



**Wuppertal
Institut**



Technologiezentrum

Potenzial-Landkarte der Nutzung von Künstlicher Intelligenz in einem zirkulären Metallmanagement



Dirk Holtmannspötter, Udo Heugen, Oliver S. Kaiser, Manuel Bickel

Potenzial-Landkarte der Nutzung von Künstlicher Intelligenz in einem zirkulären Metallmanagement

im Verbundprojekt MetallKIDD

Design eines zirkulären Metallmanagements mittels Metallstrategie und KI-Unterstützung für ein Digitales Deutschland

Herausgeber:
VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das dieser „Potenzial-Landkarte“ zugrunde liegenden Forschungsvorhaben im Verbundprojekt „MetallKIDD -Design eines zirkulären Metallmanagements mittels Metallstrategie und KI Unterstützung für ein Digitales Deutschland“ mit dem Förderkennzeichen FKZ: 67KI2046 wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz im Rahmen der Förderinitiative „KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen“ gefördert. Gefördert werden Projekte, die Künstliche Intelligenz nutzen, um ökologische Herausforderungen zu bewältigen und beispielgebend sind für eine umwelt-, klima- und naturgerechte Digitalisierung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Verbundkoordinator: Dr. Manuel Bickel (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH)

Teilprojektleitung im Verbundprojekt: Dr. Udo Heugen (VDI Technologiezentrum GmbH)

Zukünftige Technologien Nr. 110

Düsseldorf, im Oktober 2025

ISSN 1436-5928

Zitierempfehlung:

Holtmannspötter, D., Heugen, U., Kaiser, O. S., Bickel, M. (2025), „Potenzial-Landkarte der Nutzung von Künstlicher Intelligenz in einem zirkulären Metallmanagement“, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 110, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/metallkidd-potenzial-landkarte>

Titelbild: Getty Images/ Eloi_Omella

Das Titelbild illustriert Abschnitt 4.8: Autonome Drohnen zur Inspektion von Windkraftanlagen.

Alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	6
II. Vorgehensweise und Recherchestrategie	7
III. Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit	9
1. Rethink (Überdenken)	11
1.1 Rethink - KI in Forschung und Entwicklung	11
1.1.1 KI in der Materialforschung	12
1.1.2 Maschinelles Lernen für Energiematerialien	13
1.1.3 Digitale Plattform für Batteriematerialdaten	14
1.1.4 Battery Interface Genome - Materials Acceleration Platform (BIG-MAP)	15
1.1.5 Maschinelles Lernen für bessere Magnetlegierungen	16
1.1.6 Schnelleres Design von Experimenten zum 3D-Druck durch KI	17
1.1.7 KI zur Beschleunigung des Chip-Designs	18
1.1.8 Bilderkennung in der Entwicklung von verbessertem Korrosionsschutz	19
1.1.9 KI in einer Forschungsagenda der Prozessindustrie	20
1.2 Rethink - KI in neu gedachten Betriebsabläufen	21
1.2.1 Fallstudie: KI und zirkuläre Wertschöpfung in verschiedenen Unternehmensteilen	22
1.2.2 KI zur Qualitätskontrolle in der Leiterplattenproduktion	23
1.2.3 Prädiktive Qualitätssicherung - KI zur Unterstützung auf dem Weg zur Nullfehlerproduktion von Metallen	24
1.2.4 Mit maschinellem Lernen Ausschuss vermeiden in der Stahlherstellung	25
1.2.5 Computer-Vision an verschiedenen Stellen in der zirkulären Wertschöpfung	26
1.2.6 KI für industrielle Symbiose in Korea	27
1.3 Rethink - KI für bessere oder automatisierte Logistik	28
1.3.1 KI-basierte Lösung zur Rückverfolgbarkeit der Lieferkette von Traktionsbatterien	28
1.3.2 KI in der Rücknahmelogistik	29
1.3.3 KI-Entscheidungsmodell zur Lieferkettenplanung	30
1.4 Rethink - KI auf Marktplätzen und Plattformen	31
1.4.1 Digitaler Marktplatz für Metallhandel	32
1.4.2 Datenplattform für den Abfallhandel	33
1.4.3 Digitale Abfallkarte	34
1.4.4 KI-Plattform fördert lokales Einkaufen	35
1.4.5 KI auf Austauschplattform zur zirkulären Wertschöpfung	36
2. Redesign (Designüberarbeitung)	37
2.1 Batteriedesign, das auf automatisierte Montage und Demontage ausgelegt ist	38
2.2 KI-basierte Batterieüberwachung zur Verlängerung der Nutzungsdauer	39
2.3 KI-basierter, digitaler Zwilling für Batterien mit Versicherungskomponente	40
2.4 KI zur Optimierung langlebiger Stahlbauteile	41

2.5 KI-basierte Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten	42
2.6 KI-unterstützte Sortierungstechnologien auf Basis einer „Lebenszyklusakte“	43
3. Repurpose, Reuse and Share (Neue Verwendungszwecke und weitere Nutzungsformen)	44
3.1 Maschinelles Lernen bei der Energie-Speicherung mit Second-Life-Batterien aus Elektrofahrzeugen	45
3.2 KI zur automatisierten Beurteilung des Zustands gebrauchter Elektronik	46
3.3 Großgerät zur automatisierten Fahrzeuergfassung und -bewertung	47
3.4 Übersichtsartikel zu KI in der Sharing Economy	48
3.5 Reuse, Recycling und Upcycling durch KI-unterstützte Sortierung	49
3.6 Wiederverwendung im Bausektor einfacher durch KI	50
3.7 KI für einen sichereren Betrieb von Makerspaces	51
4. Repair (Reparatur)	52
4.1 Ersatzteilerkennung anhand von Handy-Fotos per KI	53
4.2 Cloud-Fertigung von Bauteilen mit KI-basierter Preisermittlung	54
4.3 Ersatzteillogistik mit maschinellem Lernen zur Bestandsprognose	55
4.4 KI-Softwaretool zur Korrosionsvorhersage	56
4.5 Prädiktive Maschinenwartung mit KI-Unterstützung	57
4.6 KI erfasst akustische Signale zur verbesserten Wartung von Arbeitsmaschinen	58
4.7 KI optimiert Austausch von Zinkanoden in der Produktion von Stahlblechen	59
4.8 Autonome Drohnen zur Inspektion von Windkraftanlagen	60
5. Remanufacture (Refabrikation)	61
5.1 Teileaufbereitung im Fahrzeugbau	62
5.2 Übersichtsartikel - Intelligente Systeme additiver Fertigung zur Reparatur und Refabrikation	63
5.3 KI-gestützte Identifikation und Bewertung von Altteilen	64
5.4 Automatisierung der Demontage beim Remanufacturing von Elektrokleingeräten	65
5.5 Autonome Robotik für die Demontage	66
5.6 Big Data und KI im Remanufacturing von Industrieausrüstung	67
5.7 Demonstrator-Fabrik für Remanufacturing	68
6. Recycle (Rezyklierung)	69
6.1 KI-basierte Identifikation und Bewertung von Metallschrott	70
6.2 Digitalisierung mechanischer Sortierprozesse beim mechanischen Batterierecycling	71
6.3 Automatisierte Demontage von Lithium-Ionen-Batterien für das Recycling	72
6.4 Big Data im Recycling von Lithium-Ionen-Batteriezellen	73
6.5 Intelligenter Abfallbehälter für verbessertes Recycling	74
6.6 KI-basierte Datenanalyse für Müllsortieranlagen	75
6.7 KI-basierte Datenanalyse und Robotik in der Müllsortierung	76
6.8 Autonomer Roboter für die Gewässerreinigung	78

7. Recover (Wiedergewinnung)	79
7.1 Intelligente Aluminium-Recycling-Schmelze	80
7.2 KI-Optimierung der Sekundärrohstoffnutzung in der Gießerei- und Stahlindustrie	81
7.3 Intelligente Echtzeitanalyse flüssiger Metalle	82
Anhang: Am Rand der Potenzial-Landkarte	83
A Mining 4.0 - Primärrohstoffgewinnung - nachhaltiger und effizienter mit KI	83
A.1 Extraktion von Metallen aus Rückständen der Meerwasserentsalzung	84
A.2 KI und Spektroskopie in der Lithium-Gewinnung	85
A.3 Intelligentes Cyanid-Monitoring in der Goldgewinnung	86
A.4 KI-optimierte Prozessierung von Wolfram- und Tantal-Erzen	87
A.5 Internet der Dinge, Drohnen, KI im Bergbau	88

I. Einleitung

Die vorliegende „Potenzial-Landkarte der Nutzung von Künstlicher Intelligenz in einem zirkulären Metallmanagement“ weist auf bereits realisierte und potenzielle Nutzungen Künstlicher Intelligenz (KI) hin, die dazu beitragen können, ein zirkuläres Metallmanagement zu etablieren.

Aus dieser Zielsetzung wurde eine Recherchestrategie entlang der drei Suchkonzepte

1.) „Künstliche Intelligenz“ (KI), 2.) „Zirkuläre Wertschöpfung“ (ZW) und 3.) „Metalle“ abgeleitet und umgesetzt: 1.) KI: Der Begriff Künstliche Intelligenz wird breit gedacht und umfasst sowohl alle Formen von KI-Software als auch „KI-Hardware“ – besonders in der Form autonomer Robotik.¹ 2.) ZW: Anwendungen in wenigstens einem Teilbereich der ZW² und 3.) Metalle: Bezug zu Metallen in reiner und verarbeiteter Form. Die identifizierten Anwendungsbeispiele müssen Bezüge zu allen drei Suchkonzepten aufweisen und werden jeweils anhand der folgenden R-Strategien³ einsortiert: 1. Rethink; 2. Redesign; 3. Repurpose, Reuse, Share; 4. Repair; 5. Remanufacture; 6. Recycle; 7. Recover. Die Darstellung der einzelnen Beispiele erfolgt anhand eines einheitlichen Profils mit Titel, Angaben zum Akteur, Kurzbeschreibung (einschließlich Bezug zu den drei Suchkonzepten), Quellenangaben, Querbezügen zu anderen R-Strategien, ggf. Nennung bestimmter Metalle und Einordnung zum Reifegrad.

Die Angaben in den Profilen stützen sich auf die zitierten Quellen und beruhen zumeist auf Selbstaussagen der jeweiligen Akteure. Diese wurden seitens des Projektteams einer allgemeinen Plausibilitätsprüfung unterzogen, was zur Identifikation von Potenzialen angemessen erscheint.

Weil sich die Landkarte auf Nutzungs- bzw. Anwendungspotenziale bezieht, wurden in der Regel Beispiele von Unternehmen, Start-ups oder aus anwendungsorientierten Projekten höher gewichtet als Beispiele von Potenzialaussagen aus der wissenschaftlichen Literatur.⁴

Die Recherche erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit – so gäbe es bspw. im Bereich der „prädiktiven Wartung“ noch wesentlich mehr einschlägige Akteure und Projekte. Vielmehr wurde das Ziel verfolgt, für möglichst viele verschiedene Facetten und Formen der KI-Nutzung im betrachteten Kontext wenigstens ein treffendes Beispiel zu finden und so die zu erkundende Landschaft in ihrer Breite zu erfassen.⁵

¹ Zur genaueren Begriffsdefinition siehe: Holtmannspötter, Heimeshoff, Haucap et al. (2023): Soziale Marktwirtschaft in der digitalen Zukunft, Nomos, Baden-Baden; vgl. Abschnitt 3.1 Autonome Systeme und Abschnitt 3.7 Künstliche Intelligenz; <https://doi.org/10.5771/9783748934400>.

² Konkrete Beispiele benennt bspw. Suphichaya Suppipat, Allen H. Hu (2022): A scoping review of design for circularity in the electrical and electronics industry, Resources, Conservation & Recycling Advances, Bd. 13, 200064, <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200064>. siehe Appendix A.: Circularity terminology.

³ Zu verschiedenen Formen, Entwicklungsstufen und Varianten vgl. Denise Reike, Walter J. V. Vermeulen, Sjors Witjes (2018): The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options, Resources, Conservation and Recycling, Bd. 135, S. 246-264, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.

⁴ Hinweise auf identifizierte Übersichtsarbeiten sind im Folgenden an geeigneten Stellen enthalten – allerdings ebenfalls ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Ein recht allgemeiner Überblick zur wissenschaftlichen Literatur ist bspw. enthalten in: Abdulla Ali Noman, Umma Habiba Akter, Tahmid Hasan Pranto & AKM Bahalul Haque (2022): Machine Learning and Artificial Intelligence in Circular Economy: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review, Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC), <https://doi.org/10.33166/AETiC.2022.02.002>.

⁵ Dabei impliziert die Auswahl eines bestimmten Beispiels für einen gegebenen „Punkt“ der Landkarte keinerlei Wertung im Vergleich zu möglichen anderen Beispielen für den gleichen „Punkt“.

II. Vorgehensweise und Recherchestrategie

Wie in der Einleitung oben erläutert, wurde die Zielsetzung des Projektes in eine Recherchestrategie entlang von drei Suchkonzepten übertragen: 1.) Künstliche Intelligenz und Autonome Robotik. 2.) Zirkuläre Wertschöpfung (ZW) und R-Strategien sowie 3.) Metalle in reiner und verarbeiteter Form.

Internetrecherche

Konkret wurde eine Internetrecherche durchgeführt. Um den Aufwand der Sichtung von Treffern und Dokumenten zu begrenzen und zugleich eine hohe Qualität der gesichteten Informationen sicherzustellen, wurden zunächst zu jedem der Suchkonzepte führende Institutionen, Organisationen und Einrichtungen sowie entsprechende Programme zur Forschungsförderung identifiziert und ausgewählt, wie bspw. die folgenden:

1. KI und autonome Systeme: Plattform Lernende Systeme, <https://www.plattform-lernende-systeme.de>; Plattform Industrie 4.0; AI, Data and Robotics Partnership, <https://ai-data-robotics-partnership.eu> (diese bspw. mit Verweis auf European Partnership „Made in Europe“ und „Processes4Planet – Transforming the European Process Industry for a sustainable society“); Computing Community Consortium, „A Roadmap for US Robotics“ und „A 20-Year Community Roadmap for Artificial Intelligence Research in the US“; NITRD – Networking and Information Technology Research and Development, „The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan“, Acatech, Fachforum Autonome Systeme; BDVA und euRobotics, „Strategic Research, Innovation and Deployment Agenda for an AI PPP“;

2. Zirkuläre Wertschöpfung: Europäische Kommission: Circular Economy Action Plan, https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en; UNCTAD: Circular Economy, <https://unctad.org/topic/trade-and-environment/circular-economy>; VDI: Zirkuläre Wertschöpfung, <https://www.vdi.de/themen/zirkulaere-wertschoepfung>; Circular Economy Initiative Deutschland (CEID), <https://www.circular-economy-initiative.de>; Ellen MacArthur Foundation, <https://ellenmacarthurfoundation.org>; MWIKE: Zirkuläre Wertschöpfung, <https://www.wirtschaft.nrw/zirkulaere-wertschoepfung>.

3. Metalle: EU-Studien zu kritischen Materialien; Lobbyliste – Verbände der Metallverarbeitung; Forschungsinstitutionen (MPG: z. B. Institut für Eisenforschung; Fraunhofer-Institute; Helmholtz-Institute, www.hzdr.de/hif; BGR, GERRI „German Resource Research Institute“); BMBF-Programm MaterialDigital, <https://www.material-digital.de>; EIT-KIC: Raw Materials, <https://eit.europa.eu/our-communities/eit-rawmaterials>; Minerals, Metals & Materials Society, <https://www.tms.org>.

Ausgehend von diesem Satz an initialen Quellen wurden die dort jeweils verfügbaren Publikationen, Projekte und Nachrichten darauf gesichtet, ob und inwieweit dort Hinweise enthalten waren, die zu den jeweils anderen beiden Suchkonzepten passen. Das heißt, bei einer Organisation aus dem Bereich der zirkulären Wertschöpfung wurde geprüft, ob es Publikationen, Projekte oder Nachrichten gibt, die einen Bezug zu KI und/oder zu Metallen aufweisen. Diese wurden dann händisch auf relevante Potenziale ausgewertet.

Schneeball-Prinzip

Bei jedem identifizierten Treffer wurde das Prinzip der Schneeball-Recherche angewendet: Wenn also ein Beispiel in einer Quelle identifiziert werden konnte, wurde überprüft, ob und inwieweit sich aus diesem Beispiel auch neue, einschlägige Suchbegriffe und/oder Recherchequellen ableiten lassen. Zudem wurde das Schneeball-Prinzip auf verlinkte, inhaltlich passende Organisationen und/oder Programme angewendet.

Hohe Gewichtung von Start-ups

Bei der Auswahl von Suchtreffern zur Aufnahme in die Landkarte und zur Operationalisierung des Begriffs „Potenzial“ wurden Start-ups hoch gewichtet. Gegenüber der Äußerung und Benennung einer Idee oder eines Konzepts in der wissenschaftlichen Literatur bestehen damit zwei Vorteile: 1. hat ein Gründungsteam die Geschäftsidee als so überzeugend eingeschätzt, dass es sich zu einer Unternehmensgründung entschlossen hat, und 2. konnte bestenfalls das Gründungsteam zusätzlich Investoren von der Geschäftsidee überzeugen und für eine Investition gewinnen. Aufgrund dieser beiden Vorteile können Start-ups als besonders belastbare Indikatoren für „Potenzial“ angesehen werden. Eine eigene Prüfung, ob und in welchem Umfang eine Geschäftstätigkeit bzw. ein Angebot an Produkten und Dienstleistungen besteht, wurde nach Plausibilität anhand des Webauftritts des jeweiligen Start-ups eingeschätzt.⁶ Um dieser Gewichtung von Start-ups Rechnung zu tragen, wurde einerseits eine eigene Recherche in der Datenbank „Crunchbase“ durchgeführt⁷ und andererseits wurden entsprechende öffentliche Förderprogramme zur Unternehmensgründung sowie Preise für innovative Start-ups ausgewertet. Auch hier wurde das Prinzip der Schneeball-Recherche angewendet: Wenn ein Start-up davon berichtet, dass es mit einem Preis ausgezeichnet oder öffentlich gefördert wurde, wurden die jeweiligen anderen ausgezeichneten Unternehmen des jeweiligen Preises bzw. die anderen Unternehmen im gleichen Förderprogramm ebenfalls auf ihre Relevanz für die vorliegende Recherche gesichtet.

In einem ähnlichen Sinne und mit zweiter Priorität wurden Forschungsprojekte aufgenommen, die explizit Anwendungen verfolgen, die der Zielsetzung des KI-basierten, zirkulären Metallmanagements entsprechen. In diesen Fällen kann die Zusage einer Forschungsförderung als Beleg für die Stichhaltigkeit des Potenzials gewertet werden. Auch hier wurde das Schneeball-Verfahren angewendet und überprüft, ob und inwieweit andere Projekte des jeweiligen Förderprogramms auch als Beispiele infrage kommen.

Atmende Recherche

Diese Vorgehensweise wurde im Sinne einer atmenden Recherche so lange fortgesetzt, bis möglichst wenigstens ca. fünf sich inhaltlich deutlich unterscheidende Beispiele für Potenziale je R-Strategie identifiziert werden konnten. Das heißt, nachdem ein Recherchepfad sich unter Anwendung des Schneeball-Prinzips erschöpft hatte, wurde ein neuer Startpunkt mit einer bislang noch nicht gesichteten Start-Institution identifiziert und nach der beschriebenen Vorgehensweise abgearbeitet.

Rechercheziel – vollständige Abdeckung der „Landkarte“ ohne Wertung bei der Auswahl des Beispiels

Angestrebt wurde also in diesem Sinne eine möglichst vollständige Abdeckung der durch die R-Strategien aufgespannten Landkarte. Dabei spielte es keine Rolle, ob es für ein Potenzial prinzipiell noch mehr oder andere Beispiele gäbe. In diesem Sinne stehen die jeweiligen Beispiele stellvertretend für „ein“ identifiziertes Potenzial. Die Auswahl des konkreten Beispiels folgte Überlegungen der Recherche-Effizienz und stellt keinerlei Wertung dar. Zu allen vorgestellten Beispielen kann und mag es weitere, vielleicht sogar noch treffendere Beispiele geben – aus Ressourcengründen wurde aber nicht angestrebt, möglichst viele Beispiele für das gleiche Potenzial auflisten zu können. Stattdessen wurde die Recherche abgebrochen, sobald wenigstens ein einschlägiges Beispiel ausreichender Qualität identifiziert und auf seine Plausibilität geprüft werden konnte.

⁶ Hierbei sind selbstverständlich Fehleinschätzungen möglich. Außerdem herrscht bei Start-ups eine hohe Dynamik, die eben auch dazu führen kann, dass das betreffende neugegründete Unternehmen die Geschäftstätigkeit früher oder später einstellt. Allerdings ändert selbst dies nichts daran, dass die Tatsache, dass es ein Start-up gegeben hat, ein belastbares Indiz für die Wahrnehmung eines Potenzials ist.

⁷ Siehe <https://www.crunchbase.com/> und Darstellung „How we get our data“ unter <https://about.crunchbase.com/partners/>.

III. Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Insgesamt lässt sich als Fazit feststellen, dass die Potenzial-Landkarte unter Anwendung der eben dargestellten Vorgehensweise und Recherchestrategie recht vollständig mit einschlägigen und treffenden Beispielen gefüllt werden konnte. Dabei verteilen sich die 62 identifizierten Beispiele gut und gleichmäßig über alle R-Strategien. Das heißt, KI kann den Übergang zu einem zirkulären Metallmanagement an vielen Stellen und in vielen Formen unterstützen. Folgende Beobachtungen aus einer Gesamtschau der vorliegenden „Potenzial-Landkarte der Nutzung von Künstlicher Intelligenz in einem zirkulären Metallmanagement“ fallen besonders ins Auge.

Kambrische Explosion der KI

Der deutlichste Schwerpunkt besteht bei der R-Strategie „Rethink“. Dies kann im Rückblick als naheliegend betrachtet werden, da für den Übergang zur zirkulären Wertschöpfung (ZW) Vieles grundsätzlich überdacht werden muss und dabei Intelligenz in allen Formen einschließlich der Künstlichen Intelligenz hilfreich sein kann.

Einige Beobachter sprechen im Zusammenhang mit der derzeitigen Verbreitung von KI auf Basis großer Sprachmodelle („large language models“) wegen der hohen Dynamik von einer kambrischen Explosion, sodass in der Zukunft noch viele weitere Potenziale und Chancen zur Umsetzung eines zirkulären Metallmanagements mit KI-Unterstützung erwartet werden können, die im vorliegenden Dokument noch nicht umfassend aufgegriffen werden konnten.

Daneben zeigen sich folgende Häufungen bzw. Hinweise auf etwaige Lücken in der Abdeckung der Potenzial-Landkarte:

Recycling (Kapitel 6)

KI-Anwendungspotenziale im Bereich des Recyclings – insbesondere im Kontext der Müllsortierung – zeigen im Vergleich zu anderen Bereichen der Potenzial-Landkarte eine hohe Anzahl an Einzelbeispielen und eine hohe Technologiereife. Potenziale betreffen die Digitalisierung der Stoffströme in Müllsortierungsanlagen (6.6) und den Einsatz von Robotern zur Müllsortierung (6.7).

Prädiktive Wartung (Kapitel 4)

In einem ähnlichen Sinne zeichnen sich die Anwendungspotenziale der prädiktiven Wartung („predictive maintenance“) durch eine Vielzahl von Einzelbeispielen und Facetten sowie eine relativ hohe Technologiereife aus. Die Recherche erhebt in diesem Feld keinen Anspruch auf Vollständigkeit, bei vertiefter Recherche wären es ohne weiteres möglich gewesen, noch mehr Beispiele und Akteure zu identifizieren. Darüber hinaus fällt auf, dass gerade in diesem Bereich nur wenige Akteure von sich aus den Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung herstellen.

Materialforschung (Abschnitt 1.1)

KI in der Materialforschung kann als ein dritter inhaltlicher Schwerpunkt genannt werden. Konkret geht es dabei u. a. um KI-Unterstützung bei der Entdeckung neuer Materialien und verbesserte Materialdesigns sowie um autonomes Experimentieren und KI-Unterstützung bei der Entscheidungsfindung und der Planung/Auswahl von Experimenten. Dieser Punkt stellt in gewisser Weise ein „Meta-Potenzial“ dar, weil durch KI-ermöglichte Forschung kritische Metalle durch weniger kritische Metalle ersetzt werden könnten. Aufgrund der jüngsten Entwicklungen um generative KI kann diesem Potenzial aktuell auch eine sehr hohe Dynamik attestiert werden.

Nennung von Metallen: Stahl und Aluminium

In den meisten der identifizierten Anwendungspotenziale werden keine bestimmten Metalle genannt. Potenziale mit expliziter Nennung von Metallen beziehen sich am häufigsten auf Stahl –

gefolgt von Aluminium. Beide Beobachtungen erscheinen nachvollziehbar: Entwickeln von KI-Lösungen für die ZW wird es ein Anliegen sein, das Lösungspotenzial möglichst breit darzustellen und auf Einschränkungen durch Nennung bestimmter Materialien zu verzichten. Werden doch bestimmte Materialklassen angesprochen oder adressiert, so sind die großen Marktsegmente am attraktivsten, sie werden bevorzugt und früher als Nischenmärkte adressiert.

Batterien – Nennung von Lithium

Betrachtet man nicht Häufungen in bestimmten R-Strategien, sondern in Bezug auf bestimmte Produkte, so ragen Batterien heraus. Diese Produktgruppe zeichnet sich durch eine vergleichsweise hohe Anzahl an Beispielen aus, die sich zudem auf mehrere R-Strategien verteilen:

- 1.1.2 Maschinelles Lernen für Energiematerialien
- 1.1.3 Digitale Plattform für Batteriematerialdaten
- 1.1.4 Battery Interface Genome – Materials Acceleration Platform
- 1.3.1. KI-basierte Lösung zur Rückverfolgbarkeit der Lieferkette von Traktionsbatterien
- 2.1 KI-basierte Batterieüberwachung zur Verlängerung der Nutzungsdauer
- 2.2 Batteriedesign, das auf automatisierte Montage und Demontage ausgelegt ist
- 2.3 KI-basierter, digitaler Zwilling für Batterien mit Versicherungskomponente
- 3.1 Maschinelles Lernen in der Energie-Speicherung mit Second-Life-Batterien aus E-Fahrzeugen
- 6.2 Digitalisierung mechanischer Sortierprozesse beim mechanischen Batterierecycling
- 6.3 Automatisierte Demontage und Aufbereitung von Lithium-Ionen-Batterien für das Recycling
- 6.4 Big Data im Recycling von Lithium-Ionen-Batteriezellen

Dieser Beobachtung folgend gehört Lithium neben Stahl und Aluminium zu den am häufigsten adressierten Metallen.

Elektronik/Leiterplatten (PCB)

Im direkten Vergleich zu Batterien lässt sich beobachten, dass Anwendungen mit Bezug zu Elektronik deutlich seltener vorkommen. Zwar gibt es einige Beispiele mit Bezug zu Elektronik, die in diesen Beispielen aber nur am Rande bzw. als Teil einer Liste von Anwendungsoptionen erwähnt wird (1.2.1, 1.2.6, 1.4.2, 3.5, 4.3, 5.3, 6.7). Nur in den folgenden wenigen Potenzialbeispielen stehen Elektronik/Leiterplatten ganz im Vordergrund der Potenzialbeschreibung:

- 1.2.2 KI zur Qualitätskontrolle in der Leiterplattenproduktion
- 3.2 KI zur automatisierten Beurteilung des Zustands gebrauchter Elektronik
- 5.4 Automatisierung der Demontage beim Remanufacturing von Elektrokleingeräten – Projekt Desire4Electronics

Magnete

Diese Situation findet sich in ähnlicher Form aber noch ausgeprägter beim Thema Magnete – mit nur einer Erwähnung am Rande (6.7) und nur einem dezidierten Potenzialbeispiel:

- 1.1.5 Maschinelles Lernen für bessere Magnetlegierungen

1. Rethink (Überdenken)

Das Kapitel „Rethink“ ist in vier Teilkapitel aufgegliedert:

- KI in Forschung und Entwicklung
- KI in neu gedachten Betriebsabläufen
- KI für bessere und automatisierte Logistik
- KI auf Marktplätzen und Plattformen

1.1 Rethink – KI in Forschung und Entwicklung

Die Anwendung von KI in Forschung und Entwicklung befindet sich in einer stürmischen Entwicklung.⁸ Dies kann besonders auch die Materialforschung und die vielfältigen Materialfragen im Zusammenhang mit der zirkulären Wertschöpfung unterstützen (vgl. Beispiel 1.1.1 oder 1.1.9 in Bezug auf zukünftige Forschungsfragen der Prozessindustrie).

Darüber hinaus finden sich Beispiele für die KI-Nutzung in der Forschung und Entwicklung von Energiematerialien (1.1.2), Batterien (1.1.3 und 1.1.4) und Magnetlegierungen (1.1.5).

Weitere Beispiele betreffen das Experimentdesign für den 3D-Druck (1.1.6), das Chip-Design (1.1.7) und den Korrosionsschutz (1.1.8).

⁸ Vgl. dazu auch Wang et al., „Scientific Discovery in the Age of Artificial Intelligence“ Nature, Bd. 620, S. 47-60.

1.1.1 KI in der Materialforschung

The Minerals, Metals & Materials Society

Klassifikation des Akteurs

Institution

Übergeordnete Website

<https://www.tms.org/>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Die Studie „Employing Artificial Intelligence to Accelerate Development and Implementation of Materials and Manufacturing Innovations“ der „Minerals, Metals & Materials Society“ untersucht, welche KI-Anwendungen wesentliche Auswirkung auf neue Materialien und materialbezogene Fertigungsprozesse haben. Betrachtet wurde beispielsweise KI, um vielversprechende Zusammensetzungen und Mikrostrukturen von Legierungen zu identifizieren, oder KI in der Bilderkennung, um in der Metallurgie Defekte, Risse und Porosität zu charakterisieren. Von den in der Studie identifizierten wichtigsten Anwendungen von KI in der Material- und Fertigungsindustrie haben die folgenden inhaltliche Bezüge zu zirkulärer Wertschöpfung – zumeist im Sinne von „Rethink“, auch wenn dieser Bezug in der Studie nicht explizit genannt wird:

- Entdeckung neuer Materialien und verbesserte Materialdesigns
- Autonomes Experimentieren und Entscheidungsfindung sowie Unterstützung bei der Planung/Auswahl von Experimenten
- Zustandsüberwachung und prädiktive Instandhaltung
- Erkennung von Anomalien in Fertigungsprozessen
- Optimierung und Steuerung von additiven Fertigungsprozessen
- Hybride Fertigung – neuartige Planung und Einrichtung

Quellen

The Minerals, Metals & Materials Society (2022): Employing Artificial Intelligence to Accelerate Development and Implementation of Materials and Manufacturing Innovations, https://www.tms.org/portal/PUBLICATIONS/Studies/AI_Study/portal/Publications/Studies/AI/aiStudy.aspx

Weitere 7R-Bezüge

2. Redesign (Designüberarbeitung), 4. Repair (Reparatur), 5. Remanufacture (Refabrikation)

Metalle

Stahl, Superlegierungen, metallische Gläser, Hochentropielegierungen

Reifegrad

Konzept/Forschung/Entwicklung

1.1.2 Maschinelles Lernen für Energiematerialien

Chen et al., Department of NanoEngineering, University of California San Diego

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://doi.org/10.1002/aenm.201903242>

Land

USA

Kurzbeschreibung

In dem Review-Artikel wird die Anwendung maschinellen Lernens (ML) auf Energiematerialien vorgestellt. ML kann dazu genutzt werden, die Entdeckung von Energiematerialien zu beschleunigen und deren Design zu verbessern, was im vorliegenden Kontext als eine Form von „Rethink“ eingeordnet wird. Der Artikel beschreibt konkret Anwendungen von ML in der Forschung für wiederaufladbare Alkali-Ionen-Batterien, Photovoltaik, Katalysatoren, Thermoelektrika, Piezoelektrika und Supraleiter.

Quellen

Chi Chen, Yunxing Zuo, Weike Ye, Xiangguo Li, Zhi Deng & Shyue Ping Ong (2020): A Critical Review of Machine Learning of Energy Materials,

<https://doi.org/10.1002/aenm.201903242>Citations: 260

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Diverse Metalle

Im Artikel werden genannt u. a. im Zusammenhang:

- mit Akkus – Lithium, Natrium;
- mit Katalysatoren – Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Silber, Iridium, Platin und Gold;
- mit Thermoelektrika – seltene Erden, Erbium, Gadolinium.

Reifegrad

Forschung

1.1.3 Digitale Plattform für Batteriematerialdaten

Projekt DigiBatMat

Klassifikation des Akteurs

Konsortium (Leibniz-Institut für neue Materialien gGmbH (Koordinator), Hochschule Aalen – Institut für Materialforschung, TU Braunschweig, Battery LabFactory Braunschweig, AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, KIT – Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren)

Übergeordnete Website

<https://www.materialdigital.de/project/14>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Vorhersage der Qualitätseigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien durch maschinelles Lernen (ML). Die Grundlage für das Projekt bildet die Entwicklung von Ontologien. Ontologien helfen, Datenarten, Messmethoden, Auswertungstechniken und ihre Zuordnung zu verschiedenen Aspekten des Batteriesystems klar und präzise zu definieren. Darüber hinaus ermöglichen solche Ontologien, die Beziehungen zwischen diesen verschiedenen Elementen logisch zu verknüpfen. Es wird ein digitales System als Grundlage für „digitale Zwillinge“ von Batterien entwickelt, das durch bereits vorhandene und neu erzeugte Daten und Metadaten befüllt wird. Die Daten lassen sich durch moderne Algorithmen der Korrelationsanalyse und des ML auswerten, um daraus konkrete Verbesserungspotenziale für die Batteriefertigung abzuleiten. Ebenfalls können Vorhersagen zur Qualität von Batteriezellen auf der Grundlage vorliegender Material- und Prozessdaten getroffen werden. Das Datensystem wird exemplarisch angewendet zur Prüfung der Leistungsfähigkeit innovativer Elektrodenmaterialien auf Basis von Lithiummanganoxid (LMO) und Lithiumtitanoxid (LTO) sowie zur Erhöhung der Schnellladefähigkeit des etablierten Systems Nickel-Mangan-Kobaltoxid (NMC).

Die im Vorhaben entwickelten Applikationen lassen sich komfortabel und zuverlässig einsetzen, um Vorhersagen zu Qualität und Materialverhalten in Batterien zu treffen und Korrelationen zu identifizieren, die Potenziale beispielsweise für verbesserte Materialien, Elektroden oder Prozessparameter bieten.

Quellen

https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31701_MaterialDigital.pdf?__blob=publicationFile&v=6, S. 28 f.

Weitere 7R-Bezüge

2. Redesign (Designüberarbeitung)

Metalle

Komponenten: Aktivmaterial, Leitadditive, Binder und Elektrolyte; Systeme: Lithiummanganoxid (LMO), Lithiumtitanoxid (LTO), Nickel-Mangan-Kobaltoxid (NMC); Elemente: Lithium, Mangan, Titan, Kobalt

Reifegrad

Forschung

1.1.4 Battery Interface Genome – Materials Acceleration Platform (BIG-MAP)

Technical University of Denmark (DTU)

34 Projektpartner in 15 Ländern; 15 Universitäten, 9 Forschungseinrichtungen, 3 Großgeräte-Einrichtungen, 6 Industriepartner

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.big-map.eu/>

Land

Dänemark/Norwegen/Schweden/Niederlande/UK/Belgien/Frankreich/Schweiz/Spanien/Italien/Slovenien/Österreich/Polen/Deutschland/Estland

Kurzbeschreibung

Mit der Entwicklung des „Battery Interface Genome“ und der „Materials Acceleration Platform“ (BIG-MAP) sollen ein Paradigmenwechsel und eine starke Beschleunigung bei neuen Batteriesystemen erreicht werden. Im Vergleich zu heute wird in den nächsten fünf bis zehn Jahren eine fünf- bis zehnfache Steigerung der Entwicklungsrate angestrebt.

Das Projekt wird Künstliche Intelligenz (KI), Hochleistungsrechnen (HPC) und autonome Syntheserobotik vereinen und dadurch die Neueinführung von Batteriesystemen stark verändern. Das Projekt zielt somit darauf ab, technologische Grundlagen zu entwickeln und zusätzlich eine gemeinsame europäische Dateninfrastruktur aufzubauen zur Förderung von Innovationen in der EU-Batterieentwicklung

Quellen

<https://battery2030.eu/battery2030/projects/big-map/>

<https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2021/03/EIT-RawMaterials-Fraunhofer-Report-Battery-Expert-Needs-March-2021.pdf>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Forschung

1.1.5 Maschinelles Lernen für bessere Magnetlegierungen

Max-Planck-Institut für Eisenforschung

Klassifikation des Akteurs

Institution

Übergeordnete Website

<https://www.mpie.de/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Weichmagnetische Werkstoffe spielen in Generatoren und Elektromotoren eine wichtige Rolle für eine nachhaltige Energieversorgung. Allerdings gibt es in der Materialentwicklung dieser Werkstoffe Zielkonflikte zwischen den gewünschten magnetischen Eigenschaften und Anforderungen an deren mechanische Festigkeit. Ein Forscherteam des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung hat ein Mehrkomponenten-Legierungssystem mit unüblichen Bestandteilen untersucht, das Eisen, Nickel, Kobalt, Tantal und Aluminium enthält. Die auf dem neuen Legierungssystem basierenden Werkstoffe sind einfacher herzustellen und haben eine höhere Lebensdauer als herkömmliche Magnetwerkstoffe. Es wird nun mithilfe von maschinellem Lernen (ML) daran geforscht, die Kosten der Legierung zu senken, etwa, indem der Anteil an Kobalt reduziert wird oder kostengünstige Ersatzstoffe gefunden werden.

Quellen

L. Han, F. Maccari, I. R. Souza Filho, N. J. Peter, Y. Wei, B. Gault, O. Gutfleisch, Z. Li & D. Raabe (2022): A mechanically strong and ductile soft magnet with extremely low coercivity; Nature 608, 310–316

<https://doi.org/10.1038/s41586-022-04935-3>

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04935-3>

<https://www.mpg.de/19323425/better-magnets-for-green-energy>

Weiterführend: E. Y. Vedmedenko et al: The 2020 magnetism roadmap (2020), J. Phys. D: Appl. Phys. 53 453001; <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/ab9d98>; Abschnitt 9: Rationale design of novel magnetic compounds with machine learning and high-throughput electronic structure theory (Stefano Sanvito, School of Physics and CRANN Institute, Trinity College, Dublin)

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Multikomponenten-Legierungen aus Eisen, Nickel, Kobalt, Tantal und Aluminium

Reifegrad

Forschung

1.1.6 Schnelleres Design von Experimenten zum 3D-Druck durch KI

Exponential Technologies Ltd (xT)

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.x-t.ai>

Land

Litauen

Kurzbeschreibung

Die additive Fertigung erlaubt es, durch eine Änderung der Druckparameter die Materialeigenschaften des Produkts erheblich zu verändern. Darin liegt ein großer Vorteil der additiven Fertigung. Zusammen mit den Gestaltungsfreiheiten der additiven Fertigung werden neue, hocheffiziente Designs sowie leichte und mechanisch robuste Strukturen ermöglicht mit Anwendungen u. a. in der Raumfahrt, Luftfahrt und Mobilität. Allerdings kann die Entwicklung neuer Materialien und die Optimierung der Druckerparameter zeit- und ressourcenintensiv sein. Das Start-up Exponential Technologies Ltd (xT) bietet nach eigenen Angaben u. a. eine auf Künstlicher Intelligenz basierende Software für die Versuchsplanung an. Damit können Kunden ihre Experimente und Datenanalysen schneller und einfacher durchführen und den Materialverbrauch in der Experimentierphase reduzieren.

Quellen

eitrawmaterials.eu/design-of-experiments-made-faster-and-easier-than-ever-before-with-ai/
<https://www.x-t.ai/200-faster-multi-material-lpbf-with-machine-learning/>
<https://www.x-t.ai/35-built-rate-increase-in-additive-manufacturing/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Metallpulver zum Einsatz im 3D-Druck („Laser Powder Bed Fusion“)

Explizit genannt werden: Stahl (316L) und Inconel 625

Reifegrad

Einsatz

1.1.7 KI zur Beschleunigung des Chip-Designs

Motivo

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://motivo.ai>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen Motivo ist ein Entwickler von Lösungen zum KI-basierten Chip-Design und für Datenanalytik. Das Unternehmen verfolgt die Vision, durch einen KI-getriebenen Ansatz des Chip-Designs Entwicklungszeiten und -kosten von Chips um einen Faktor 10 zu reduzieren. Das Unternehmen verweist darauf, dass die Komplexität von integrierten Schaltkreisen exponentiell gestiegen ist. Dadurch sind die Kosten des Chip-Designs gestiegen, die Produktionserträge gesunken und die Zeit zum Markteintritt verlangsamt worden. Die Lösungen von Motivo zielen auf verschiedene Schritte im Chip-Design, z. B. auf das Testen von Design und das Design zu einer verbesserten Produzierbarkeit mit dem Potenzial, den Anteil von Ausschuss in der Produktion zu reduzieren.

Quellen

motivo.ai/vision

<https://motivo.ai/news>

<https://motivo.ai/solutions>

Weiterführend: Malahat Ghoreishi & Ari Happonen (2020): New promises AI brings into circular economy accelerated product design: a review on supporting literature, E3S Web Conf., 158 06002, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015806002>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung

1.1.8 Bilderkennung in der Entwicklung von verbessertem Korrosionsschutz

Correlimage

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.correlimage.com/>

Land

Niederlande

Kurzbeschreibung

Das Start-up Correlimage richtet sich an Akteure aus Forschung und Entwicklung, die an Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen arbeiten, um den Korrosionsschutz zu verbessern. Das angebotene Produkt „Corrosion Imager“ beruht auf einer Bilderkennungssoftware. Es soll nach Angaben des Unternehmens die Degradierung von Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen bis zu zehnmal genauer und dreimal so kostengünstig beurteilen können als derzeit verbreitete Methoden. Das Verfahren kann als eine Form des maschinellen Lernens (ML) betrachtet werden.

Korrosion von Metallen ist ein Problem großer Relevanz für die Lebensdauer metallbasierter Produkte – insofern kann das identifizierte Unternehmen als Hinweis auf das allgemeinere Potenzial von KI im Zusammenhang mit der Verbesserung des Korrosionsschutzes von Metallen eingeordnet werden.

Quellen

<https://eitrawmaterials.eu/correlimage-start-up-is-making-corrosion-a-soft-target/>

<https://nl.linkedin.com/in/paul-denissen-32596620>

<https://www.tudelft.nl/en/stories/articles/making-corrosion-a-soft-target/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

1.1.9 KI in einer Forschungsagenda der Prozessindustrie

A.SPIRE (European Association)/Processes4Planet Partnership

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.aspire2050.eu>

Land

Europa

Kurzbeschreibung

Process4Planet zielt auf Zirkularität und eine extensive Dekarbonisierung der europäischen Prozessindustrie mit einem starken Fokus auf Wettbewerbsfähigkeit. Im Mittelpunkt stehen dabei Prozessindustrien in den Bereichen Zement, Chemie und Stahl.

Als langfristiges Ziel wird angestrebt, Abfallablagerungen auf Deponien und Abwassereinleitungen vollständig zu vermeiden. Daher sollen zirkuläre Modelle quer zu allen Industriesektoren, Wertschöpfungsketten und Regionen implementiert werden.

In der strategischen Ful-Agenda (SRIA) von Process4Planet finden sich vor diesem Hintergrund die folgenden Forschungsziele mit Bezug zu KI:

- KI und maschinelles Lernen (ML) zur optimierten Entdeckung von Katalysatoren
- Zirkularität von Ressourcen: KI und Sensorik, um Betriebsabläufe effizienter, zuverlässiger und aus der Ferne steuerbar zu machen
- Digitales Design von Materialien mit systematischer Nutzung von ML/KI auf allen Skalen
- Intelligentes Monitoring von Materialien und Ausrüstung durch Kombination von Simulation und Modellierung mit KI/ML
- Automatisierte Erkennung möglicher Ausfälle von Anlagen durch Zustandsüberwachung basierend auf ML/KI.

Quellen

<https://www.aspire2050.eu/p4planet/p4planet-sria-2050>

https://www.aspire2050.eu/sites/default/files/users/user85/p4planet_07.06.2022_.final.pdf

Weitere 7R-Bezüge

1.2 Rethink – KI in neu gedachten Betriebsabläufen; 4. Repair (Reparatur)

Metalle

Stahl

Reifegrad

Konzept/Forschung

1.2 Rethink – KI in neu gedachten Betriebsabläufen

Dieses Teilkapitel enthält Beispiele, wie KI eingesetzt werden kann, um Betriebsabläufe neu und anders zu denken und dadurch im Sinne der zirkulären Wertschöpfung (ZW) zu verbessern. Es beginnt mit einer Fallstudie zu sehr vielfältigen, bereits etablierten Nutzungen von KI in einem Großunternehmen (1.2.1). Danach folgen drei Beispiele (1.2.2 – 1.2.4) zu prädiktiver Qualitätssicherung zur Vermeidung von Ausschuss und Verringerung von Nacharbeiten mit entsprechenden Steigerungen von Energie- und Materialeffizienz. Das folgende Beispiel (1.2.5) zielt auf die Nutzung von Computer-Vision zur Zustandsbeurteilung an verschiedenen Stellen der ZW. Das Teilkapitel schließt mit der Nutzung von KI zur Etablierung der umfassenden Vision einer industriellen Symbiose in Korea.

1.2.1 Fallstudie: KI und zirkuläre Wertschöpfung in verschiedenen Unternehmensteilen

Anonymes Unternehmen

Führendes, multinationales Unternehmen der IT-, Telekommunikations- und Verbraucherelektronikbranche mit Sitz in Finnland

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

Nicht bekannt

Land

Finnland

Kurzbeschreibung

Basierend auf einem Interview mit der Leitung des Bereichs Umwelt werden in einem wissenschaftlichen Konferenzbeitrag KI-Einsatzbereiche innerhalb des nicht genannten Unternehmens mit Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung (ZW) aufgelistet, darunter: Produktdesign, Abfallmanagement, Vorhersagen im Zusammenhang mit Dienstleistungen, Dienstleistungsplattformen, Rückverfolgbarkeit, Optimierung des Einsatzes von Rohmaterialien; Fehleridentifikation.

Der Beitrag weist außerdem darauf hin, dass von der Wissenschaft bereits kreislaforientierte Produktgestaltungsstrategien und Leitfäden entwickelt wurden, um Designern in der Industrie dabei zu helfen, Produkte zu gestalten, die am besten zu den Merkmalen kreislaforientierter Produkte passen, und dass zudem gezeigt wurde, dass die Implementierung von KI-Techniken bei ZW-Lösungen einen positiven Einfluss hat.

Ein Bezug zu Metallen ist gegeben aufgrund der typischen Produkte der genannten Branche.

Quellen

Malahat Ghoreishi & Ari Happonen (2020): Key enablers for deploying artificial intelligence for circular economy embracing sustainable product design: Three case studies, AIP Conference Proceedings 2233, 050008, <https://doi.org/10.1063/5.0001339>

Volltext: https://www.researchgate.net/profile/Ari-Happonen/publication/337170902_Key_Enablers_for_Deploying_Artificial_Intelligence_for_Circular_Economy_Embracing_Sustainable_Product_Design_Three_Case_Studies/links/5eb2a58e92851cbf7fa95a59/Key-Enablers-for-Deploying-Artificial-Intelligence-for-Circular-Economy-Embracing-Sustainable-Product-Design-Three-Case-Studies.pdf

Weitere 7R-Bezüge

2. Redesign (Designüberarbeitung)

Metalle

Nicht spezifiziert. Metalle in Produkten der IT, Telekommunikation und Verbraucherelektronik

Reifegrad

Einsatz

1.2.2 KI zur Qualitätskontrolle in der Leiterplattenproduktion

AT & S Austria Technologie & Systemtechnik Aktiengesellschaft (ATS)

Mit Unterstützung durch die Know Center GmbH

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://ats.net>

<https://www.know-center.at/>

Land

Österreich

Kurzbeschreibung

In einer Pressemeldung hat das Unternehmen ATS bekannt gegeben, dass das Know-Center für ATS als einem führenden Hersteller von High-End-Leiterplatten einen KI-Algorithmus entwickelt hat. Mit diesem Algorithmus lassen sich anhand von Bildern Leiterplatten als defekt oder intakt erkennen. Zudem liefert der Algorithmus auch eine Erklärung, warum eine Leiterplatte als defekt oder intakt eingeordnet wurde. Dieses transparente KI-System soll dazu beitragen, die Qualitätssicherung in der Produktion zu verbessern und Ressourcen zu sparen. Insbesondere durch die Vermeidung einer Falsch-Einordnung intakter Leiterplatten kann Abfall vermieden und somit die Nutzung der in der Leiterplatte verwendeten Metalle verbessert werden.

Quellen

<https://ats.net/news/ats-nutzt-smarte-qualitaetskontrollen-bei-der-leiterplattenproduktion/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert. Metalle, die in Leiterplatten genutzt werden

Reifegrad

Entwicklung

1.2.3 Prädiktive Qualitätssicherung – KI zur Unterstützung auf dem Weg zur Nullfehlerproduktion von Metallen

PSI Metals GmbH

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

www.psimetals.de

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

In der zitierten Unternehmensbroschüre wird ausgeführt, dass selbst in heutigen, digitalen, hochautomatisierten und qualitätsüberwachten Produktionsprozessen der Metallindustrie Fehlerquoten von 5 % und mehr keine Ausnahme sind. Dabei machen Prüfverfahren und Qualitätskontrollen einen signifikanten Anteil der gesamten Produktionskosten aus, sodass weitere Senkungen der Fehlerquote zu spürbaren Kostensenkungen führen können, weil der Aufwand für Nacharbeiten sinkt und weniger Ausschuss anfällt.

Nach weiteren Aussagen in der Broschüre bestehen in diesem Kontext neue Möglichkeiten durch maschinelles Lernen (ML), um mittels frühzeitiger Qualitätsvorhersage im Laufe der Produktion Fehler im Endprodukt zu vermeiden. Neue KI-Konzepte zum ML erlauben die Kombination und verbessern die Verfügbarkeit von Daten und eröffnen so neue Wege zu einer Null-Fehler-Produktion.

Quellen

https://www.psi.de/fileadmin/files/downloads/PSI_Group/flyer/artificial_intelligence/predictive-quality-for-zero-defect-manufacturing-in-metals.pdf

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert. Das Unternehmen ist auf Stahl- und Aluminium-Produzenten spezialisiert.

Reifegrad

Einsatz

1.2.4 Mit maschinellem Lernen Ausschuss vermeiden in der Stahlherstellung

Projekt iProduct

Klassifikation des Akteurs

Konsortium (u. a. Saarstahl AG, blue yonder, Pattern Recognition Company GmbH, Software AG, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Fraunhofer-Institut für intelligente Analyse- und Informationssysteme (Fraunhofer IAIS)

Übergeordnete Website

<https://www.dfki.de/iPRODIGT/newsletter-service>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das Projekt iProduct hatte das Ziel, Produktionsüberwachung und -steuerung zu verknüpfen und Big-Data-Analysen zu nutzen, um beim Auftreten von Qualitätsschwankungen in den laufenden Produktionsprozess eingreifen zu können. Das Problem von Ausschuss in der Stahlproduktion wird in der Quelle als substantiell beschrieben. Für die Echtzeitanalyse wurden unterschiedliche Ansätze des „machine learning“ und „deep learning“ eingesetzt. Es besteht das Potenzial, die Energie- und Materialeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie zu steigern.

Quellen

<https://pure.unileoben.ac.at/files/5379849/AC15701207.pdf> (Master-Arbeit, S. 62 ff.)

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Stahl

Reifegrad

Entwicklung

1.2.5 Computer-Vision an verschiedenen Stellen in der zirkulären Wertschöpfung

CircoVision

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.circovision.com>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

In seiner Selbstdarstellung hebt CircoVision hervor, dass die zirkuläre Wertschöpfung (ZW) an unterschiedlichen Stellen eine Einschätzung des Zustandes von Produkten und Materialien erfordert. Demnach liegt hierin ein Hemmnis für die ZW, weil dies eine oft arbeitsintensive Aufgabe ist. Daher zielt CircoVision darauf ab, KI-gestützte Lösungen zu entwickeln, um komplexe und arbeitsintensive Aufgaben in der ZW zu automatisieren.

Metalle werden zwar nicht explizit genannt, können aber angesichts der Breite der Formulierung „Produkte“ und „Materialien“ als ebenfalls gemeint angenommen werden.

Quellen

<https://www.northdata.de/CircoVision+UG,+Borchen/Amtsgericht+Paderborn+HRB+15201>

W. Klat & H. Brandt-Pook (2021): A Blueprint for Computer Vision Testing in the Circular Economy. In: V. Wohlgemuth et al.: Environmental Informatics. A bogeyman or saviour to achieve the UN Sustainable Development Goals? Proceedings of the 35th edition for the EnviroInfo: 251-258.

Weitere 7R-Bezüge

3. Repurpose, Reuse and Share (Neue Verwendungszwecke und weitere Nutzungsformen); 5. Remanufacture (Refabrikation); 6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung

1.2.6 KI für industrielle Symbiose in Korea

Smart Closed-Loop Grid System

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.cppms.kr/scgs>

Land

Südkorea

Kurzbeschreibung

Das „Smart Closed-Loop Grid System“ ist eine digitale Plattform, die in Korea entwickelt wird, um Potenziale für die industrielle Symbiose zu eruieren. Mithilfe von Big Data und KI soll die Plattform mit Daten von 200.000 Unternehmen operieren, Technologien der industriellen Symbiose identifizieren und Informationen zu in Korea erfolgreichen Geschäftsmodellen bereitstellen. Das System nutzt KI-basierte Vorhersagetechnologie, um Eigenschaften von Materialien und Nebenprodukten abzuschätzen, Austauschnetzwerke zu optimieren und Machbarkeitsstudien zu unterstützen. Daraus sollen Kandidaten von Unternehmen für Austausch und Zusammenarbeit abgeleitet werden.

Die industrielle Symbiose kann als ein Element auf dem Weg zur zirkulären Wertschöpfung betrachtet werden. Mehrere Metalle werden als Auswahlmöglichkeiten unter dem Stichwort „EIP Tech. Information“ in der englischsprachigen Fassung der zitierten Website aufgelistet.

Quellen

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/08adfcc5-0a09-5e8d-899b-9304e9e0ba9a/download> (Bericht; Infobox 5.2 S. 122 f.)

<https://www.cppms.kr/scgs/eiptech> (Hinweise auf Metalle)

Weitere 7R-Bezüge

alle

Metalle

Aluminium, Wolfram, Leiterplatten (PCB), Indium, Gallium, Silber, Eisen, Kupfer, Nickel, Molybdän

Reifegrad

Entwicklung

1.3 Rethink – KI für bessere oder automatisierte Logistik

In diesem Teilkapitel werden Ansätze zum Neu-Denken in der Logistik durch KI-Einsatz vorgestellt, und zwar ausgehend von der Verbesserung der Rückverfolgbarkeit in der Lieferkette von Traktionsbatterien (1.3.1) über KI in der Rücknahmelogistik (1.3.2) bis zu KI in der Lieferkettenplanung (1.3.3).

1.3.1 KI-basierte Lösung zur Rückverfolgbarkeit der Lieferkette von Traktionsbatterien

Circulor

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.circulor.com/>

Land

UK

Kurzbeschreibung

Circulor, gegründet 2017, nutzt Technologien wie Künstliche Intelligenz und Blockchains zur Senkung der Kosten für Rückverfolgbarkeit und Sorgfaltspflicht in Rohstofflieferketten. Damit kann zirkuläre Wertschöpfung unterstützt werden. Seit dem Jahr 2022 sind vor allem digitale Rohstoffpässe für Traktionsbatterien in Elektroautos im Fokus, damit die Hersteller ab 2024 transparent die EU-Batterieverordnung erfüllen können. Im Jahr 2019 richtete Circulor eine vollständige Nachverfolgung und Konformitätsbescheinigung für Kobalt ein, das in Elektrofahrzeugen von Volvo verwendet wird. Diese Arbeit wurde auf weitere Batteriematerialien und Lieferkettenabschnitte ausgeweitet.

Quellen

<https://www.circulor.com/battery-regulation-hub>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können. Kobalt wird explizit genannt.

Reifegrad

Einsatz

1.3.2 KI in der Rücknahmelogistik

Central Michigan University; Kwantlen Polytechnic University; Simon Fraser University

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://scholars.cmich.edu/en/publications/the-circular-economy-meets-artificial-intelligence-ai-understandi-6>

Land

USA/Kanada

Kurzbeschreibung

Der vorgestellte, wissenschaftliche Übersichtsartikel untersucht die Auswirkungen von KI auf die Rücknahmelogistik im Rahmen der zirkulären Wertschöpfung. Es wird für die wichtigsten Teilfunktionen der Rücknahmelogistik betrachtet, inwiefern sich KI hierauf auswirkt bzw. auswirken könnte.

Der Artikel kommt zu dem Ergebnis, dass KI erhebliche Vorteile für alle Teilfunktionen und Aufgaben in der Rücknahmelogistik bietet. Die Anwendungen beruhen dabei jedoch auf unterschiedlichen Formen von KI, die in der verwendeten KI-Klassifikation als mechanisch, analytisch oder intuitiv bezeichnet werden.

Bei den betrachteten Teilfunktionen handelt es sich um (i) die Gestaltung des Rücknahmelogistik-Netzwerks, (ii) die Abholung bei Kundenrücksendungen, bei Produktrückrufen, aufgrund von Überbeständen oder am Ende der Nutzungsdauer, die Lagerhaltung einschließlich Inspektion, Sortierung, Konsolidierung und Bestandsverwaltung sowie (iv) die Verarbeitung wie etwa die Wiederverwendung, die Reparatur, die Refabrikation, das Recycling oder die Entsorgung. Metalle werden zwar nicht erwähnt, sind aber als Teil der transportierten Güter sicher zu erwarten.

Quellen

M. Wilson, J. Paschen, J. & L. Pitt (2022): The circular economy meets artificial intelligence (AI): understanding the opportunities of AI for reverse logistics, Management of Environmental Quality, Bd. 33 No. 1, S. 9-25. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2020-0222>

Weitere 7R-Bezüge

3. Repurpose, Reuse and Share (Neue Verwendungszwecke und weitere Nutzungsformen);
4. Repair (Reparatur); 5. Remanufacture (Refabrikation), 6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept/Forschung/Entwicklung/Einsatz

1.3.3 KI-Entscheidungsmodell zur Lieferkettenplanung

DeepVu

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://deepvu.co>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Das Start-up DeepVu sieht sich als Anbieter einer autonomen Lösung für die Lieferkettenplanung mit dem Ziel einer Optimierung von Effizienz, Nachhaltigkeit und Margen für Anwenderunternehmen aus den Branchen Produktion und Bau. Die Softwarelösung basiert auf KI-Entscheidungsmodellen unter Verwendung von Ansätzen wie dem „Reinforcement Learning“. Als Vorteil der Lösung wird genannt, dass sie auf einer Simulationsumgebung aufbaut und für einen gegebenen Satz an Kennzahlen („key performance indicators“ (KPIs)) optimierte Antworten ermittelt. Dabei betont DeepVu, dass Nachhaltigkeit für die meisten Anwendungsfälle einer der hoch gewichteten KPIs sein sollte. Anwendungsfälle sind die Nachhaltigkeitsbewertung der Lieferanten, der Logistik und der Produktion.

In Bezug auf die Anwenderbranche Produktion wird bspw. hervorgehoben, dass das DeepVu-Entscheidungsmodell helfen kann, über den Ersatz eines Materials durch ein umweltfreundlicheres Material zu entscheiden oder die Nachhaltigkeit eines Endprodukts in der Gesamtheit zu bewerten. Metalle werden in der Darstellung nicht explizit angesprochen, können aber implizit als Teil der relevanten Produkte angesehen werden.

Quellen

<https://deepvu.co/sustainability-ai.html>

Weitere 7R-Bezüge

2. Redesign (Designüberarbeitung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

1.4 Rethink – KI auf Marktplätzen und Plattformen

Im abschließenden Teilkapitel wird der Einsatz von KI auf Marktplätzen und Plattformen im Zusammenhang mit zirkulärer Wertschöpfung umrissen. Die Darstellung beginnt mit einem digitalen Marktplatz für den Metallhandel (1.4.1) und zwei Beispielen im Zusammenhang mit Abfall (1.4.2 und 1.4.3). Es folgt eine KI-Plattform mit dem Ziel, lokalen Einkauf zu fördern sowie schließlich eine KI-Austauschplattform, die explizit auf die Stärkung der ZW abzielt (1.4.5).

1.4.1 Digitaler Marktplatz für Metallhandel

Metals Hub GmbH

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.metals-hub.com>

Land

Deutschland (Düsseldorf)

Kurzbeschreibung

Metalshub ist nach Angaben auf seiner Website ein Technologieunternehmen, das digitale Lieferkettenlösungen für die Metall- und Bergbauindustrie anbietet, um Effizienz und Transparenz zu erhöhen

Metalshub arbeitet mit Euler Hermes, einem Anbieter von Kreditversicherungen, zusammen, um dessen Transaktionsversicherung Wilfried.ai anbieten zu können. Dieses Produkt nutzt Daten auf Rechnungsebene und Künstliche Intelligenz, um Kreditrisiken genauer zu bewerten. Metalshub arbeitet außerdem mit europäischen Metalllogistikunternehmen zusammen und nutzt in diesem Zusammenhang „Big Data“- und „Predictive Analytics“-Methoden, um Transportnachfrage und -angebot zu modellieren und auf dieser Basis Logistiklösungen zu optimieren.

Metalshub hat auf die wachsende Bedeutung von Sekundärrohstoffen reagiert und daher seit Juli 2020 die Produktkategorien Eisen- und Nichteisenschrott in seine Plattform aufgenommen, um sowohl die digitale Transformation der Stahl- und Eisenindustrie als auch das Erreichen einer zirkulären Wirtschaft zu unterstützen.

Quellen

<https://www.metals-hub.com/blog/metalshub-takes-commodity-trading-into-the-digital-age>

<https://www.metals-hub.com/blog/metal-scrap-for-circular-steel-industry>

<https://www.metals-hub.com/sustainability>

<https://www.metals-hub.com/products>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Aluminium, Blei, Bor, Cer, Chrom, Ferrosilicium, Kobalt, Kupfer, Magnesium, Mangan, Molybdän, Nickel, Niob, Roheisen, Schrott, Titan, Vanadium, Wismut, Wolfram, Zink, Zinn

Reifegrad

Einsatz

1.4.2 Datenplattform für den Abfallhandel

Xworks

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://xworkstech.com>

Land

UK

Kurzbeschreibung

Das Start-up Xworks beschreibt sich selbst als geschäftsorientierte soziale Datenplattform für Fachleute aus den Bereichen Abfall, Recycling und Sekundärrohstoffe. Xworks hat sich zum Ziel gesetzt, ein Ende-zu-Ende-Ökosystem aufzubauen, um Sekundärrohstoffe intuitiv, sicher und gesetzeskonform zu handeln und zu recyceln und dabei Marktbarrieren zu beseitigen, Klagen und Geldstrafen zu reduzieren, schädliche Entscheidungen möglichst zu vermeiden und Recyclingziele zu verbessern.

Dabei soll auch KI zum Einsatz kommen, ohne dass dies näher ausgeführt würde. Als eine der relevanten Abfallklassen wird auch Elektronikschrott genannt.

Quellen

<https://xworkstech.com/commercial-waste-6-ways-minimize/>

<https://uk.linkedin.com/company/xworks-tech>

<https://beststartup.london/londons-21-fastest-growing-quality-assurance-startups/>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

1.4.3 Digitale Abfallkarte

Topolytics

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://topolytics.com>

Land

UK

Kurzbeschreibung

Das Start-up Topolytics verfolgt nach eigenen Angaben das Ziel, den Abfall der Welt sichtbar, verifizierbar und wertvoll zu machen. Dazu soll eine Abfallkarte als Analyseplattform dienen, die mittels Datenanalyse, Kartierung und maschinellem Lernen (ML) den Umgang mit Abfall und Ressourcen transparenter, effizienter und effektiver machen soll.

Die Darstellung des Unternehmens stellt einen Kontext zur zirkulären Wertschöpfung explizit her. Art und Zusammensetzung des Abfalls wird nicht näher spezifiziert, es kann aber davon ausgegangen werden, dass auch metallhaltige Abfälle mit gemeint sind.

Quellen

<https://topolytics.com/wastemap-for-recyclers-and-processors>

<https://topolytics.com/wastemap-for-waste-producers>

<https://topolytics.com/2022/07/we-know-its-not-about-waste-but/>

<https://www.digit.fyi/topolytics-michael-groves-unlocking-the-value-of-waste>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

1.4.4 KI-Plattform fördert lokales Einkaufen

alocalo

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://info.alocalo.de>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Die Idee des digitalen Einkaufsassistenten alocalo zielt darauf ab, eine Online-Suche nach Produkten mit Einkaufsmöglichkeiten vor Ort zu verknüpfen. Dadurch soll es möglich werden, automatisch angezeigt zu bekommen, wo ein gesuchtes Produkt in der Nähe verfügbar ist. Nach Selbstaussage basiert die Software auf KI. Das Ziel, Transportwege kurz zu halten, steht im Einklang mit zirkulärer Wertschöpfung (und könnte auch als ein Element zu einer optimierten Logistik eingeordnet werden). Bezug zu Metallen besteht indirekt über die Produkte, die auch Metalle enthalten (z. B. auch in der Kategorie „Consumer Electronics“).

Quellen

<https://info.alocalo.de/ueber-uns/> (Aussage zum KI-Bezug der Software)

Weitere 7R-Bezüge

1.3 Rethink – KI für bessere oder automatisierte Logistik

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

1.4.5 KI auf Austauschplattform zur zirkulären Wertschöpfung

Equal Ltd.

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://equal.eco>

Land

Israel

Kurzbeschreibung

Equal strebt an, der erste Marktplatz der zirkulären Wertschöpfung (ZW) zu werden, auf dem Privatpersonen und Unternehmen gleichermaßen geben und nehmen können (B2B2C-Marktplatz), und zwar unter Anwendung eines innovativen digitalen Belohnungssystems.

Equal plant, eine App zu entwickeln als Basis für die B2B-Plattform „Equal Intelligence“ zur prädiktiven Analyse der Einzelhandels- und Wiederverkaufsmärkte.

Die avisierte prädiktive Analytik kann als eine Form der KI betrachtet werden. Der Bezug zu ZW steht im Mittelpunkt der Unternehmensselbstdarstellung, wenn auch die Beschreibung der Geschäftsidee gewisse Unschärfen aufweist. Metalle werden nicht explizit angesprochen, können aber als Bestandteile der gehandelten Produkte vorausgesetzt werden.

Quellen

<https://equal.eco/investors>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept

2. Redesign (Designüberarbeitung)

Dieses Kapitel zu Aspekten des Redesigns im Sinne der zirkulären Wertschöpfung beginnt mit einem Beispiel zum Batteriedesign für automatisierte Montage und Demontage (2.1). Es folgen zwei Beispiele (2.2 und 2.3) für die Nutzung von digitalen Zwillingen und KI im Zusammenhang mit Batterien. Es folgt ein Beispiel aus dem Stahl-Sektor, das zeigt, wie KI-basierte Fortschritte beim Material mit der Produktentwicklung und dem Erreichen einer längeren Lebensdauer im Zusammenspiel steht (2.4). In Beispiel 2.5 wird ein KI-Einsatz zur Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten vorgestellt, wodurch auch die Produktentwicklung verbessert werden soll. Im abschließenden Beispiel (2.6) werden die Konzepte einer „Lebenszyklusakte“ und einer KI-unterstützten Sortierungstechnologie verbunden, bei dem Erkenntnisse aus dem ganzen Lebenszyklus eines Produktes auch in ein verbessertes Produktdesign einfließen sollen.

2.1 Batteriedesign, das auf automatisierte Montage und Demontage ausgelegt ist

Posh Robotics

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.poshrobotics.com/>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen designt, entwickelt und produziert Batterien, die von vornherein auf Weiterverwendung und Recycling ausgelegt sind. Beim Design wird Wert auf einfache, robotergestützte Demontage gelegt. Generell wird dabei ein umsetzbarer Automationsprozess für Weiterverwendung und Recycling mitgedacht. Entsprechende, mit Machine-Vision ausgestattete Roboter werden zur automatisierten Montage und auch Demontage entwickelt und angeboten.

Quellen

<https://www.poshrobotics.com/#technology>

<https://www.poshrobotics.com/#productl>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Entwicklung

2.2 KI-basierte Batterieüberwachung zur Verlängerung der Nutzungsdauer

Electra

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.electravehicles.com/>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen entwickelt und betreibt cloudbasierte digitale Zwillinge von Traktionsbatterien, die durch Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen (ML) ein vollständiges Abbild des physikalisch-elektrochemischen Batteriezustandes während der gesamten Lebenszeit liefern. Dadurch kann die Degradation erfasst und die Batterielebensdauer verlängert werden. Herangezogen werden Daten aus dem Batteriemanagementsystem, aber auch das Fahrverhalten der Fahrzeugführer, die Nutzung des Fahrzeugs und Umweltbedingungen.

Quellen

<https://www.electravehicles.com/post/electra-ceo-fabrizio-martini-speaks-on-ai-adaptive-cell-modeling-system-to-full-house-at-itec-2022>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Einsatz

2.3 KI-basierter, digitaler Zwilling für Batterien mit Versicherungskomponente

TWAICE Technologies GmbH

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://de.twaice.com/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen entwickelt eine „Predictive Battery Analytics Platform“ für Energieversorger, Original Equipment Manufacturer (OEMs) oder Mobilitätsdienstleister. Ziel ist, dass Akteure Batterien ohne Risiko und mit allen Möglichkeiten entwickeln, verwalten und optimieren können.

Die dazugehörige Software nutzt Künstliche Intelligenz, um mit einem digitalen Zwilling den Batteriezustand und die verbleibende Lebensdauer der Batterie genau bestimmen zu können. Diese Angaben sind derart präzise, dass als Geschäftsmodell dem Batterieanwender für das Restrisiko einer Fehleinschätzung eine vertragliche Garantie gegeben werden kann, die durch eine Tochtergesellschaft von Munich Re gegeben ist. Sollte die KI-basierte Analytik außerhalb der angegebenen Toleranzen liegen, erhält der Kunde eine Entschädigung in Höhe des Achtfachen des für die Analytik gezahlten Betrags.

Quellen

<https://de.twaice.com/newsroom/research-cooperation-bawaii>

<https://de.twaice.com/newsroom/twaice-guaranteed-accuracy-of-battery-analytics>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Entwicklung

2.4 KI zur Optimierung langlebiger Stahlbauteile

Ruhr-Universität Bochum, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, RWTH Aachen

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.materialdigital.de/project/8>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das Projekt iBain hat das Ziel, Künstliche Intelligenz zur Optimierung hochfester Stähle zu etablieren. In dem Projekt wird Bainit untersucht. Bainit ist ein bestimmtes Stahlgefüge, das eine komplexe innere Struktur aufweist und über herausragende mechanische Eigenschaften verfügt. Aufgrund der Komplexität stellt Bainit jedoch höchste Anforderungen an Analyse und Interpretation. Aus diesem Grunde werden in dem Projekt automatische Mustererkennung und Simulationen eingesetzt, um die experimentellen Befunde zu ergänzen. Darüber hinaus werden statistische Methoden der Versuchsplanung verwendet, um Experimente und Simulationen zu planen und um Redundanzen zu vermeiden. Außerdem soll eine automatisierte Steuerung des Arbeitsablaufs und Datenflusses etabliert werden, was auch als „automated workflow“ bezeichnet wird.

Ein Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung besteht insofern, als ein maßgeschneiderter Produktionsablauf vorgeschlagen wird, um optimierte langlebige Stahlbauteile mit überlegenen Eigenschaften produzieren zu können. Dadurch soll eine beschleunigte und vereinfachte Produktentwicklung erreicht werden, die im Sinne eines Redesigns interpretiert werden kann.

Quellen

https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31701_MaterialDigital.pdf?__blob=publicationFile&v=6, S. 10

<https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/karliczek-eine-starke-digitale-en-in-deutschland-vorantreiben.html>

Weitere 7R-Bezüge

1.1 Rethink – KI in Forschung und Entwicklung

Metalle

Stahl

Reifegrad

Forschung

.

2.5 KI-basierte Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten

Dayrize

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://dayrize.io>

Land

Niederlande

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen Dayrize bietet laut der Informationen auf seiner Website eine schnelle Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten für Hersteller und Konsumenten. Dazu werden Informationen aus mehr als 30 Datenbanken zusammengezogen und in einer übersichtlichen Nachhaltigkeitsbewertung in fünf Dimensionen aggregiert. Darin ist auch die Dimension Zirkularität enthalten. Dayrize betont, dass die Bewertung dazu verwendet werden kann, die Produktentwicklung zu verbessern, indem bereits vor Beginn der Produktion Nachhaltigkeitsfolgen eingeschätzt werden können und die Einhaltung von Nachhaltigkeitszielen seitens der Hersteller anhand von Kenngrößen gesteuert werden kann.

In den Sekundärquellen findet sich die Ergänzung, dass der von Dayrize eingesetzte Algorithmus auf KI basiert. Abgedeckt werden einer der Sekundärquellen zufolge derzeit Produkte aus dem Bereich Gesundheit und Körperpflege – es sei aber angestrebt, dies auf alle Bereiche für einen nachhaltigen Lebensstil auszuweiten bis hin zu Möbeln, in denen dann auch Metalle verarbeitet wären.

Quellen

<https://dayrize.io/three-ways-technology-can-prevent-greenwashing-and-promote-sustainability-resources/>

<https://pitchbook.com/profiles/company/463881-61>

<https://businessmondays.co.uk/minutes-instead-of-months-new-cleantech-start-up-dayrize-launches-the-most-rapid-assessment-of-product-sustainability/>

<https://www.naturalproductsonline.co.uk/news/dayrize-sustainable-marketplace-goes-live-to-combat-greenwashing/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

2.6 KI-unterstützte Sortierungstechnologien auf Basis einer „Lebenszyklusakte“

Projekt ReCircE

GreenDelta GmbH/Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)/CIRECON/Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (SuR) der TU Darmstadt/Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS)

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.recirce.de>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das Projekt ReCircE verbindet das Konzept einer digitalen Produktbeschreibung – der „Lebenszyklusakte“ – mit dem Konzept einer KI-unterstützten Sortierungstechnologie, um die Ressourceneffizienz von Stoffkreisläufen zu verbessern. In der Lebenszyklusakte sollen Informationen zum Produkt, den verwendeten Materialien und zum Produkt-Lebenszyklus hinterlegt werden. Diese Produkt- und Materialdaten werden maschinellen Lernverfahren zur Verfügung gestellt, um KI-basierte Sortierentscheidungen zu ermöglichen. Umgekehrt sollen Daten aus der Sortierung in die Lebenszyklusakte einfließen.

Das Projekt zielt auf Kunststoffe – auch als Bestandteile in komplexen Produkten; Smartphones werden dafür als eines von mehreren Beispielen genannt.

Quellen

https://www.iwar.tu-darmstadt.de/sur/forschung_sur/projekte_sur/recirce.de.jsp

<https://www.greendelta.com/project/recirce/>

<https://www.dfki.de/web/news/recirce>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept/Forschung

3. Repurpose, Reuse and Share (Neue Verwendungszwecke und weitere Nutzungsformen)

Dieses Kapitel zu verschiedenen Neu-, Nach- und Umnutzungsformen von Produkten im Sinne der zirkulären Wertschöpfung beginnt mit einem Beispiel über die Nachnutzung von Batterien aus Elektrofahrzeugen in der stationären Energiespeicherung (3.1). Es folgen zwei Beispiele zur KI-gestützten Zustandsbeurteilung von Produkten als einer Voraussetzung für deren Verwendung in Sharing- und/oder Reuse-Modellen (3.2 und 3.3). Dem schließt sich der Hinweis auf einen wissenschaftlichen Übersichtsartikel über den Einsatz von KI in der Sharing Economy (3.4) an. Die semantische Abgrenzung der Begriffe Recycling und Wiederverwendung/Reuse im allgemeinen Sprachgebrauch und in den zitierten Quellen ist nicht immer eindeutig. Beispiel 3.5, das Reuse, Recycling und Upcycling durch KI-unterstützte Sortierung von Metallschrott vorstellt, ist hierfür ein Beleg. Es wird aber hier in Kapitel 3 eingeordnet und vorgestellt, stellvertretend für das Potenzial, die Wiederverwendung von Produkten im Allgemeinen durch KI-unterstützte Sortierung zu verbessern. Es folgt ein Beispiel für die automatisierte Erstellung von Einträgen auf einer Online-Austauschplattform, um die Wiederverwendung von Produkten im Bausektor zu erleichtern (3.6). Den Abschluss des Kapitels bildet ein Beispiel der KI-Nutzung für den sicheren Betrieb von Makerspaces, die in diesem Kontext als Orte der individuellen Erprobung von Ideen für neue Verwendungszwecke und die Modifikation von Gebrauchsgegenständen betrachtet werden (3.7).

3.1 Maschinelles Lernen bei der Energie-Speicherung mit Second-Life-Batterien aus Elektrofahrzeugen

Octave BV

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.octave.energy/>

Land

Belgien

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen verkauft und vermietet modulare Batterie-Energiespeichersysteme (BESS) mit Kapazitäten zwischen 30 Kilowattstunden und mehreren Megawattstunden, in Schaltschrank- bis Containergröße. Die Batterien für diese Zweitnutzung an Industrie- und Gewerbestandorten stammen aus Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen. Ein Monitoring der einzelnen Zellen ermöglicht vorausschauende Wartung und Austausch, um die Kapazität jederzeit gewährleisten zu können. Am Standort können damit Strompreise ausgeglichen sowie teure Lastspitzen und Blindleistungen vermieden werden.

Durch die effiziente Weiternutzung der Batterien trägt das Unternehmen zur zirkulären Wertschöpfung bei. Mittels ML können die Batterien überwacht werden, um ihre Lebensdauer zu verlängern und die Leistung an jedem Standort zu optimieren.

Auch das in Aachen angesiedelte Start-up Accure bietet KI-basierte Lösungen zur Zustandsüberwachung von Batterien u. a. mit dem Ziel, deren Nutzungsdauer zu verlängern. Darüber hinaus wurde im Jahr 2023 eine Zusammenarbeit mit dem Start-up STABL Energy aus München bekannt gemacht, bei der es um die Zweitnutzung von Batterien aus Elektrofahrzeugen im Sinne der zirkulären Wertschöpfung geht.

Quellen

<https://development.octave.energy/en/about/>

<https://www.octave.energy/#product>

<https://octave.energy/en/technology/>

<https://www.accure.net/>

<https://www.accure.net/battery-knowledge/accure-and-stabl-energy-announce-strategic-partnership>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen und zukünftigen Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Einsatz.

3.2 KI zur automatisierten Beurteilung des Zustands gebrauchter Elektronik

Reconext

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.reconext.com>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Das Unternehmen Reconext ist nach eigenen Angaben Anbieter und Entwickler innovativer After-Sales-Lösungen für elektronische Geräte. Die Leistungen umfassen die Überprüfung, die Einschätzung des Gebrauchszustands, die Reparatur und kosmetische Aufarbeitung gebrauchter elektronischer Geräte bis zur Rückgewinnung von Werten aus defekten Geräten. Die Kunden umfassen Hersteller, Netzbetreiber, Einzelhändler und Versicherer.

Im Bereich der Überprüfung und Einschätzung werden auch automatisierte Lösungen angeboten. Im Laufe des Jahres 2021 wurde darauf hingewiesen, dass das Unternehmen auch in Künstliche Intelligenz investiert.

Quellen

<https://www.reconext.com/lifecycle-services/testing-and-grading>

<https://web.archive.org/web/20210916204321/https://www.reconext.com/lifecycle-services/testing-and-grading/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung

3.3 Großgerät zur automatisierten Fahrzeugerfassung und -bewertung

TÜV Rheinland

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.tuv.com/germany/de/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Der TÜV Rheinland bietet mit dem „adomea scanner“ Geräte zur automatisierten Fahrzeugbewertung an. Der Scanner erfasst laut TÜV Rheinland etwa Unregelmäßigkeiten in der Fahrzeugoberfläche sowie Schäden an Felgen oder dem Unterboden und verknüpft dazu Inputs aus Farbbildern, zur Oberflächen-Reflektivität und -krümmung auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI).

In Sharing- oder Reuse-Modellen kann es vielfältige Eigentümer-Besitzer-Verhältnisse in Bezug auf die geteilten oder weiterverwendeten Geräte geben. Eine automatisierte Zustandserfassung hilft, Transaktionskosten zu begrenzen (auch im Handel und in der Logistik) und die Rechtssicherheit zu erhöhen.

Quellen

<https://www.tuv.com/germany/de/adomea-miko.html>

Michael Kroker: „Diese KI versteht sogar Blechschäden – Maschinen und Algorithmen übernehmen zunehmend Aufgaben, die bislang nur das menschliche Auge schaffte.

Die Automatisierung der Produktbeurteilung beflügelt so den Handel mit Gebrauchtwagen.“

Wirtschaftswoche 45, 5.11.2021. <https://www.wiwo.de/my/technologie/digitalisierung-der-wirtschaft/gebrauchte-produkte-wenn-die-software-genauer-hinschaut-als-der-mensch/27765174.html>

Weitere 7R-Bezüge

1.3 Rethink – KI für bessere oder automatisierte Logistik

Metalle

Nicht spezifiziert, Metalle in Fahrzeugen

Reifegrad

Einsatz

3.4 Übersichtsartikel zu KI in der Sharing Economy

Griffith University, Brisbane, Australien

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.griffith.edu.au/griffith-business-school/departments/marketing>

Land

Australien

Kurzbeschreibung

Obwohl Künstliche Intelligenz auf Plattformen der Sharing Economy bereits Anwendung findet, wurden bisher nur wenige akademische Studien hierzu durchgeführt. Für den zitierten Übersichtsartikel wurde daher eine systematische Literaturrecherche durchgeführt anhand der beiden inhaltlichen Konzepte „Sharing Economy“ und „Künstliche Intelligenz“. Es wurden 28 englische Zeitschriftenartikel für eine qualitative Synthese ausgewertet. Drei Einsatzbereiche von KI auf Sharing-Economy-Plattformen werden besonders betont: Stärkung des Vertrauens, Abgleich der geteilten Ressourcen und Verständnis der Präferenzen und Einstellungen der Nutzer. Metalle werden in dem Artikel nicht explizit angesprochen. Als zwei wirtschaftlich besonders relevante Beispiele werden Fahr- und Gastgeberdienste genannt. Metalle sind in den geteilten Fahrzeugen präsent und spielen zudem im Zusammenhang mit Smart-Home-Anwendungen eine zunehmende Rolle im Kontext der Gastgeberdienste (vgl. Chen et al. (2022b)).

Quellen

Ying Chen, Catherine Prentice, Scott Weaven & Aaron Hsiao (2022a): A systematic literature review of AI in the sharing economy, J. of Global Scholars of Marketing Science, 32:3, 434-451, <https://doi.org/10.1080/21639159.2020.1808850> Volltext unter: https://www.researchgate.net/publication/349446256_A_systematic_literature_review_of_AI_in_the_sharing_economy/citations

Ying Chen, Catherine Prentice, Scott Weaven & Aaron Hisao (2022b): The influence of customer trust and artificial intelligence on customer engagement and loyalty – The case of the home-sharing industry, Frontiers in Psychology, Bd. 13 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.912339>, Volltext unter: https://www.researchgate.net/publication/362486933_The_influence_of_customer_trust_and_artificial_intelligence_on_customer_engagement_and_loyalty_-_The_case_of_the_home-sharing_industry; vgl. S. 5 zur Rolle von KI bei Gastgeberdiensten einschl. Smart-Home-Anwendungen (Stimmerkennung zur Bedienung der Haustechnik, Gesichtserkennung für Zugang)

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung/Einsatz

3.5 Reuse, Recycling und Upcycling durch KI-unterstützte Sortierung

Sortera Alloys

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://sorteraalloys.com/>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Laut seiner Selbstdarstellung bringt das Start-up Sortera Alloys Künstliche Intelligenz, Bild-/Datenanalyse und hochentwickelte Sensoren in die Industriebranchen des Schrottrecyclings und der Wiederverwendung ein. Diese Technologie generiert demnach im industriellen Maßstab hochreine Recyclingprodukte durch neue Sortierverfahren. Hervorgehoben wird auch, dass die Erzeugung hochreiner recycelter (und upgecycelter) Metallrohstoffe aus bestehenden Schrottströmen, die inländische (bezogen auf die USA) Versorgung mit Metallen und Legierungen verbessert und so die zirkuläre Wertschöpfung stärkt.

Quellen

<https://sorteraalloys.com/company/>

https://sorteraalloys.com/?page_id=267

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung)

Metalle

Aluminium; es werden zudem Bilder gezeigt für die Sortierung von Kupfer, Zink, Stahl, Messing, Kondensatoren, Elektromotoren, Leiterplatten-Bruchstücken („printed circuit boards“, PCB).

Reifegrad

Einsatz

3.6 Wiederverwendung im Bausektor einfacher durch KI

Nazir Associates Ltd

University of Hertfordshire, Reusefully, Finishes & Interiors Sector (FIS), Rasutatech

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://linkedme.co.uk/>

Land

UK

Kurzbeschreibung

In dem Projekt geht es nach Angaben der Projektbeteiligten um eine neue digitale Plattform für die Wiederverwendung von Baumaterialien. Es sollen Verfahren des maschinellen Lernens (ML) entwickelt und bewertet werden, um Baumaterialien vor Ort digital zu erkennen und dann Anbieter und Abnehmer schnell miteinander zu verbinden. Das Ziel besteht darin, dass die zu entwickelnde App (Rapid Listing Mobile App – Rambo) mithilfe der Mobiltelefonkamera Baumaterialien (Ziegel, Stein, Platten, Trennwände, Bodenfliesen usw.) vor Ort erkennt, quantifiziert und separate Einträge je Sorte erstellt, die automatisch auf einer Online-Austauschplattform hochgeladen werden.

Der Schwerpunkt des Projekts liegt zunächst auf der Wiederverwendung im Bereich des gewerblichen Innenausbaus, der typischerweise einen hohen Warenumsatz und kurze Projektvorlaufzeiten aufweist. Dabei können verschiedene Bauelemente aus Metall bestehen oder Metall enthalten – wie etwa Beschläge, Verbindungselemente, Türen, Türrahmen, Treppengeländer usw. Produkte aus diesem Bereich könnten hohe Wiederverwendungswerte erreichen, wenn es gelingt, den herausfordernden Zeitvorgaben zu entsprechen.

Quellen

<https://linkedme.co.uk/about-us>

<https://linkedme.co.uk/contributors>

<https://www.reusefully.co.uk/can-artificial-intelligence-and-a-mobile-app-increase-reuse-in-construction>

Weitere 7R-Bezüge

1.4 Rethink – KI auf Marktplätzen und Plattformen

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

3.7 KI für einen sichereren Betrieb von Makerspaces

Georgia Institute of Technology

Klassifikation des Akteurs

Institution

Übergeordnete Website

<https://www.me.gatech.edu/>

Land

USA

Kurzbeschreibung

Makerspaces werden in Bildungseinrichtungen zunehmend häufig als Knotenpunkte für fächerübergreifendes Lernen und Innovationen genutzt. Gerade aufgrund dieses fächerübergreifenden Charakters weisen die Nutzer teils sehr unterschiedliche Hintergründe und Fähigkeiten auf. Einerseits sollen in diesem Sinne die Zugangsbarrieren zu Makerspaces gesenkt werden, gleichzeitig muss aber die allgemeine Sicherheit des Betriebs gewahrt bleiben. In dem zitierten Konferenzbeitrag werden Beispiele vorgestellt, wie frei verfügbare KI-Tools zur Verbesserung der Sicherheit von Makerspaces verwendet werden können. In einem Beispiel wird KI-basierte Bilderkennung eingesetzt, um Situationen zu erkennen, in denen die Hand von Nutzern zu nahe an das Sägeblatt einer Bandsäge kommt. In einem zweiten Beispiel wird eine ML-Klassifikation der Nutzung einer CNC-Fräse eingesetzt, um Abweichungen von der optimalen Nutzungsweise zu melden und Feedback für Verbesserungen zu geben. Dadurch sollen diese Maschinen für Nutzer mit wenig Vorerfahrung leichter zugänglich und gefährliche Situationen vermieden werden.

Mit Bezug auf zirkuläre Wertschöpfung haben Makerspaces das Potenzial, als Orte zu dienen, wo Ideen für neue Verwendungszwecke und die Modifikation von Gebrauchsgegenständen erprobt werden können – sie passen insofern zur Kategorie „Repurpose, Reuse and Share“. Sie können aber auch Funktionen beim Produktdesign, bei der Produktion von Kleinserien oder bei Reparaturen erfüllen.

Quellen

Domenic DiCarlo, Nicholas Greenfield, Amit S. Jariwala (2022): Artificial Intelligence in Makerspaces – Repurposing industry applications to serve makerspace needs

<https://assets.pubpub.org/3kcymkan/01668537359203.pdf>

<https://www.vip.gatech.edu/teams/vx4>

Weitere 7R-Bezüge

1.2 Rethink – KI in neu gedachten Betriebsabläufen, 4. Repair (Reparatur)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept

4. Repair (Reparatur)

Dieses Kapitel stellt Beispiele im Kontext der Reparatur und Wartung von Produkten vor. In diesem Sinne beginnt das Kapitel mit Beispielen für die KI-Nutzung im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Ersatzteilen (4.1 und 4.2) und der Ersatzteillogistik (4.3).

Betrachtet werden auch Ansätze zur Vermeidung von Reparaturen, wie etwa durch die KI-basierte Vorhersage von Korrosion (4.4). In die gleiche Richtung zielen auch Beispiele für die prädiktive Wartung („predictive maintenance“) von Maschinen und Anlagen (4.5 – 4.7). Im abschließenden Beispiel (4.8) wird die Nutzung autonomer Drohnen zur Inspektion von (Windkraft-)Anlagen – gleichfalls zur verbesserten Wartung und Vermeidung von Reparaturen – vorgestellt.

4.1 Ersatzteilerkennung anhand von Handy-Fotos per KI

synthavo GmbH

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.synthavo.de>

Land

Deutschland (Stuttgart)

Kurzbeschreibung

Das Start-up synthavo bietet laut Darstellung auf der Unternehmens-Website eine visuelle Ersatzteilerkennung für den Maschinen- und Anlagenbau. Dazu sollen alle benötigten Ersatzteile aus Maschinen und Anlagen anhand jeweils eines einzigen Handy-Fotos identifiziert und bestellt werden können.

Dadurch kann die Reparierbarkeit von Maschinen und Anlagen im Sinne der zirkulären Wertschöpfung verbessert werden. Die Ersatzteilerkennung beruht auf Künstlicher Intelligenz. Viele der betreffenden Ersatzteile enthalten Metalle.

Quellen

<https://www.synthavo.de/#warum-synthavo>

<https://www.eitmanufacturing.eu/news-events/news/artificial-intelligence-in-production-processes/>

Weitere 7R-Bezüge

5. Remanufacture (Refabrikation)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

4.2 Cloud-Fertigung von Bauteilen mit KI-basierter Preisermittlung

KREATIZE GmbH

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://kreatize.com/de>

Land

Deutschland (Berlin)

Kurzbeschreibung

Laut Angabe auf seiner Website stellt KREATIZE eine Plattform für kundenspezifische Bauteile bereit, die auf den Prinzipien des Cloud-Manufacturing basiert. Cloud-Manufacturing oder Cloud-Fertigung ist in Analogie zum Cloud-Computing gedacht und soll einen einfachen Zugang zu dem Netzwerk von Fertigungskapazitäten ermöglichen, die auf der Plattform präsent sind.

Das Cloud-Manufacturing von KREATIZE sorgt demnach dafür, dass Bauteile (einschließlich Ersatzteilen) automatisiert (und auf Basis eines KI-Algorithmus) bepreist werden und wählt Lieferanten aus, die gerade über freie und möglichst günstige Kapazitäten verfügen.

Quellen

<https://kreatize.com/?s=artificial>

<https://kreatize.com/de/content/glossar/>

https://www.eitmanufacturing.eu/wp-content/uploads/2022/04/Kunstliche_Intelligenz_in_Produktionsprozessen.pdf

Weitere 7R-Bezüge

5. Remanufacture (Refabrikation)

Metalle

Stahl, Aluminium, Nichteisenmetalle

Reifegrad

Einsatz

4.3 Ersatzteillogistik mit maschinellem Lernen zur Bestandsprognose

PartsCloud GmbH

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://partscloud.com>

Land

Deutschland (Pliezhausen)

Kurzbeschreibung

PartsCloud beschreibt sich als „Logistics as a Service“-Anbieter für die Ersatzteil-Lagerlogistik und das Fulfillment. Datengetriebene Services befinden sich in Entwicklung, die auf eine Bestandsoptimierung durch Machine Learning zielen. Dabei sollen Vorhersagen für den Bestand eines jeden Teils generiert werden, um so Überbestände zu vermeiden. Eine anonymisierte Pool-Bevorratung von ausgewählten, [langsam-drehenden Teilen](#) – darunter z. B. Elektronikkomponenten – soll Effizienzen im Ersatzteilgeschäft steigern und Alternativen zur Verschrottung eröffnen.

Quellen

<https://partscloud.com/wie-funktioniert-partscloud>

<https://partscloud.com/datengetriebene-services>

<https://partscloud.com/blog/mehr-zeit-fur-das-kerngeschäft-flexible-erweiterung-der-kapazitäten-und-optimale-ersatzteilprozesse-partscloud-machts-möglich-aber-wie-eigentlich>

Weitere 7R-Bezüge

1. Rethink (Überdenken)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

4.4 KI-Softwaretool zur Korrosionsvorhersage

VTT Technical Research Centre of Finland (Konsortialführung),

Metso Outotec, Boliden Harjavalta Oy, Outokumpu Stainless AB, Tecnalia,
Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG),
Data Measuring Systems DMS d.o.o. Golnik (DMS), Ferritico

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.cortools.eu/>

Land

Finnland/Schweden/Spanien/Slowenien

Kurzbeschreibung

Korrosion wird in der Projektbeschreibung als wichtigster Mechanismus für Materialversagen in der Industrie bezeichnet. Die damit verbundenen weltweiten Kosten werden mit etwa 2 Billionen € beziffert. Vor diesem Hintergrund wird als Ziel des CorTools-Projekts die Entwicklung eines Softwaretools für die Korrosionsüberwachung und -vorhersage genannt mit einem Schwerpunkt auf den Bedarfen der Rohstoffindustrie. Darüber hinaus werden Marktchancen in allen Industriesektoren gesehen, in denen es raue Betriebsbedingungen gibt.

In dem Softwaretool wird KI zur Modellierung von Korrosionsprozessen eingesetzt. Zusätzlich soll eine KI-Analyse der Überwachungsdaten ermöglichen, verborgene Ursachen für unterschiedliche Korrosionsraten aufzudecken. Nutzungsoptionen bestehen in der Bewertung des Korrosionsrisikos von Werkstoffen unter verschiedenen Betriebsbedingungen, der Abschätzung sicherer Betriebsbedingungen für bestimmte Werkstoffe und der zugehörigen Werkstoff-Lebensdauer. Außerdem soll das Korrosionsüberwachungssystem im Betrieb von Industrieanlagen die tatsächliche Korrosionsrate der Werkstoffe erheben und so eine Bewertung der verbleibenden Lebensdauer der Komponenten ermöglichen.

Im Erfolgsfall könnte so auf Basis der Projektergebnisse die Lebensdauer bestimmter Industrieanlagen erhöht werden.

Quellen

<https://www.cortools.eu/project/>

<https://www.cortools.eu/partners/>

<https://eitrawmaterials.eu/corrosion-prediction-software-tools-developed-to-respond-to-raw-materials-industry-needs/>

Weitere 7R-Bezüge

2. Redesign (Designüberarbeitung), 4. Repair (Reparatur)

Metalle

Verschiedene rostfreie Stahlsorten

Reifegrad

Forschung

4.5 Prädiktive Maschinenwartung mit KI-Unterstützung

ai-omatic solutions GmbH

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.ai-omatic.com>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Laut Selbstdarstellung auf der Unternehmenswebsite bietet ai-omatic einen digitalen Wartungsassistenten an, der eine Live-Überwachung von Maschinen ermöglicht. Dabei sollen frühzeitiges Erkennen von anormalem Maschinenverhalten und die Darstellung des Funktionszustandes der Maschine auf einem Dashboard helfen, Ausfälle zu vermeiden und die Produktivität zu erhöhen. Der Wartungsassistent nutzt erklärbare KI. Anwendungsbeispiele aus der Energiewirtschaft und der Fertigungsindustrie werden angeführt. Eine so ermöglichte Verbesserung der Wartung und/oder Reparatur von Maschinen kann als Beitrag zu einer zirkulären Wertschöpfung betrachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass viele der Ersatzteile Metalle verschiedener Art enthalten. Umgekehrt werden für den Einsatz auch Sensorik- bzw. Elektronik-Komponenten benötigt.

Quellen

<https://www.eitmanufacturing.eu/news-events/news/artificial-intelligence-in-production-processes/>

<https://www.ai-omatic.com/kopie-von-ai-omatic-complex>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

4.6 KI erfasst akustische Signale zur verbesserten Wartung von Arbeitsmaschinen

Stadtreinigung Hamburg

LUIS Technology GmbH, LUVIS AI GmbH

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.stadtreinigung.hamburg/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Die Großkehrmaschinen der Stadtreinigung Hamburg sind im Zweischichtbetrieb im Einsatz. Dabei werden die Turbinen durch Fremdkörper und die Witterung verunreinigt und beschädigt. Es wurde ein Monitoring-System entwickelt und eingeführt, das den Turbinenzustand kontinuierlich erfasst und Warnsignale erzeugt, um frühzeitig Unwuchten zu erkennen und zu beheben. Dies kann u. a. durch eine innere Spülvorrichtung erfolgen. Ziel ist, die Belastung der Turbinenlagerung auf ein Minimum zu reduzieren.

Das Konzept beruht auf der Auswertung akustischer Getriebe- oder Kugellager-Signale. Sobald Abweichungen vom erwarteten Signal erkannt werden, erfolgt eine KI-basierte Klassifizierung anhand bekannter Störungen. Zusätzlich können einfach angelernte Signaturen weiteren Fehlern zugeordnet und „hinzugelernt“ werden.

Die KI-basierter Monitoring-Lösung reduziert den unvorhergesehenen Ausfall von Komponenten und ermöglicht eine deutliche längere Nutzung gegenüber einer intervallbasierten Wartungsstrategie.

Quellen

<https://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/detailseite/studie-kuenstliche-intelligenz/>

https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/VDI-ZRE_Studie_KI-betriebliche-Ressourceneffizienz_Web_bf.pdf; S. 76

<https://www.luis.de/news/beitrag/luvis-ai-macht-arbeitsmaschinen-intelligenter>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

4.7 KI optimiert Austausch von Zinkanoden in der Produktion von Stahlblechen

Voestalpine Stahl GmbH

Know Center Research GmbH

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen/Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.voestalpine.com/group/de/>

Land

Österreich

Kurzbeschreibung

Die zitierte Projektbeschreibung hebt hervor, dass der Zustand der Zinkanoden eine Schlüsselrolle in der Produktion von verzinkten Stahlblechen spielt. Zinkanoden sind Schutzelemente. In diesem Fall werden sie verwendet, um das Stahlband vor Korrosion zu schützen. Das Zink wird bevorzugt korrodiert, während das Stahlblech geschützt bleibt. In dem Forschungsprojekt konnte rasch validiert werden, dass maschinelles Lernen (ML) die Entscheidungsfindung für den Wartungszeitpunkt der Zinkanoden unterstützen kann. Es wurde dann ein hybrides Modell des Produktionsprozesses entwickelt, das ein physikalisches Modell mit Datenanalysen verbindet und einfach zu interpretieren ist.

Das so entwickelte Modell wird seit 2019 im Betrieb der bestehenden Anlage eingesetzt, wodurch Fehler bei den Anoden nun im laufenden Betrieb der Anlage erkannt werden. Dies trägt zur Qualitätsverbesserung und Ressourceneffizienz im Produktionsprozess bei, worin ein Bezug zum Konzept der zirkulären Wertschöpfung gesehen werden kann.

Quellen

<https://www.know-center.at/business-success-story/voestalpine-anodentausch/>

https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/strukturprogramme/COMET/Success_Stories_K1_DE/20200518_KNOW_SuccessStory_DE_Voestalpine.pdf

Weitere 7R-Bezüge

1.2 Rethink – KI in neu gedachten Betriebsabläufen

Metalle

Zink, Stahl

Reifegrad

Forschung/Einsatz

4.8 Autonome Drohnen zur Inspektion von Windkraftanlagen

Beispielsweise: Third Element Aviation GmbH, Skyspecs, Nearthlab, Clobotics usw.

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen/Start-ups

Übergeordnete Website

- a) <https://3rd-element.com>
- b) <https://skyspecs.com/>
- c) <https://www.nearthlab.com>
- d) <https://clobotics.com>

Land

- a) Deutschland
- b) USA
- c) Südkorea
- d) USA

Kurzbeschreibung

Autonome Drohnen können dazu eingesetzt werden, um Windkraftanlagen zu inspizieren. Die autonome Steuerung der Drohnen kann dabei (je nach Autonomiegrad) als eine Ausprägung von KI betrachtet werden. Die gewonnenen digitalen (Bild-)Daten werden zumindest teilweise zur Fehleridentifikation durch KI ausgewertet.

Die Verlängerung der Lebensdauer durch effizientere Reparaturmöglichkeiten kann im Sinne der zirkulären Wertschöpfung verstanden werden.

Das Anwendungspotenzial besteht entsprechend auch für vergleichbare Anlagen, z. B. Solar- und andere Energieanlagen, Energienetzinfrastruktur, Chemieanlagen, Verkehrsinfrastrukturen und Kräne. Metalle spielen in der Mehrzahl dieser Anlagen eine wesentliche Rolle.

Quellen

- <https://3rd-element.com/inspektionen/>
- <https://skyspecs.com/product/inspections/>
- <https://www.nearthlab.com/wind-power/inspection-services/>
- <https://clobotics.com/wind/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert – alle Metalle, die in den entsprechenden Anlagen verbaut sind

Reifegrad

Einsatz

5. Remanufacture (Refabrikation)

Dieses Kapitel zur Refabrikation gebrauchter Produkte startet mit dem bereits seit Jahrzehnten etablierten Bereich der Teileaufbereitung im Fahrzeugbau (5.1), in den nun auch die KI Einzug hält. Das folgende Beispiel (5.2) stellt die Nutzung intelligenter Systeme der additiven Fertigung in der Refabrikation vor. KI kann in der Refabrikation außerdem zur Identifikation von Altteilen verwendet werden (5.3). Es folgen zwei Beispiele für die automatische/autonome Demontage als Schritt im Remanufacturing (5.4 und 5.5). Die abschließenden beiden Beispiele sind breit angelegt und stellen Big Data und KI (5.6) sowie eine intelligente Demonstrator-Fabrik (5.7) für das Remanufacturing vor.

5.1 Teileaufbereitung im Fahrzeugbau

ZF Friedrichshafen AG

Klassifikation des Akteurs

Unternehmen

Übergeordnete Website

<https://www.zf.com>

Land

Deutschland (Friedrichshafen)

Kurzbeschreibung

Nach eigenen Angaben betreibt ZF ein Remanufacturing-Programm mit 25 Standorten und 1.800 Mitarbeitern weltweit, das 255 wiederaufbereitete Produkte umfasst, z. B. Getriebe, Kupplungen, Lenk- und Bremssysteme.

ZF entwickelt im AI Lab am ZF-Standort Saarbrücken einen „Smart Camera Bot“, der Aufgaben in der visuellen Qualitätskontrolle übernehmen soll. Dieser Bot kann repetitive Aufgaben übernehmen, die für menschliche Mitarbeiter monoton und konzentrationsfordernd sind.

Aus der öffentlichen Darstellung geht nicht hervor, ob ZF einen Einsatz des „Smart Camera Bot“ im Remanufacturing anstrebt, das Potenzial würde zumindest bestehen.

Auch von anderen Herstellern im Fahrzeugbau sind Aktivitäten im Remanufacturing bekannt (vgl. Quellen).

Quellen

ZF

<https://aftermarket.zf.com/de/aftermarket-portal/fuer-partner/ueber-uns/remanufacturing/>

https://www.zf.com/mobile/de/technologies/digitalization/stories/ai_bot.html

Caterpillar

<https://parts.cat.com/de/catcorp/cat-reman-products>

Renault

<https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/re-factory-the-flins-site-enters-the-circle-of-the-circular-economy/>

<https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/top-stories-2/retrofitting-robots-the-other-operation-at-the-refactory/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

5.2 Übersichtsartikel – Intelligente Systeme additiver Fertigung zur Reparatur und Refabrikation

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia

Klassifikation des Akteurs

Institution

Übergeordnete Website

<https://www.ukm.my/jkmp/>

Land

Malaysia

Kurzbeschreibung

Meist erfordert die Wiederaufarbeitung von Maschinen menschliche Entscheidungen über die Art der Schäden, deren Schwere und die Art der erforderlichen Reparatur- und Aufbereitungsschritte. Die Reparatur der betreffenden Teile selbst kann durch Automatisierung und mithilfe der additiven Fertigung (AF) verbessert werden.

Der als Quelle angegebene Übersichtsartikel berichtet, wie intelligente Systeme in die AF-basierte Reparatur integriert werden können durch Ansätze der Künstlichen Intelligenz, die die Entscheidungsfindung während der Reparatur unterstützen. Ausgewertet wurden auf Basis einer systematischen Literaturrecherche Artikel, die zwischen 2005 und 2021 veröffentlicht wurden.

Der Bezug zu KI ist in der Quelle explizit gegeben ebenso wie der Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung durch die Adressierung des Remanufacturing. Die Relevanz für Metalle kann als gegeben betrachtet werden, da sich die betrachteten AF-Verfahren auch auf die Bearbeitung von Metallen beziehen.

Quellen

Mad Yusoh SS, Abd Wahab D, Adil Habeeb H & Azman AH. (2021): Intelligent systems for additive manufacturing-based repair in remanufacturing: a systematic review of its potential. PeerJ Computer Science 7:e808 <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.808>; <https://peerj.com/articles/cs-808/>

Weitere 7R-Bezüge

4. Repair (Reparatur)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

5.3 KI-gestützte Identifikation und Bewertung von Altteilen

Projekt EIBA

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/EIBA.html>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Um zu entscheiden, ob Produkte am Ende einer Nutzungsphase für das Remanufacturing infrage kommen oder dem Recycling zugeführt werden, müssen sie identifiziert und bewertet werden. Dabei gehört es zu den Herausforderungen, dass sich Produktmodelle oft ähneln und im gebrauchten Zustand schwer zu unterscheiden sind. Außerdem müssen Identifikation und Bewertung schnell – innerhalb nur weniger Sekunden – erfolgen. Im Projekt „EIBA“ wird an einer Maschine gearbeitet, die hierbei unterstützen soll. Mit Sensoren erfasste Daten zum jeweiligen Altteil werden in Verbindung zu weiteren Informationen gesetzt, sodass mittels Künstlicher Intelligenz eine Entscheidungsempfehlung formuliert werden kann. Durch das Zusammenspiel von Mensch und Maschine soll die Fehlerquote bei der Identifikation reduziert werden. Die Rolle der KI wird in der Projektbeschreibung explizit hervorgehoben, ebenso wie der Bezug zur zirkulären Wertschöpfung in der Form des Remanufacturing bzw. des Recyclings. Metalle werden zwar nicht ausdrücklich genannt – auf den Bildern sind jedoch metallische Bauteile zu erkennen. Zudem wird auf Brancheninterviews hingewiesen, bei denen bspw. auch Druckerpatronen oder die Halbleiterfertigung angesprochen wurden.

Quellen

<https://ndion.de/en/remanufacturing-ai-image-recognition-for-vehicle-components/>
<https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Use-Cases/536-circular-economy/article-circular-economy.html?view=render%5BDetail%5D>
https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/EIBA/_/EIBA_Flyer_dt_online.pdf
Anwendung auf „printed circuit boards“ (PCB), Golisano Institute for Sustainability, siehe <https://www.rit.edu/sustainabilityinstitute/research/remanufacturing-and-resource-recovery>
<https://www.youtube.com/watch?v=kQb9w7maJFo&t=1800s>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung); 7. Recover (Wiedergewinnung)

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

5.4 Automatisierung der Demontage beim Remanufacturing von Elektrokleingeräten

Projekt Desire4Electronics

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/Desire4Electronics.html>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Viele Bauteile von Elektrokleingeräten, die wertvolle Stoffe wie Kupfer oder Lithium enthalten, sind auch am Ende ihrer Lebensdauer noch funktionstüchtig und könnten wiederaufgearbeitet werden.

Der Aufarbeitungsprozess ist allerdings gegenwärtig sehr zeitaufwendig. Das Ziel des Projektes „Desire4Electronics“ ist es daher, Methoden für die Automatisierung und Vereinfachung des Remanufacturing zu entwickeln. Vor allem Techniken des maschinellen Lernens (ML) sollen dabei entwickelt und im gesamten Remanufacturing angewendet werden.

Mittels des ML sollen Gerätetypen und Verbindungstechniken erkannt werden. Ebenso sollen Methoden zur automatisierten Demontage erforscht werden mit der Vision, den Aufarbeitungsprozess auch in Industrieländern profitabel durchführen zu können.

Quellen

<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/maschinelles-lernen-verbessert-die-wiederaufarbeitung-von-elektroschrott.html>

<https://www.elektroniknet.de/international/machine-learning-improves-remanufacturing.202298.html>

Weitere 7R-Bezüge

6. Recycle (Rezyklierung); 7. Recover (Wiedergewinnung)

Metalle

Kupfer, Lithium u. a.

Reifegrad

Forschung

5.5 Autonome Robotik für die Demontage

Forschungsprojekt AutoReman

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<http://autoreman.altervista.org/index.html>

Land

UK/Spanien/China/USA/Kanada

Kurzbeschreibung

Das Projekt AutoReman wurde vom britischen „Engineering and Physical Sciences Research Council“ (EPSRC) gefördert und war auf fünf Jahre angelegt. Ziel des Projektes war es, Roboter für die Demontage im Zuge des Remanufacturing zu entwickeln. Dabei wurden unterschiedliche Situationen mit autonomen Robotern und Situationen mit möglichst geringer Intervention durch Menschen oder einem Zusammenspiel von Mensch und Maschine betrachtet.

Die Forschungsarbeiten wurden an den Beispielen einer Wasserpumpe und eines Turboladers durchgeführt.

In dem Projekt „Self-learning robotics for industrial contact-rich tasks (ATARI): enabling smart learning in automated disassembly“ werden die Forschungsarbeiten aktuell fortgesetzt.

Die beschriebenen Projekte stellen KI bzw. autonome Robotik in den Fokus und behandeln die Demontage als Remanufacturing und damit als Prozess der zirkulären Wertschöpfung; Metalle sind in den behandelten Produkten – Wasserpumpe und Turbolader – enthalten.

Quellen

<https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/N018524/1>

<https://www.springernature.com/de/bees-bots-and-sustainable-manufacturing/23345362>

<https://www.roboticsandautomationmagazine.co.uk/news/industrial/self-learning-disassembly-robot-to-be-built-by-2023.html>

<https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/W00206X/1>

<https://research.birmingham.ac.uk/en/projects/self-learning-robotics-for-industrial-contact-rich-tasks-atari-en>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

5.6 Big Data und KI im Remanufacturing von Industrieausrüstung

Projekt RECLAIM

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.reclaim-project.eu>

Land

Deutschland/Griechenland/Spanien/UK/Italien/Schweiz/Portugal/Slowenien/Tschechien/Türkei

Kurzbeschreibung

Das EU-geförderte Projekt RECLAIM verfolgte eine neue Idee für die Aufarbeitung und das Remanufacturing, die auf Big-Data-Analytik, maschinellem Lernen (ML), prädiktiver Analytik und Optimierungsmodellen unter Verwendung von Deep Learning und digitalen Zwillingen beruht. Das Projekt hat zum Ziel, fundierte Entscheidungen zu ermöglichen, ob schwere Maschinen, die sich dem Ende ihrer Lebensdauer nähern, wiederaufbereitet, aufgerüstet oder repariert werden sollen. Das RECLAIM-Projekt entwickelt außerdem Strategien und Technologien, die es erlauben, Industrieausrüstung in alten, erneuerten und neuen Fabriken wiederzuverwenden, anstatt sie nach Gebrauch zu entsorgen.

Zirkuläre Wertschöpfung und KI-Aspekte werden in der Projektbeschreibung explizit angesprochen. Metalle sind typisch für große Maschinen in der Industrie, die häufig auch elektronische Steuerelemente enthalten.

Quellen

<https://cordis.europa.eu/project/id/869884>

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2020.570562/full>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

5.7 Demonstrator-Fabrik für Remanufacturing

Projekt AgiProbot; mehrere Institute des KIT Karlsruhe

Klassifikation des Akteurs

Institution/Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AgiProbot/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das Remanufacturing wird als guter Anwendungsfall für einen neuen Typen von Fabrik betrachtet, der sich autonom ständig neuen Bedingungen anpasst, weil beim Remanufacturing gebrauchte Produkte in einem unbekannten Zustand zu einem unbekannten Zeitpunkt und in unbekannter Stückzahl in die Fabrik zurückkommen. Hier sollen sie – soweit möglich – automatisiert demontiert und geeignete Teile wieder in Produktionsprozesse zurückgeführt werden. Das Projekt AgiProbot verfolgt das Ziel, ein wandelbares Produktionssystem zu formen, das dank Künstlicher Intelligenz dynamisch auf die genannten, unbekannten Randbedingungen reagiert. Der im Projekt verfolgte Lösungsansatz bringt Menschen und autonom arbeitende, mobile Roboter in Kollaboration und nutzt intelligente Messtechnik, agile Produktionssteuerung und das Lernen von Robotern vom Menschen. Die AgiProbot-Fabrik umfasst eine Eingangsstation mit einer möglichst autonomen Inspektion, eine manuelle Demontagestation, eine autonom lernende Roboterstation zur Demontage sowie modulare fahrerlose Transportsysteme.

Bezüge zu KI und zirkulärer Wertschöpfung sind eindeutig gegeben, Metalle werden als Material nicht speziell hervorgehoben, können aber als Bestandteil der Produkte vorausgesetzt werden (gezeigt werden etwa u. a. Elektromotoren und zugehörige Anker).

Quellen

https://www.kit.edu/kit/english/pi_2019_047_artificial-intelligence-for-future-agile-manufacturing.php

<https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AgiProbot/videos/Meilensteintreffen7/Befundungstation.mp4>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

6. Recycle (Rezyklierung)

In diesem Kapitel werden verschiedene Anwendungsbeispiele für Künstliche Intelligenz im Bereich des Recyclings und der Abfallwirtschaft vorgestellt. Das erste Beispiel (6.1) stellt den Einsatz von KI-Kameras und Machine-Vision im Recycling von Metallschrott vor.

Es folgen drei Beispiele (6.2 – 6.4) für die Nutzung von KI im Recycling von Batterien.

Der Abschnitt 6.5 stellt zwei Beispiele für intelligente Abfallbehälter dar, die schon bei der Aufnahme von Abfall dessen Art erkennen und erste Aufbereitungsschritte vornehmen wie Sortieren und Zerkleinern.

In Abschnitt 6.6 sind verschiedene Beispiele für die intelligente Erfassung digitaler Daten und der so ermöglichten Analyse von Abfallströmen in Müllsortieranlagen enthalten.

Abschnitt 6.7 dagegen sammelt Beispiele für KI-Anwendungen in der Müllsortierung, bei denen auch intelligente Sortierroboter eine Rolle spielen.

Das Kapitel schließt mit einem Beispiel für einen autonomen Müllsammelroboter (6.8).

6.1 KI-basierte Identifikation und Bewertung von Metallschrott

Doctor Scrap

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<http://www.doctorscrap.com>

Land

China

Kurzbeschreibung

Das Start-up hebt in seiner Internet-Darstellung hervor, dass Technologien wie maschinelles Sehen und Deep Learning verwendet werden, um eine genaue Schrotterkennung und -bewertung zu ermöglichen. Ausgehend davon soll eine Datenbank dazu genutzt werden, um Käufer und Verkäufer zu verbinden und eine globale Handelsplattform für Schrott aufzubauen. Dieser Ansatz entspricht den Prinzipien der zirkulären Wertschöpfung, bei denen Produkte und Materialien so lange wie möglich in Gebrauch gehalten und Abfälle minimiert werden. Zusätzlich besteht das Ziel, Transaktionsdaten zu speichern, um Kohlenstoffgutschriften im Klimahandel zu ermöglichen. Als ein Vorteil wird genannt, dass bei der Zusammenarbeit mit Betrieben des Schrottrecyclings in den Fabriken lediglich KI-Kameras und Software neu eingeführt werden.

Die Unternehmensdarstellung zeigt klare Bezüge zu KI, zirkulärer Wertschöpfung und Metallen.

Quellen

<https://www.doctorscrap.com/about-us?type=6>

<https://www.crunchbase.com/organization/doctor-regeneration>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert – es werden aber explizit auch Nicht-Eisen-Metalle angesprochen.

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

6.2 Digitalisierung mechanischer Sortierprozesse beim mechanischen Batterierecycling

Projekt DIGISORT – Technische Universität Bergakademie Freiberg

- Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
- Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Angewandte Physik
- Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/digisort/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das mechanische Recycling geschredderter Lithium-Ionen-Batterien soll durch Messtechnik und Datenanalyse weiter verbessert werden. Dazu werden die mechanischen Trennprozesse mit der Windsichtung von Schreddergut der Lithium-Ionen-Batterien digitalisiert, um möglichst hochwertige Wertstoffströme zu erzielen. Die zu entwickelnde Messtechnik betrachtet jedes Bruchstück individuell und gewinnt spektroskopische und hyperspektrale Informationen. Die hieraus resultierenden, großen Datensätze werden über Werkzeuge des maschinellen Lernens (ML) verarbeitet und strukturiert.

Quellen

<https://idw-online.de/de/news?print=0&id=764190>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen Lithium-Ionen-Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Forschung

6.3 Automatisierte Demontage von Lithium-Ionen-Batterien für das Recycling

Projekt DemoSens FH Münster, Institut für Infrastruktur, Wasser, Ressourcen, Umwelt (IWARU)

- RWTH Aachen, Institut für Unternehmenskybernetik e. V.
- RWTH Aachen, Lehrstuhl für Production Engineering of E-Mobility Components (PEM)
- RWTH Aachen, Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling (IME)

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/demosens/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Im Rahmen des Projekts DemoSens soll das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen entlang der gesamten Prozesskette von der Demontage über die Sortierung bis hin zur mechanischen Aufbereitung digitalisiert und automatisiert werden. Bisher wird die Demontage von Batterien meist manuell und mit einer geringen Demontagetiefe (z. B. Entfernung des Kabelbaums) durchgeführt. Freigelegte und für eine Materialtrennung zerkleinerte Batteriemodule und -zellen werden anschließend mit klassischen Trennverfahren wie Sichtung und Siebung aufbereitet. Im Rahmen von DemoSens soll erstmals eine automatische Demontage mithilfe von Robotern sowie eine sensorbasierte mechanische Aufbereitung erfolgen. Hierzu wird eine iterative und wechselseitige Anpassung der Prozessschritte Demontage und mechanische Aufbereitung erfolgen.

Dazu wird ein Robotersystem für großvolumige und schwere Komponenten in einer Pilotanlage aufgebaut, das in der Lage sein soll, mittels optischer Sensorsysteme und verschiedener Trennverfahren eine Demontage bis auf Modul-/Zellebene durchzuführen. Damit der Roboter die entsprechenden Arbeitsschritte selbstständig und selbstregulierend durchführen kann, werden passgenaue Machine-Learning-Verfahren entwickelt.

Quellen

https://www.knuw.nrw/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/Publikationen/Innovationsradare/2021/Wachstums_kern_Batterierecycling.pdf

<https://www.pem.rwth-aachen.de/cms/PEM/Forschung/Projekte/~pkazx/DemoSens/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Alle Metalle, die in heutigen Lithium-Ionen-Batteriesystemen zum Einsatz kommen können

Reifegrad

Forschung

6.4 Big Data im Recycling von Lithium-Ionen-Batteriezellen

Projekt DiRectlON

Klassifikation des Akteurs

Konsortium (TU Braunschweig, Fraunhofer IKTS, RWTH Aachen)

Übergeordnete Website

<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/direction/>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das vom Bundesforschungsministerium geförderte Projekt „DiRectlON – Data-Mining im Recycling von Lithium-Ionen Batteriezellen“ befasst sich mit der systematischen Erfassung und Verarbeitung von Produkt- und Prozessdaten im Batterierecycling sowie deren prozessübergreifende Zusammenführung und Auswertung. Dazu plant das Projektkonsortium, Systeme zur Datenerfassung und -verarbeitung an Recyclinginfrastrukturen zu installieren. Die so erfassten großen Datenmengen sollen automatisch mithilfe des Data-Minings (durch automatisiertes Durchsuchen und Bewerten von Datensätzen) erfolgen. So soll der Einfluss verschiedener Prozessparameter auf Ausbeute oder Reinheit der gewonnenen Sekundär-Rohstoffe untersucht werden, um Digitalisierungslösungen für die Gestaltung nachhaltiger Batterierecyclingwege aufzuzeigen.

Die Bezüge zu zirkulärer Wertschöpfung und dem Metall Lithium werden klar betont. Von KI ist nicht explizit die Rede, ausgehend von einer angestrebten „automatisierten Bewertung von Datensätzen“ kann ein Potenzial für die Anwendung von KI jedoch impliziert werden.

Quellen

<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/direction/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung

6.5 Intelligenter Abfallbehälter für verbessertes Recycling

a) 2B0 (To Be Zero) - Marke der Recycling Units & Micro Waste Management Systems Inc.

b) Grinbean

Klassifikation des Akteurs

Start-ups

Übergeordnete Website

a) <https://2b0.io>

b) <https://grinbean.hk>

Land

a) USA

b) Hongkong

Kurzbeschreibung

2B0 plant, einen KI-gesteuerten IoT-Recyclingroboter (IoT, Internet of Things) anzubieten zur Nutzung in Wohnungen sowie in Büros und im Einzelhandel. Verbraucher sollen ihre Wertstoffe in den Roboter einfüllen können, der KI-gestützt das jeweilige, wiederverwertbare Material automatisch erkennt und entsprechend verarbeitet. Das Material soll dann zerkleinert werden, sodass sich das Volumen auf ein Fünfzehntel reduziert. Das zerkleinerte Material soll zur Abholung vakuumverpackt werden. Eine zugehörige App ist angedacht, die auf Gamification setzt, um Verbrauchern zu helfen, ihre Kaufgewohnheiten zu ändern.

Bezüge zu KI und zirkulärer Wertschöpfung werden in der Unternehmensdarstellung klar angesprochen. Als ein Anwendungsfall werden Getränkedosen aus Aluminium auf einigen der Bilder gezeigt.

Weiteres ähnliches Unternehmen: Grinbean – Fokus auf Immobilien- und Gastgewerbe als Anwender

Quellen

https://2b0.io/investor_portal

<https://www.indiegogo.com/projects/2b0-recycling-robots-for-home-office>

<https://www.crunchbase.com/organization/grinbean-smart-recycling>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept

6.6 KI-basierte Datenanalyse für Müllsortieranlagen

a) Binlt

b) Greyparrot

c) National Recovery Technologies

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

a) <https://binit.ai>

b) <https://www.greyparrot.ai>

c) <https://nrtsorters.com>

Land

a) USA

b) UK

c) USA

Kurzbeschreibung

Das Start-up Binlt zielt auf Digitalisierung in Müllsortieranlagen. Dazu soll der gesamte Abfallstrom in allen Schritten der Behandlung erfasst und digitalisiert werden. Es soll eine KI-Plattform entwickelt werden, die die Abfallzusammensetzung in Echtzeit aufschlüsselt und Informationen zur Reinheit der verschiedenen Materialien enthält sowie Verunreinigungen identifiziert. Dadurch soll die Effizienz der Müllsortierung verbessert werden.

Die Müllsortierung wird als Schritt des Recyclings betrachtet und somit in die zirkuläre Wertschöpfung eingeordnet. Die Anwendung von KI wird explizit angesprochen, Metalle dagegen nicht – sie können aber als Teil des typischen Abfallstroms erwartet werden.

Weitere ähnliche Unternehmen/Produkte:

- Greyparrot
- National Recovery Technologies – ColorPlus™ Technologie and Max-AI® (optische Sortierung mit KI-Bildererkennung)

Quellen

<https://www.crunchbase.com/organization/binit>

<https://www.crunchbase.com/organization/greyparrot-ai>

<https://nrtsorters.com/equipment/colorplus-with-max-ai/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept

6.7 KI-basierte Datenanalyse und Robotik in der Müllsortierung

- a) EverestLabs
- b) Databeyond
- c) Recycleye
- d) Waste Robotics
- e) AMP Robotics
- f) ZenRobotics --> Terex
- g) Sadako

Klassifikation des Akteurs

Start-up --> Unternehmen

Übergeordnete Website

- a) <http://www.everestlabs.ai>
- b) <https://en.databeyond.cn>
- c) <https://recycleye.com>
- d) <https://wasterobotic.com>
- e) <https://www.amprobotics.com>
- f) <https://www.terex.com/zenrobotics>
- g) <https://sadako.es>

Land

- a) USA
- b) China
- c) UK
- d) Kanada
- e) USA
- f) Finnland --> USA
- g) Spanien

Kurzbeschreibung

Mehrere Unternehmen, darunter EverestLabs, Databeyond, Recycleye, Waste Robotics, AMP Robotics, Terex (ZenRobotics) und Sadako, fokussieren auf Recyclinganwendungen, nutzen KI und Automatisierung für die Müllsortierung und behandeln oft Metalle sowie teilweise Elektronikschrott als relevante Abfallströme in ihren Lösungen.

- a) Das Start-up EverestLabs konzentriert sich laut seiner Selbstdarstellung auf Müllsortierungsanlagen und bietet hierfür einerseits KI-basierte Bilderkennung zur Analyse der Recyclingströme sowie vortrainierte Sortierroboter zur mechanischen Umsetzung des Sortiervorgangs.
- b) Databeyond: bietet intelligente Sortieranlagen. Neben Kunststoffen werden auch Metallschrott, Altfahrzeuge und Batterien genannt.
- c) Recycleye: Sortierroboter mit KI-Computer-Vision
- d) Waste Robotics: Ebenso – spricht Metalle und Elektroschrott explizit an

- e) AMP Robotics: verwendet die folgende Selbstbeschreibung: „We apply AI-powered automation to economically and sustainably improve our global recycling system.“ Spricht Metalle und Elektronik explizit als relevante Märkte an.
- f) Terex mit der Marke ZenRobotics: Zitat aus der Selbstbeschreibung: „With automated AI-based sorting, you can get valuable high-quality recyclables, actionable data and circular economy leadership.“ Metallschrott wird als relevante Abfallkategorie aufgelistet.
- g) Sadako
Das Unternehmen Sadako war am [Projekt](#) „HR-Recycler“ beteiligt mit dem genauen Projekttitel: „Hybrid Human-Robot Recycling plant for electrical and electronic equipment“
Zitat aus der Projektbeschreibung: „HR-Recycler targets the development of a hybrid human-robot recycling plant for WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) operating in an indoor environment. The fundamental aim of the system (and its great innovation potential) is to replace multiple currently manual, expensive, hazardous and time-consuming tasks of WEEE materials pre-processing with correspondingly automatic robotic-based procedures (categorization of electric/electronic devices, disassembling them, sorting of device components), before the materials are eventually provided as input to a fine shredding machine and conventional material separation steps are applied (using air/water flows, oscillating movements, magnets, etc.).“

Quellen

- a) <https://www.everestlabs.ai/about-us>
<https://www.crunchbase.com/organization/everestlabs-ai>
- b) <https://en.databeyond.cn/company.html>
- c) <https://recycleye.com/solutions/>
<https://www.crunchbase.com/organization/recycleye>
- d) <https://wasterobotic.com/product/metals>
<https://www.crunchbase.com/organization/waste-robotics>
- e) <https://www.amrobotics.com/metals>
<https://www.amrobotics.com/electronics>
<https://www.crunchbase.com/organization/amp-robotics>
- f) <https://www.terex.com/zenrobotics/waste-types/overview>
<https://www.crunchbase.com/organization/zenrobotics>
- g) <https://sadako.es/cris/>
<https://cordis.europa.eu/project/id/820742> (Projekt HR-Recycler)

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Einsatz

6.8 Autonomer Roboter für die Gewässerreinigung

RanMarine Technology – WasteShark

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.ranmarine.io>

Land

Niederlande

Kurzbeschreibung

Das Start-up RanMarine Technologies stellt unter dem Namen „WasteShark“ ein autonomes Wasserfahrzeug zur Reinigung von Binnengewässern und Häfen vor. Es ist so konstruiert, dass es schwimmende Verunreinigungen entfernen kann. Als Beispiele werden Plastikflaschen, Algen und Biomasse genannt.

Als „autonomes“ Fahrzeug stellt der WasteShark eine Form der autonomen Robotik dar, Zirkuläre Wertschöpfung wird adressiert, da die aus der Umwelt entfernten Abfälle dem Recycling oder einer Weiterverwendung zugeführt werden können. Schwimmende Abfälle könnten neben Plastikflaschen auch Getränkedosen aus Aluminium umfassen.

Quellen

<https://www.crunchbase.com/organization/ranmarine-technology>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Konzept/Entwicklung

7. Recover (Wiedergewinnung)

Wenn man – wie in der Literatur verbreitet – unter „Recover“ die Wiedergewinnung von Energie durch thermische Verwertung versteht, wären metallspezifische Beispiele nicht zu erwarten.

Bezogen auf Metalle bedeutet thermische Verwertung am ehesten die Rückgewinnung von Metallen durch Einschmelzen. Es folgen drei Beispiele für den KI-Einsatz bei der Rückgewinnung von Metallen aus der Schmelze. Auch wenn sich diese Beispiele (überwiegend) auf die Volumenmetalle Stahl und Aluminium beziehen, ist davon auszugehen, dass vergleichbare Anwendungen und Optimierungspotenziale auch in Bezug auf die Schmelze anderer Metalle bestehen.

7.1 Intelligente Aluminium-Recycling-Schmelze

Novamet

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.novamet.ch>

Land

Schweiz

Kurzbeschreibung

Das Start-up Novamet entwickelt intelligente, datenbasierte Instrumente zur Optimierung von Schmelzprozessen im Recycling bzw. in der Wiederverwertung von Aluminium.

Es verfolgt dabei das Ziel, im Rahmen von Industrie 4.0 Lösungen zu entwickeln, die als Schlüsselemente für Digitalisierung und nachhaltiges Wirtschaften dienen. Langfristig strebt das Unternehmen an, zum globalen Anbieter innovativer und datengetriebener Plattformen für die Prozesskontrolle und -optimierung auf Basis digitaler Zwillinge und Künstlicher Intelligenz zu werden.

Ähnliche technische Ziele werden auch in einem Projekt des „[Remade Instituts](#)“ verfolgt. Darin sollen durch KI und intelligente Sensorik Aluminium-Schmelzprozesse optimiert werden unter Berücksichtigung der Schrottqualität, durch optimierte Mischung des verfügbaren Materials an Aluminiumschrott und eine Analyse der Aluminiumschmelze selbst.

In beiden vorgestellten Beispielen soll KI eingesetzt werden, um die Wiedergewinnung (Recover) von Metallen (Aluminium, Stahl) zu verbessern.

Quellen

<https://www.crunchbase.com/organization/novamet-sarl>

<https://www.novamet.ch/about-novamet-1>

<https://remadeinstitute.org/projects>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Aluminium, Stahl

Reifegrad

Forschung/Entwicklung

7.2 KI-Optimierung der Sekundärrohstoffnutzung in der Gießerei- und Stahlindustrie

Projekt OptiRoDig

Klassifikation des Akteurs

Konsortium (Friedr. Lohmann GmbH; Universität Duisburg-Essen (UDE), Institut für Technologien der Metalle; Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten)

Übergeordnete Website

<https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/OptiRoDig.html>

<https://www.uni-due.de/mfi/optirodig>

Land

Deutschland

Kurzbeschreibung

Das vom Bundesforschungsministerium geförderte Projekt OptiRoDig „Optimierung der Rohstoffproduktivität in der Gießerei- und Stahlindustrie aus Produkten der Recyclingwirtschaft durch Nutzung moderner mathematischer Verfahren, Vernetzung und Digitalisierung“ arbeitet daran, die Nutzung von Sekundärrohstoffen in der Gießerei- und Stahlindustrie zu verbessern. Dazu soll ein Netzwerksystem zum Datenaustausch zwischen Recyclingindustrie und Stahlwerken entwickelt werden, um die Schmelzprozesse optimieren zu können.

Im Projekt gewonnene Daten aus Schmelzversuchen wurden mit Machine-Learning-Software verarbeitet, um eine auf Kosten- und Energieverbrauch bezogene Optimierung zu ermöglichen. So soll eine Gesamtoptimierung der metallurgischen Wechselwirkungen in der Schmelze und der Gesamtkosten ermöglicht werden.

In dem Projekt spielen die Nutzung des maschinellen Lernens (ML), Sekundärrohstoffe und Metalle eine wesentliche Rolle.

Quellen

<https://www.uni-due.de/mfi/optirodig>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Stahl

Reifegrad

Forschung

7.3 Intelligente Echtzeitanalyse flüssiger Metalle

DTE

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://dte.ai/>

Land

Island

Kurzbeschreibung

Laut seiner Selbstdarstellung arbeitet das Unternehmen DTE an der digitalen Transformation der Metallindustrie und möchte durch industrielle IoT-Analysetechnik (IoT, Internet of Things) einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Demnach kombiniert DTE eine Flüssigphasen-Elementaranalyse von geschmolzenen Metallen mit einer KI-Cloud-Plattform.

Der Bezug zu KI und Metallen wird sehr prominent formuliert. Ein Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung besteht indirekt, indem das Unternehmen Novelis als Investor aufgeführt wird, das in seiner Selbstdarstellung die Ambition formuliert, eine vollständige zirkuläre Wertschöpfung für Aluminium-Lösungen erreichen zu wollen.

Quellen

<https://dte.ai/about-us/>

<https://dte.ai/our-value/>

<https://dte.ai/2023/06/19/dte-secures-10m-funding-anchored-by-industry-leader-novelis-and-the-eic-fund/> (Novelis)

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert – zumindest Aluminium wird explizit angesprochen.

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

Anhang: Am Rand der Potenzial-Landkarte

A Mining 4.0 – Primärrohstoffgewinnung – nachhaltiger und effizienter mit KI

Im Laufe der Recherche sind aufgrund der Nähe der Suchbegriffe immer wieder auch Suchtreffer im Kontext aus dem Bereich Primärrohstoffgewinnung und Bergbau identifiziert worden, der schließlich auch für alle Metalle relevant ist. Dabei dient Mining 4.0 als allgemeiner Oberbegriff für die Nutzung von Industrie 4.0-Ansätzen (einschließlich KI) im Bergbau. In diesem Anhang soll zumindest cursorisch auf Ergebnisse aus diesem Sachzusammenhang hingewiesen werden. Denn die Primärrohstoffgewinnung findet sich in zahlreichen Bildern zur zirkulären Wertschöpfung als ein Randelement, von wo aus Stoffströme in den angestrebten Kreislauf einfließen, sodass man sich insofern bildlich gesprochen am Rande der zirkulären Wertschöpfung und damit auch am Rande dieser Potenzial-Landkarte befindet. Zudem sind Effizienzsteigerungen und Verbesserungen der Nachhaltigkeit im Bergbau auch als Referenzgröße wesentlich für die Bemühungen um Zirkularität im Sinne eines „moving targets“, das es zu übertreffen gilt. Und schließlich können Verfahren, bei denen Abfall- und Reststoffe als Rohstoffquellen erschlossen werden („waste valorisation“), auch unmittelbarer als Schritte in Richtung Zirkularität verstanden werden.

In diesem Sinne stellt A.1 ein Verfahren vor, bei dem mit KI-Unterstützung für die Prozesstechnik Metalle aus Sole gewonnen werden sollen, die als Reststoff bei der Meerwasserentsalzung anfällt und sonst ins Meer eingeleitet würde.

In A.2 wird eine KI-unterstützte Sensorik-Anwendung im Zusammenhang mit der Lithium-Gewinnung erläutert, die technisch mit den Anwendungsbeispielen in Kapitel 7 verwandt ist.

Giftige Cyanide werden bei der primären Gewinnung von Gold eingesetzt. Beispiel A.3 stellt einen KI-basierten Ansatz vor mit dem Versprechen, den Verbrauch dieser Stoffe um 15 % zu reduzieren.

A.4 enthält ein Beispiel zur KI-optimierten Prozessierung von Metall-Erzen.

In Beispiel 6.7 wurde die Kombination von intelligenter Datenanalyse und (autonomer) Robotik in der Müllsortierung dargelegt. Ähnliche Ansätze können auch bei der Erzaufbereitung (A.4) und in Minen (A.5) zur Steigerung der Effizienz und zur Vermeidung von Abfällen eingesetzt werden.

Literatur-Übersicht zum Thema:

Jooshaki, M., Nad, A. & Michaux, S. (2021): A Systematic Review on the Application of Machine Learning in Exploiting Mineralogical Data in Mining and Mineral Industry. Minerals, 11, 816.

<https://doi.org/10.3390/min11080816>

A.1 Extraktion von Metallen aus Rückständen der Meerwasserentsalzung

Projekt Sea4Value

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://sea4value.eu/>

Land

Spanien, Deutschland, Italien, Belgien, Ukraine, Niederlande, Finnland, Schweiz

Kurzbeschreibung

Das Projekt Sea4Value zielt darauf ab, Mineralien und Metalle aus Sole zu extrahieren, die bei der Meerwasserentsalzung anfällt. Dadurch sollen Meerwasserentsalzungsanlagen zu einer Quelle wertvoller (metallischer) Rohstoffe für die EU werden. In der Projektdarstellung wird betont, dass ähnlich gelagerte Projekte meist auf einzelne Elemente zielen und daher oft nicht wirtschaftlich sind. Sea4Value setzt dagegen auf eine Kombination von Trenntechnologien und die Extraktion mehrerer Elemente und hofft auf diesem Wege, Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

Ein Bezug zu zirkulärer Wertschöpfung wird von den Projektbeteiligten explizit hergestellt und das Projekt als Schritt auf dem Weg zur zirkulären Wirtschaft beschrieben.

Künstliche Intelligenz wird dagegen nicht explizit erwähnt. Es wird aber betont, dass im Projekt ein Werkzeug zur Prozess-Simulation entwickelt wird, dass die Integration der verschiedenen Extraktionstechnologien und die Anpassung auf unterschiedliche Zusammensetzung der behandelten Solen unterstützen sollen. Bei diesem Schritt wäre eine Anwendung von KI-Ansätzen denkbar.

Quellen

<https://sea4value.eu/the-project/>

<https://sea4value.eu/partners/>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Molybdän, Magnesium, Scandium, Vanadium, Gallium, Bor, Indium, Lithium und Rubidium

Reifegrad

Forschung

A.2 KI und Spektroskopie in der Lithium-Gewinnung

Projekt inSITE (Insitu ore grading system using LIBS in harsh environments)

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://eitrawmaterials.eu/project/insite>

Land

Deutschland/Italien/Belgien/Slowenien/Schweiz/Portugal

Kurzbeschreibung

In der Projektbeschreibung wird LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) vorgestellt als ein vielversprechendes Instrument für die Echtzeitanalyse von Elementen mit niedrigem Atomgewicht, wie es z. B. auf Lithium zutrifft. Es wird darauf hingewiesen, dass am Markt verfügbare Lösungen oft widersprüchliche Ergebnisse oder nur unzureichende Genauigkeiten bei der Quantifizierung erzielen. Das Projekt inSITE stellt demnach eine neue Lösung vor, die auf Informationstransfer zusammen mit KI-Algorithmen und einer Datenbank für Mineralspektren eine echte In-situ-Erzklassifizierung ermöglichen und für den Markteintritt vorbereiten soll.

Quellen

https://www.inesctec.pt/en/projects/insite#technical_sheet

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Lithium

Reifegrad

Forschung

A.3 Intelligentes Cyanid-Monitoring in der Goldgewinnung

Cyano Guard AG

Klassifikation des Akteurs

Start-up

Übergeordnete Website

<https://www.cyanoguard.com>

Land

Schweiz

Kurzbeschreibung

Das Start-up bietet laut den Angaben seiner Internetpräsenz Lösungen für die Cyanid-Überwachung und zielt dabei auf Anwendungen im Goldbergbau, in der Lebensmittelsicherheit und der Medizin. Cyanid wird im Bergbau zum Herauslösen von Edelmetallen aus Gesteinen verwendet.

Angeboten wird ein mobiles, digitales Messgerät für die Cyanidkonzentration, das durch einen KI-Algorithmus besonders hohe Messgeschwindigkeiten erreichen soll. Zudem wird eine KI-basierte Cloud-Plattform angeboten, die dazu dient, die Cyanidnutzung zu visualisieren, zu steuern und zu optimieren, wobei das Einsparpotenzial für den Cyanidverbrauch mit etwa 15 % angegeben wird.

Quellen

<https://www.crunchbase.com/organization/cyanoguard-ag>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Gold

Reifegrad

Entwicklung/Einsatz

A.4 KI-optimierte Prozessierung von Wolfram- und Tantal-Erzen

Projekt OptimOre

Klassifikation des Akteurs

Konsortium

Übergeordnete Website

<https://cordis.europa.eu/project/id/642201>

Land

Deutschland/Spanien/Schweden/UK

Kurzbeschreibung

Das OptimOre-Projekt hat Technologien zur Modellierung und Steuerung der Verarbeitung von Wolfram- und Tantal-Erzen erforscht und entwickelt. Der Ansatz des Projektes umfasste Sensorik und Verfahren zur Steuerung industrieller Prozesse mithilfe von Künstlicher Intelligenz und die Zerkleinerung der Erze sowie Trennungsprozesse, die z. T. auch in Bezug auf sog. Tailings untersucht wurden. Dabei handelt es sich um Rückstände aus der Aufbereitung von Erzen, die als Schlämme vorliegen können.

Quellen

<https://cordis.europa.eu/article/id/233273-a-new-way-of-extracting-critical-raw-materials-in-europe>

<https://www.hzdr.de/db/!Publications?pNid=head&pSelMenu=0&pSelTitle=24785>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Wolfram, Tantal

Reifegrad

Forschung

A.5 Internet der Dinge, Drohnen, KI im Bergbau

a) Projekt AMICOS (Autonomous Monitoring and Control System for mining plants)

b) Hovering Solutions

c) Motion Metrics --> Weir

Klassifikation des Akteurs

a) Konsortium

b) Start-up

c) Start-up --> Unternehmen

Übergeordnete Website

a) <https://amicos.fbk.eu>

b) <https://hoveringsolutions.com>

c) <https://www.motionmetrics.com>

Land

a) Italien/Spanien/Polen

b) Spanien

c) Kanada

Kurzbeschreibung

Im Projekt **AMICOS** wird an der digitalen Transformation der Bergbauindustrie gearbeitet, und zwar in Form von digitalen Entscheidungsunterstützungssystemen zum Anlagenmanagement, die auf Fernerkundungsdaten basieren. Dabei sollen neue Technologien (wie Internet der Dinge, Drohnen, Künstliche Intelligenz, Building Information Modeling usw.) genutzt werden, um die Kosten zu senken und die Arbeitssicherheit zu steigern.

Das Start-up **Hovering Solutions** bietet nach eigenen Angaben autonome Drohnen an zur Anwendung im Untergrund einschließlich der Erstellung von 3D-Karten im Untertagebau, ohne dabei auf externe Navigation, Funkverbindung oder Beleuchtung angewiesen zu sein.

Das Unternehmen **Weir Motion Metrics** bietet Verfahren der Computer-Vision, die auf Deep-Learning-Algorithmen basieren und für harsche Arbeitsumgebungen ausgelegt sind, und cloudbasierten KI-Prognosemodellen und adressiert mit seinen Lösungen primär den Bergbau.

Quellen

<https://amicos.fbk.eu/partners>

<https://hoveringsolutions.com/contact-us/>

<https://www.motionmetrics.com/technologies/>

<https://www.motionmetrics.com/about-us/>

<https://www.crunchbase.com/organization/motion-metrics>

Weitere 7R-Bezüge

–

Metalle

Nicht spezifiziert

Reifegrad

Forschung/Entwicklung/Einsatz

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI Research
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: +49 211 6214-536
E-Mail: foresight@vdi.de
www.vditz.de