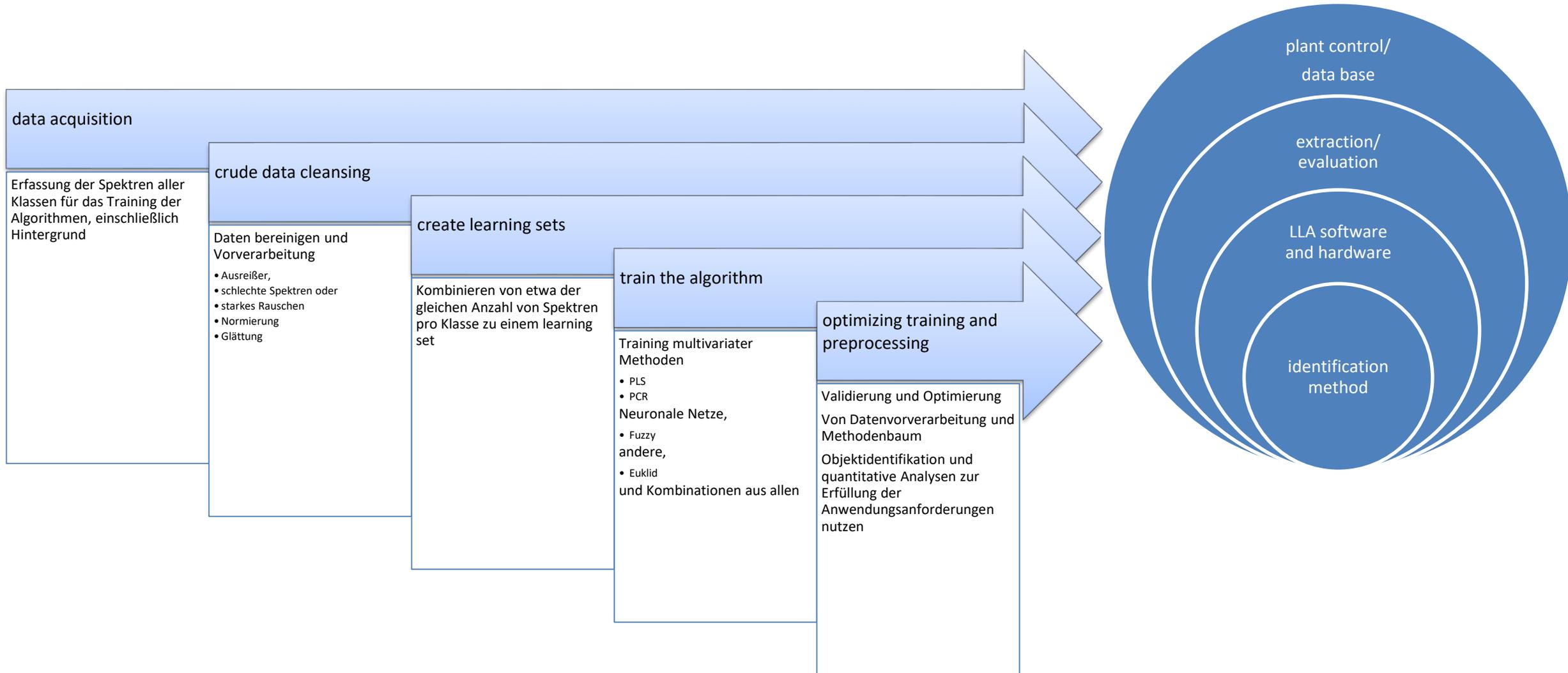


Analyse von Textilien für die Sortierung und Qualitätskontrolle

EBS Analyse, Chlorwertbestimmung

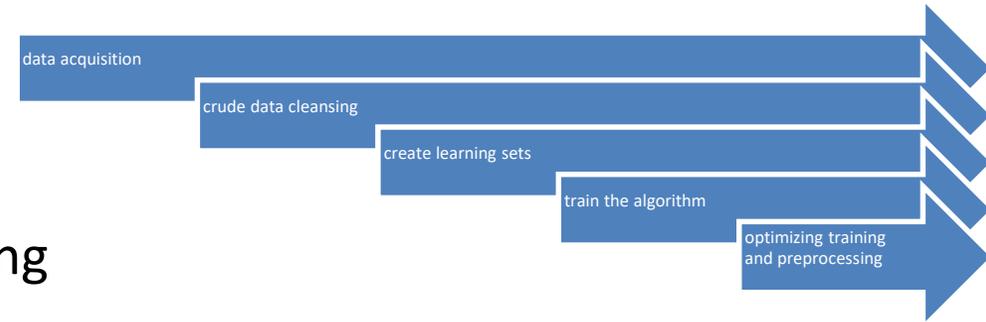


# Schritte der Applikationsentwicklung



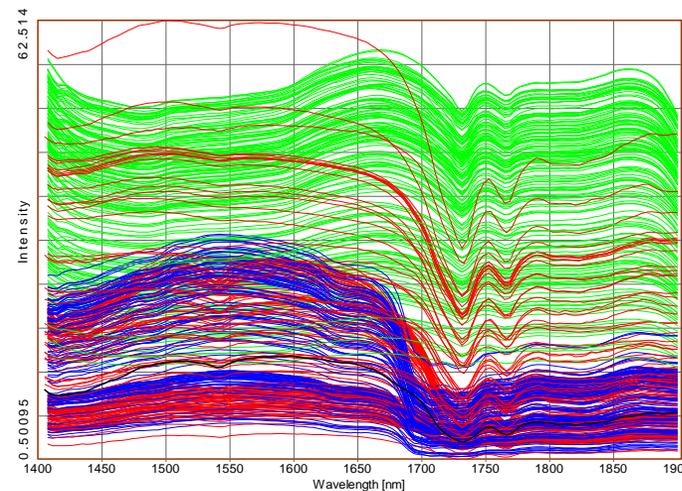
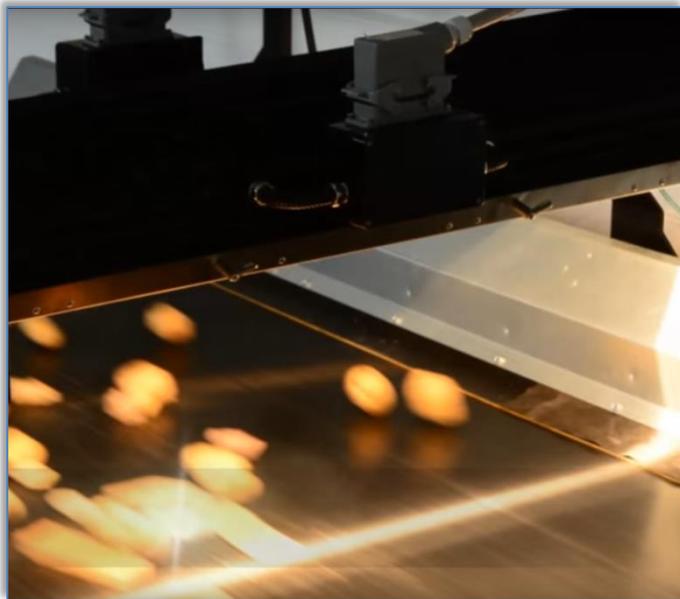
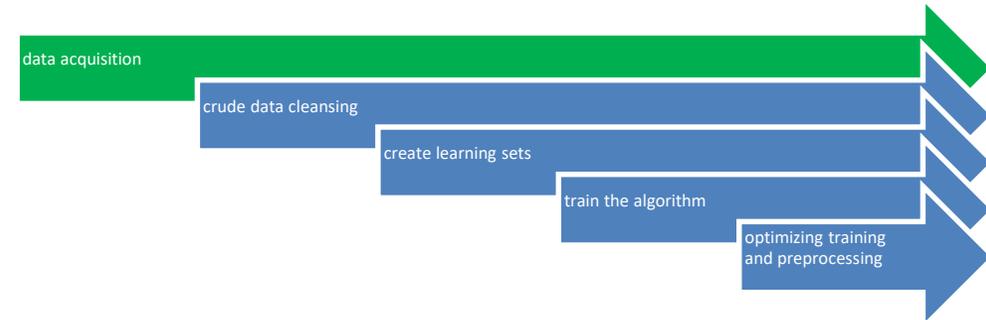
# Software für die Applikationsentwicklung

- Unser Software-Paket bietet viele nützliche Tools für den Entwicklungsprozess
  - *KustaMSI* Steuerungssoftware für die Datenerfassung
  - *KustaSpec* und *KustaBelt* für
    - die Darstellung von Spektren und einer kontinuierlichen Bandansicht
    - die Erstellung von Lern- und Testdatensätzen
    - das Training von Identifikationsmodellen
    - die Optimierung von Identifikationsmodellen
- Die erstellten Modelle werden in der *KustaMSI* für prozessbegleitende Klassifizierung je nach Anwendung verwendet

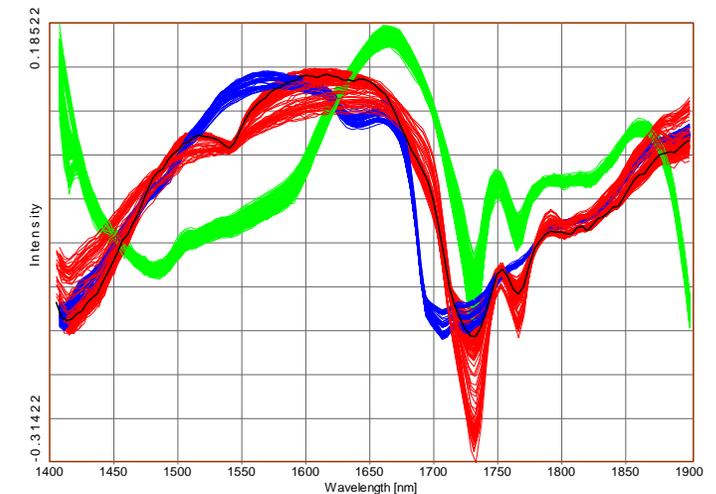


# Probenauswahl - Datenaufnahme

- Erfassung der Spektren aller Klassen für das Training der Algorithmen, inkl. Hintergrund
- einfache Vorverarbeitung zur Verbesserung der Lesbarkeit und des Verständnisses der Daten mit KustaSpec

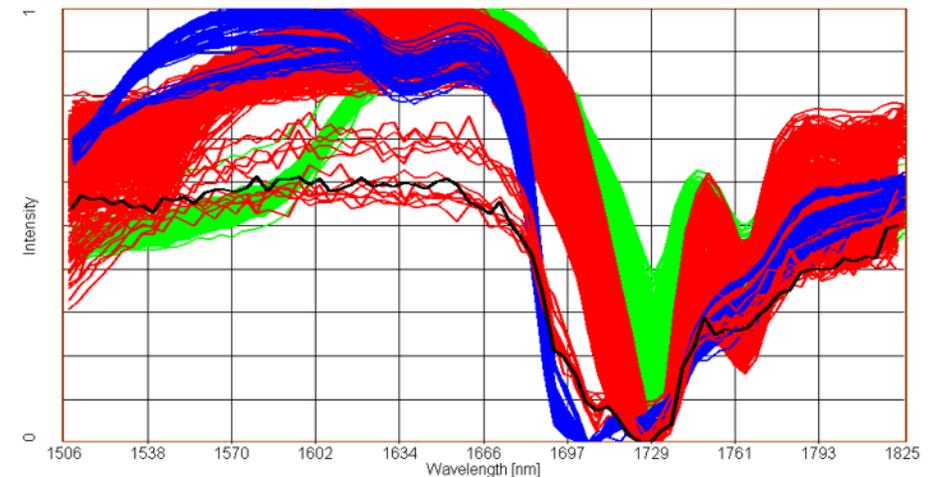
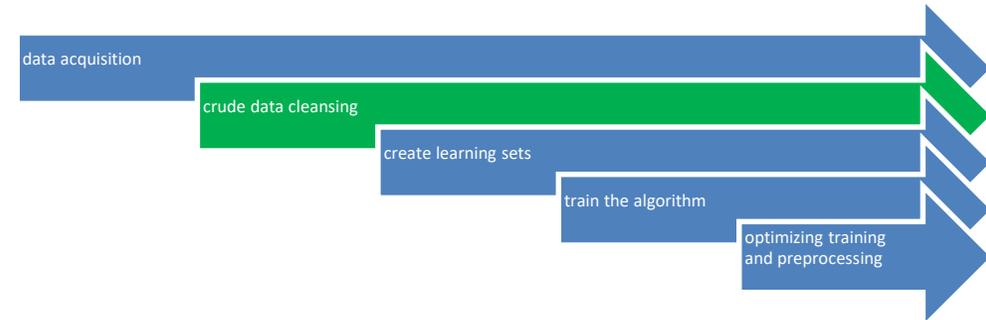


“11”  
→



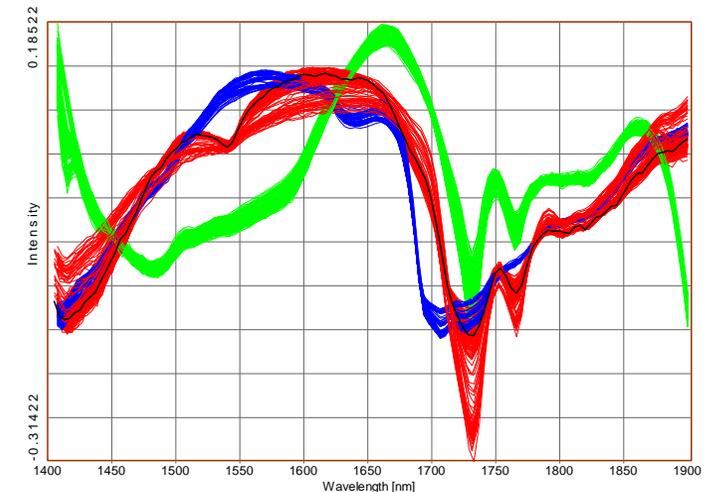
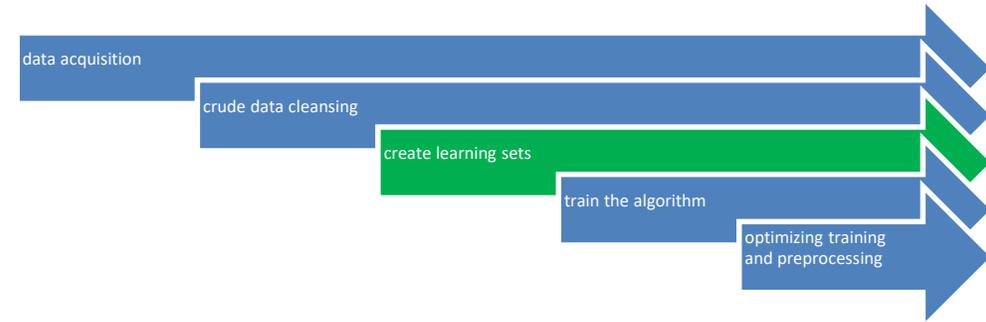
# Datenvorverarbeitung

- Bereinigung der Daten des Learning Sets
  - Ausreißer,
  - schlechte Spektren, oder
  - starkes Rauschen
  - Markieren und Entfernen von schlechten Spektren aus dem Datensatz
- einfache Vorverarbeitung wie "l1" hilft, Ausreißer zu finden
- Normierung, Glättung, Tilt



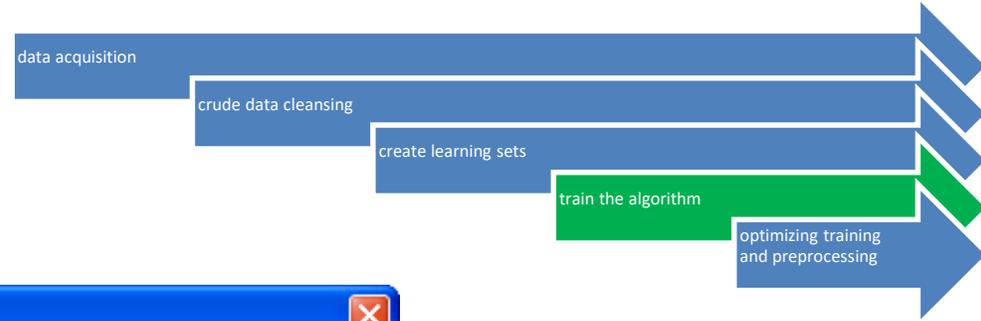
# Erzeugen von Learning Sets

- Auswahl einer ungefähr gleichen Menge an Spektren je Klasse für das learning set
  - Werkzeug in KustaSpec hilft bei der Zufallsauswahl
  - als learning set speichern
- Erstellen eines Testdatensatz für Validierung
- learning set wird benutzt um Klassifizierungsalgorithmen zu trainieren (PCR, PLS, Neural Network, ...)



# Training von Algorithmen

- e. g. training a PLS



The screenshot shows the SIMCA software interface for a PLS2 analysis. The window title is "Analysis PLS2: PE\_PP\_TETRA.pls2".

**Left Panel (Tree View):** Shows the project structure for "PE\_PP\_TETRA.pls2". It includes a folder for "2012-11-16 11:09:00" containing "Version 12.10.3", "PE\_PP\_TETRA.lrp", "Device M555-10", "(96 160)ld1", "96-160", "96-160 (1506.7 1791)", "norm", "4 EV", and "4498 Spectra". Below this are three qualitative variables: "PE (1)", "PP (2)", and "TETRA (3)", and one quantitative variable: "unknown (-3)".

**Table:**

Code	Type
1	PE
2	PP
3	TETRA
-3	unknown

**Qualitative Filtering:**

- Distance: 4
- Norm Stdev
- Residual: -1
- Leverage: -1
- Buttons: Default

**Learn:**

- Path: E:\Dokumente\Vortrag\_...PE\_PP\_TETRA.lrp
- Buttons: Define Learnset, Define Testset, X

**Range:**

Start	End	Variable
1506	1790	R1
		R2
		R3

**Preprocessing:**

- Path: (1507 1791)ld1
- Meancenter R
- Normate R
- Meancenter C
- Normate C

**Other Settings:**

- Onto Related Spectrometer
- Related: M555-10
- Quant Mask: 5
- Buttons: Start, >> Extended

**Bottom Panel:** Buttons for OK, Load, Save, Refresh.

# Optimierung Training und Preprocessing

- PLS-Scores sind ein nützliches Instrument  
Visualisierung
- hier ist es auch möglich, Ausreißer  
zu entfernen und dann neu  
zu trainieren

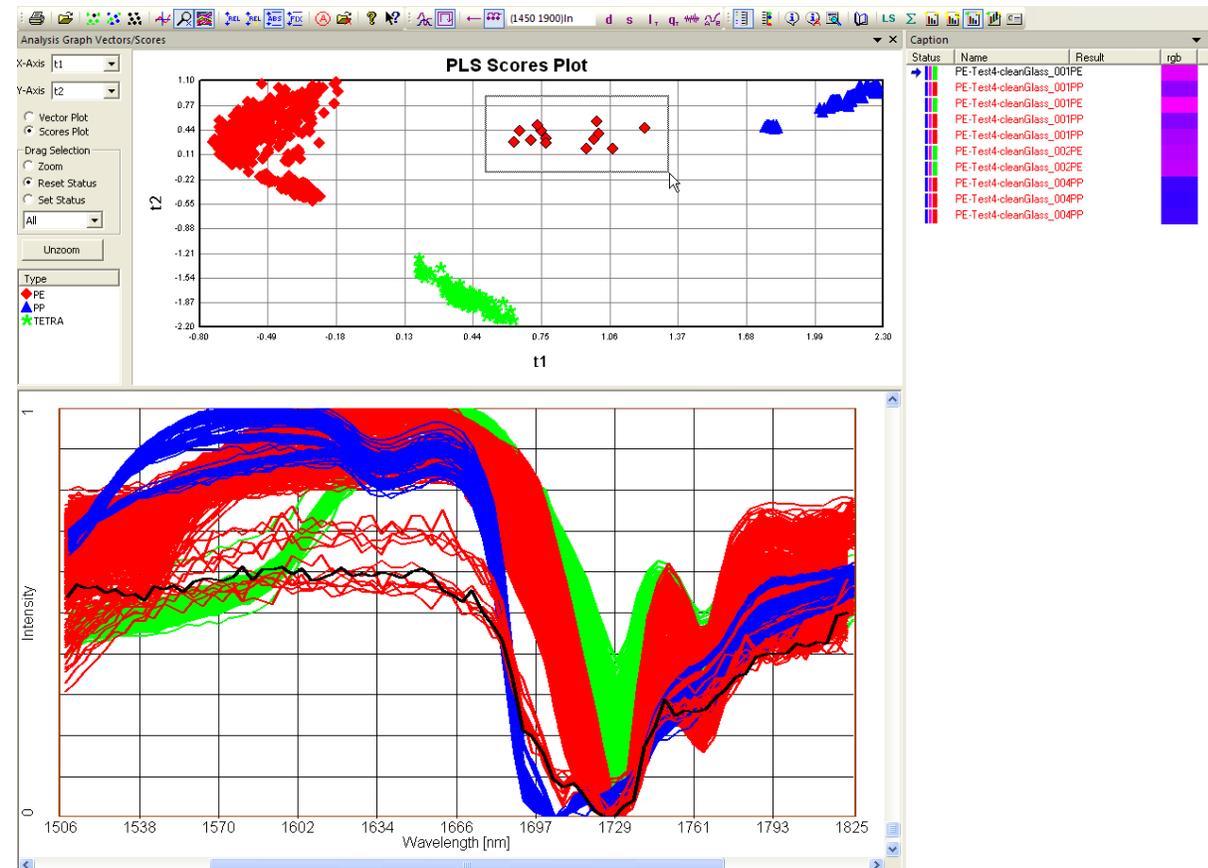
data acquisition

crude data cleansing

create learning sets

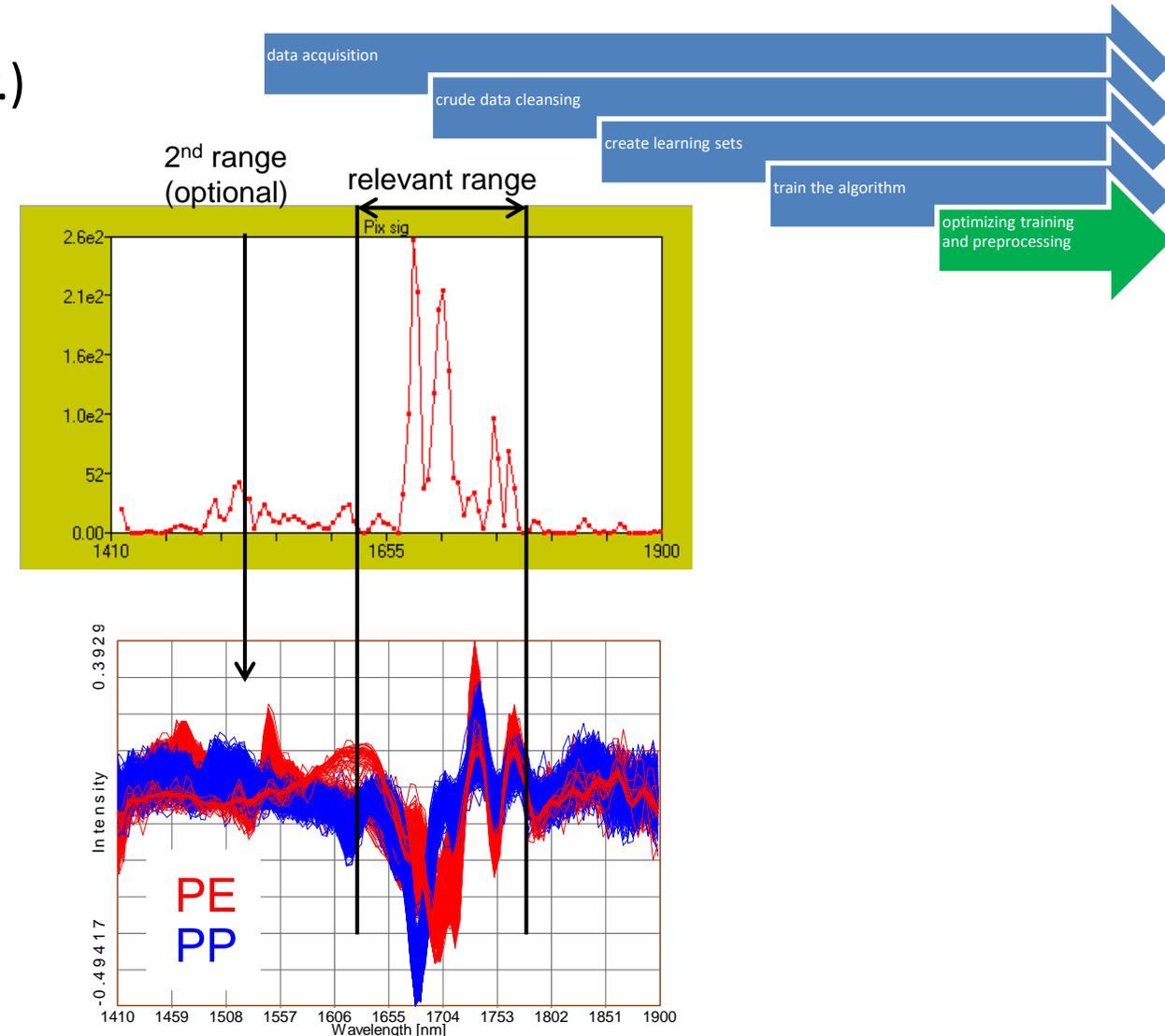
train the algorithm

optimizing training  
and preprocessing



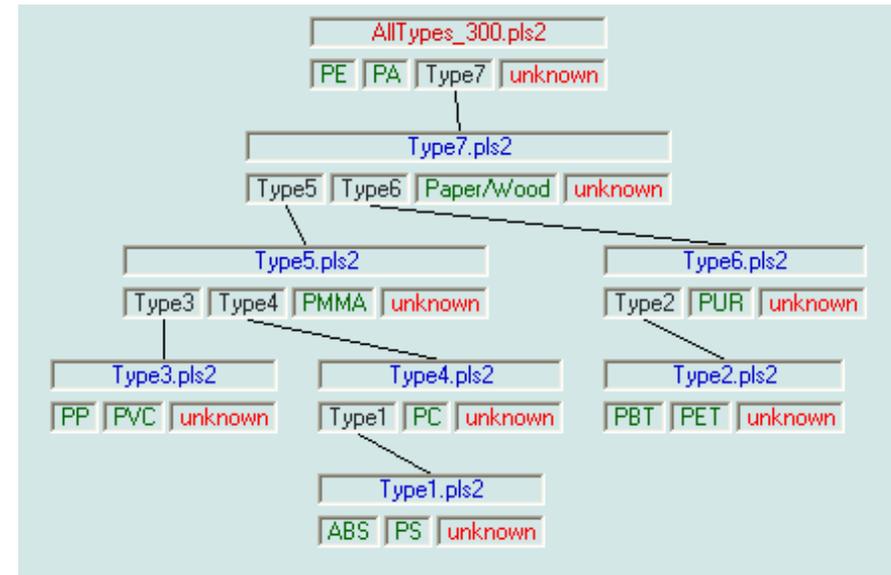
# Optimizing Training and Preprocessing

- Pixel Significance der PLS ('(n1 n2)ld1' prepr.)
- Eingrenzung des Bereichs
  - 1506~1791 nm to 1615~1780 nm
  - Ausgrenzen von Teilen des Spektrums, die nicht zur Identifizierung beitragen
- zusätzliche Bereiche möglich, die nicht auf den ersten Blick ersichtlich sind



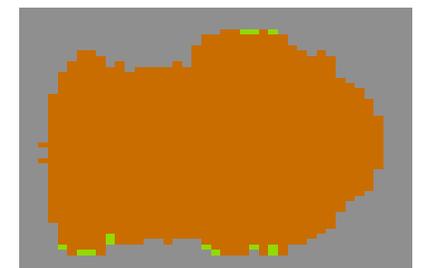
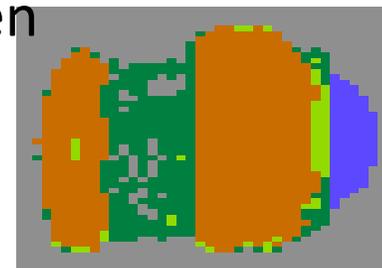
# Beispiele für komplexe Identification Models

- alle Identifizierungen können sequentiell kombiniert werden
- Hintergrundidentifikation ist der Ausgangspunkt
- Verschiedene Materialklassifizierungen
- Nachgeordnet kann eine Objektidentifikation erfolgen  
Objektidentifikation z. B. auf Basis von  
Durchschnittsspektren oder statistischen  
Mehrheiten/Anteilen



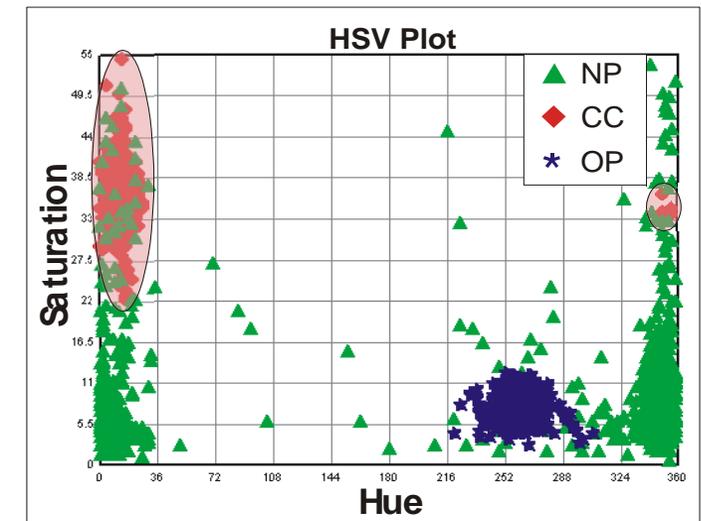
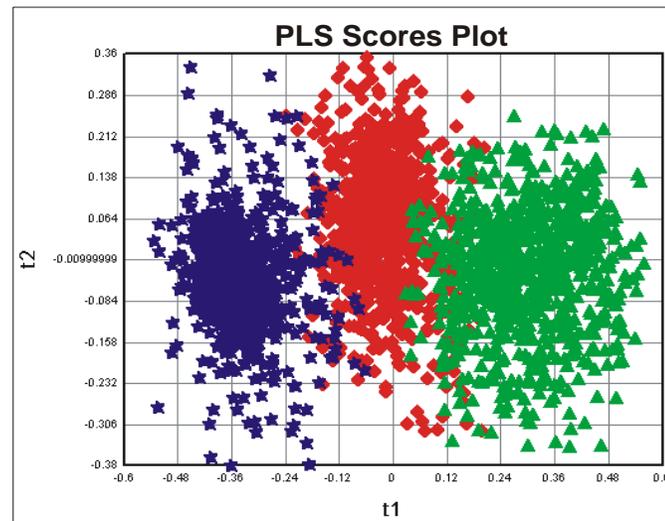
Base analysis

Object



# Beispiele für Anwendungen

- Klassifizierung von newspaper (NP), corrugated cardboard (CC) und office paper (OP)
- Kombination von HSI und RGB reduziert Fehlklassifizierungen



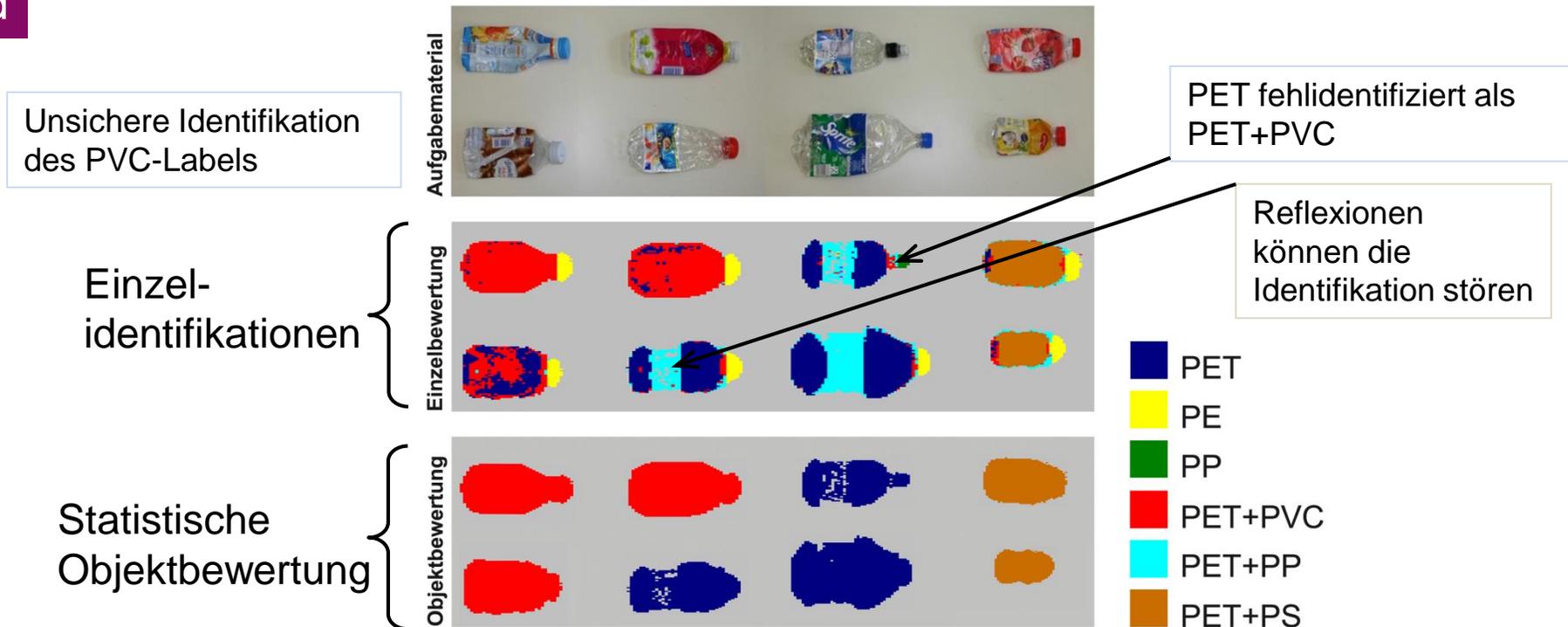
	NIR [%]	RGB [%]	Comb. NIR+RGB [%]
<b>CC classified correctly</b>	93.6	95.5	100
<b>CC misclassified as OP</b>	1.9	0	0
<b>NP misclassified as CC</b>	5.7	3.9	0

# Beispiele für Anwendungen



# Beispiele für Anwendungen

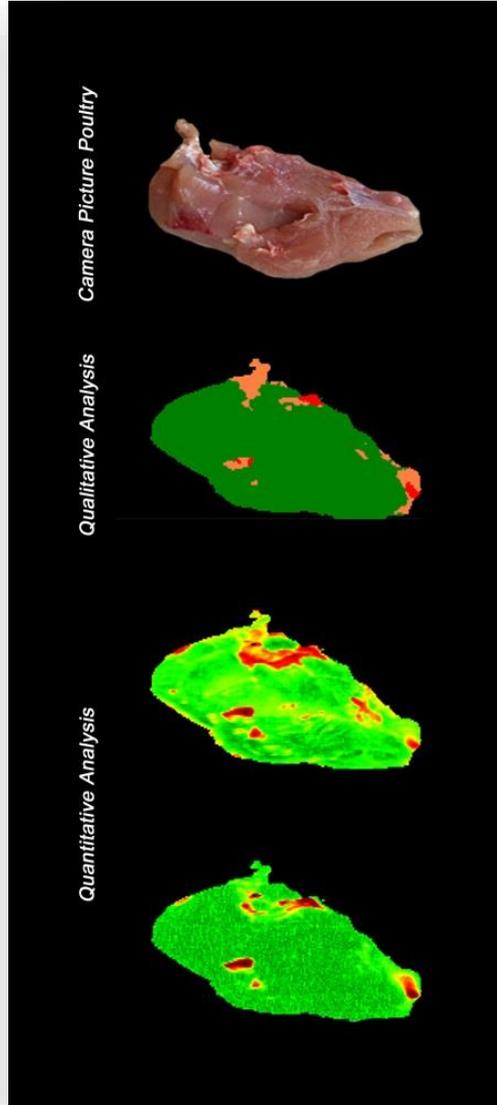
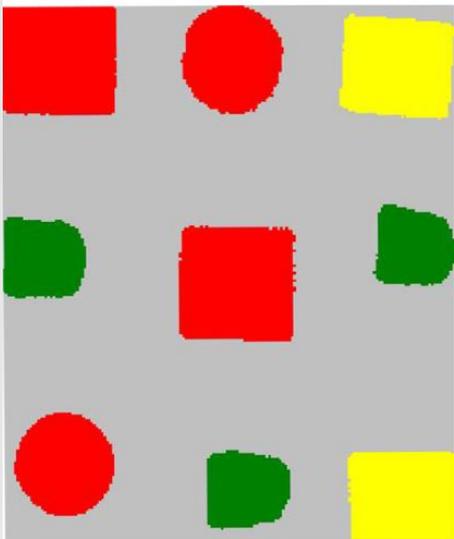
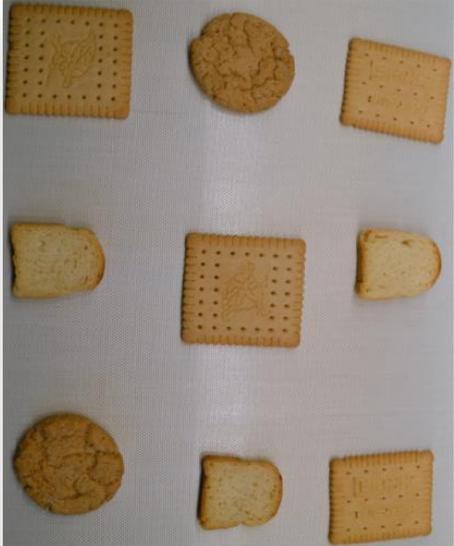
## Prozessabbild



Erst in Kombination mit einer Objektbewertung kann:

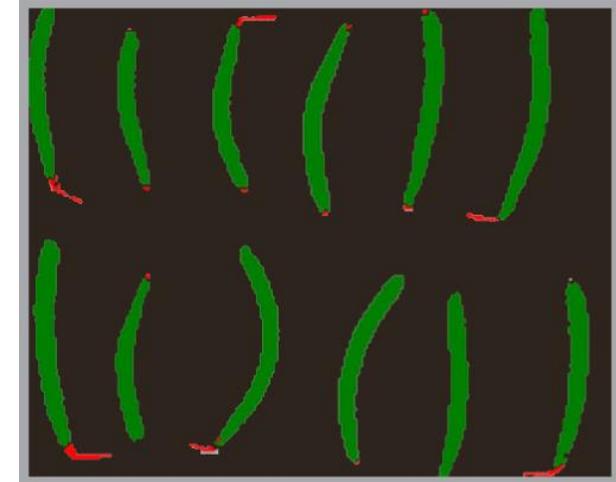
- PVC-haltiges Material sicher eliminiert werden
- verhindert werden, dass Flaschen mit anderen Anhaftungen ausgetragen werden

# Beispiele für Anwendungen



## Qualitative & Quantitative Analysen

1. NIR Analyse Fettgehalt in Keksen
2. NIR Analyse in Fleisch
  1. Fettgehalt,
  2. mageres Fleisch,
  3. Knochen und Knorpel
3. NIR Analyse Bohnen/ Stiele



# Zusammenfassung

## Vollständiges Lösungspaket

- Hardware enthält
  - HSI Kamera (VIS/NIR oder SWIR), Beleuchtung, optomechanische Integration, IPC, Schaltschrank
  - Zubehör: Strahlteilerspiegel, Objektive, Werkzeuge, ...
- Software auf dem IPC für
  - Datenaufnahme und Materialklassifizierung (KustaMSI)
  - Datenvisualisierung und Analyse (KustaSpec and KustaBelt)
  - Methodenentwicklung (KustaSpec and KustaBelt)
- Dienstleistung zur Unterstützung bei der Anwendungsentwicklung