KURZBERICHT (Teil I)

1 Ursprüngliche Aufgabenstellung und Stand von Wissenschaft und Technik

Das Verbundprojekt KI-gestützte, teilautomatisierte Demontage von Traktionsbatterien (KaDoTE) adressierte eine zentrale Herausforderung der Elektromobilität: die wirtschaftliche, sichere und ressourceneffiziente Demontage von Traktionsbatterien am Ende ihres Lebenszyklus als Voraussetzung für ein hochwertiges stoffliches Recycling.

Trotz steigender Rücklaufzahlen von Elektrofahrzeugen, einer hohen Variantenvielfalt bestehender Batteriesysteme sowie hohen sicherheitstechnischen Anforderungen ist die Demontage von Traktionsbatterien bislang nur in geringem Maße automatisiert. In der industriellen Praxis erfolgt sie überwiegend manuell, was zu hohen Kosten, langen Durchlaufzeiten sowie erhöhten Risiken für das Bedienpersonal führt. Gleichzeitig fehlen bislang standardisierte, variantenflexible Anlagen- und Prozesskonzepte, die unterschiedliche Batterietypen und Fügeverbindungen zuverlässig handhaben können.

Vor diesem Hintergrund zielte das Projekt KaDoTE auf die Konzeption und exemplarische Umsetzung einer vorwettbewerblichen Lösung für eine KI-gestützte, teilautomatisierte und variantenflexible Demontage von Traktionsbatterien (TRL 3–4). Der Projektansatz kombinierte Methoden und Technologien aus den Bereichen Robotik, optische Erfassung, Künstliche Intelligenz sowie Simulation und Digitale Zwillinge in neuartiger Weise.

Die Technische Universität Chemnitz war im Projekt mit den Professuren Fabrikplanung und Intralogistik (FPIL) sowie Produktionssysteme und -prozesse (PSP) beteiligt. Das Teilvorhaben der TU Chemnitz fokussierte insbesondere die Entwicklung methodischer Grundlagen, den Aufbau digitaler Modelle sowie die experimentelle Erprobung zentraler Demontagefunktionen anhand industrienaher Demonstratoren.

2 Ablauf des Vorhabens

Das Teilvorhaben der TU Chemnitz wurde in mehreren aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten umgesetzt. Zu Beginn standen Analysen relevanter Traktionsbatterietypen, Fügetechnologien sowie sicherheits-, norm- und prozessrelevanter Rahmenbedingungen im Vordergrund. Auf dieser Basis wurden Anforderungen an variantenflexible Demontageprozesse und -systeme abgeleitet und mit den Verbundpartnern abgestimmt.

Ein weiterer Schwerpunkt des Teilvorhabens lag in der konzeptionellen Mitwirkung sowie der experimentellen Nutzung und Validierung des im Verbund entwickelten Digitalen Zwillings der Demontageanlage. Dieser umfasste ein kinematisches 3D-Modell der Anlagenstruktur, simulationsbasierte Prozess- und Bewegungsmodelle sowie eine durchgängige Anlagenvernetzung über standardisierte Schnittstellen (u. a. OPC-UA). Die Arbeiten der TUC konzentrierten sich dabei insbesondere auf die Definition der prozess- und robotikrelevanten Anforderungen, die Integration der Demonstratoren sowie die Validierung der Kopplung zwischen digitalem Modell und realer Anlage. Im Projektverlauf konnte erfolgreich demonstriert werden, dass die reale Demonstrationsanlage direkt aus dem Digitalen Zwilling heraus angesteuert werden kann. Damit wurde die grundsätzliche Eignung des Konzepts für eine enge Kopplung von Simulation und realer Anlage sowie perspektivisch für Ansätze der virtuellen Inbetriebnahme aufgezeigt.

Parallel dazu erfolgte die prototypische Integration KI-basierter Module zur Klassifikation von Batterievarianten sowie zur automatisierten Erkennung und Lokalisierung von

Batteriekomponenten und Fügeverbindungen in die Demonstrator-Architektur. Die eigentliche Entwicklung der KI-Module erfolgte durch die entsprechenden Verbundpartner, während sich die Arbeiten der TUC insbesondere auf die Unterstützung bei der Generierung von Trainingsdaten, die Integration der KI-Komponenten in die Demonstratoren sowie die experimentelle Validierung und Erprobung der KI-gestützten Informationsbereitstellung konzentrierten. Der Fokus lag dabei insbesondere auf der Positionsbestimmung und der Bereitstellung roboterrelevanter Zielgrößen.

Zur experimentellen Validierung wurden im Rahmen des Teilvorhabens der TU Chemnitz zwei industrienahe Demonstratoren in Laborumgebungen aufgebaut - jeweils einer an den beteiligten Professuren. Beide Demonstratoren umfassten jeweils einen Industrieroboter und dienten der exemplarischen Abbildung unterschiedlicher Demontageaufgaben. Ein Schwerpunkt lag auf der automatisierten Lösung von Fügeverbindungen, wobei sowohl reversible als auch ausgewählte irreversibel ausgeführte Trennprozesse untersucht wurden. Der zweite Demonstrator adressierte insbesondere die Entnahme von Batteriekomponenten sowie die Anbindung an fahrerlose Transportsysteme und Lagertechnik, um logistische Aspekte der Demontage exemplarisch abzubilden.

Ergänzend wurden speziell entwickelte Batterie-Dummies mit unterschiedlichen Fügetechnologien und modularen Batteriekomponenten eingesetzt, um variantenreiche und realitätsnahe Demontageszenarien unter Laborbedingungen untersuchen zu können.

3 Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit im Verbund

Im Projekt KaDoTE konnte aus Sicht des Teilvorhabens der TU Chemnitz erfolgreich gezeigt werden, dass zentrale Bausteine einer KI-gestützten, teilautomatisierten Demontage von Traktionsbatterien technisch realisierbar sind. Zu den wesentlichen Ergebnissen zählen:

- die Erarbeitung konsolidierter Anforderungskataloge und methodischer Grundlagen für variantenflexible Demontageprozesse,
- die konzeptionelle Mitwirkung sowie die Integration und Validierung eines funktionsfähigen Digitalen Zwillings als Analyse-, Integrations- und Kopplungswerkzeug zwischen Simulation und realer Anlage,
- die prototypische Integration und experimentelle Validierung KI-basierter Module zur Klassifikation von Batteriekomponenten und Fügeverbindungen sowie zur Positionsbestimmung und roboterrelevanten Informationsbereitstellung,
- die Realisierung und der Betrieb zweier industrienaher Demonstratoren zur experimentellen Erprobung von Demontage-, Trenn- und Logistikfunktionen.

Darüber hinaus konnten aus den experimentellen Arbeiten wertvolle Erkenntnisse zur Auslegung automatisierbarer Demontageschritte sowie zu Wechselwirkungen zwischen Prozess, Anlage und digitalem Modell gewonnen werden. Diese Ergebnisse liefern wichtige Orientierungsgrößen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der automatisierten Batteriedemontage.

Die enge Zusammenarbeit im Verbund aus Anlagenbau, Recyclingpraxis, KI-Entwicklung, Simulation und universitärer Forschung erwies sich als wesentlicher Erfolgsfaktor. Die im Projekt entwickelten Konzepte und Demonstrationslösungen bieten eine hohe Anschlussfähigkeit für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie für perspektivische industrielle Anwendungen im Bereich des Batterierecyclings und darüber hinaus.