

DeB-AT

Detektion und Ausschleusung von Batterien aus gemischten Abfällen mittels Sensorik und künstlicher Intelligenz

| | | | |
|---------------------------------|---|------------------------|------------|
| Programm / Ausschreibung | Energie- u. Umwelttechnologien, Energie- u. Umwelttechnologien, Kreislaufwirtschaft - Energie- und Umwelttechnologie Ausschreibung 2022 | Status | laufend |
| Projektstart | 01.03.2023 | Projektende | 31.08.2025 |
| Zeitraum | 2023 - 2025 | Projektlaufzeit | 30 Monate |
| Keywords | Gerätebatterien, Lithium-Ionen-Akkus, Sicherheit, Störstoffabtrennung | | |

Projektbeschreibung

Lithium-Ionen Batterien und andere Batterientypen sind nicht mehr aus unserem Alltag wegzudenken und die Mengen in verschiedenen Produkten steigen zukünftig weiter an. Durch Energiespeicher, welche falsch in der Abfallwirtschaft gesammelt und dann in Behandlungsanlagen gelangen, entstehen immer mehr Brände. Diese verursachen negative Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Nachhaltigkeit: ökologische (Brandemissionen, weitere Umweltschäden), ökonomische (hoher Investitionsbedarf bei Neuerrichtung, Verlust der Versicherungswürdigkeit) und soziale (Sicherheit der Belegschaft, Belastung im nachbarschaftlichen Umfeld) Themen sind damit verbunden.

Das Forschungsprojekt DeB-AT hat sich zum Ziel gesetzt Alt-Batterien in den zu behandelnden Abfallströmen mittels sensor- und KI-basierter Technologien zu erkennen und auszuschleusen. Das innovative Projekt besteht aus den inhaltlichen Arbeitspaketen (1) Probenahme und Klassifizierung, (2) Sensorpositionierung und Typenauswahl, (3) Segmentierung und Bildanalyse und (4) Ausschleusung von Batterien. Der Innovationsgehalt spiegelt sich in der Neuheit der technologischen Kombination von Sensortechnik, Bilderkennung und KI in Anwendung auf den Störstoff Batterien sowie die Nutzung der Fallbeschleunigung in bestehenden Anlagenkonzepten und behandelt eine kreislaufwirtschaftliche Herausforderung für die es derzeit noch keine marktfähige und in bestehenden Anlagen einsetzbare Lösung gibt.

Durch die Kombination von verschiedenen bildverarbeitenden und sensorischen Technologien sowie künstlicher Intelligenz wird der bisher schwer identifizierbare Störstoff Batterien in unterschiedlichen Stoffströmen detektierbar. Das Ergebnis des Projektes DeB-AT strebt sowohl für Gerätebatterien als auch für darin enthaltene Gruppe der Lithium-Ionen-Akkus eine Erkennungsrate von mehr als 95% an. Als Grundstein für eine marktreife Anwendung soll in diesem Forschungsprojekt ein erster Labor- & Technikumsdemonstrator (TRL 4) entstehen. Damit können einerseits eine neue Technologie die Anlagensicherheit in der Abfallwirtschaft und andererseits Potentiale in der Ressourceneffizienz durch den neu getrennten Stoffstrom verbessert werden.

Abstract

Lithium-ion batteries and other battery types have become an integral part of our everyday lives, and the quantities in

various products will continue to increase in the future. Energy storage devices, which are incorrectly collected in waste management and then sent to treatment plants, are causing more and more fires. These cause negative impacts on various areas of sustainability: ecological (fire emissions, further environmental damage), economic (high investment requirement for new construction, loss of insurance eligibility) and social (safety of the workforce, burden on the neighboring environment) issues are associated with them.

The DeB-AT research project aims to detect and reject waste batteries in mixed waste material streams to be treated using sensor and AI-based technologies. The innovative project consists of the following work packages (1) sampling and classification, (2) object detection and segmentation, (3) AI image analysis, and (4) ejection of batteries. The innovation content is reflected in the novelty of the technological combination of sensor technology, image recognition and AI in application to the contaminant of batteries as well as the use of gravity acceleration in existing plant concepts and addresses a circular economy challenge for which there is currently no marketable solution applicable in existing plants.

By combining different image processing and sensory technologies as well as artificial intelligence, the previously difficult-to-identify contaminant batteries becomes detectable in different material streams. The result of the DeB-AT project aims at a detection rate of more than 95% for both portable batteries and the group of lithium-ion batteries contained therein. As a foundation stone for a marketable application, a first laboratory & pilot plant demonstrator (TRL 4) is to be created in this research project. On the one hand, this will enable a new technology to improve plant safety in waste management and, on the other hand, potentials in resource efficiency through the newly separated material flow.

Endberichtkurzfassung

Kurzfassung der Projektergebnisse - DeB-AT

Detektion und Ausschleusung von Batterien aus gemischten Abfällen mittels Sensorik und künstlicher Intelligenz

Batterien stellen in Abfallbehandlungsanlagen ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Falsch entsorgte Gerätebatterien gelangen zunehmend in gemischte Abfallströme und können, insbesondere nach mechanischer Vorbehandlung, gravierende Brandereignisse auslösen. Gleichzeitig enthalten Batterien wertvolle Rohstoffe, die durch frühzeitige Separierung gezielt recycelt werden könnten. Das Projekt DeB-AT setzte sich zum Ziel, ein innovatives System zu entwickeln, das Batterien in Abfallströmen automatisch erkennt und in einem nachfolgenden Prozessschritt zuverlässig ausschleust. Damit sollte ein bedeutender Beitrag zu Anlagensicherheit, Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft geleistet werden.

Aufbau einer umfassenden Datenbasis

Grundlage für die Entwicklung eines KI-gestützten Detektionssystems war die Erstellung einer qualitativ hochwertigen Datenbasis. In drei Probenahmekampagnen wurden rund 5.100 Gerätebatterien unterschiedlicher Bauformen und Herkunft beprobt, dokumentiert und in 28 Klassen kategorisiert. Ergänzend wurden mehrere Abfallfraktionen (FE-, NE- und Kunststoffverpackungsabfälle) aufgenommen, um realitätsnahe Szenarien abzubilden. Die fortlaufende Erweiterung und Qualitätskontrolle der Datensätze bot eine robuste Ausgangsbasis für die Entwicklung maschineller Lernverfahren.

Entwicklung eines industrietauglichen Sensor-Setups

Ein wesentlicher Projektbestandteil war die Auswahl und Optimierung eines Kamerasystems, das auch unter schwierigen Bedingungen – schwankende Flugbahnen, hohe Partikelgeschwindigkeiten, variierende Lichtverhältnisse – verlässliche Bilddaten liefert. In mehreren Testreihen wurden Zeilen- und Flächenkameras, diverse Optiken und Beleuchtungssysteme geprüft. Schließlich wurde ein Flächenkamerasystem auf Basis einer Industrie-Kamera (Basler) ausgewählt, das in Kombination mit leistungsstarker LED-Beleuchtung und optimierten Parametern eine hohe Bildqualität bei sehr kurzen Belichtungszeiten ermöglicht. Das final entwickelte Sensor-Konzept bewährte sich in Laborumgebungen ebenso wie in realen Abfallbehandlungsanlagen.

KI-gestützte Segmentierung, Klassifikation und Detektion

Auf Basis des umfassenden Bildmaterials wurden neuronale Netze für die automatische Erkennung von Batterien entwickelt. Zunächst erfolgte die Klassifikation von Einzelbatterien mittels Convolutional Neural Networks (u.a. GoogLeNet, AlexNet). Die besten Modelle erzielten Vorhersagegenauigkeiten von knapp 80% vor der Optimierung.

Aufbauend darauf wurde zur Erkennung in gemischten Abfallströmen ein Objekt-Detektionsmodell (YOLOv8) trainiert. Dieses Modell identifiziert Batterieobjekte im Bild, lokalisiert sie präzise mittels Bounding Boxes und klassifiziert sie entsprechend. Trotz der hohen Heterogenität des Abfallmixes und ähnlicher Erscheinungsformen zwischen Batterietypen erreichte das System robuste Erkennungsleistungen und konnte Batterien in künstlich beimpften Abfallströmen zuverlässig identifizieren.

Die umfangreiche Datenaufbereitung – Segmentierung, Datenaugmentation, Qualitätskontrolle – erwies sich als entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Modelle.

Nachweis der automatisierten Ausschleusung

Der zentrale Projektmeilenstein war der Funktionsnachweis der automatisierten Ausschleusung. In sieben Technikumsversuchen wurde die Kopplung des Detektionsmodells mit einem Ausschleusmechanismus erprobt. Die beiden besten Versuchsreihen erzielten 83-100% bzw. 86-92% erkannte und ausgeschleuste Batterien. Dabei kam eine druckluftbasierte Düsenleiste zum Einsatz, die sich durch hohe Reaktionsgeschwindigkeit und zuverlässige Partikelauslenkung auszeichnet. Ergänzend wurde die prinzipielle Tauglichkeit mechanischer Ansätze (Ejector Fingers) getestet.

Die Versuche zeigten, dass sowohl zylindrische als auch flache Batterien zuverlässig erkannt, lokalisiert und anschließend ausgeschleust werden konnten. Störstoffe wie große Verpackungen beeinflussten den Prozess punktuell, änderten jedoch nicht das Gesamtergebnis: Die technische Machbarkeit eines KI-gestützten Ausschleusesystems wurde erfolgreich nachgewiesen.

Wesentliche wissenschaftliche und technische Erkenntnisse

Hohe Datenqualität ist entscheidend: Die Kombination aus umfassender Probenahme, detaillierter Klassifizierung und präziser Segmentierung führte zu einem Datensatz, der auch komplexe Abfallbedingungen robust abdeckt.

Optik und Beleuchtung sind Schlüsselkomponenten: Kurze Belichtungszeiten und hohe Schärfetiefen sind notwendig, um fallende Batterien ohne Bewegungsunschärfe erfassen zu können.

Rotationen und Flugbahnen erhöhen die Anforderungen: Batterien können im freien Fall rotieren und unterschiedliche Orientierungen einnehmen. Dies erfordert erweiterte Trainingssets und spezifische Datenaugmentationsmethoden.

KI-Modelle sind praxistauglich: YOLOv8 zeigte eine verlässliche Detektion selbst unter realen Bedingungen mit heterogenen Abfällen.

Automatisierte Ausschleusung ist möglich: Die Kombination aus Detektion und Düsenleiste funktioniert zuverlässig und schnell genug für Anlagenprozesse.

Gesamtfazit

Das Projekt DeB-AT konnte die vollständige Prozesskette von der Identifikation bis zur Ausschleusung von Batterien erfolgreich demonstrieren. Damit wurde ein technologischer Meilenstein für die Abfallwirtschaftsbranche erreicht: Zum ersten Mal konnte unter realitätsnahen Bedingungen gezeigt werden, dass Batterien im heterogenen Abfallstrom mithilfe von KI sicher detektiert und automatisiert entfernt werden können.

Diese Ergebnisse schaffen die Grundlage für die Weiterentwicklung industrietauglicher Systeme, die zukünftig einen bedeutenden Beitrag zur Erhöhung der Anlagensicherheit, zur Verbesserung der Ressourcennutzung und zur Umsetzung europäischer Kreislaufwirtschaftsziele leisten können.

Projektkoordinator

- Montanuniversität Leoben

Projektpartner

- SAMsoric GmbH
- Müllex - Umwelt - Säuberung - GmbH