

---

# Digitalisierung & Ultraeffizienz

## Industrielle Demontagefabrik 4.0

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Zuwendungs-Nr. L75 18003

---



Jan H. Seelig, CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Hintergrund

Studie „Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg“  
des UM Baden-Württemberg

- Identifikation kritischer Rohstoffe speziell für die baden-württembergische Industrie
- 5 Leuchtturmprojekte zur Verbesserung der Rohstoffsituation skizziert, eines davon die „Demontagefabrik im urbanen Raum“

---

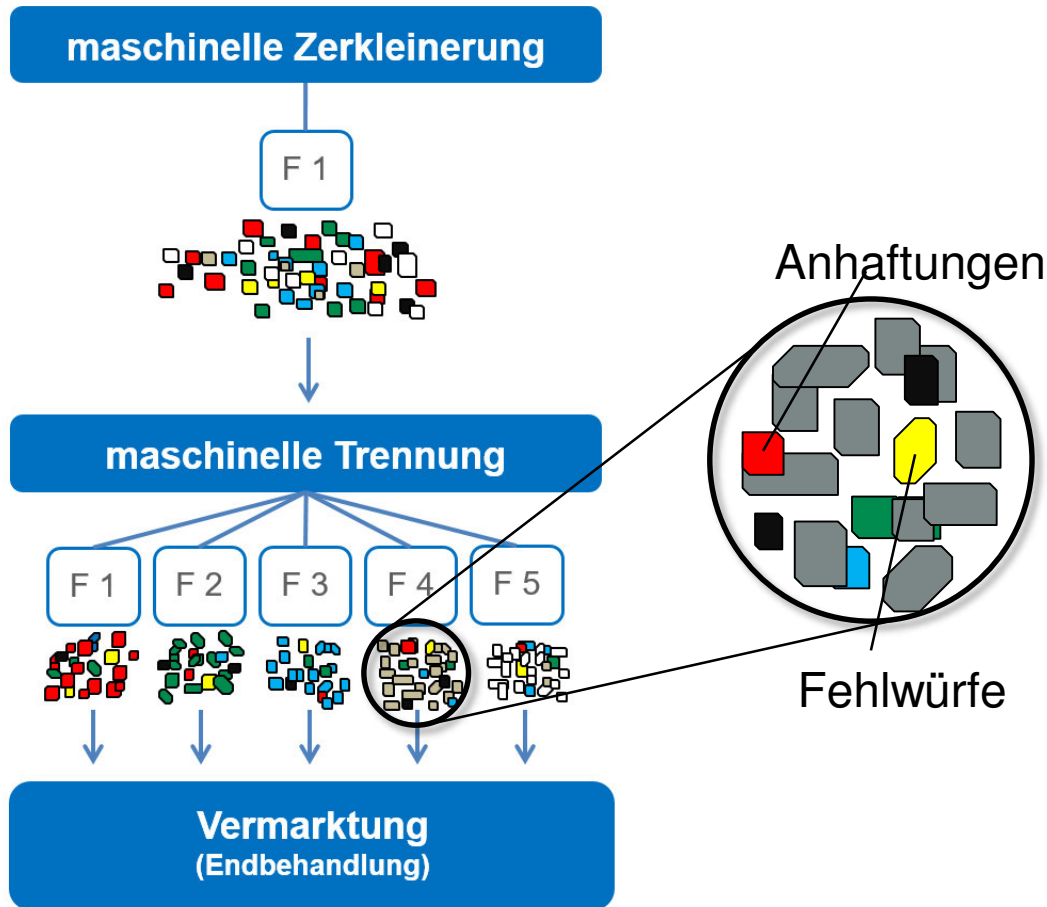
## Ziele

Einsatz von moderner Informationsverarbeitung und Demontagetechnik zwecks:

- Versorgung der Industrie mit kritischen Rohstoffen
- Schließen von Stoffkreisläufen
- Etablierung spezialisierter Recyclingtechnologien durch  
Verfügbarmachen von Konzentraten
- Vermeidung von Downcycling
- Vermeidung dissipativer Verluste

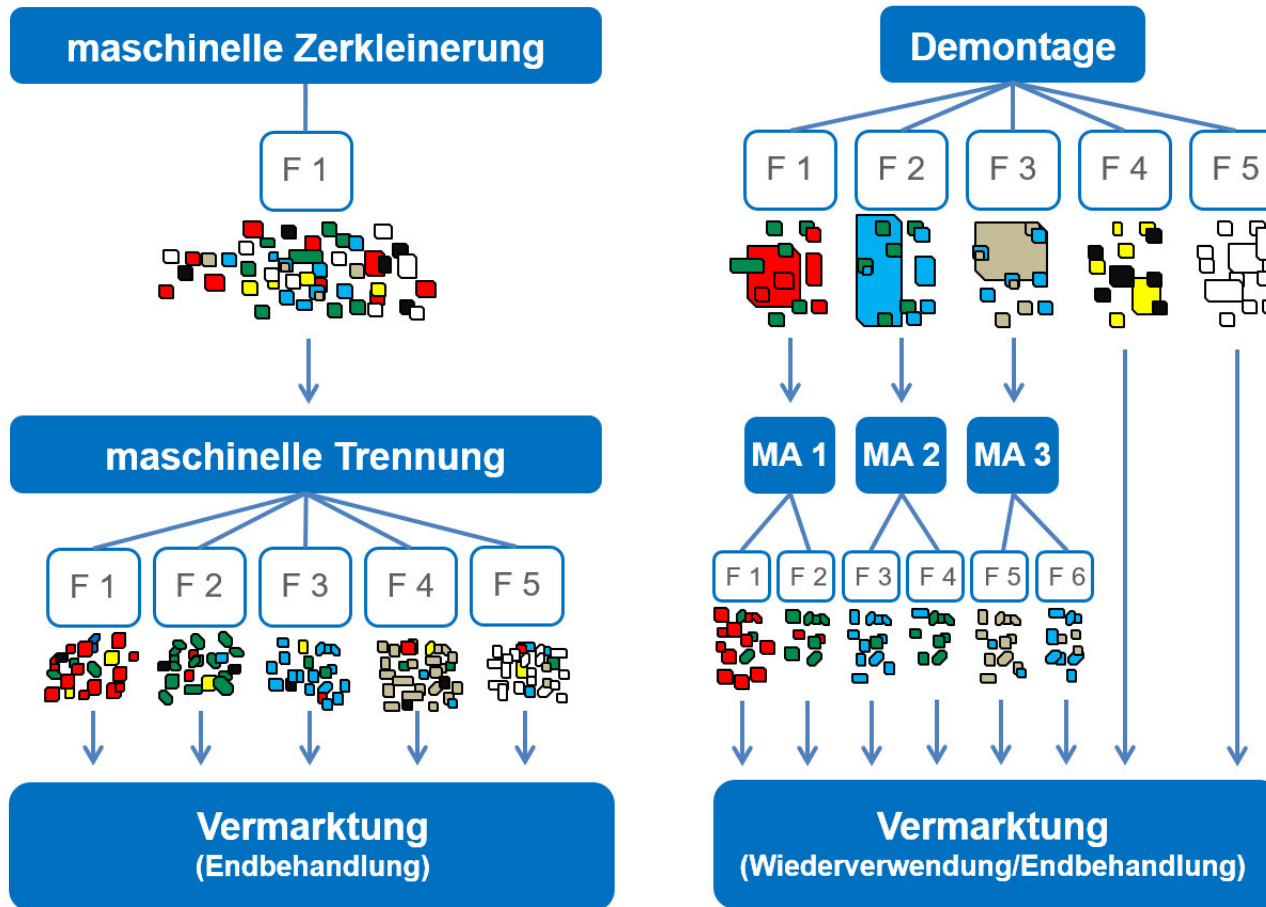
# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Warum Demontage?



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Warum Demontage?



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Vorprojekte

- Identifikation demontagefähiger Produkte mit hoher Zielelementkonzentration
  - elektrische Fahrtriebe, Generatoren, permanenterregte Elektromotoren (NdFeB)
- Einbezug ähnlicher Produkte:
  - Industrie-Elektromotoren
- Demontageversuche manuell
  - Zeiten, Zusammensetzungen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
  - Wertschöpfung aus Zielelementen + weiteren Materialien
  - manuelle vs. robotergestützte Demontage



Quelle: Elektrofahrrad-einfach.de

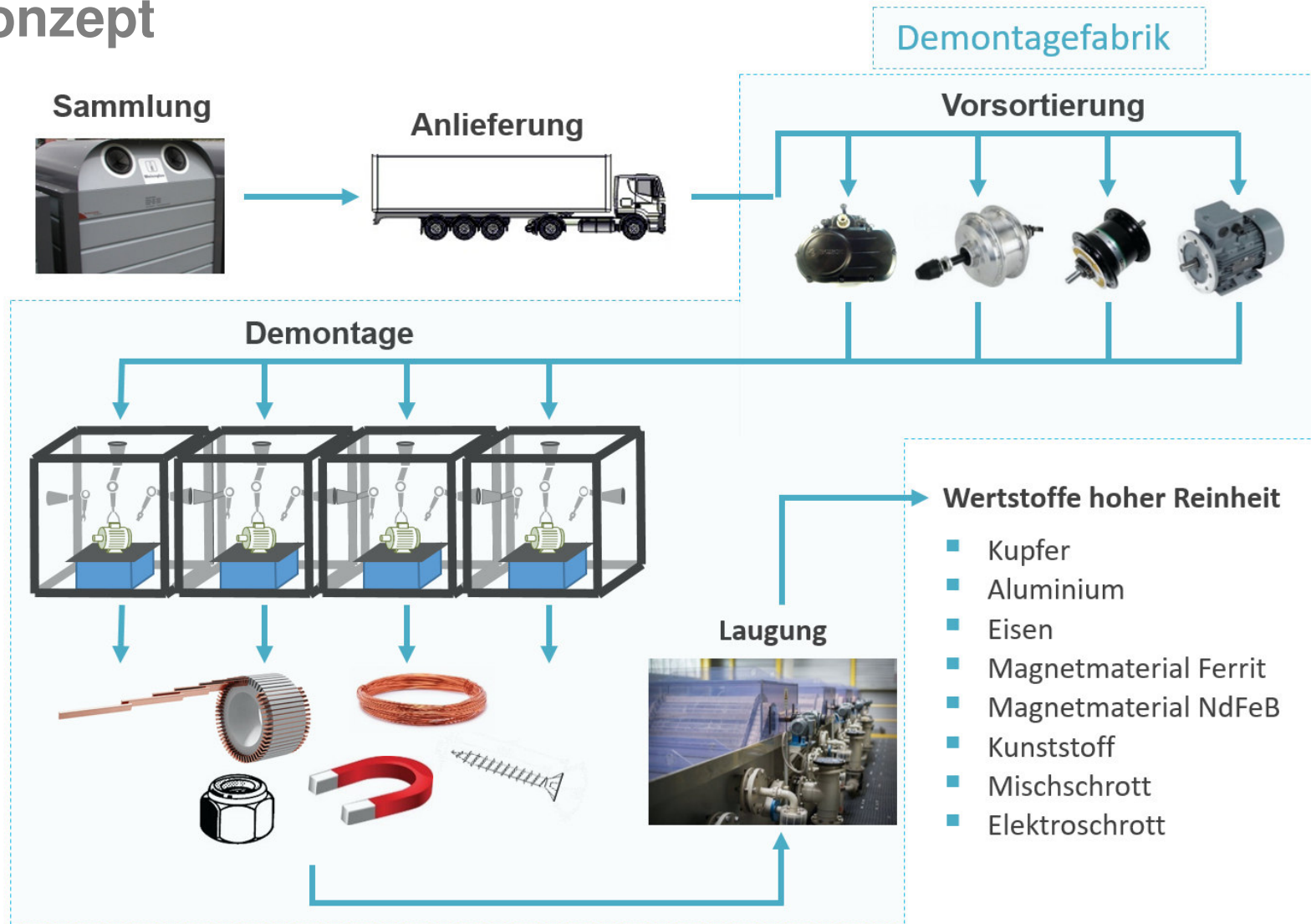


Quelle: Böhler Antriebstechnik



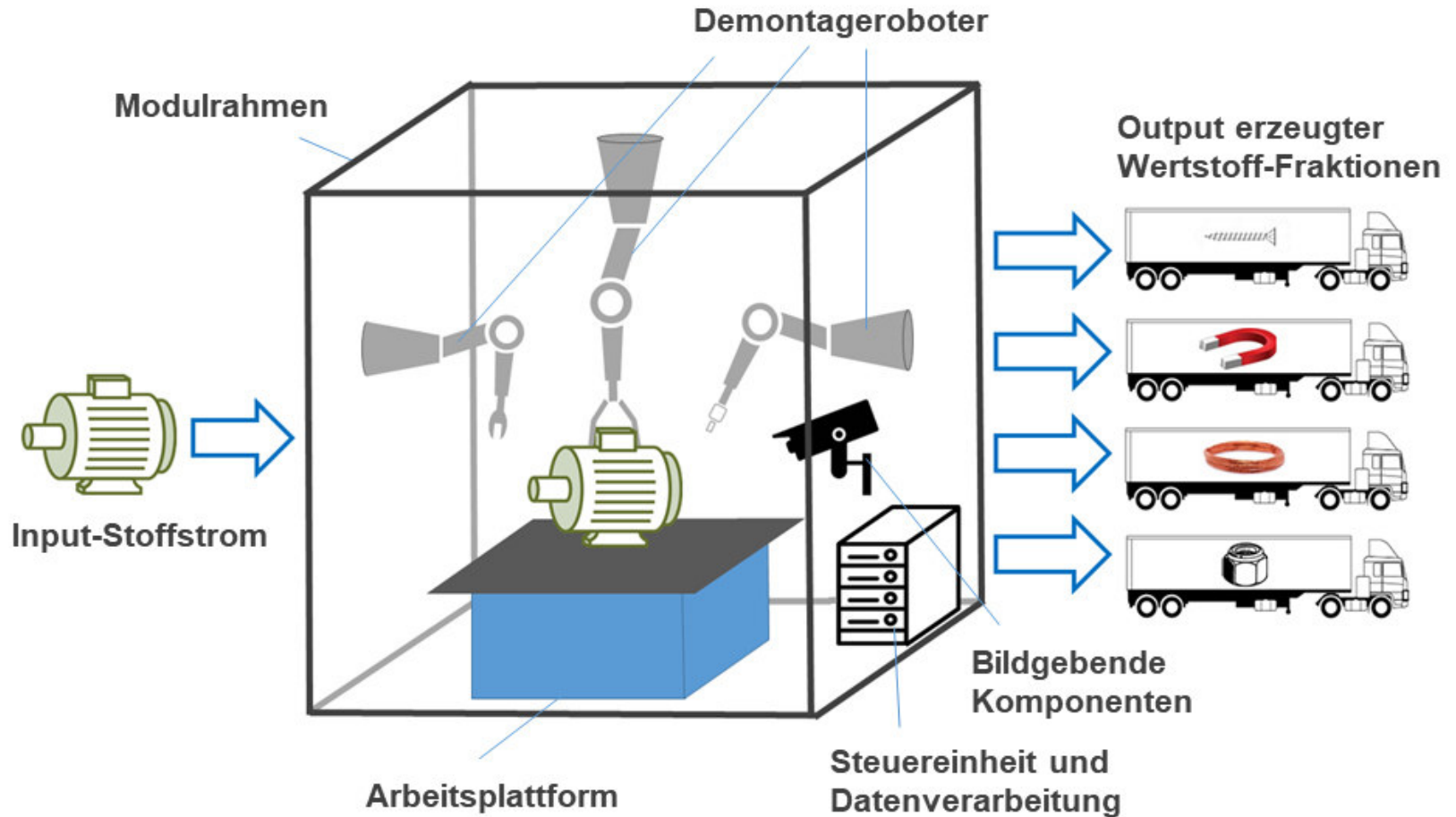
Quelle: Ateq

# Industrielle Demontagefabrik 4.0 Konzept



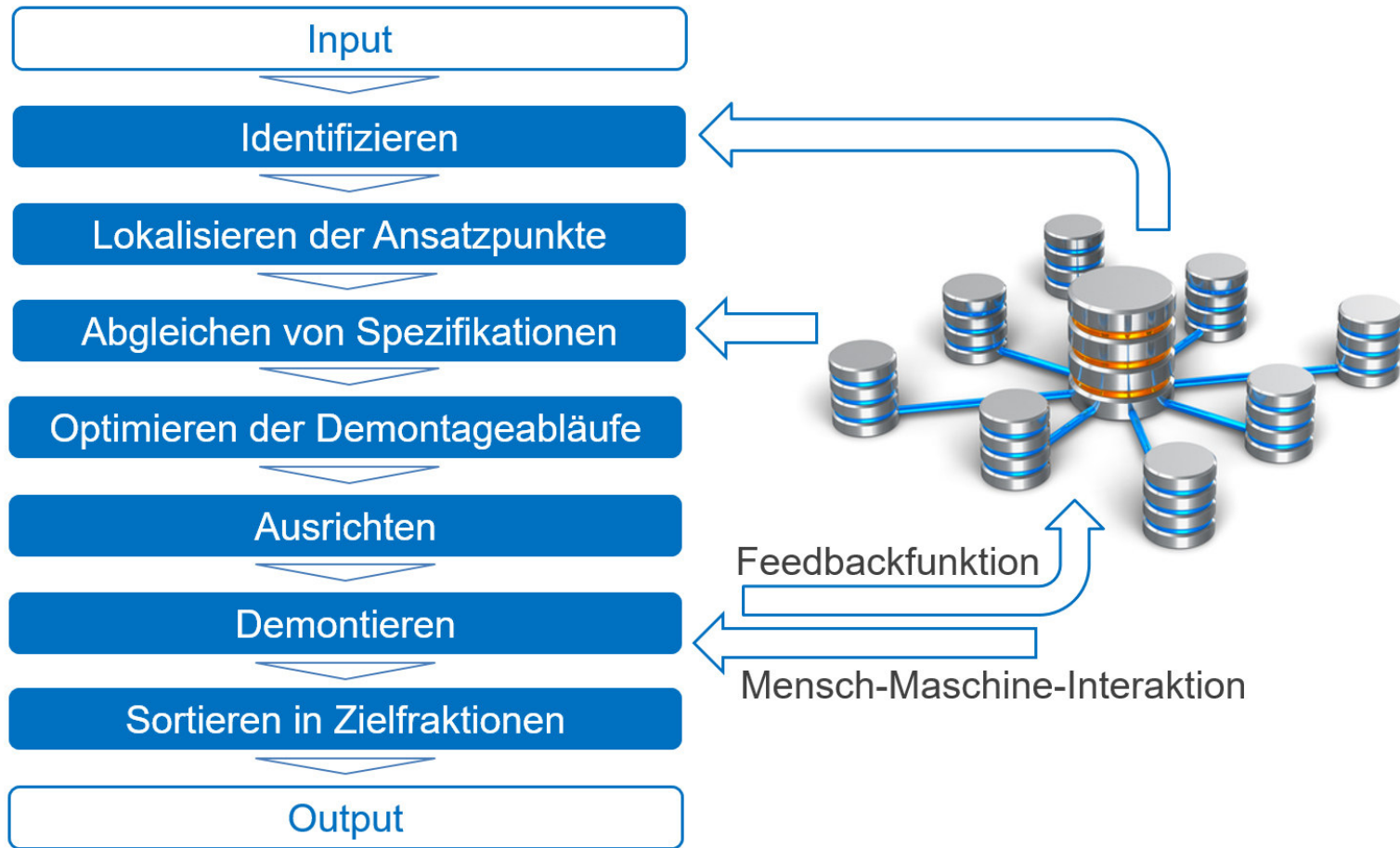
# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Demontagemodul



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

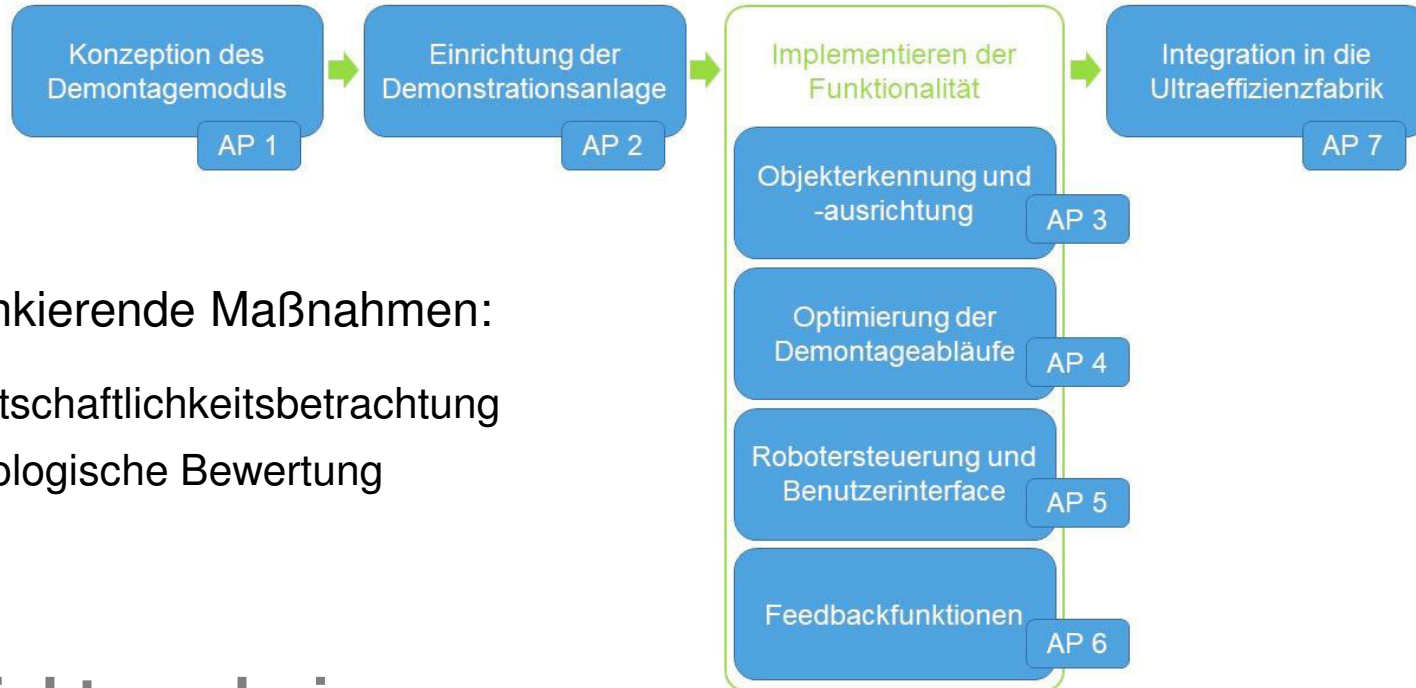
## Demontagemodul - Funktionsumfang





# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Arbeitspakete



+ Flankierende Maßnahmen:

- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Ökologische Bewertung

## Projektergebnis

- Funktionsfähiges Demontagemodul mit dem erläuterten Funktionsumfang
- Zielprodukt Kfz-Lichtmaschinen
- Grundlage für Übertragung auf weitere Produkttypen

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Zeitplan

Arbeitspaket	Zeitraum (quartalgenau)											
	2018				2019				2020			
	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
AP 1: Konzeption des Demontagemoduls	■	■	■									
AP 2: Einrichtung der Demonstrationsanlage		■	■	■								
AP 3: Objekterkennung und -ausrichtung	■	■	■	■	■	■	■					
AP 4: Optimierung der Demontageabläufe			■	■	■	■	■	■	■			
AP 5: Robotersteuerung und Benutzer-Interface				■	■	■	■	■	■	■		
AP 6: Feedbackfunktionen							■	■	■	■	■	■
AP 7: Integration in die Ultraeffizienzfabrik											■	■
AP 8: Flankierende Maßnahmen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

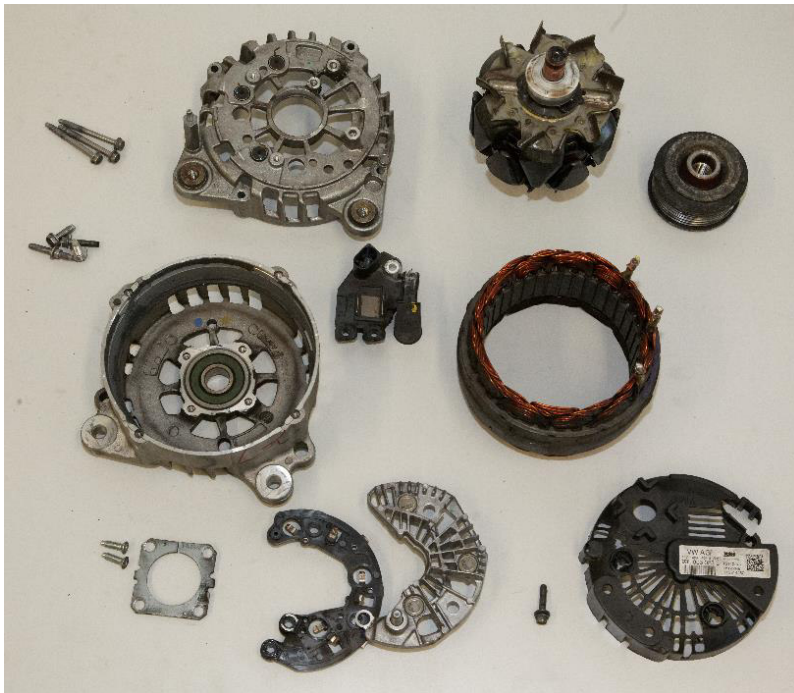
M1

M2

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Konzeption und Einrichtung

- Ausschreibung für Industrieroboter
- Leistungsfähiger Rechner für Szenenanalyse und Robotersteuerung notwendig
- Marktanalyse Greif- und Schraubwerkzeuge
  - Konkrete Planung benötigter Werkzeuge anhand dokumentierter Demontageabläufe



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Objekterkennung

- Unternehmensseitig voraussichtlich keine vollständigen CAD-Daten verfügbar
- Erstellen eines 3D-Modells mittels Artec Space Spider 3D-Scanner
  - 0,1 mm 3D-Auflösung (Tiefengenaugigkeit)
  - 0,05 mm Punktgenauigkeit (distanzabhängig)
  - Extrem hohe Scan-Geschwindigkeit (7,5 fps, 1 Mio. Punkte pro Sekunde)



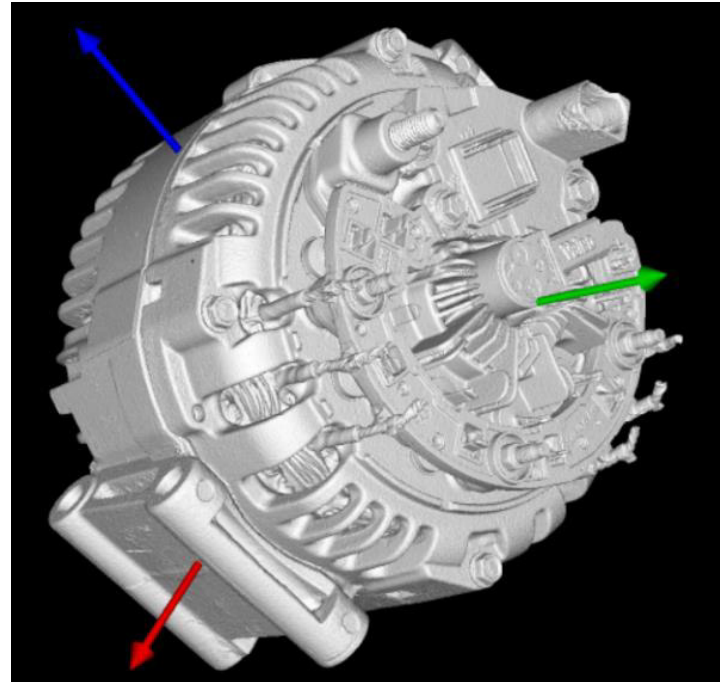
Quelle: europac3d



Quelle: Hawk Ridge Systems

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Objekterkennung



- Matching: Kurzer, wenig rechenintensiver Scan eines Ausschnitts der zu identifizierenden Lichtmaschine (ca. 5 s, ~ 40 Frames)
- Abgleich mit vorhandenen Prototypen in der Datenbank
- Zukünftig sinnvoll: Vorauswahl durch Gewicht → Verkürzung der Rechenzeit

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

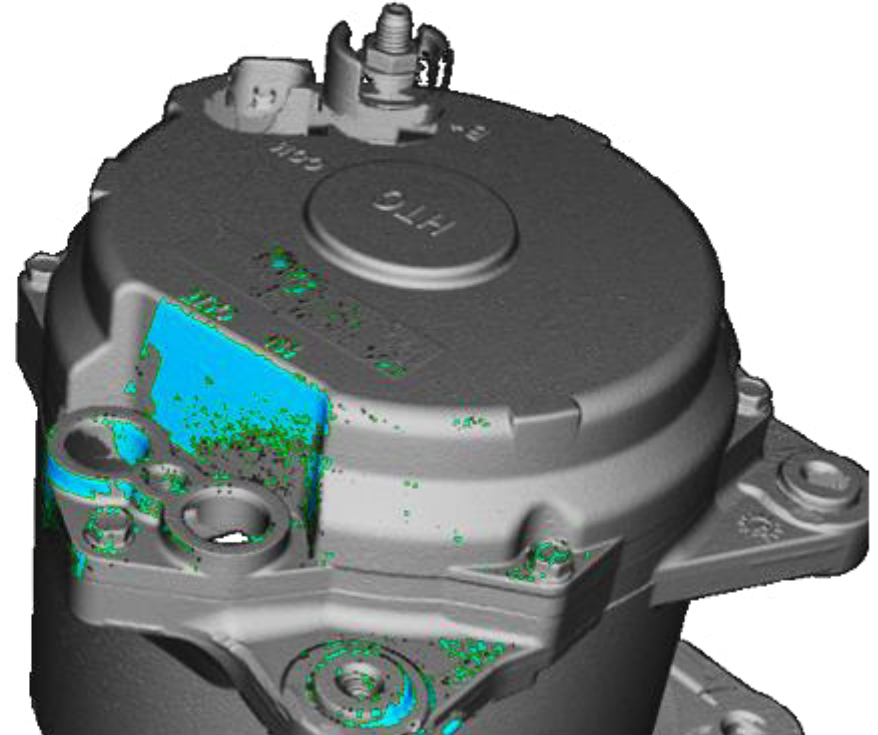
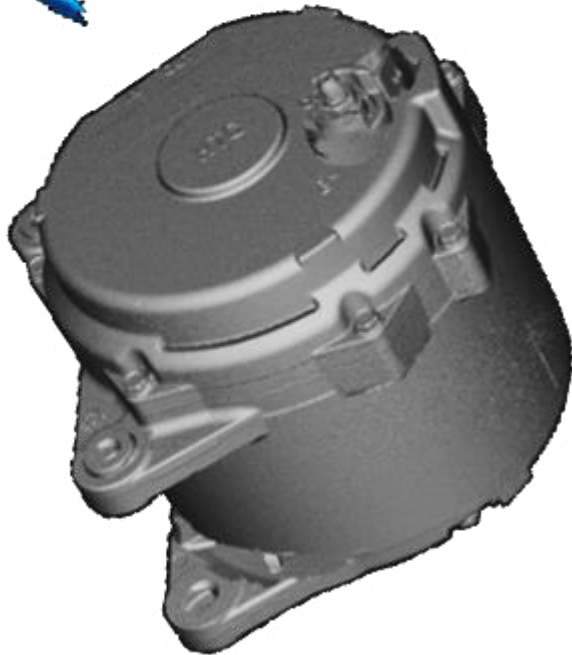
## Objekterkennung

- Erstellung von 3D-Teilmodellen zu verarbeitender Produkte
  - Globale Registrierung der Einzelbilder
  - Entfernen von Ausreißern
  - Fusionsalgorithmus zum Erstellen eines triangulierten Oberflächenmodells
- Algorithmus zum Vergleich mit Prototypen
  - Maß der Übereinstimmung?
  - Lage relativ zum Prototypen?
- Verfeinerung der Positionsbestimmung zur Ermittlung der exakten Lage der LM als Grundlage für nachfolgende Operationen
  - numerisch erreichbare Genauigkeit: ca. 0,1 % des Modelldurchmessers
- Erstellen und Vergleichen der Modelle:
  - umfangreiche Parametrisierungen möglich/nötig
  - Kompromiss zwischen Berechnungsdauer und Robustheit/Exaktheit

# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Beispiele Produkt- und Lagebestimmung

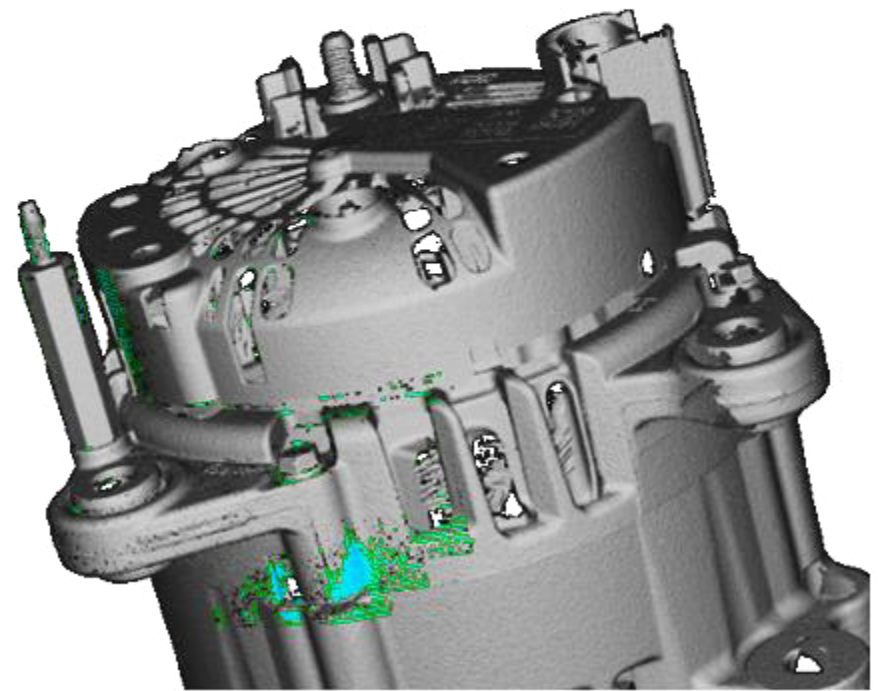
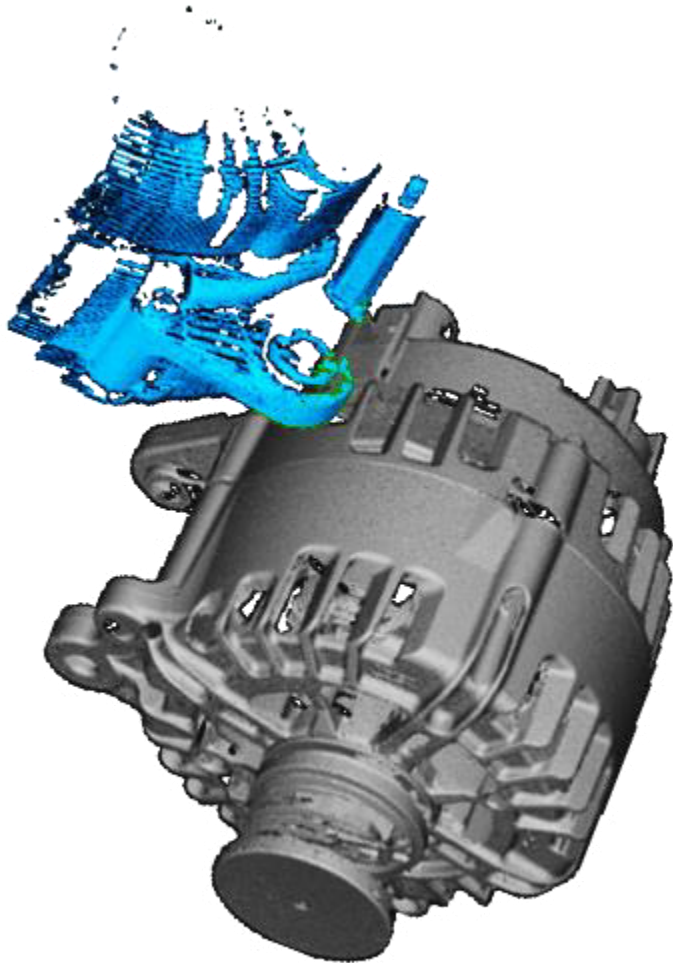
- Produktidentifizierung erfolgreich
- Übereinstimmung: > 95 %



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Beispiele Produkt- und Lagebestimmung

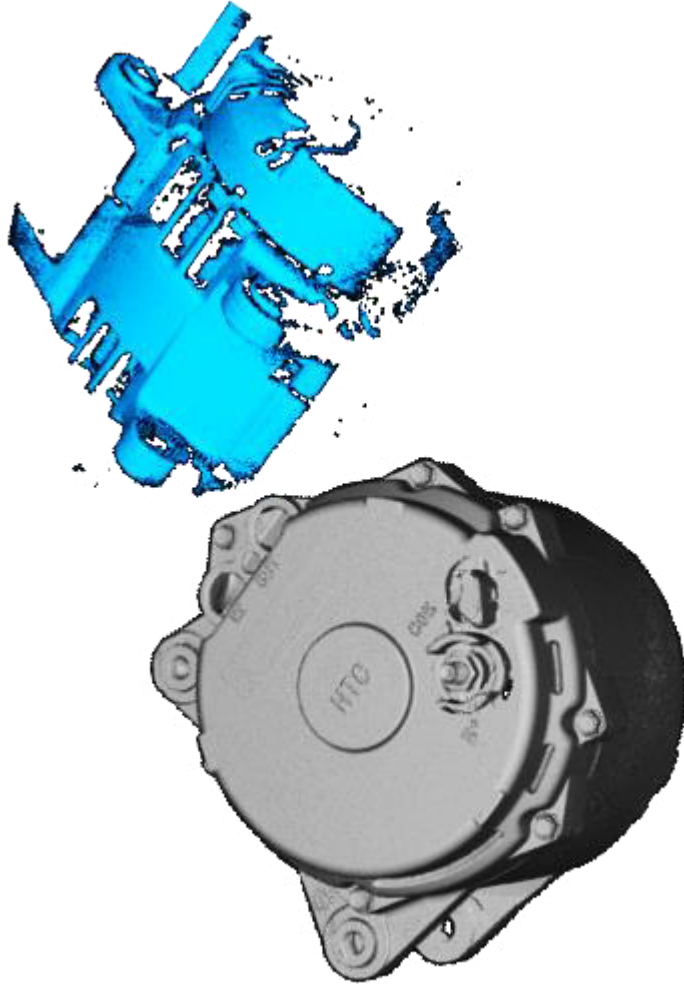
- Produktidentifizierung erfolgreich
- Übereinstimmung: > 97 %



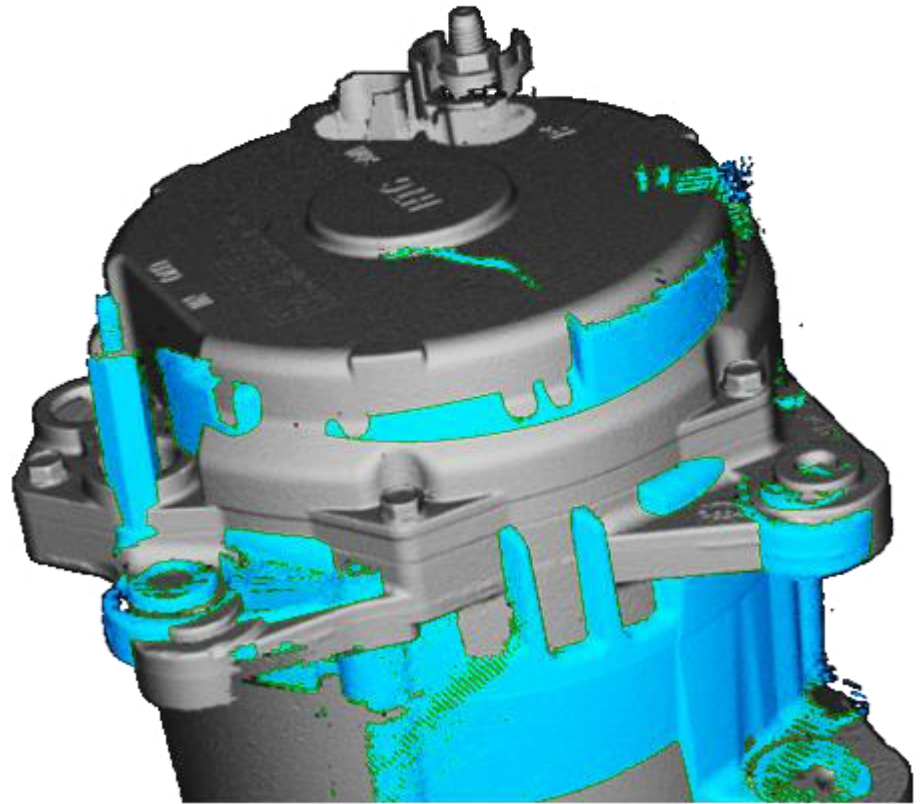


# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Beispiele Produkt- und Lagebestimmung



- Mismatch erfolgreich erkannt
- Übereinstimmung: 25 %

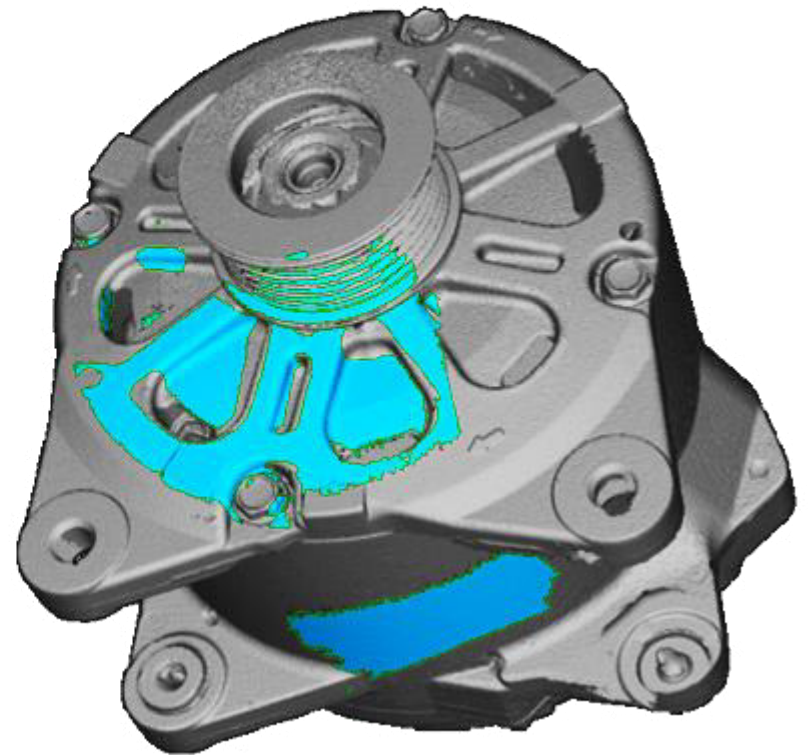


# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Beispiele Produkt- und Lagebestimmung



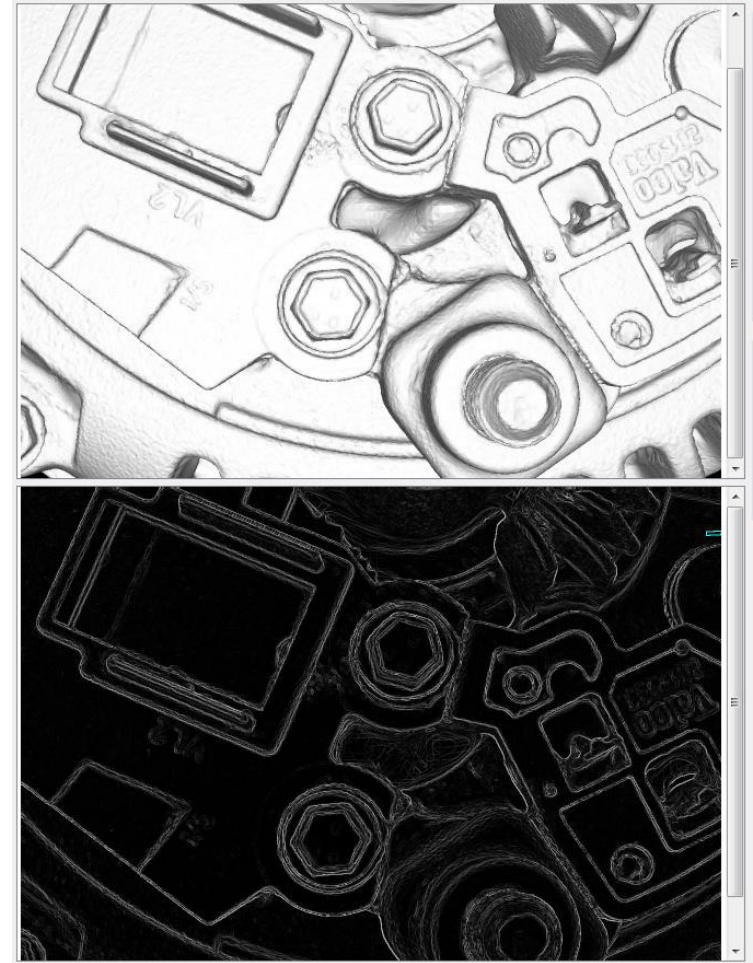
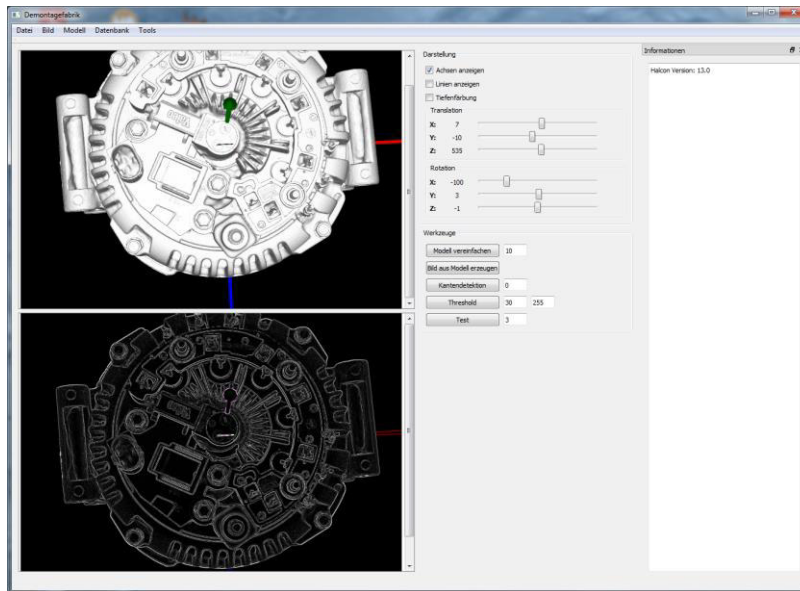
- Produktidentifizierung erfolgreich
- Übereinstimmung: 87 %
- Symmetriebedingt falsche Lagebestimmung



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Objekterkennung

- Demontagesoftware
  - Objekterkennung und Lagebestimmung
  - Nächste Schritte:
    - Szenenanalyse durch Bildverarbeitungs- und Filteralgorithmen
    - Datenbankankbindung



# Industrielle Demontagefabrik 4.0

## Nächste Schritte und Ausblick

Arbeitspaket	Zeitraum (quartalgenau)											
	2018				2019				2020			
	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
AP 1: Konzeption des Demontagemoduls	■	■	■									
AP 2: Einrichtung der Demonstrationsanlage		■	■	■								
AP 3: Objekterkennung und -ausrichtung	■	■	■	■	■	■	■					
AP 4: Optimierung der Demontageabläufe			■	■	■	■	■	■	■			
AP 5: Robotersteuerung und Benutzer-Interface				■	■	■	■	■	■	■		
AP 6: Feedbackfunktionen							■	■	■	■	■	■
AP 7: Integration in die Ultraeffizienzfabrik											■	■
AP 8: Flankierende Maßnahmen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

M1

M2

- Erweiterung des Spektrums verarbeitbarer Lichtmaschinen
- Zunehmende Reduktion der Demontagezeiten
- Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf weitere Produktgruppen prüfen

4Square Return



Quelle: elektroaltgeraete.org

---

# ULTRAEFFIZIENZFABRIK

VERLUSTFREIE PRODUKTION IM URBANEN UMFELD

## Industrielle Demontagefabrik 4.0

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg  
Zuwendungs-Nr. L75 18003

---

