

# Projektabschlussbericht

## zum Sondervermögen

### „Energie – und Klimafonds“

<b>Vorhabenbezeichnung:</b> AutoBot – Automatisierte Batteriezellcharakterisierung vor, nach und durch Alterungstests zur Überwachung langfristiger Auswirkungen von Produktionsänderungen	
<b>Zuwendungsempfänger</b> Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.	<b>Förderkennzeichen</b> 03XP0459B
<b>Projektleiter</b> Niels Holöchter	<b>Berichtszeitraum</b> 01.01.2024 – 28.02.2025

#### 1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlichen-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

##### Zusammenfassung

Im Projekt **AutoBot** wurde am Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems (CARL) der RWTH Aachen ein hochautomatisierter Prüfstand zur umfassenden Charakterisierung von Batteriezellen vor und nach Alterungstests aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Dieser Prüfstand ist mit einem Zyklisierungsprüfstand kombiniert, der eine individuelle Belastung und Vermessung der Zellen unter definierten Temperaturbedingungen ermöglicht.

Ziel des Projekts war es, Batteriezellen regelmäßig, reproduzierbar und detailliert zu charakterisieren. Dadurch lassen sich die Auswirkungen von Material- und Prozessveränderungen in der Zellfertigung gezielt untersuchen, quantifizieren und zurückführen. In einer standardisierten, automatisierten und gleichzeitig flexibel anpassbaren Messprozedur werden neben klassischen Parametern wie Gewicht, Spannung und 1kHz-Widerstand auch weiterführende Daten erhoben. Dazu zählen die Zellkapazität, umfassende Messungen der elektrochemischen Impedanz (EIS) sowie während des Messzyklus optisch erfasste Wärme- und Ausdehnungsinformationen. Ergänzt wird die elektrische Analyse durch bildgebende Verfahren wie die Computertomographie zur Untersuchung mechanischer Veränderungen im Zellinneren.

Die Alterungstests erfolgen mit hochpräzisem und effizientem Equipment zur Steuerung der Umgebungsbedingungen, zur elektrischen Belastung sowie zur Vermessung unter verschiedenen Lastprofilen. Nach Abschluss der Alterung wird jede Zelle erneut mit der standardisierten Charakterisierungsprozedur vermessen, um einen Vorher-Nachher-Vergleich zu ermöglichen.

Die aufgezeichneten Daten werden zentral in einem Datenbanksystem gespeichert und können sowohl mit bewährten Auswertemethoden des ISEA als auch mit modernen Verfahren des maschinellen Lernens analysiert werden. Durch direkte Schnittstellen zur Produktionslinie können die gewonnenen Erkenntnisse zeitnah in den Fertigungsprozess zurückgeführt werden. Für weiterführende Untersuchungen stehen am CARL spezialisierte Labore zur Verfügung, die detaillierte Analysen der Morphologie und chemischen Veränderungen von Aktivmaterialien und Elektrolyten ermöglichen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft, vertreten durch die Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB, fokussierte sich im Projekt auf die Integration der Komponenten zu einem automatisierten Prüfsystem. Hierzu wurde ein kollaborativer Roboter für das automatisierte Zellhandling entwickelt, der einen flexiblen Prüfablauf ermöglicht. Darüber hinaus wurden physische Schnittstellen zwischen dem CARL und externen Partnern, exemplarisch dargestellt durch die Fraunhofer FFB, aufgebaut.

### Detaillierte Darstellung

Die Laufzeit des Projekts AutoBot erstreckte sich inkl. einer kostenneutralen Verlängerung um sechs Monate über insgesamt zweieinhalb Jahre. Das Projekt begann offiziell am 01.09.2022 und wurde im Februar 2025 erfolgreich abgeschlossen.

Im Zeitraum von 2024 bis zum Projektende 2025 wurden die Arbeitspakete 1 (AP1), 2 (AP2), 3 (AP3) und 4 (AP4) sowie die zugehörigen Meilensteine, wie in Abbildung 1 dargestellt, bearbeitet und abgeschlossen. In diesem Zusammenhang erfolgt ein detaillierter Abgleich zwischen den ursprünglich geplanten Inhalten und den tatsächlich erreichten Ergebnissen.

AP / Quartal	2023			2024									2025				
	Okt 23	Nov 23	Dez 23	Jan 24	Feb 24	Mrz 24	Apr 24	Mai 24	Jun 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24	Okt 24	Nov 24	Dez 24	Jan 25	Feb 25
1. Beschaffung und Inbetriebnahme				MS1													
							MS1										
2. Verknüpfung der Komponenten											MS2						
												MS2					
3. Anbindung an Schnittstellen				MS3													
							MS3										
4. Validierung des Gesamtsystems											MS4						
																	MS4

Projektplanung

Projektverlängerung

Gesamtverlängerung

**Abbildung 1:** AutoBot-Projektplan inkl. Meilensteine

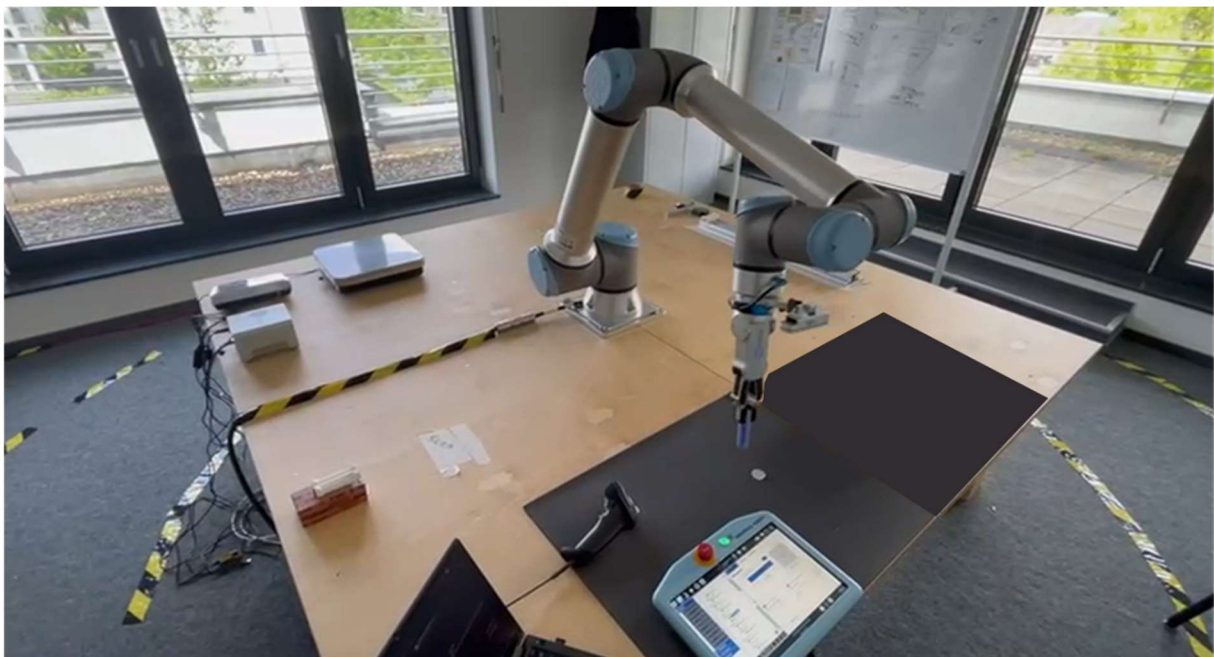


## Arbeitspaket 1: Beschaffung, Inbetriebnahme und Testläufe der Einzelkomponenten

Die Bearbeitung des ersten Arbeitspakets (AP1) erstreckte sich gemäß dem aktualisierten Projektplan über den Zeitraum von September 2022 bis Juni 2024. In diesem Arbeitspaket war die Fraunhofer FFB verantwortlich für die Definition der einzelnen Prüfkomponten und Geräte, um die Anforderungen an das Handhabungssystem des Prüfstands festzulegen. Dabei stand die Interaktion zwischen System und Komponenten im Fokus – insbesondere die automatische Positionierung, Entnahme und Platzierung der Zellen. Ein detailliertes Lastenheft legte die

technischen Anforderungen und Schnittstellen fest. Zur Vorbereitung der Beschaffung führte die FFB Gespräche mit Herstellern, erstellte die Ausschreibungsunterlagen (Übergabe an ISEA am 31.01.2023) und unterstützte den Auswahlprozess. Trotz sorgfältiger Planung verzögerte sich die Lieferung des Handhabungssystems bis September 2023. Parallel wurden daher weitere Prüfstandskomponenten geplant, simuliert und erste Daten ausgelesen – darunter Zyklisierer, Waage mit IOT-Plattform, EIS-Gerät, QR-Drucker, Code-Scanner und Battery-Tester.

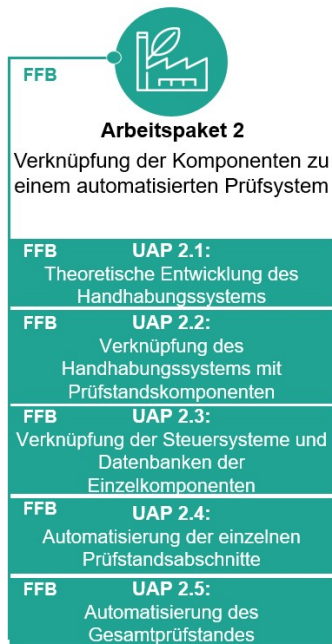
In enger Abstimmung mit dem ISEA wurde der Roboter Ende 2023 an die Fraunhofer FFB überführt, um vor der finalen Inbetriebnahme am Prüfstand am ISEA umfangreiche Testläufe durchzuführen. Nach erfolgreicher technischer und sicherheitsrelevanter Abnahme konnte der Roboter im Januar 2024 bei der FFB aufgebaut werden. Dank der Beschaffung einer speziellen Installationsplattform konnte der Prüfstand maßstabsgetreu nachgebildet werden. Dadurch war es möglich, das Übergeben und Platzieren der Batteriezellen unter realitätsnahen Bedingungen zu testen und zu optimieren (Abb. 2)



**Abbildung 2:** Inbetriebnahme des Roboters auf Installationsplattform an der Fraunhofer FFB

Zunächst wurden Testläufe mit Dummy-Zellen durchgeführt, um grundlegende Handhabungsprozesse zu validieren. Anschließend erfolgte die Erweiterung auf echte Batteriezellen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Greif- und Positioniergenauigkeit von 21700er Rundzellen aus unterschiedlichen Ausgangspositionen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in die Weiterentwicklung und Feinjustierung des Prüfstandsdesigns ein.

Im Juni 2024 wurde das Arbeitspaket seitens FFB mit dem erfolgreichen Aufbau und den Beginn der Testumfänge in den Räumlichkeiten der Fraunhofer FFB abgeschlossen.



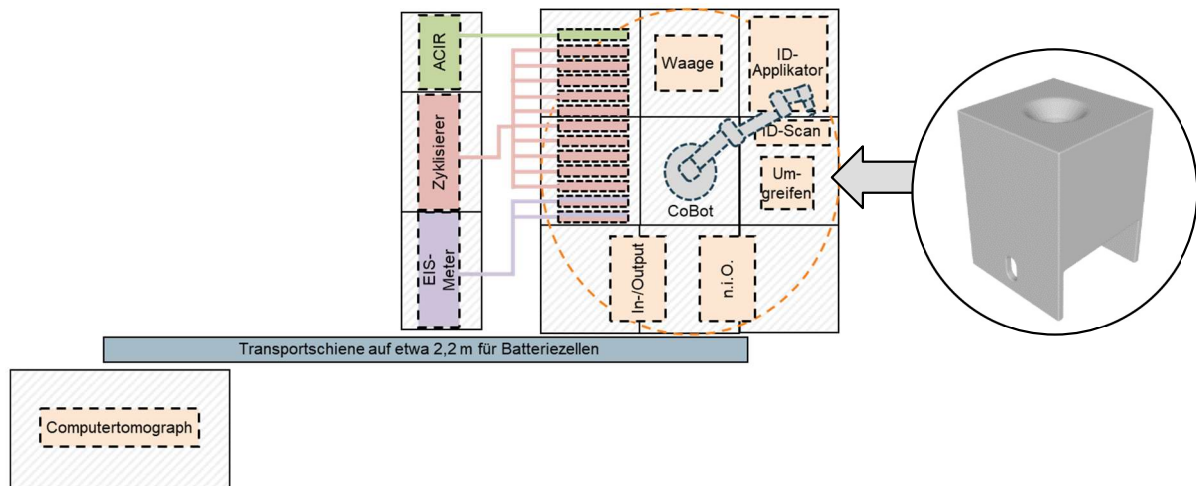
### Arbeitspaket 2: Verknüpfung der Komponenten zu einem automatisierten Prüfstand

Die Bearbeitung des zweiten Arbeitspakets (AP2) erstreckte sich gemäß dem aktualisierten Projektplan über den Zeitraum von September 2022 bis Oktober 2024. In diesem Arbeitspaket war die Fraunhofer FFB hauptverantwortliche für alle fünf Unterarbeitspakete die sich mit der Verkettung der Prüfstationen durch einen Roboter, der sämtliche Transport- und Handhabungsschritte auseinander setzt haben.

Ausgehend vom 2022 entwickelten Layout wurde das System schrittweise an die tatsächlichen räumlichen Gegebenheiten angepasst. Erste Erfahrungen aus dem Roboteraufbau an der Fraunhofer FFB führten 2023 zu gezielten Anpassungen, insbesondere im Hinblick auf den Bewegungsraum des Roboters. Auf dieser Basis entstand ein überarbeitetes Layout, das 2024 mit der vollständigen Inbetriebnahme des Roboters final umgesetzt wurde. Frühe Testläufe zeigten weiteres Optimierungspotenzial im Bewegungsablauf, woraufhin das Planungskonzept

aus 2023 nochmals überarbeitet wurde. Das finale Layout ermöglicht einen effizienten und kollisionsfreien Ablauf zwischen den einzelnen Prüfsystemen. Zugleich gewährleistet es ein sicheres und präzises Handling der Batteriezellen und verhindert mögliche Kollisionen zwischen Roboter, Zelle und Prüfstand.

Die 13 Kontaktierungseinheiten wurden so angeordnet, dass der Roboter die Batteriezellen möglichst effizient übergeben kann. Ergänzend wurde eine Transportschiene in den Prüfstand integriert, über die die Zellen automatisiert vom initialen Prüfplatz zum Computertomographen und wieder zurückbefördert werden. Für die jeweiligen Stationen wurden eigens angefertigte Halterungen entworfen und mithilfe von 3D-Druckverfahren hergestellt. So wurde beispielsweise für die Umgreif-Station eine erhöhte Plattform mit einer Vertiefung konstruiert, um die Zelle präzise zu positionieren (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Finallayout für den AutoBot-Batteriezellprüfstand am CARL der RWTH Aachen


Um eine effiziente und flexible Steuerung des Roboters sowie die Integration der Messtechnik und Anlagen gewährleisten zu können, wurden im Rahmen des Projekts zwei Softwarelösungen implementiert und miteinander verknüpft: Node-Red als zentrale Steuerungseinheit und ROS (Robot Operating System) zur positionsgenauen und sicheren Steuerung des Roboters. Ziel ist eine reibungslose, effiziente Automatisierung mit minimalen Stillstands- und Wartezeiten. 2023 lag der Fokus auf der Entwicklung der Schnittstellenkommunikation und Steuerungsebene. Das Prozessleitsystem wurde programmiert, mit einer SPS gekoppelt und erfolgreich getestet. Für die Simulation realer Abläufe kamen Dummy-Zellen zum Einsatz.

Node-Red ist eine browserbasierte Flow-Entwicklungsumgebung, die es ermöglicht, verschiedene Hardwaregeräte, APIs und Online-Dienste durch einfache visuelle Programmierung zu verbinden. Die Vorteile von Node-Red liegen in seiner benutzerfreundlichen Oberfläche und der Möglichkeit, komplexe Abläufe durch Drag-and-Drop von vordefinierten Knoten leicht zu erstellen. Darüber hinaus bietet Node-Red eine Vielzahl von vorgefertigten Bausteinen, um unterschiedliche Systeme digital anzubinden. So wurden beispielsweise die Datenbanken des ISEAs durch einfache REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface) Calls integriert, und der Etikettendruck wurde über OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) realisiert. Durch die direkte Verknüpfung zu ROS können dem Roboter gezielt einzelne Befehle erteilt werden, wodurch direkt auf Messwerte oder weitere Ereignisse reagiert werden kann. Darüber hinaus wurde mithilfe von Node-Red ein Benutzerinterface aufgebaut, in dem der Benutzer relevante Informationen (z.B. Testnamen und Anzahl der Zellen) angeben und den aktuellen Status des Fortschritts live verfolgen kann. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Prozess jederzeit anzuhalten oder zu beenden.

ROS ist ein Open-Source-Framework, das eine Sammlung von Softwarebibliotheken und -tools für die Robotik bereitstellt. Die Vorteile von ROS liegen in seiner Modularität, der umfangreichen Community und der Unterstützung für verschiedene Robotik-Anwendungen. Innerhalb von ROS wurden zunächst alle Sicherheitszonen integriert, in die der Roboter niemals fahren darf. Dazu gehören beispielsweise der Boden, das Sicherheitsgestell oder andere Anlagen. Die einzelnen Bewegungen sind als unabhängige Funktionen implementiert, die jeweils durch Node-Red aufgerufen werden können. Erst wenn die Aktion erfolgreich ausgeführt wurde, gibt ROS eine Rückmeldung an Node-Red zurück. Sollte der Roboter keinen Weg berechnen

können oder ein Sicherheitsstopp ausgelöst werden, wird diese Fehlermeldung ebenfalls an Node-Red zurückgegeben und dort bearbeitet. Ein zentraler Vorteil von ROS ist die Verbindung mit zusätzlicher Simulationssoftware. Durch die räumliche Trennung innerhalb des Forschungsprojekts Automatisierung in Münster und dem Prüfstand in Aachen war es somit möglich, den Ablauf des Programms zu simulieren und mögliche Fehlerquellen frühzeitig auszuschließen.

Im Oktober 2024 wurde das Arbeitspaket mit der erfolgreichen Inbetriebnahme des Roboters an das ISEA abgeschlossen. Vor Ort erfolgte die Durchführung von Prüfprozesses gemäß des vorab definierten Messprozesses.



**Arbeitspaket 3**  
Anbindung des Prüfsystems an die Schnittstellen des CARL und der FFB sowie weiterer Partner

ISEA	<b>UAP 3.1:</b> Anbindung des Prüfsystems an die digitalen Schnittstellen des CARL
ISEA	<b>UAP 3.2:</b> Entwicklung und Implementierung einer Schnittstelle zur Anbindung von Partnern
FFB	<b>UAP 3.3:</b> Entwicklung und Aufbau physischer Schnittstellen zwischen CARL und Partnern, am Beispiel der FFB

### Arbeitspaket 3: Anbindung des Prüfsystems an die Schnittstellen des CARL und der FFB sowie weiterer Partner

Das dritte Arbeitspaket (AP3) wurde gemäß dem aktualisierten Projektplan von September 2022 bis Mai 2024 bearbeitet. Die FFB trug war dabei verantwortlich für die Definition der Schnittstellen zur Produktionsseite der Zellfertigung, die mit dem CARL-System kompatibel sein sollten und für die Konzeptionierung und Aufbau von Transportbehältern für den sicheren Transport von Prototypen- und weiteren Batteriezellen.

Die Implementierung der Datenschnittstelle wurde auf Grund einer fehlenden Produktionslinie an der Fraunhofer FFB weiterhin mit Dummy-Daten realisiert und finalisiert. Umgesetzt wurde

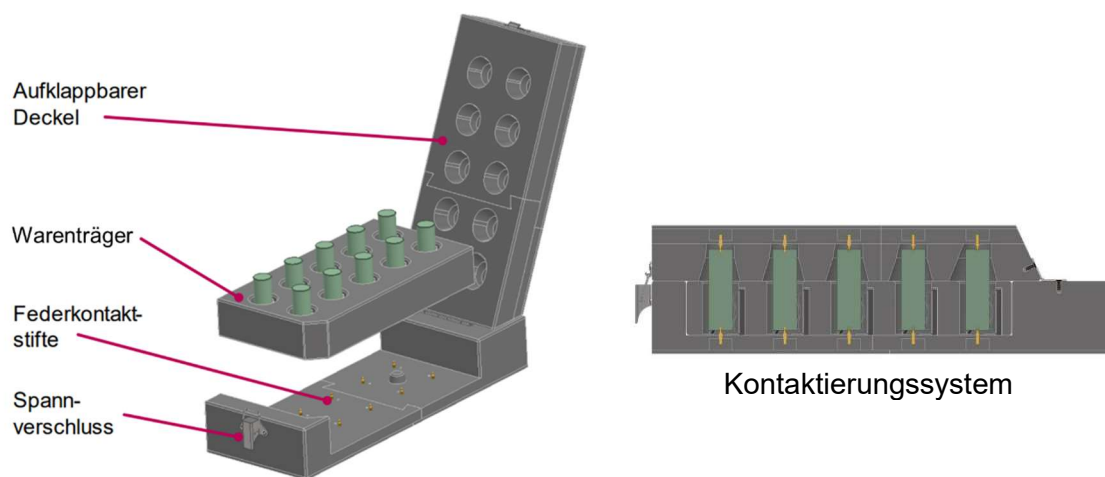
der Datenaustausch folgendermaßen: Nutzer greifen über die Zell-ID auf Produktionsdaten zu. Dafür wurde eine Tabelle mit allen IDs und zugehörigen Berechtigungen erstellt, die regelmäßig automatisch mit dem Manufacturing Execution System (MES) abgeglichen wird. Der Zugriff auf personenbezogene und unternehmensspezifische Daten ist nur für Administratoren möglich. Produktionsdaten, meist in Form von Zeitreihen, werden in Influx-Datenbanken gespeichert – strukturiert nach Produktionsschritten und jeweils zugeordnet zu Zell-IDs. Neben anlagen-spezifischen Daten werden auch Energieverbrauch, Sensorwerte und Umgebungsdaten erfasst. Weitere Informationen wie Stammdaten oder Materialdaten werden direkt aus dem Produktionauftragssystem übernommen. Zur Verwaltung dieser komplexen Datenarchitektur wurde Node-RED eingesetzt. Diese IoT-Plattform erlaubt eine einfache grafische Programmierung und fungiert als Schnittstelle für die Datenbereitstellung per REST-API. Das Frontend basiert auf React und kommuniziert mit Node-RED über definierte Schnittstellen zur Authentifizierung und Datenanzeige. Im Web-Interface melden sich Nutzer an und erhalten Zugriff auf die ihnen zugewiesenen Zellen. Durch Scannen einer Zell-ID können zugehörige Produktionsdaten angezeigt und als JSON-Datei exportiert werden (siehe Abb. 4).



Abbildung 4: User Interface

Dieses System ermöglicht die kontrollierte Weitergabe von Produktionsdaten an Projektpartner im AutoBot-Projekt und trägt zur übergreifenden Datennutzung bei – ein Ziel von Initiativen wie Catena-X. Zudem dient die Lösung als Grundlage für den Batteriepass oder digitale Zwillinge.

Ein weiteres Arbeitspaket beinhaltet die Entwicklung eines Warenträgers, der den sicheren und zuverlässigen Transport der Zellen ermöglicht. Die Anforderungen an den Warenträger wurden in einem Lastenheft festgelegt, basierend auf den Vorgaben des Handhabungssystems und den spezifischen Eigenschaften der Zellen. Die Warenträger mussten verschiedene Zellformen und -größen aufnehmen können, unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Vorgaben. Nach der Definition der Anforderungen erfolgte in 2024 die Auswahl und Beschaffung von Materialien für einen Prototypen und die daraufhin weiteren Aufbauten der Warenträger, einschließlich Transportbehältern und integrierter Messtechnik.



**Abbildung 5:** CAD-Modell mit Warenträger zur Kontaktierung der Batteriezellen durch Federkontaktstifte

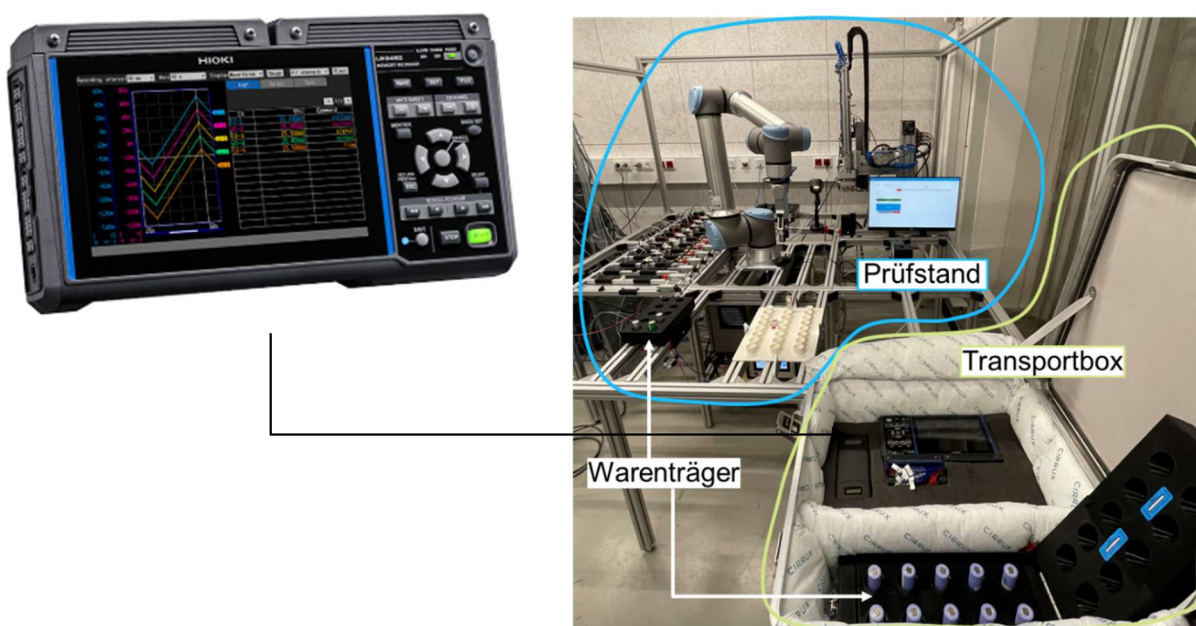
Im Zuge des dritten Arbeitspakets wurde 2023 ein Grobkonzept eines Warenträgers, der speziell für den Transport von Lithium-Ionen-Batteriezellen mit integrierter Datenaufnahme mit gleichzeitig die Datenerfassung entwickelt. Die Realisierung und Beschaffung des finalen Transportkistenkonzepts sind 2024 mit Feedback aus weiteren Evaluationsphasen erfolgt. Als Transportbox wurde ein hochwertiger Spezialbehälter aus Aluminium gewählt. Dieser zeichnet sich durch seine Innenauslegung mit feuerfestem Polstermaterial aus Glasfasern aus und ist nach UN-Bedingungen für den öffentlichen vorschriftsgemäßen Transport von Gefahrgut zugelassen. Die Batteriezellen werden zum Transport in ihrem Warenträger in ein klappbares System zur Kontaktierung der Zellen eingesetzt. Die Abbildung 5 zeigt das zugehörige CAD-Modell.

Die untere Ebene des aufklappbaren Deckels sowie des Warenträgers ist mit Löschgranulat gefüllt, das einen Brandübertritt zwischen den Batteriezellen zusätzlich erschwert. Abbildung 6 zeigt den Druckvorgang. Nachdem 80% des Drucks erfolgt sind, wird dieser pausiert und das Löschgranulat in Stützstruktur gefüllt.



**Abbild 6:** Druck von Warenträger mit Löschgranulat

Zur Überwachung der Batteriezellen während des Transports ist jede Transportbox mit einem Datenlogger ausgestattet, der in regelmäßigen Abständen Spannung und Temperatur misst. Sowohl die Temperatur innerhalb der Transportbox als auch die des externen Akkus, der den Datenlogger mit Strom versorgt, werden in variablen Intervallen erfasst. Die ermittelten Daten werden auf einer SD-Karte gespeichert und können nach dem Transport ausgelesen werden. Da eine Auswertung der Daten ohne Netzwerkverbindung erst nach dem Öffnen der Box möglich ist, wurden an der Außenseite irreversible Temperatursensorstreifen angebracht. So lässt sich auch nachträglich erkennen, ob die Transportbox während Transport oder Lagerung erhöhten Temperaturen ausgesetzt war – selbst wenn sie zwischenzeitlich wieder abgekühlt ist.

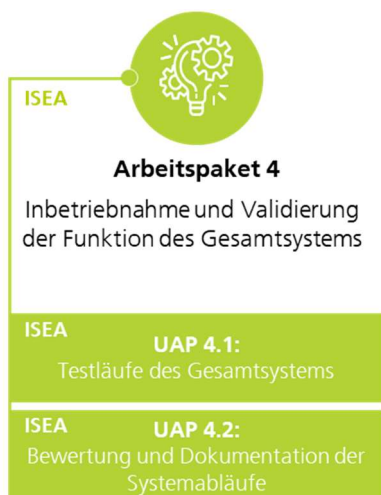


**Abbildung 7:** Transportbox inkl. Datenlogger und Prüfstand mit Batteriezellen

Zur Überwachung der Zellspannungsverläufe während des Transportes wurde ein HIOKI LR8450 Datenlogger eingesetzt. Jeder Kanal einer Batteriezelle kann mit dem Datenlogger in individuellen Zeitabständen gemessen werden. So kann eine aufschlussreiche Analyse der Transportauswirkungen auf die Zelle angestellt werden. Der Warenträger ist mit und ohne die Transportbox in den Prüfstand integrierbar. Die Abbildung 7 zeigt eine Transportbox mit Warenträger vor dem Prüfstand mit Warenträger.

Das Einpacken der Zellen gestaltet sich aufgrund ihrer klar definierten Platzierung als unkompliziert. Tests der Transportbox – inklusive Warenträger und integrierter Messtechnik – bestätigten, dass die gewünschten Daten zuverlässig abgerufen werden konnten.

Das Arbeitspaket wurde außerplanmäßig im November 2024 abgeschlossen. Die Einrichtung der Datenschnittstelle sowie der Aufbau einer ersten Transportkiste erfolgten planmäßig bis Ende Mai. Nach der Inbetriebnahme des Prüfstandes und mehreren Validierungsschleifen wurden jedoch weitere Optimierungen am Warenträger vorgenommen, sodass die Fertigstellung der finalen acht Transportkisten erst im November 2024 erfolgte. Mit Projektende wurden die Kisten zwischen den Projektpartnern aufgeteilt. Vier Kisten wurden dem ISEA übergeben und vier an der FFB benutzt.



#### **Arbeitspaket 4 (Inbetriebnahme und Validierung des Gesamtsystems)**

In Im Arbeitspaket 4 erfolgten zwischen November 2024 und Februar 2025 die finale Inbetriebnahme sowie die umfassende Validierung des Gesamtsystems. Ziel dieser Phase war es sicherzustellen, dass alle Teilsysteme vor Ort reibungslos zusammenarbeiten und die Anbindung des Prüfstands an die bestehenden Datensysteme des CARL und der FFB fehlerfrei funktioniert. Innerhalb mehrerer Validierungsschleifen wurden sämtliche Prozessschritte mit Batteriezellen vollständig durchlaufen. Im Fokus standen dabei insbesondere drei zentrale Fehlerquellen, die systematisch adressiert und behoben wurden.

#### Anpassungen der physischen Komponenten:

Die Ablagepunkte, die überwiegend als 3D-gedruckte Module ausgeführt waren, wurden im Zuge der Validierungsarbeiten grundlegend neu konzipiert. Geometrie und Druckparameter der Module wurden so optimiert, dass die Wandstärken an hochbelasteten Stellen verstärkt und die Toleranzen feiner justiert werden konnten. Dadurch verbesserten sich sowohl die Stabilität als auch die Wiederholgenauigkeit deutlich. Auch die Infill-Muster und die Schichthöhe wurden so angepasst, dass ein ausgewogenes Verhältnis von Steifigkeit und Gewicht erreicht wurde. Dies erleichtert nicht nur den schnellen Austausch der Module, sondern erhöht auch ihre Bruchfestigkeit. Parallel dazu wurden die Ablageorte so verändert, dass der Roboterarm leichter darauf zugreifen kann, was den gesamten Ablauf effizienter gestaltet.

#### Optimierung der Roboter-Steuerung:

Die Prozessabläufe wurden beschleunigt, neue sicherheitsrelevante Sperrflächen ergänzt und die Anfahrwege optimiert. Für besonders enge Anfahrtsstellen, wie beispielsweise die Ablage beim ID-Applikator, wurden zusätzliche Zwischenpunkte eingeführt, um eine sichere und präzise Bewegung zu gewährleisten.

#### Optimierung der Kommunikation zwischen den Systemen:

Kommunikationsabbrüche, die zuvor die Stabilität beeinträchtigten, konnten behoben werden. Der Scanner wurde auf eine TCP-basierte Kommunikation umgestellt, da die ursprünglich geplante OPC UA-Schnittstelle nicht funktionierte. Zusätzlich wurde die Anbindung der internen Transportlösung zum CT integriert. Eine Abfrage der bisherigen Daten aus den ISEA-Datenbanken umgesetzt, sodass einzelne Messwerte korrekt übergeben und Batteriezellen zuverlässig in den Datenbanken angemeldet werden konnten. Der Zyklisierer wurde erfolgreich in das Gesamtsystem integriert. Zwar erwies sich dieser Prozess als zeitaufwendiger als ursprünglich angenommen, das übergeordnete Ziel wurde jedoch erreicht, auch wenn bei der Konfiguration noch weiteres Optimierungspotenzial besteht.

Im Februar 2025 konnte das Arbeitspaket schließlich mit der erfolgreichen Validierung des Roboters an das ISEA abgeschlossen werden. Vor Ort wurde der Prüfprozess gemäß des definierten Messprozesses durchgeführt, womit der Übergang in den regulären Betrieb offiziell vollzogen wurde.

## **2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung**

Das Projekt konnte bis Ende Februar 2025 planmäßig fertiggestellt werden. Jedoch konnte die Anbindung der Schnittstellen (AP3) nicht planmäßig im Mai vollendet werden. Der erste Prototyp einer Transportkiste inkl. Warenträger und Messgeräten wurde im Mai 2024 fertiggestellt. Durch Optimierungen am Prüfstand und des Warenträgers inkl. klappbarer Box mit Kontaktierung wurde der Zusammenbau der Transportkisten weiter verzögert und konnte im November 2024 beendet werden.

## **3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?**

Die Aussichten, die Vorhabenziele zu erreichen, haben sich im Berichtszeitraum nicht verändert. Gleichwohl ergaben sich im Verlauf der Prüfstandsentwicklung gegenüber der ursprünglichen Planung zwei zentrale Abweichungen: Zum einen wurden erwartungsgemäß während der Projektlaufzeit keine Rundzellen am Fraunhofer FFB gefertigt. Laut aktuellem Rahmenterminplan ist ein Produktionsstart frühestens im Herbst 2028 vorgesehen. Folglich erfolgten sämtliche Validierungstests zunächst mit Dummy-Zellen und abschließend mit extern beschafftem Lithium-Ionen-Rundzellen. Zum anderen wurde bewusst auf die Integration einer Schweißstation im Prüfstand verzichtet. Einerseits birgt das Schweißen an aktiven Batteriezellen ein gewisses Risiko der Zellentzündung. Andererseits hätte ein roboterbasierter Schweißprozess die „CoBot“-Zertifizierung verhindert und damit das primäre Ziel eines unterstützenden Systems untergraben.

## **4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?**

Bislang sind von dritter Seite keine Ergebnisse bekannt geworden, die das Vorhaben maßgeblich beeinflussen.

## **5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?**

Eine Anpassung der Zielsetzungen ist nicht erforderlich: Abgesehen von den in Punkt 3 entfallenen Aspekten wurden alle Ziele wie beschrieben erreicht.

## **6. Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans**

**a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.**

Die geplante Verwertung der Ergebnisse im Vergleich zum Projektstart wurde nicht geändert.

**b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z. B. auch funktionale /wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt).**

Die vorgesehene Nutzung der Ergebnisse bleibt im Grundsatz bestehen, verzögert sich jedoch. Derzeit ist eine langfristige Analyse und Auswertung der gefertigten Batteriezellen der FFB sowie eine Kopplung der Prüfergebnisse mit den Produktionsparametern aufgrund von Verzögerungen im Projekt Forschungsfertigung Batteriezelle noch nicht möglich. Die Produktion von Rundzellen ist für das Jahr 2028 geplant. Um die Wartezeit zu überbrücken, wird die Erweiterung des AutoBot-Systems auf andere Zelldesigns in Betracht gezogen. So ist beispielsweise eine umfassende Datenauswertung von Pouchzellen auf Basis von Produktions- und Prüfstandsdaten bereits ab Mitte 2025 realisierbar. Mit der zukünftig geplanten Nutzung wird ein deutlicher Zuwachs an Erkenntnissen hinsichtlich Ursache- Wirkungsprozessen erwartet. Ab der zukünftig geplanten Nutzung kann eine Steigerung des Erkenntnisgewinns bezüglich

**c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen.**

Die geplante Ergebnisverwertung hat sich im Vergleich zum Projektstart nicht verändert.

## 7. Vergleich des Mittelverbrauchs mit der Kostenplanung

**Tabelle 1:** Kostenaufstellung des Gesamtprojekts

Kosten			2022	2023	2024	2025	
813	Material	10.000,00 €					
823	FE-Fremdleistungen	- €					
837	Personalkosten	475.064,94 €					
838	Reisekosten	4.500,00 €					
847	vorhabenspezifische Abschreibungen	60.720,00 €					
848	AfA sonstige	- €					
850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	7.402,00 €					
856	Kosten innerbetrieblicher Leistungen	- €					
860	Verwaltungskosten	- €					
<b>881</b>	<b>Selbstkosten des Vorhabens</b>	<b>557.686,94 €</b>	<b>29.321,62 €</b>	<b>148.354,57 €</b>	<b>244.682,34 €</b>	<b>45.004,10 €</b>	<b>90.324,31 €</b>
882	Eigenmittel des Antragstellers	- €					
883	Mittel Dritter / Einnahmen	- €					
<b>884</b>	<b>Zuwendung</b>	<b>557.686,94 €</b>			<b>467.364,43 €</b>		<b>90.322,51 €</b>

Aufgrund von Verzögerungen bei der Beschaffung des Roboters und das damit einhergehende Verschieben von Meilensteinen, wurden die projektrelevanten Personalmittel nicht wie vorgesehen abgerufen, sondern verstärkt im Kalenderjahr 2024 eingesetzt. Dies spiegelt sich in der Höhe der Mittelverwendung wider. Tabelle 1 zeigt die Gesamtkostenaufstellung des Projektes.

**8. Veröffentlichungen (bitte auflisten und zusätzlich elektronisch zusenden)**  
**Im vergangenen Betrachtungsrahmen wurden keine Veröffentlichungen in Bezug zu AutoBot veröffentlicht.**

Im vergangenen Betrachtungsrahmen wurden Veröffentlichungen in Bezug zu AutoBot veröffentlicht. Dabei handelt es sich sowohl um Abschlussarbeiten als auch Konferenzbeiträge. In der folgenden Tabelle 2 sind diese aufgelistet:

**Tabelle 2:** Auflistung aller Veröffentlichungen im Projekt

<b>Art</b>	<b>Name</b>	<b>Titel der Arbeit</b>
Masterarbeit (FH Münster)	Georg Krüger	Konzeptentwicklung eines Transportbehälters mit integrierter Datenaufnahme für Lithium-Ionen-Batteriezellen unter Anwendung des Requirements Engineering
Masterarbeit (FH Münster)	Dennis Dwersteg	Optimierung der Anlaufphase eines Hochautomatisierten Batterie-Handling-System durch die Verwendung einer digitalen Ramp-Up-Methodik
Masterarbeit (Hochschule Osnabrück)	Jana Vollmer	Prozessoptimierung eines automatisierten Batterieprüfstandes unter Anwendung von Bildverarbeitung
Bachelorarbeit (Hochschule Osnabrück)	Bandik Becker	Entwicklung eines open source SCADA-systems für die Überwachung und Steuerung eines Batterieprüfstands
Bachelorarbeit (FH Münster)	Daniel Towet	Steuerungssystem für einen automatisierten Prüfstand zur Charakterisierung von Batteriezellen – Systemauswahl und Erstellung eines Steuerungskonzepts
Bachelorarbeit	Sebastian Bartsch	Entwicklung und Implementierung einer übergeordneten Steuerung für einen automatisierten Batteriezellprüfstand
Bachelorarbeit	Julius Müller	Anwendungsmöglichkeiten von Cobots in der Batteriezellfertigung
Poster (FFB-Industrietag 2023)	Wilhelm Jaspers, Lukas Kokozinski, Niels Holöchter, Daniel Towet, Kevin Baumgärtel, Georg Krüger	Aufbau eines automatisierten Prüfstandes zur Charakterisierung von Batteriezellen im Projekt »AutoBot«
Konferenzbeitrag (CIRP CNS 2025)	Jaspers, Holöchter, Krauß, Becker, Kampker:	Target group-orientated sharing of production data in battery cell production: Enabling the battery passport