



Workshop – Nachhaltigkeit in der Industrie – Wege zur Green Factory

Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Mittelstand

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und Automatisierung IFF

unterstützt bei der Gestaltung effizienter, flexibler, nachhaltiger und sicherer Wertschöpfungsprozesse



Motivation für Kreislaufwirtschaft

Stoffkreisläufe müssen geschlossen werden

- Steigende Energiepreise
- Steigende Bedarfe vs. endliche Rohstoffe
- Abhängigkeit von Critical Raw Materials (CRM)
- Regulierung fordert Reparierbarkeit, Demontierbarkeit und Nachverfolgbarkeit
- Recyclingquoten, UNO-/EU-Ziele
- Arbeitskräftemangel

**Für einen nachhaltigen Konsum
müssen wir die Stoffkreisläufe der
industriellen Produktion schließen.
„Neues für Neues“ gilt nicht mehr.**

Kreislaufwirtschaft

Motivation

- Elektroschrott ist der am schnellsten wachsende Abfallstrom
- Weltweit 53,6 Mio. t Elektroschrott jährlich – nur 17,4% weltweit recycelt
- ~ 50 Mrd. € Werte in Elektroschrott jährlich
- Re-Manufacturing v. a. in Luftfahrt, Automotive, elektrisches und elektronisches Equipment sowie Maschinenbau: wachsender Markt
- Recycling als Schlüssel für produzierenden Unternehmen, um Zugang zu Rohstoffen zu sichern



Recycling und Remanufacturing können den Energiebedarf insbesondere bei Metallen wie Al und Cu um über 90% reduzieren!

Kreislaufwirtschaft

Eingesammelte Mengen¹ in Deutschland und geschätzter enthaltender Wert²

	Gerätetyp	Sammelmenge 2021 (Tonne)
1	Wärmeüberträger	47.040
2	Bildschirme (<100cm)	14.261
3	Lampen	3.781
4a 4b	Großgeräte Photovoltaik	14.555
5	Kleingeräte	14.228
6	Kleine IT- und Kommunikationsgeräte	6.518



1) <https://www.stiftung-ear.de/de/service/statistische-daten/bestaetigte-abholungen>

2) Siderius, T., Zink, T., 2022. Markets and the Future of the Circular Economy. Circular economy and sustainability, 1–27.

Stand der Technik

EU PROJEKT "ADIR" – Next generation Urban Mining



**ADIR: Urban Recycling
Mobile Phone
PCB Extraction**

 *This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n° 680449.*

Stand der Technik

Apple - Daisy



<https://youtu.be/xQqSK6NUXtQ>

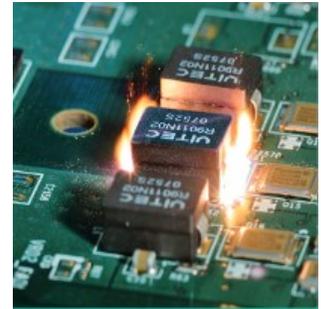
Kreislaufwirtschaft

Fazit „Stand der Technik“

- Wenige automatisierte Anlagen zur Demontage von einer Produktfamilie vorhanden
- Spezialisierung auf Produkttyp, -familie
- Hoher Engineeringaufwand
- Stofffeine Zerlegung erhöht spätere Nutzung

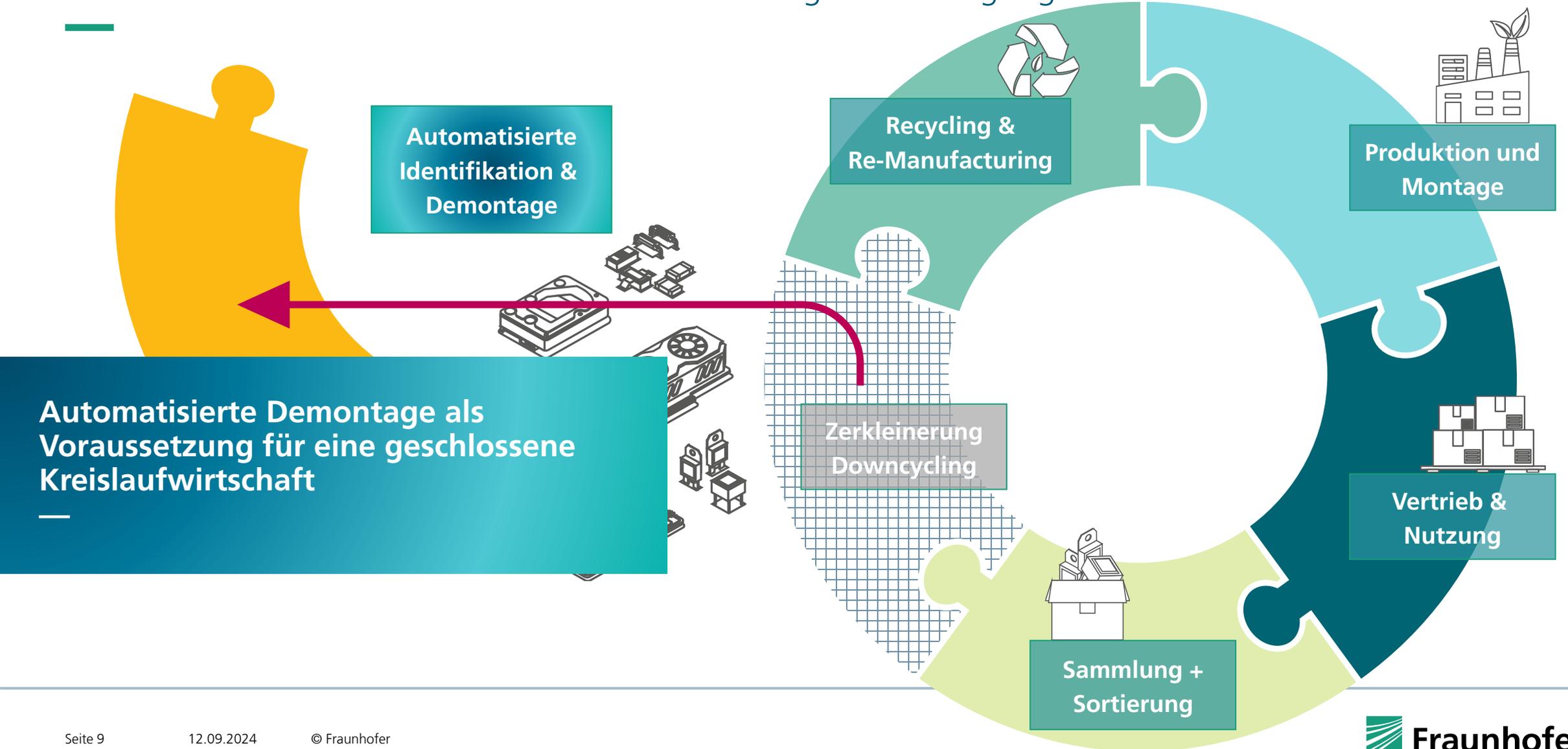
Demontage nicht nur eine Umkehr der ursprünglichen Produktion!

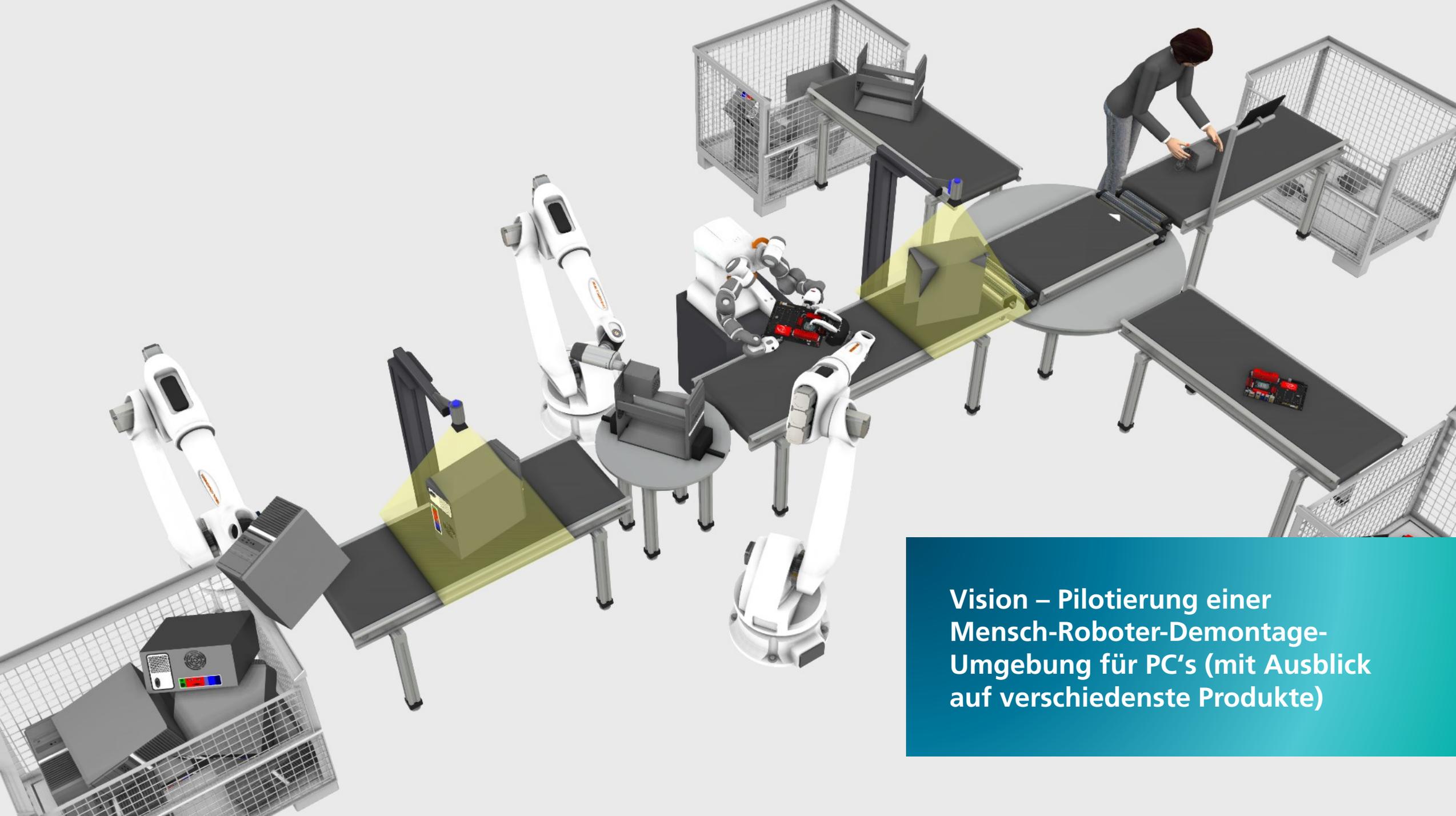
- Recycling/Remanufacturing brauchen neue Ansätze, um bei der unsicheren bzw. unvollständigen Datenlage der zu demontierenden Produkte/Objekte effizient nutzbar zu werden



Projektzielsetzung

Ziel: Kreisläufe durch automatisierte und zerstörungsfreie Zerlegung schließen

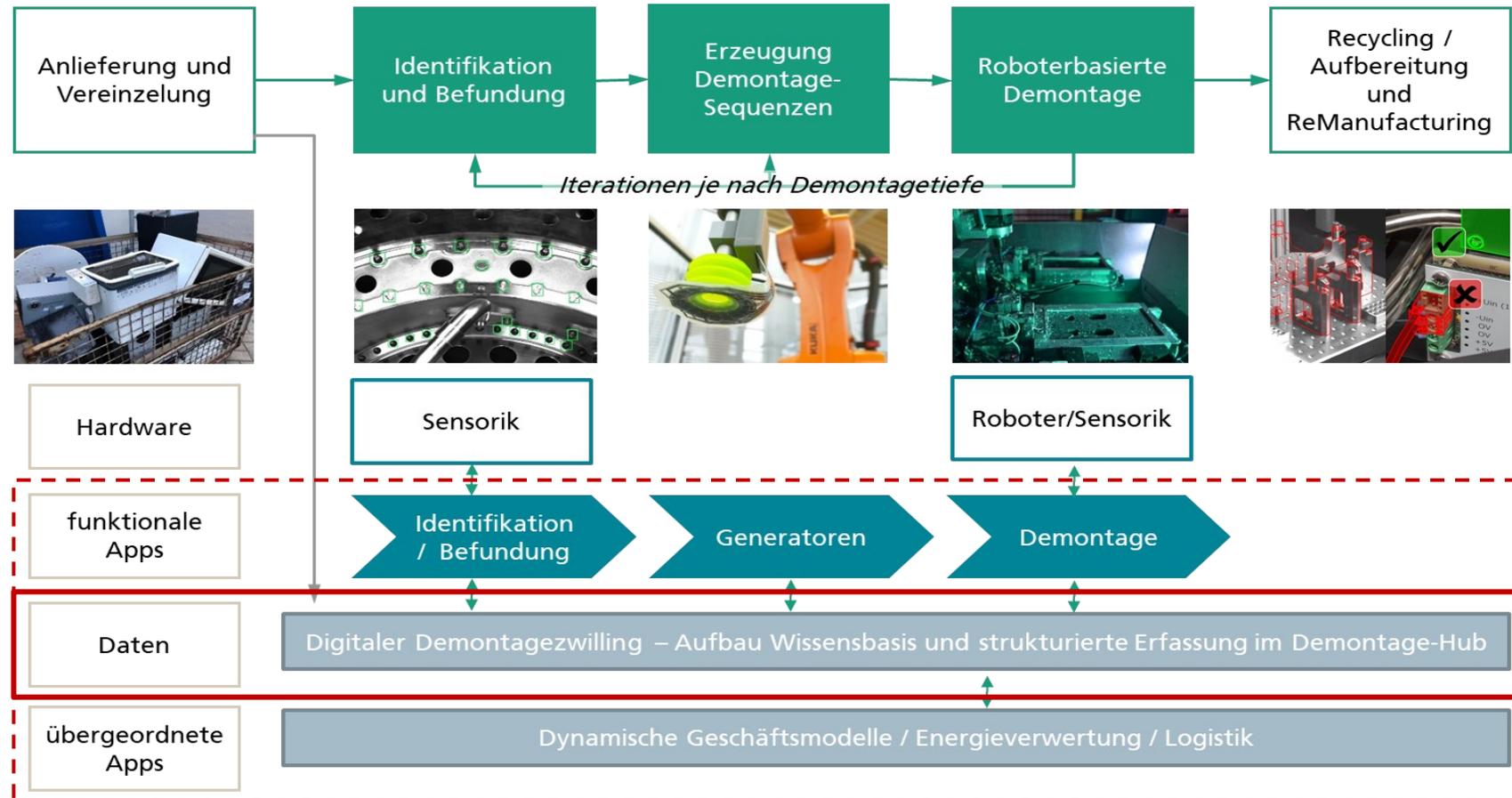




**Vision – Pilotierung einer
Mensch-Roboter-Demontage-
Umgebung für PC's (mit Ausblick
auf verschiedenste Produkte)**

Projektzielsetzung

iDear Projekt: Überblick



Projektzielsetzung

iDear-Projekt (Intelligente Demontage von Elektronik für Remanufacturing und Recycling)

Forschungsziele

- Weiterentwicklung von Identifikations- und Befundungstechnologien
- Automatisierte Generierung von Demontagesequenzen und Ableitung von Automatisierungsprogrammen
- Digitaler Demontage-Zwilling
- KI-basierte Bauteilzerlegung mit Robotern
- Dynamische Prozess- und Lieferkettensteuerung auf Basis aktueller Rohstoff- und Energiepreise sowie Lebenszyklusanalyse

Zentrale Forschungsfrage

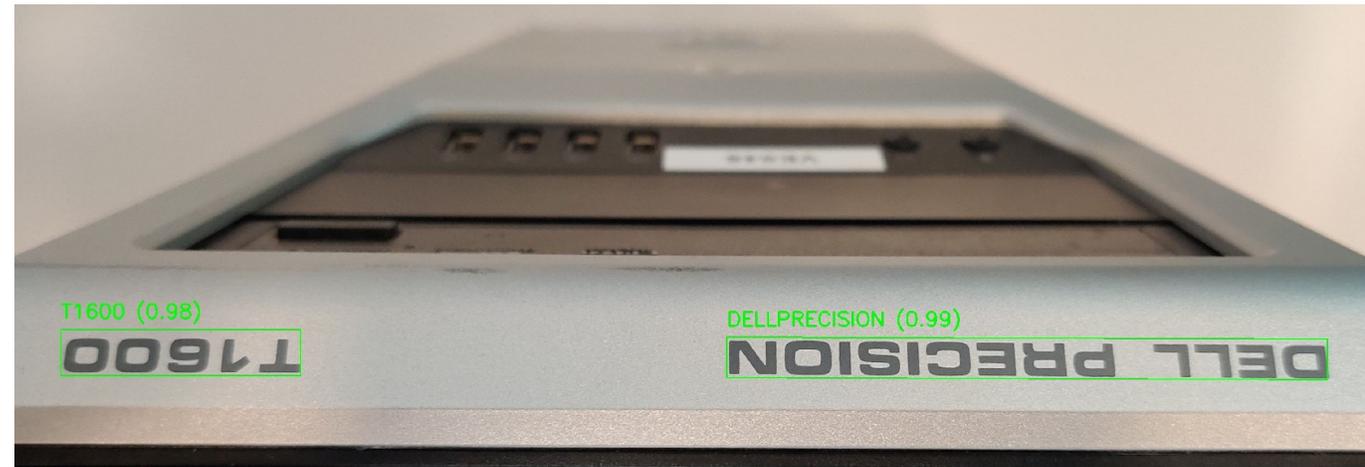
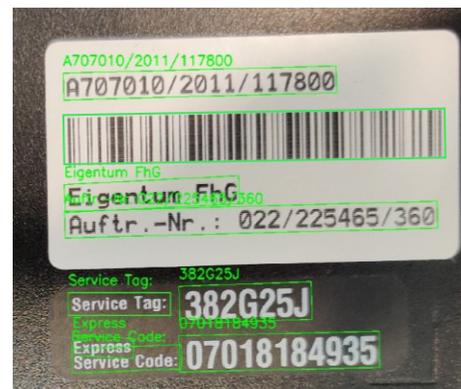
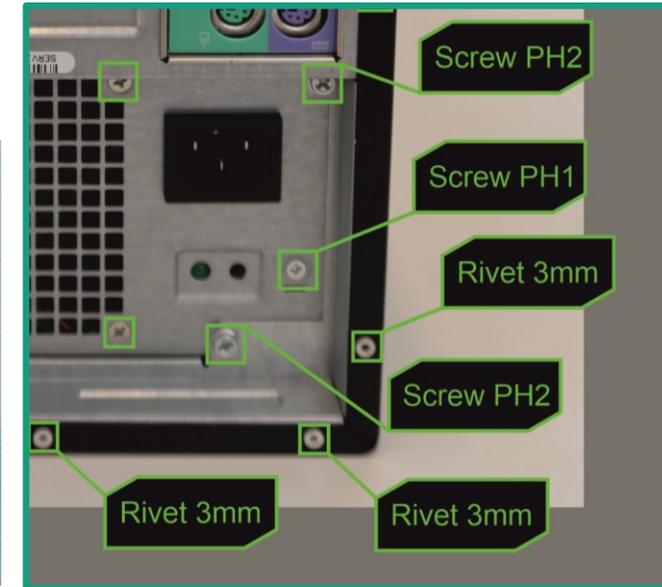
Wie können wir für hochwertige Elektroartikel durch intelligente und automatisierte Identifikation, Befundung und Demontage die Vision der Kreislaufwirtschaft wirtschaftlich erfüllen?

Projektzielsetzung

iDear – aktueller Stand

Identifikation und Befundung

- Nutzung vorhandener Beschriftung und Barcodes
- Trainieren KI-Modelle für Erkennung und Identifizierung von Schrauben
- Fokus aktuell: gängige PC Schrauben



Projektzielsetzung

iDear – aktueller Stand

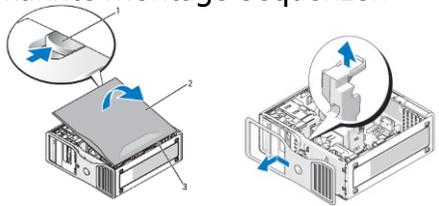
Von Produktdaten zur Demontagesequenz zu modellierbaren Roboterhandlungen

Relevante Inputs zur Herleitung von Demontage-Sequenz

Strukturierte Demontage-Sequenz

Zuordnung ausführbare Roboter-Skills

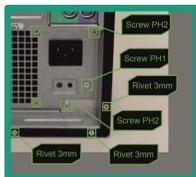
Verfügbarkeit von Demontage-Anleitungen / Bekannte Montage-Sequenzen



Manuelle Ausführung



Modellanalysen / Analyse eigener Daten



Nr.	Arbeitsschritt	Einzel-schritt	Verbindung		manueller Demontageprozess		Automatische Demontage in iDear planen				
			Komponente A	Komponente B	Prozessbeschreibung	verwendetes Werkzeug	iDear Verbindungsart A-> B	iDear Beschreibung der Verbindung	iDear Demontageprozess	iDear Roboterwerkzeug	Parameter des Roboterwerkzeugs
1	Abdeckung entfernen	1	Freigabevorrichtung	Abdeckung	Schwenken und Festhalten der Freigabevorrichtung (Griff)	Finger	Scharnier (Sonstige)	Federbelastet, Öffnungswinkel		Greifer	
		2	Abdecken B	Computer	Anheben der Abdeckung im Winkel von 45° und Entfernen vom Computer	Finger	Einlegen/Einsetzen (Zusammensetzen)	Schwenkwinkel, Entnahmerichtung		Greifer	
2	Frontverkleidung entfernen	3	Halteklammern	Computer	Drücken (Weghebeln) der Halteklammern vom Computer	Finger	Klemmen (An-/Empressen)			Greifer	
		4	Frontverkleidung	Computer	Drehen der Frontverkleidung vom Computer weg	Finger	Klemmen (An-/Empressen)			Greifer	
3	Erweiterungskarte entfernen	5	Kartenrückhalteriegel	Computer	Drücken der Freigabelasche am Kartenrückhalteriegel	Finger	Haken (Formschluss)	Drückrichtung und Länge		Greifer	
		6	Kartenrückhalteriegel	Computer	Schwenken der Kartenrückhalteriegel nach außen	Finger	Scharnier (Sonstige)	Schwenklasche und Winkel		Greifer	
		7	Entriegelungshebel	Computer	Drücken des Entriegelungshebels	Finger	Haken (Formschluss)	Drückrichtung und Länge		Greifer	
		8	Erweiterungskarte	Systemplatine	Ziehen der Karte nach oben	Finger	Stecker (Kraftschluss)	PCI Steckplatz auf Mainboard		Greifer	
-	Kühlkörper entfernen	-	-	-	wird übersprungen (und zusammen mit Systemplatine ausgebaut)						
4	Kabel lösen	9	verschiedene Kabel	Systemplatine	Abziehen der Kabel von Systemplatine (Eindrücken von Haken teilweise erforderlich)	Finger	Stecker (Kraftschluss)	(einige stecken sehr fest)		Greifer + Seitenschneller	
		10	Schrauben	Systemplatine	Herausschrauben der Schrauben Entnehmen der Schrauben	Schraubendreher Finger	Schrauben (An-/Empressen)	8 Stück, Größe PH2 (teilweise durch Kabel verdeckt)	Schraubendreher + Greifer		
5	Systemplatine entfernen	11	Systemplatine	Computer	Schieben der Systemplatine zur Vorderseite Schwenken der Systemplatine um 45° Herausheben der Systemplatine (keine lineare Bewegung wegen Anschlüsse möglich)	Finger	Einlegen, Einsetzen (Zusammensetzen)	störende Kabel im Weg, Anschlüsse ragen teilweise in Rückwand hinein		Greifer	

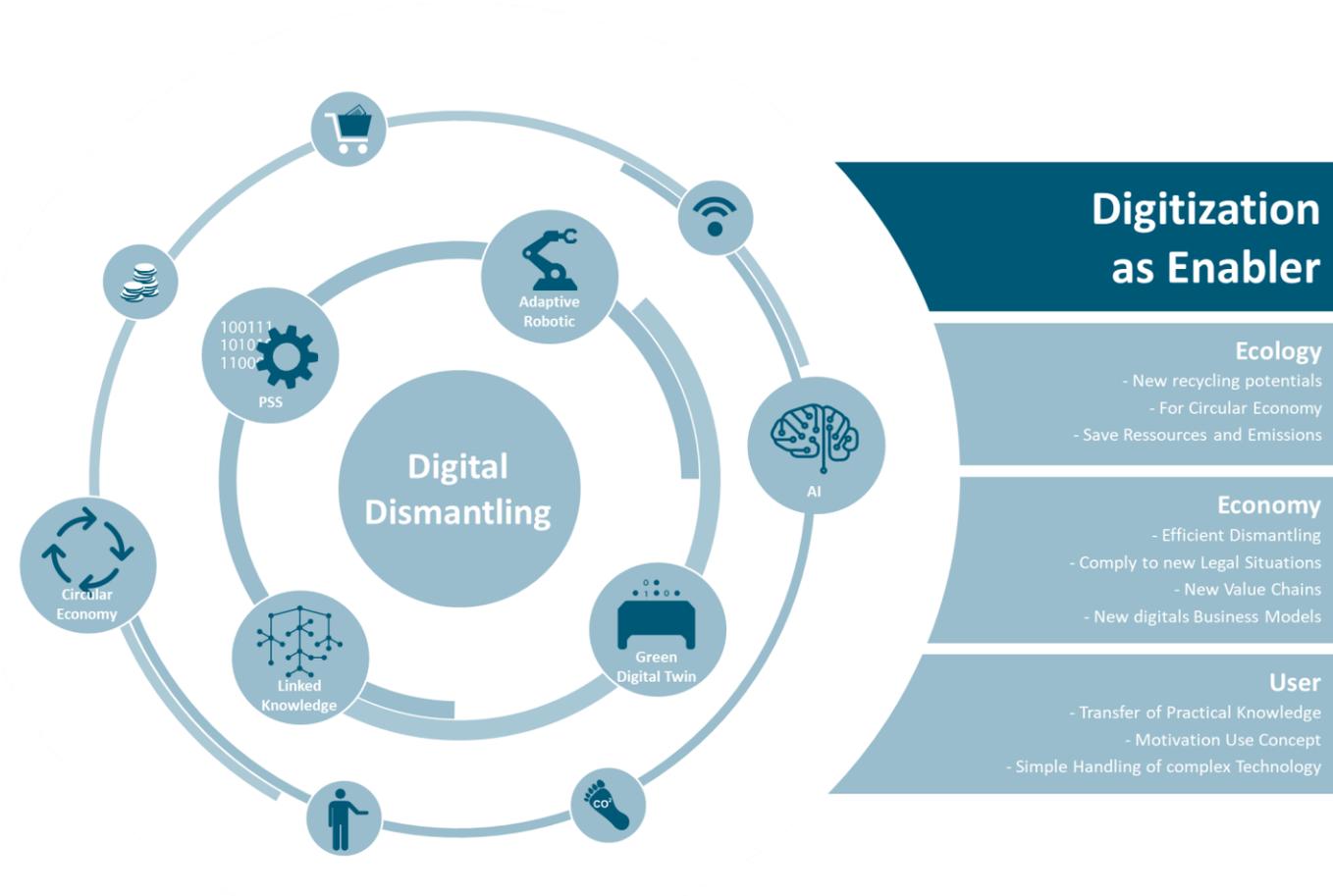
Aspekte zu verschiedenen Handlungsoptionen sowie Optimierung von Sequenzen wurden bisher nicht betrachtet

Skill-Beschreibung			
Step	Skill Name	Class	Description of Ability
1.1	Preposition Object	Perception / Manipulation	manipulate whole object by putting it into a suitable orientation based on estimate of initial pose
1.2	Locate Object	Perception	locate object and identify verbal landmarks
1.1	Actuate Mechanism	Manipulation	manipulate various types of simple mechanisms using force guidance
1.2	Pick and Remove	Manipulation	hybrid action of picking up an object whereby said object needs to be dislodged by operating a simple mechanism using force guidance
1.2	Place Bin	Manipulation	put an object into a bin
2.3	Bend and Break	Perception / Manipulation	permanently bend or even break latches or similar features by use of prying tools
2.2	Pick and Remove		
2.2	Place Bin		
3.3	Bend and Break		
3.6	Actuate Mechanism		
3.7-3.8	Count Objects	Perception	detect, count, and locate the number of objects of a given type near the designated location (may include parameter for initial guesses)
3.7-3.8	Repeat for All	logic	control logic modeled as skill block and includes combinatorial optimization strategies (using dynamically generated list or fixed parameter)
3.7	Actuate Mechanism		
3.8	Pick and Remove		
3.8	Place Bin		
4.0	Repeat for All		
4.9	Cut Cables at Connector	Perception / Manipulation / AI	identify connector/socket of given type near the designated location and cut cable close to the connector
5.10	Count Objects		
5.10	Uncrew	Perception / Manipulation	remove threaded fastener of designated type near designated location
5.10	Cleanup Workpiece	Manipulation	clean up by removing loose parts like screws from the workpiece
5.11	Pick and Remove (advanced)	Manipulation / AI	advanced version of the similar skill used to solve more complicated removal operations
5.11	Place Bin		

“Automated disassembly of e-waste—requirements on modeling of processes and product states” <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1303279>

Projektzielsetzung

iDear – Digitaler Zwilling für Kreislaufwirtschaft



Digitale Zwillinge für

- Produkt
- Prozesse
- Ressourcen
- Praxiswissen

Zielsetzung für DZ

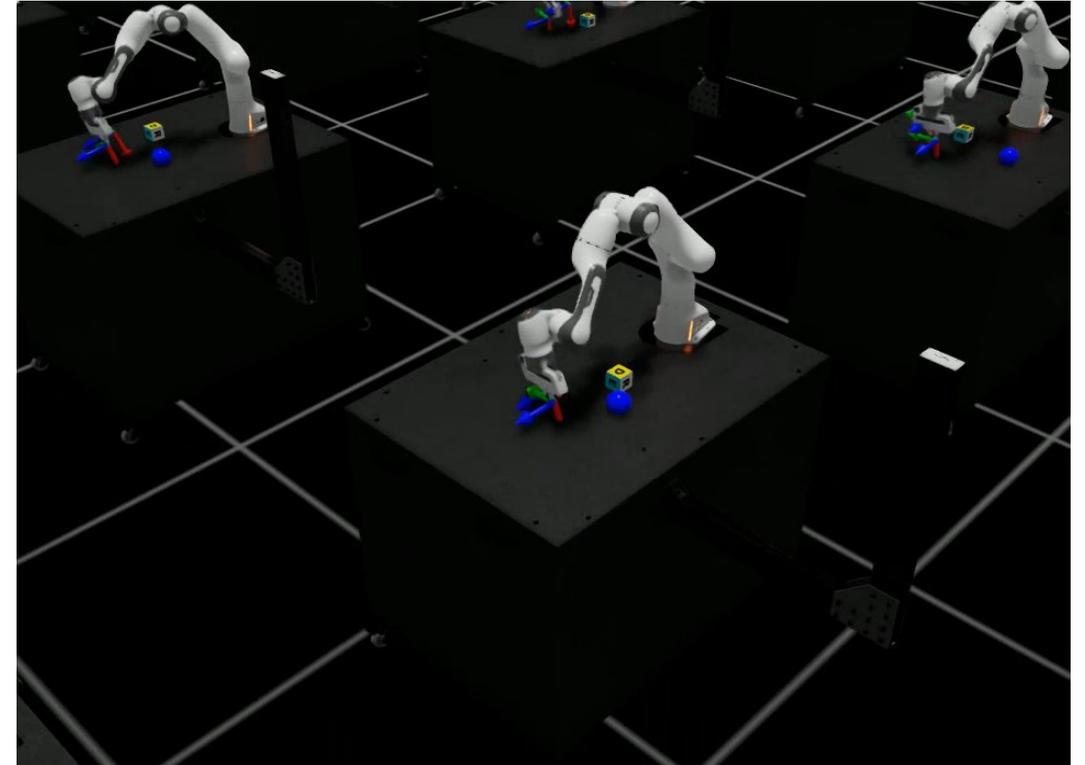
- Ermöglichung der Nutzung von Produktdaten
 - Bei verschiedene Phasen der Demontage
 - Aus dem Produktlebenszyklus DZ, falls vorhanden
- Ermöglichung einer flexiblen Prozessanpassung basierend auf:
 - Wissen aus früheren Demontageprozessen
 - Aktuelles Kosten-Nutzen-Verhältnis
- Ermöglichung hochflexibler Robotik und Einbindung von Praxiswissen

Projektzielsetzung

iDear – aktueller Stand

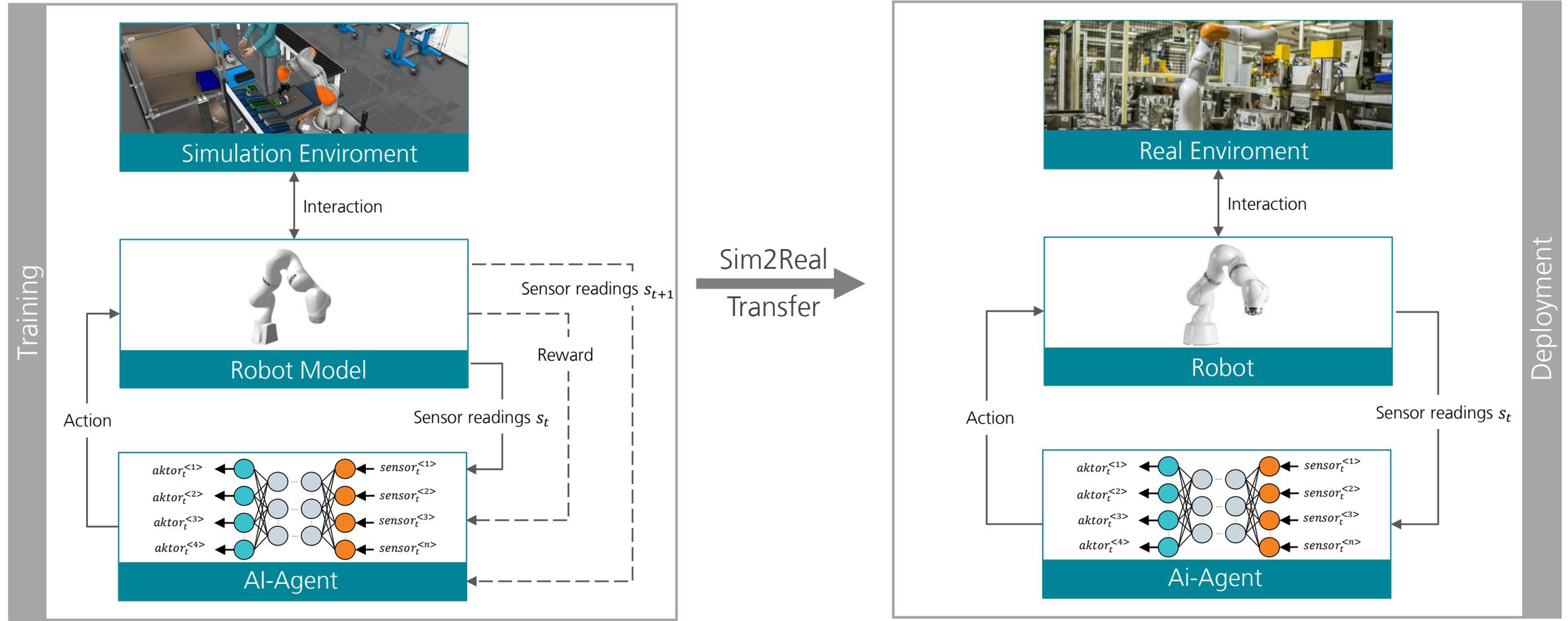
KI für roboterbasierte Demontagehandlungen

- Nutzung Simulation zur Erzeugung von Daten
- künstlich erzeugte Daten dienen als Basis für Reinforcement Learning Algorithmen für komplexe, nicht traditionell programmierbare Handlungen
- Transfer Learning für Nutzung bei realen Robotern



Projektzielsetzung

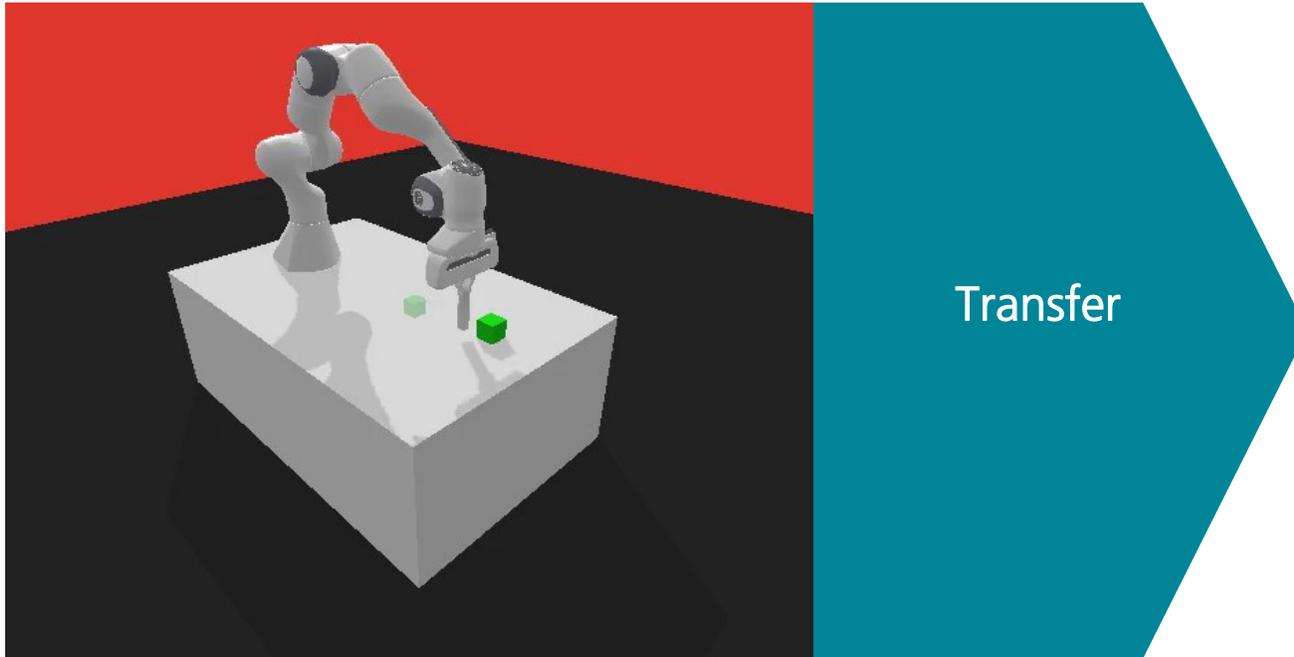
iDear - KI für roboterbasierte Demontagehandlungen



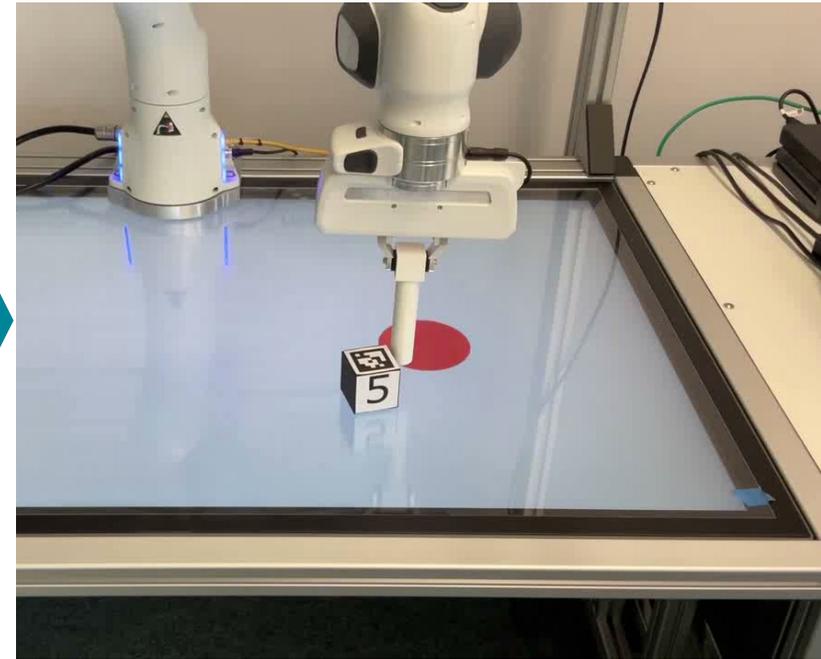
Projektzielsetzung

Demonstration: Cube Push

Training

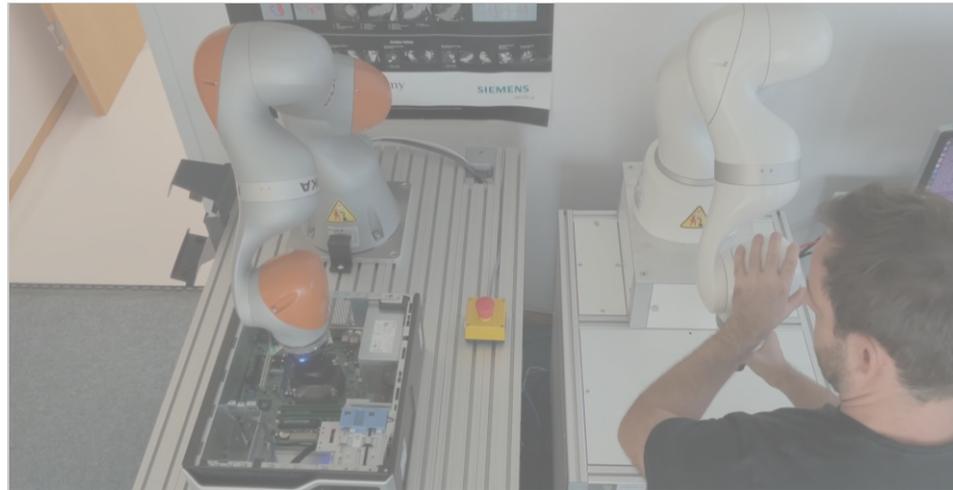
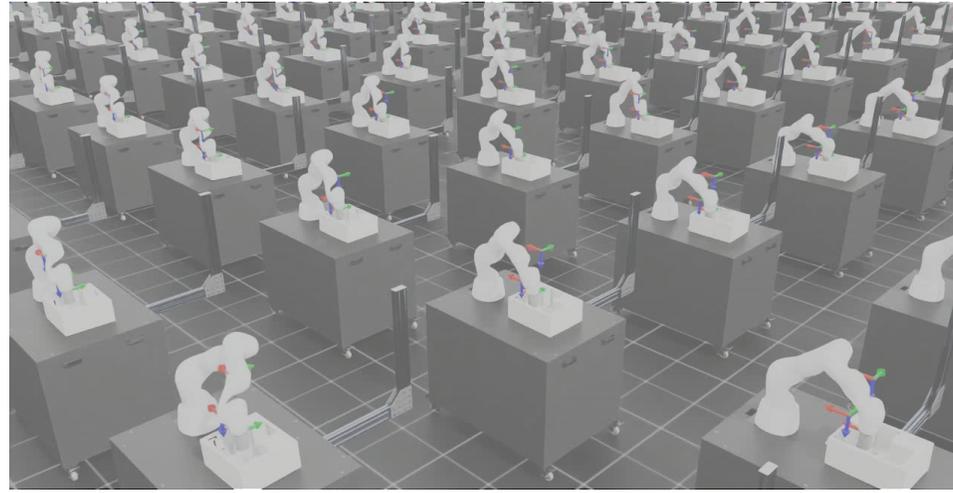


Deployment



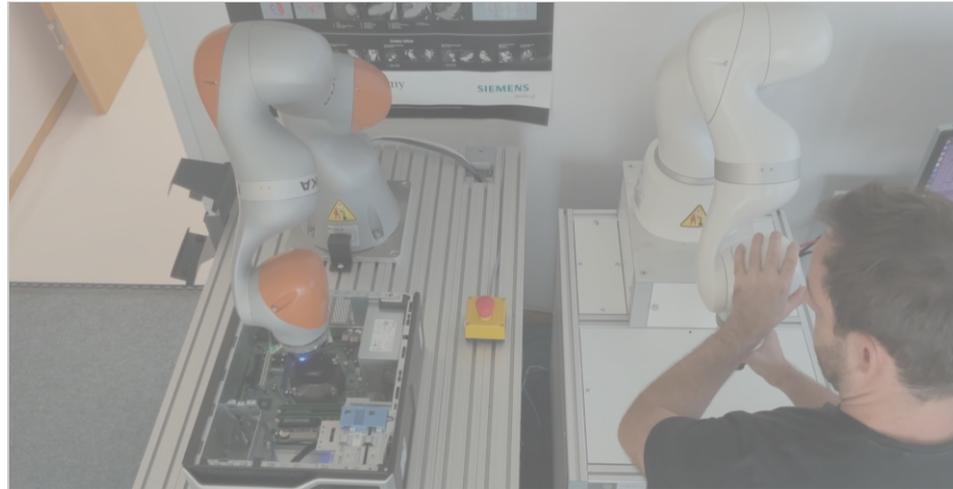
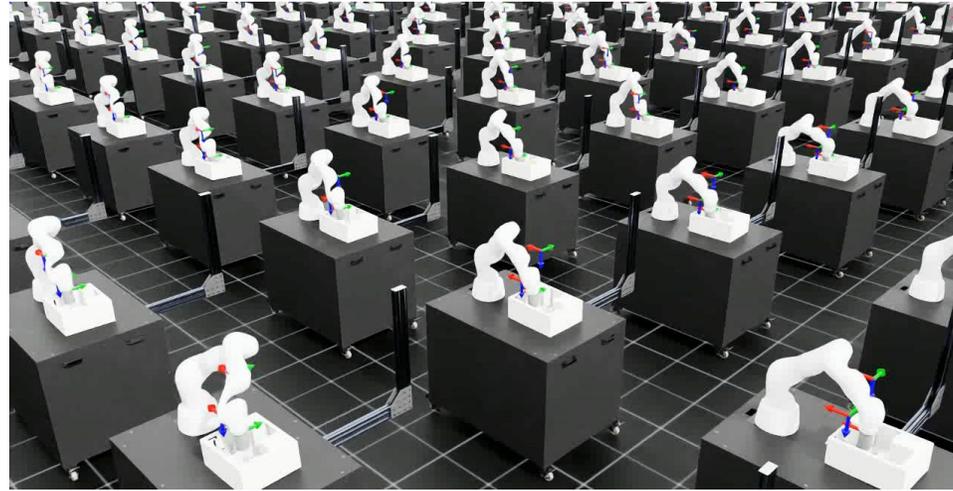
Projektzielsetzung

Demonstration: Mainboard Disassembly



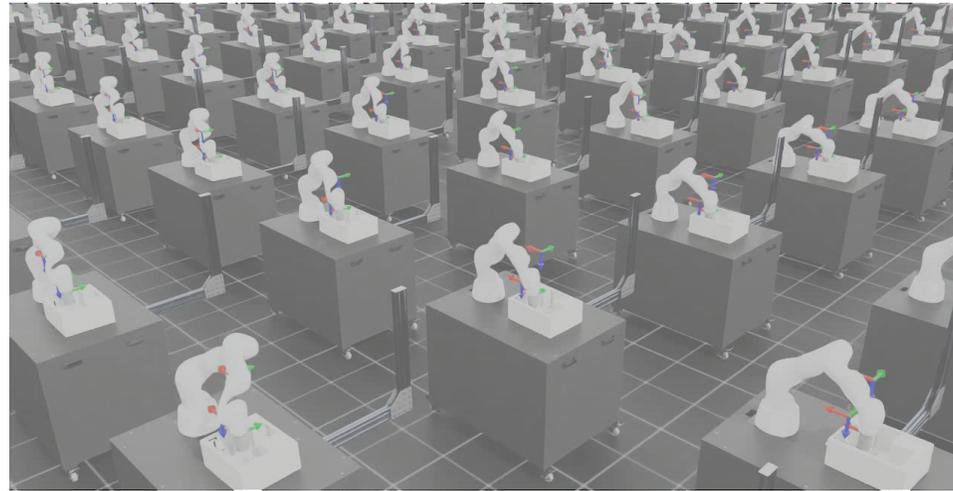
Projektzielsetzung

Demonstration: Mainboard Disassembly



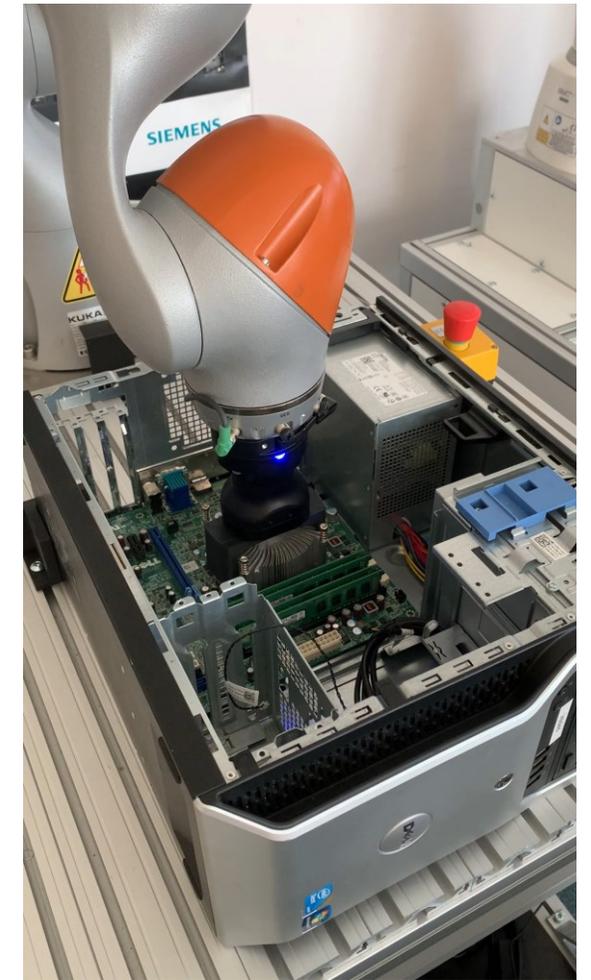
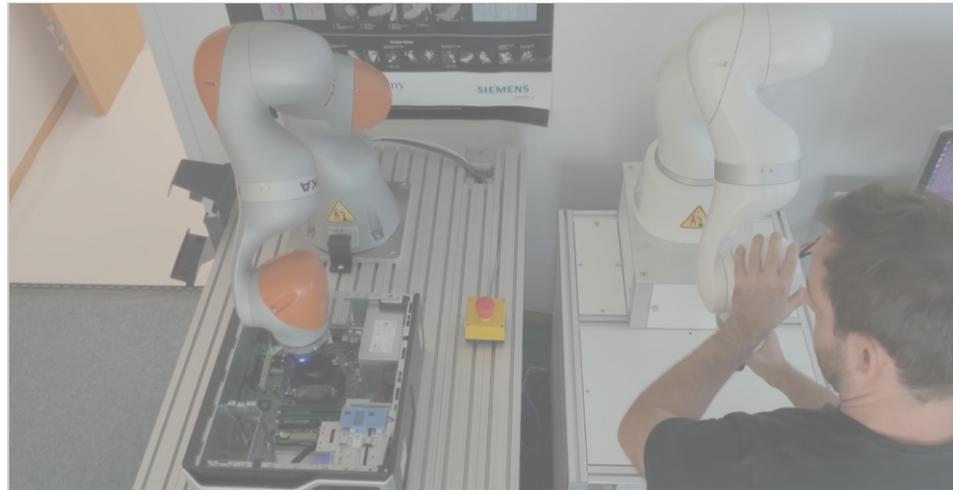
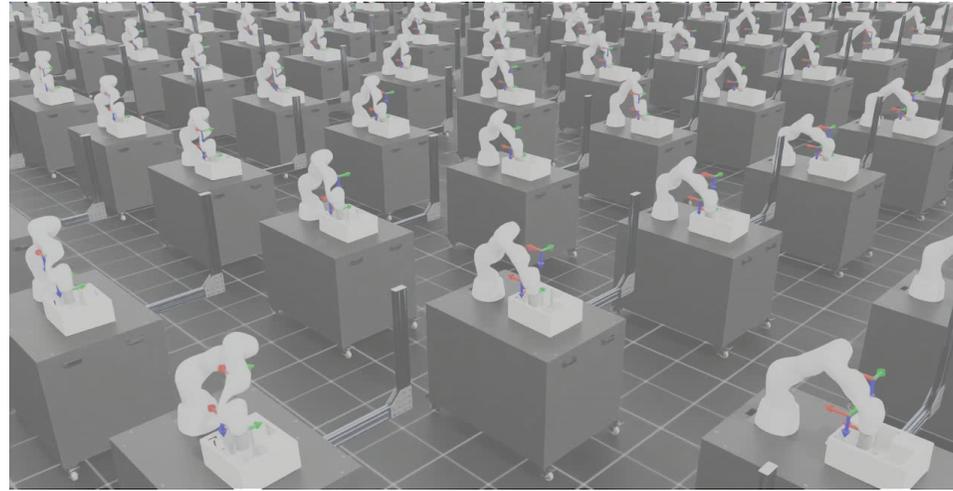
Projektzielsetzung

Demonstration: Mainboard Disassembly



Projektzielsetzung

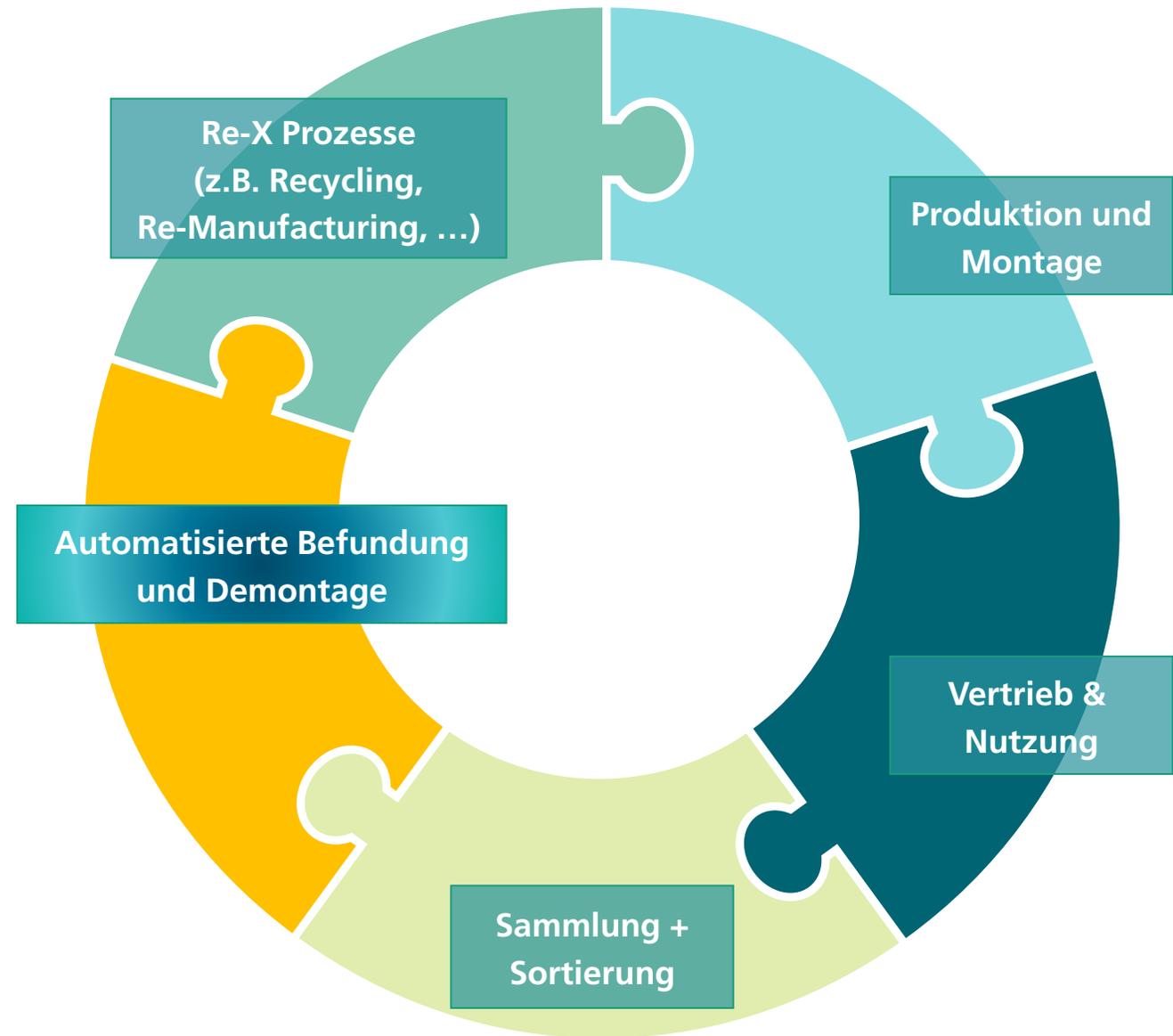
Demonstration: Mainboard Disassembly



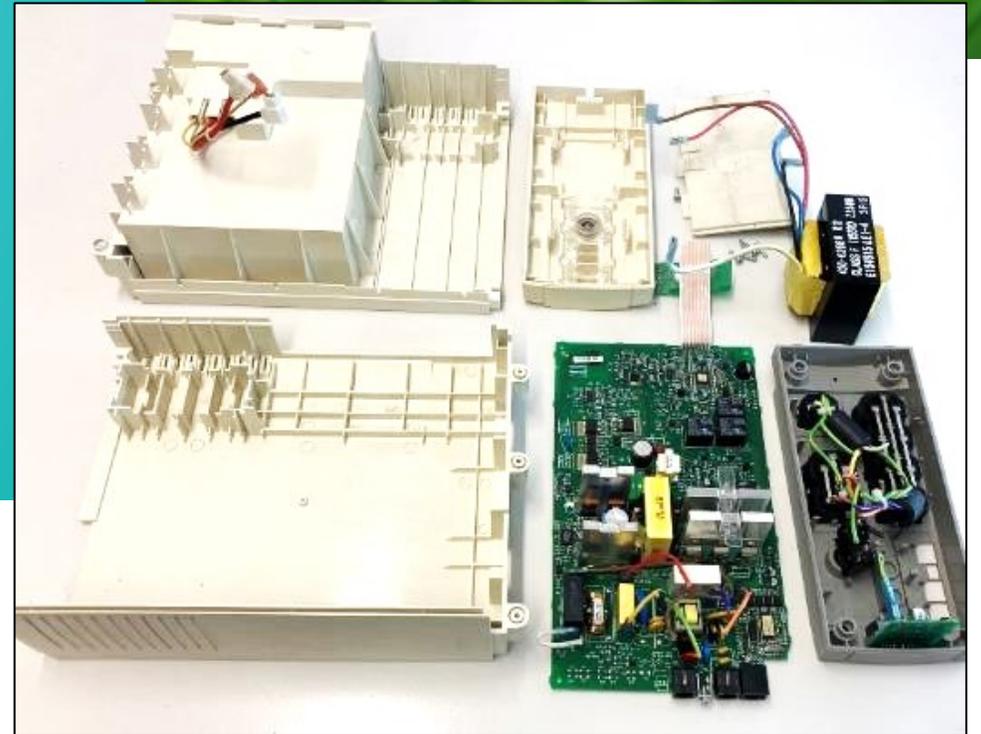
Potenziale und Herausforderungen

Zusammenfassung

- Automatisierte Demontage als technologische Antwort auf aktuelle Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft
- Sehr hohe Produktvielfalt -> keine sichere Datenbasis
- Digitaler Demontagezwilling: Zusammenführen der Produkt- und Demontageinformationen aus den Demontageprozessen (manuell und automatisiert), Abbildung von Erfahrungswissen
- Vielfältige Forschungsthemen aus den Bereichen IT, Sensorik, Robotik, KI, Geschäftsmodelle
- Zukunft: demontagegerechtes Produktdesign ...



Fragen?



Kontakt

Dr. José Saenz

Robotersysteme | Gruppenleiter Assistenz-, Service- und Industrieroboter

Tel. +49 0391 4090-227

jose.saenz@iff.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung

Sandtorstraße 22

39106 Magdeburg

www.iff.fraunhofer.de

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit
