

KI-Leuchtturmprojekt des BMUK

SmartRecycling-UP:

Smarte Maschinen für eine nachhaltige Zukunft

Sensorik und KI-Verfahren zur Material- und Objekterkennung im Bauschutt-Recycling



Tim Tiedemann (HAW) **et al.**

Fakultät für Informatik und Digitale Gesellschaft
HAW Hamburg

kk26 – Clouds&Computing Klimakongress 2026
24. September 2026

Motivation Ökologie + Motivation Arbeitsmarkt

- **Einsatz von KI** kann und sollte bei jeder Anwendung **hinterfragt werden**
- Doch was ist, wenn sich der Mensch selbst gewählt aus Anwendungen **zurückzieht**?
- **Ziel 1:** Kann die KI (mit Robotik) einspringen, wo sich keine Menschen mehr finden lassen?
- **Ziel 2:** Kann das Ergebnis durch eine KI-robotische Lösung verbessert werden?



Just Some Keywords. . .

- Background **computer science** with a focus in **robotics** + **machine learning** (ML, AI)
- PhD in **bio robotics** and **hardware acceleration** (FPGA, . . .)
- Postdoc in **Underwater Robotics, Space Robotics, Intelligent Transportation Systems (ITS)** applying **ML** + **Hardware/System Design**
- Prof. in **Intelligent Sensing**, focus: **sensors** + **sensor data processing** (including ML)



(Maren Borgerding / HAW Hamburg)

I will **not** talk about all of this. . .



... but about:



- 1 Vorspann
- 2 Einführung SmartRecycling-UP
 - Überblick / Prinzip
 - Demonstrationsaufbau
- 3 Material- und Objektdetektion
- 4 Zusammenfassung

Ziele

- Entwicklung einer **Automatisierungslösung** in der **Kreislaufwirtschaft**
- Verbesserung des **Recycling von Sperrmüll und Bauschutt**
Aktuell: Fehlsortierungen, nicht-optimales Recycling, Mitarbeiter schwer zu finden
- Lösung mittels **Künstlicher Intelligenz**
 - Intelligente Sensorik (HAW)
 - autonomer Bagger/Roboter (DFKI)
- $3\frac{1}{4}$ Jahre **Forschungsvorhaben** (“BMUV KI-Leuchtturmprojekt”)



Ziele

- Entwicklung einer **Automatisierungslösung** in der **Kreislaufwirtschaft**
- Verbesserung des **Recycling von Sperrmüll und Bauschutt**

Aktuell: Fehlsortierungen, nicht-optimales Recycling, Mitarbeiter schwer zu finden

- Lösung mittels **Künstlicher Intelligenz**
 - Intelligente Sensorik (HAW)
 - autonomer Bagger/Roboter (DFKI)
- $3\frac{1}{4}$ Jahre **Forschungsvorhaben** ("BMUV KI-Leuchtturmprojekt")
- Konsortium: DFKI, HAW, IEKrW, BZ, ASO, KAVG



Aufgaben

Aufgaben: (1) Materialklassifikation (2) Objekterkennung :



Aufgaben

Aufgaben: (1) Materialklassifikation (2) Objekterkennung :



(a)



(b)



(c)

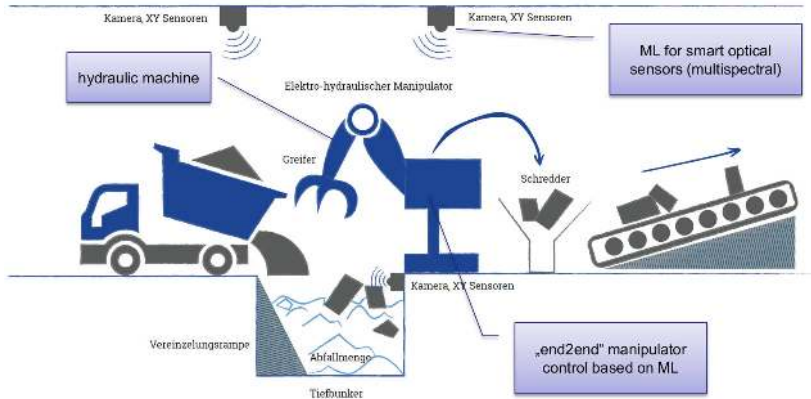


(d)

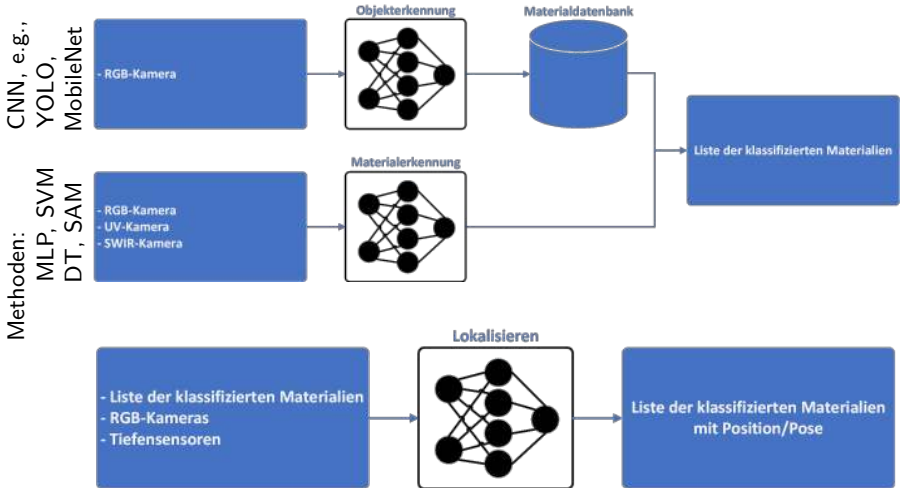


KI in SmartRecycling-UP

Erkennung aus der Distanz:

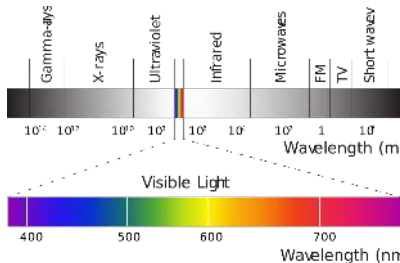


Zwei Aufgaben, zwei Schritte



Multi Spectral Imaging (MSI) mit UV/NIR/SWIR-Daten

In ersten Datensammlungen wurden Beispieldaten unterschiedlicher “Modalitäten” gesammelt: (1) Wärmebilddaten (2) UV/VIS/SWIR-Daten (auch Spektren))



(Tom Gaimann, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons)

Multi Spectral Imaging (MSI) mit UV/NIR/SWIR-Daten

In ersten Datensammlungen wurden Beispieldaten unterschiedlicher “Modalitäten” gesammelt: (1) Wärmebilddaten (2) UV/VIS/SWIR-Daten (auch Spektren))



Datensammlung: Kameras und Filter

Spezielle Kameras für nicht-sichtbare Spektralbereiche benötigt:
UV (Si), SWIR (InGaAs) und Filter



Kamera	Filter Spektrum [nm]
UV - PCO ultraspekt	190 - 1100
	230 - 365
	375 - 425 + 745 - 970
VIS/NIR - Dsoler Ace 2	400 - 1300
	730 - 755
	810 - 865
	845 - 930
	925 - 955
SWIR - Goleve G-130	400 - 1700
	930 - 1050
	1250 - 1310
	1440 - 1460
	1485 - 1615

Datensammlung: Kameras und Filter

Spezielle Kameras für nicht-sichtbare Spektralbereiche benötigt:
UV (Si), SWIR (InGaAs) und Filter

Das Spektrum

MSIv1 -2

Kamera	Spektrum[nm]
UV	190 - 1100
	~250
	290 - 365
	375 - 425 + 745 - 970
VIS/NIR	400 - 1000 + R, G, B
	730 - 755
	830 - 865
	845 - 930
	928 - 955
SWIR	400 - 1700
	930 - 1030
	1290 - 1310
	1440 - 1460
	1485 - 1645

MSIv3+

Kamera	Spektrum[nm]
UV	190 - 1100
VIS	R, G, B
VIS/NIR	400 - 1000
	730 - 755
	830 - 865
	845 - 930
	928 - 955
SWIR	400 - 1700
	930 - 1030
	1290 - 1310
	1440 - 1460
	1485 - 1645

Erste Beispieldaten zu UV/NIR/SWIR

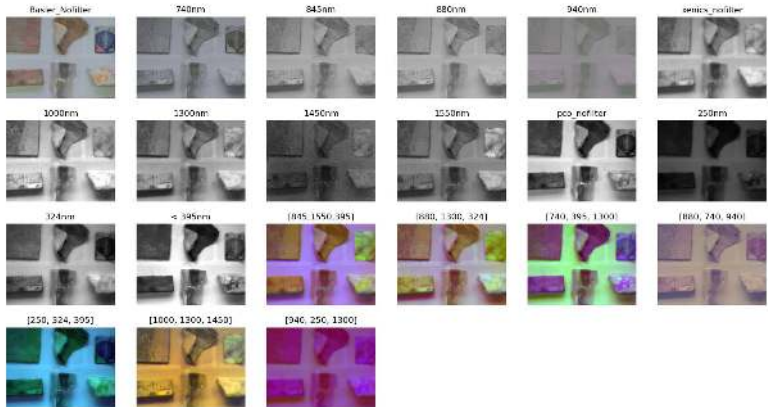
UV/VIS/SWIR-Daten :



(links: VIS, rechts: 880 nm, 1300 nm, 324 nm)

Erste Beispieldaten zu UV/VIS/SWIR

UV/VIS/SWIR-Daten :

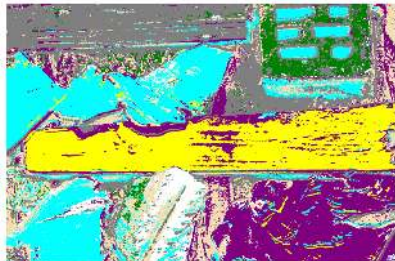


Weitere Datensätze: UV/NIR/SWIR-Daten

M. Trost, T. Lange und P. Meyer sammelten weitere Daten + untersuchten erste Methoden



(a) Foto einer Szene

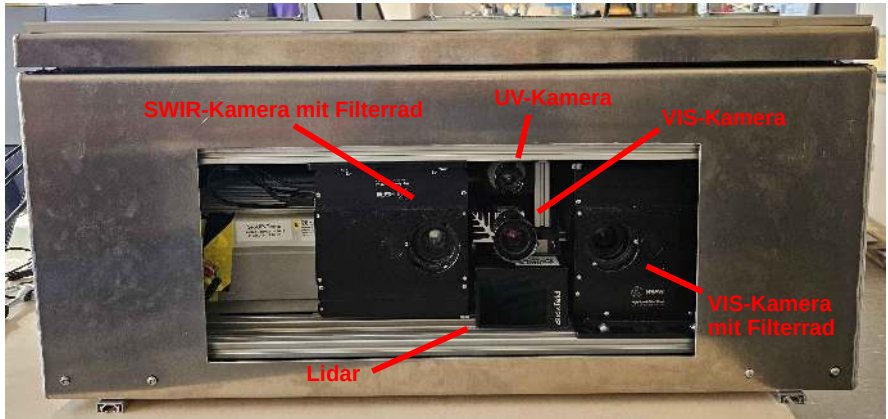


(b) Klassifizierte Szene:
■ Kunststoff, ■ Holz, ■ Metall, ■ Textilien,
■ Mineral/Stein, ■ Schaumstoff

- 1 Vorspann
- 2 Einführung SmartRecycling-UP
 - Überblick / Prinzip
 - Demonstrationsaufbau
- 3 Material- und Objektdetektion
- 4 Zusammenfassung

Sensorknoten

Komponenten des Sensorknotens:



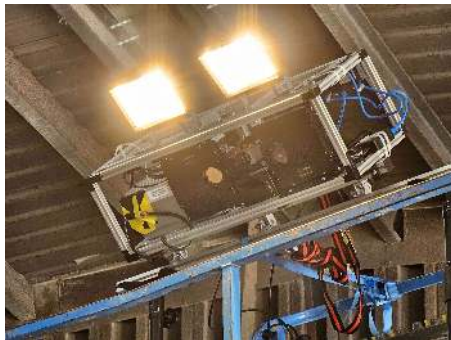
Aufbau bei den Demonstrationen

Aufbau bei den Demonstrationen:



Aufbau bei den Demonstrationen

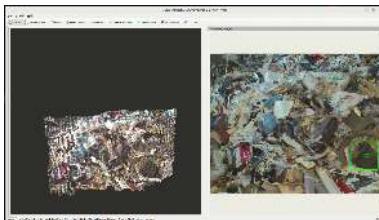
Aufbau bei den Demonstrationen:



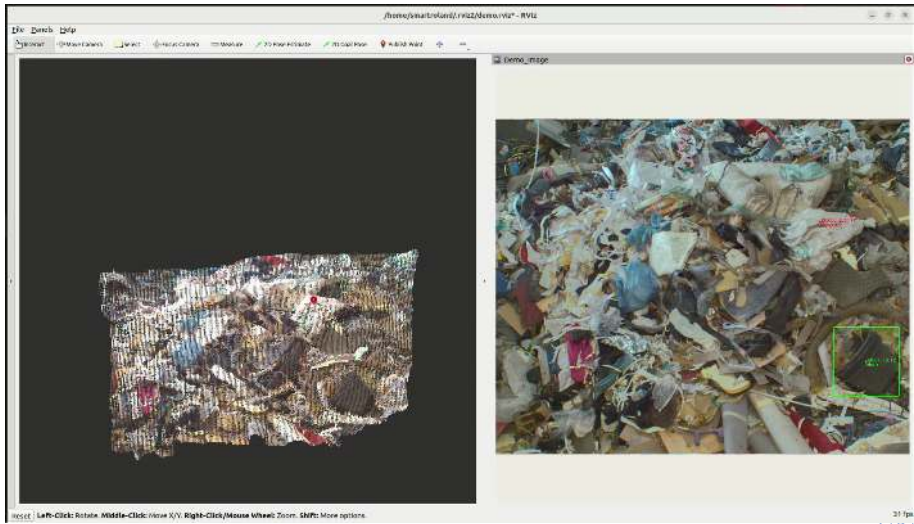
Kombination verschiedener Sensoren

Als Funktionstest, ggf. für einfache Beschickung:

- Bestimmung des **höchsten Punktes**
- Verschiedene Verfahren getestet, am Ende **kombiniert**:
 - (Kamera)
 - Lidar
 - ToF-Kamera
 - (in dieser Anwendung nicht gut: Stereo-Kameras)



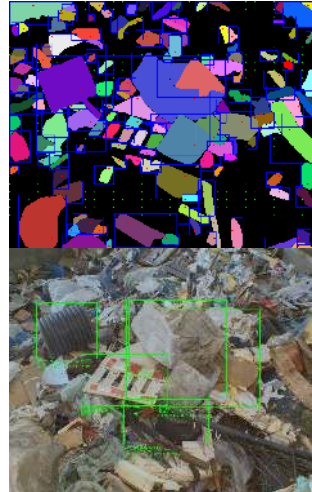
Kombination verschiedener Sensoren



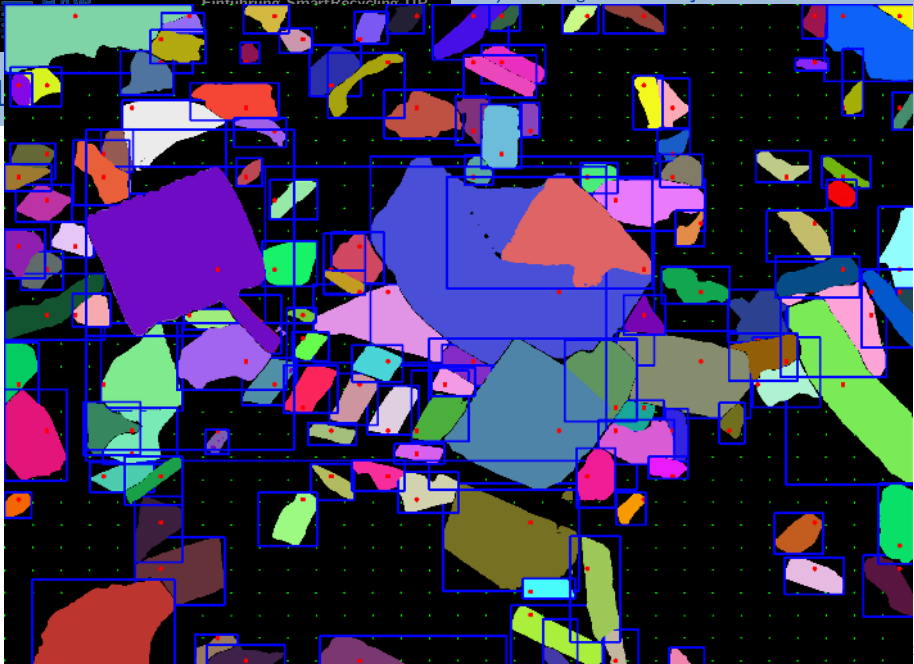
- 1 Vorspann
- 2 Einführung SmartRecycling-UP
- 3 Material- und Objektdetektion
 - 1.a) Erkennung bekannter Objekte
 - 1.b) Erkennung gefährlicher Objekte
 - 2. Materialerkennung
- 4 Zusammenfassung

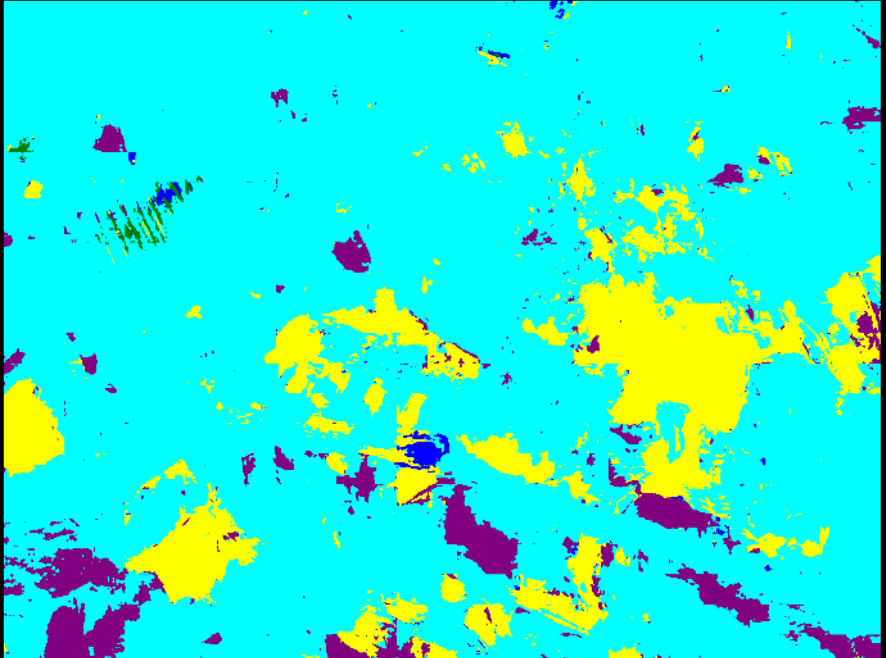
1.a) Erkennung bekannter Objekte

- Baggerfahrer **erkennt** bekannte **Objekte** → Ziel für den Roboter
- System kann anhand Datenbank **Material bestimmen**
- Verschiedene Verfahren untersucht:
 - MSI-Objekterkennung
 - VIS-Objekterkennung

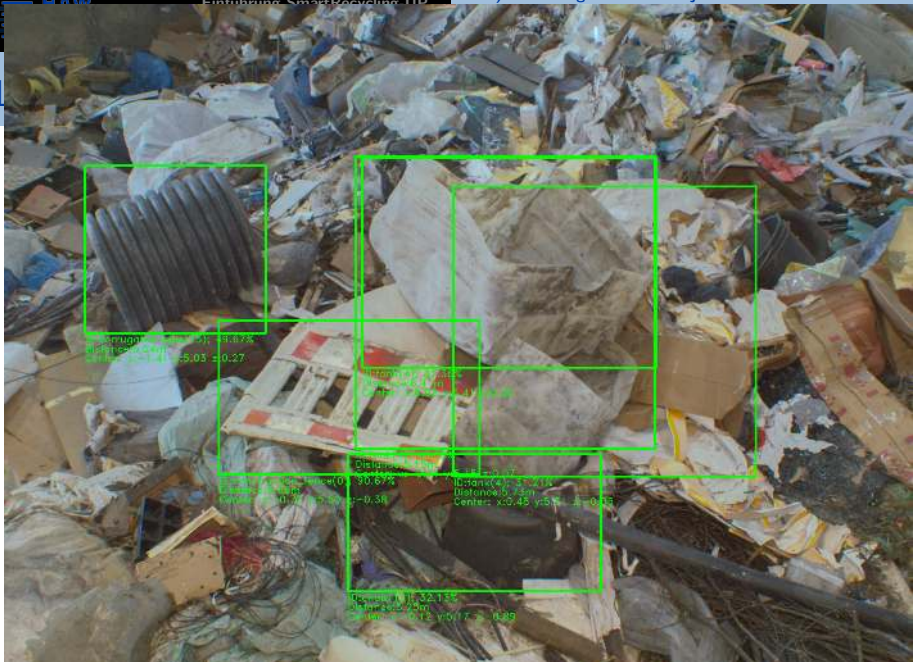












- 1 Vorspann
- 2 Einführung SmartRecycling-UP
- 3 Material- und Objektdetektion
 - 1.a) Erkennung bekannter Objekte
 - 1.b) Erkennung gefährlicher Objekte
 - 2. Materialerkennung
- 4 Zusammenfassung

1.b) Erkennung gefährlicher Objekte

- Spezialfall der Objekterkennung: Erkennung **gefährlicher Objekte**
- Objekte, die entweder den folgenden **Prozess stören** oder von denen direkt eine **Gefahr** ausgeht (z.B. Druckkörper, Akkus)











- 1 Vorspann
- 2 Einführung SmartRecycling-UP
- 3 Material- und Objektdetektion
 - 1.a) Erkennung bekannter Objekte
 - 1.b) Erkennung gefährlicher Objekte
 - 2. Materialerkennung
- 4 Zusammenfassung

2. Materialerkennung

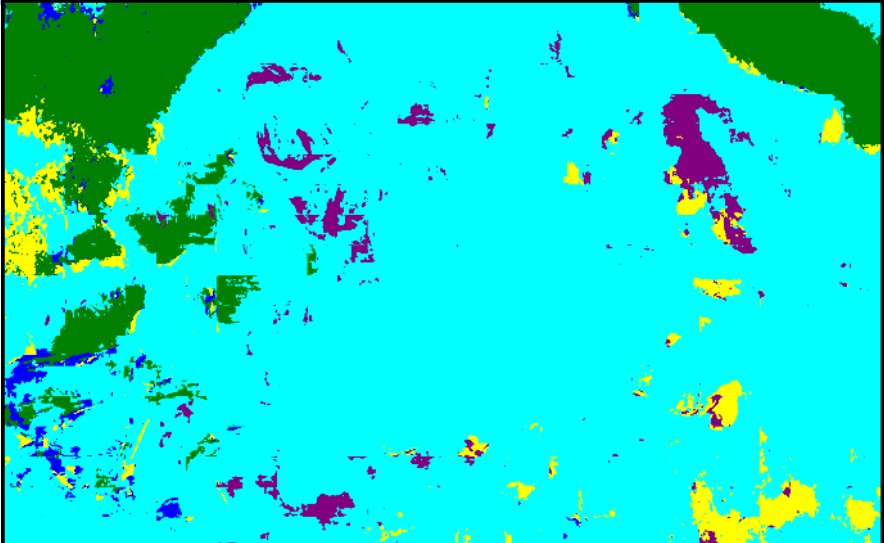
- Die meisten Objekte sind **verformt/zerteilt**, auch für Menschen **nicht zu erkennen**
- Dafür: **Materialerkennung**
- Verschiedene Verfahren untersucht:
 - Multispektrale Bilder, MSI (UV, VIS, SWIR)
 - Hyperspektrale Bilder, HSI (SWIR)
 - (Thermografie, Radar)



2. Materialerkennung



2. Materialerkennung



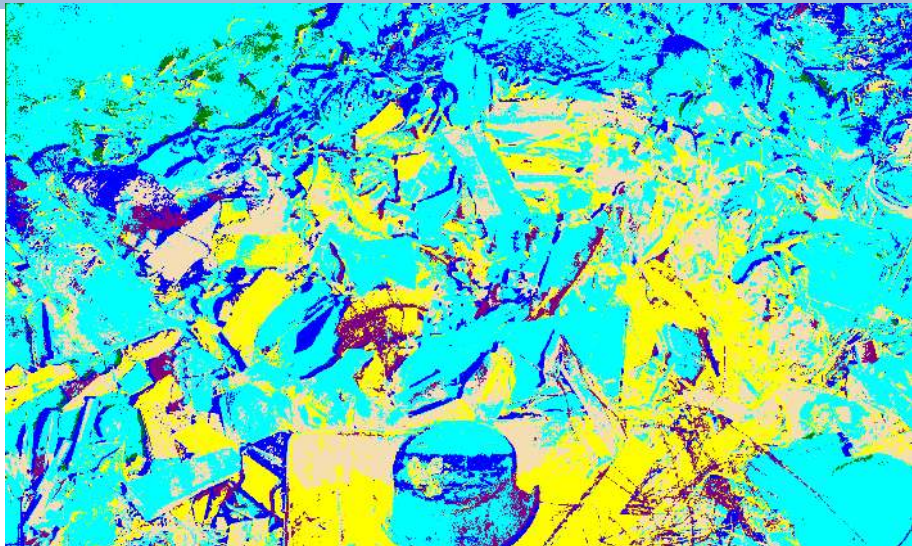
2. Materialerkennung



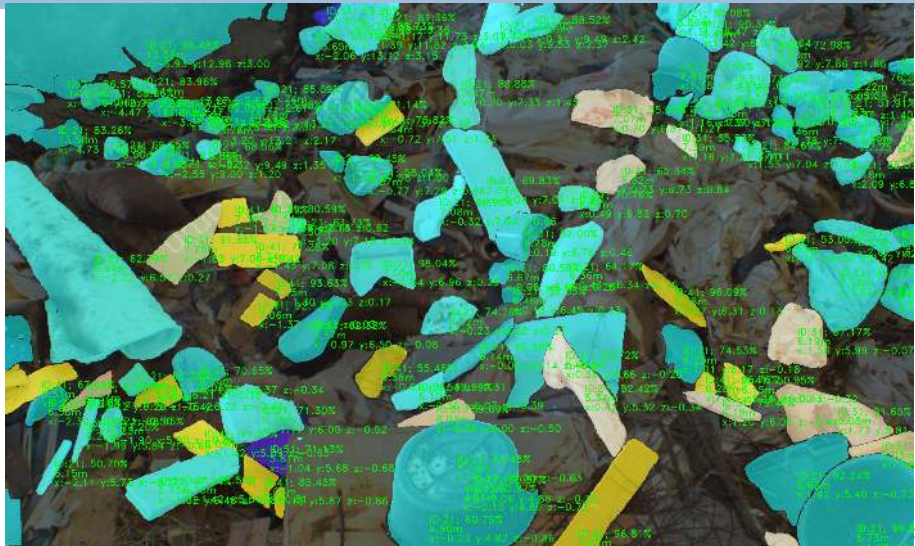
2. Materialerkennung



2. Materialerkennung



2. Materialerkennung



Zusammenfassung

Stand Objekt/Materialerkennung:

- Objekt- und Materialerkennung aus der Distanz ist mit den gewählten Verfahren **grundsätzlich möglich**
- **Methoden:** YOLO, erweitert auf MSI, MLP, SAM
- Aber: Insbesondere MSI **langsam**
- Zuverlässigkeit noch **gering** (→ mehr Daten benötigt!!)
- Und (z.T. betriebspezifisch) **zusätzliche Objekte** gewünscht
- → langlaufende Datensammlungen, Installationen in Betrieben



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!