



**Volkswagen**

Seite 1

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
Steinplatz 1  
10623 Berlin  
Germany

André Mecklenburg  
K-K-21-O/E  
+ 49-5341-23-706557  
+ 49-151-65567254  
ANDRE.MECKLENBURG  
@VOLKSWAGEN.DE

w

23. November 2023

**Abschlussbericht des Forschungsprojektes  
HVBatCycle durch die Volkswagen AG (FKZ:  
16BZF342A)**

## **1. Kurze Darstellung zu**

### **1.1. Aufgabenstellung**

Das im Förderaufruf „Forschung in der Schwerpunktförderung Batteriezellfertigung“ des 7. Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) adressierte Förderprojekt „HV-Batterie Recycling- und Resynthese-Prozesse für nachhaltige und funktionserhaltene Materialkreisläufe - HVBatCycle“ hat das übergeordnete Ziel, innovative, nachhaltige und energieeffiziente Prozesstechniken des Recyclings und der Batteriematerialherstellung aus Sekundärrohstoffen weiterzuentwickeln und deren Skalierbarkeit aufzuzeigen. Das Projekt adressiert mit dem Konsortium das Handlungsfeld „Nachhaltigkeit von Batterien“, aber auch Themenbereiche innerhalb der Felder „Digitalisierung von Batterie-Wertschöpfungskreisläufen“ und „Innovative Prüf- und Zertifizierungsverfahren“. Das mechanisch-hydrometallurgische Recycling zeichnet sich durch geringen Energieverbrauch und eine größtenteils geradlinige Dezentralisierung der ersten Recyclingprozesse aus. Das Projekt beinhaltet 10 Arbeitspakete:

- AP0: Projekt Management. Planen und Durchführen von regelmäßigen Austauschtreffen für interne und externe Projektkoordination mit allen beteiligten Projektpartnern.
- AP1: Entladung und automatisierte Demontage. Mitarbeit bei der Entwicklung von intelligenten Eingangskontrollen für Batteriesysteme und Module unter Berücksichtigung von existierenden Analysemethoden sowie Bestimmung des Gesundheitszustands der Hochvoltbatterien. Entwicklung und Erprobung einer recyclinggerechten Entladestrategie.
- AP2: Mechanisch thermische Aufbereitung. Wiedergewinnung und zur Verfügung stellen von Elektrolytkondensat aus der Vakuumtrocknung der mechanischen Zerkleinerung von Batteriemodulen. Weitergabe von Material in der geforderten Qualität und Menge an AP4 und AP3.
- AP3-6, 8: Mitarbeit in der notwendigen Kommunikation zur Bearbeitung der Arbeitspakete.
- AP7: Zellfertigung. Mitarbeit bei der Definition von Zellchemie und testen der



Volkswagen

Seite 2

angemessenen Prozessparameter für die Elektroden und Zellfertigung sowie die Herstellung von Referenzzellen aus Primärmaterial.

- AP9: Ökonomisch-ökologische Bewertung. Mitarbeit bei der Definition von Ziel und Umfang der Analyse sowie konsolidieren von Energie- und Materialstromdaten mit anderen Partnern des Arbeitspaketes.

## **1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Die Volkswagen Group Components betrieb in Salzgitter zum Zeitpunkt der Antragstellung eine Pilotlinie zur Herstellung von Li-Ionen Batteriezellen und betreibt dort eine Pilotanlage für mechanisches Recycling von Batteriesystemen inklusive der Analyse der Fähigkeit der Wiederverwendung von Batteriemodulen in Second-life Anwendungen. In der Vergangenheit war die Volkswagen AG bereits Teil der öffentlich geförderten Projekte LithoRec I und LithoRec II. HVBatCycle zielt auf die automatisierte Demontage von Batteriesystemen bis auf Zellkomponentenebene, Entfernung von flüchtigen organischen Komponenten mittels Pyrolyse der durch mechanisches Recycling erzeugten Schwarzmasse, Hydrometallurgie auf einem hohen TRL unter Betrachtung von verschiedenen Demontagetiefen der Batteriesysteme, -module und -zellen. Weiterhin wird die Erzeugung von Anoden-, Kathodenaktivmaterial und Elektrolyt aus den erzeugten Sekundärrohstoffen betrachtet und ein maßgeschneidertes Analysewerkzeug für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Batteriezellen aus dieser Sekundärroute erstellt. Volkswagen strebt eine Entwicklung von Recyclingprozessen und eine Erhöhung des TRL von bestehenden Prozessen durch die Teilnahme an HVBatCycle an.

## **1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die Teilnahme von Volkswagen am Projekt HVBatCycle war für die beantragten 3 Jahre geplant. Nach 6 Monaten Projektlaufzeit sind signifikante Teile der Batterieentwicklung und damit auch der Verantwortung für Batterierecycling in die zum 01.07.2022 neu gegründete 100 prozentige Tochtergesellschaft PowerCo SE übergegangen. Dieser Übergang an Know-how und Verantwortung erfordert einen Übertrag des Projektes von der Volkswagen AG zur PowerCo SE. Hierfür gibt es einen rückwirkenden Teilausstieg der Volkswagen AG aus dem Projekt HVBatCycle zum 30.06.2022. Innerhalb der ersten 6 Projektmonate hat die Volkswagen AG folgende Inhalte in den Arbeitspaketen verwirklicht:

- **AP0:** Projekt Management. Der erste Meilenstein (Gemeinsamer Workshop zur Projektorganisation) wurde erreicht. Zusätzlich wurden für die gesamtheitliche Projektorganisation regelmäßige Treffen (online) gehalten. Diese Treffen beinhalten unter anderen ein monatliches Treffen aller Arbeitspaketverantwortlichen und unter Teilnahme aller Projektpartner. Ebenfalls wurde für die externe Projektorganisation während der Projektlaufzeit die Kommunikation und Koordination mit dem Projektträger sichergestellt.
- **AP1:** Entladung und automatisierte Demontage. Volkswagen hat an der



Volkswagen

Seite 3

Entwicklung und Erarbeitung von intelligenten Eingangskontrollen von Batteriesystemen und –Modulen entscheidend mitgewirkt. Hierbei wurden sowohl bereits existierende Analysemethoden als auch Prozesse zur Bestimmung des Gesundheitszustands der Hochvoltbatterie betrachtet. Ebenfalls wurde eine recycling-geeignete Entladestrategie entwickelt und getestet.

- **AP2:** Mechanisch thermische Aufbereitung. In den ersten 6 Monaten lag der Fokus auf dem Einfahren der Prozesstechnologie für die Zielstoffströme Schwarzmasse für AP3; Elektrolytkondensat für AP4).
- **AP3-6:** Volkswagen hat an den regelmäßigen internen Arbeitstreffen teilgenommen und die notwendige Kommunikation zur Erfüllung der Aufgaben des jeweiligen Arbeitspakets sichergestellt.
- **AP7:** Die Zellchemie wurde von Volkswagen unter Einbezug aller Projektpartner festgelegt. Zusätzlich wurden bereits 30 Referenzzellen aus Primärmaterial hergestellt.
- **AP9:** Volkswagen hat sowohl an der Definition von Ziel und Umfang der Analyse als auch an der Konsolidierung der Energie- und Materialstromdaten mit anderen Arbeitspaketpartnern mitgearbeitet.

#### **1.4. Wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde**

Ursprünglich wurde das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien in Deutschland zwischen 2009 und 2015 von dem BMU durch zwei große kooperative Projekte gefördert. Die Technische Universität Braunschweig und die Volkswagen AG kooperierten im „LithoRec“ Projekt, eines der Projekte, welches die Grundsteine für die hier geforderte Forschung und Entwicklung legte [1]. In Salzgitter betreibt die Volkswagen AG eine Pilotanlage zum mechanischen Recycling von Li-Ionen Batterien, welche die Analyse und Bewertung von Batteriemodulen für eine Second-life Anwendung beinhaltet.

##### ***1.4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden***

In den ersten 6 Projektmonaten wurde in HVBatCycle durch Volkswagen auf kein Patent zurückgegriffen.

##### ***1.4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste***

In den ersten 6 Projektmonaten wurde in HVBatCycle durch Volkswagen auf keine Veröffentlichungen zurückgegriffen.

#### **1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Teilautomatisierte Demontageschritte wurde in AP 1 „Demontage & Entladung“ vom Volkswagen AG, OHLF und IWF zusammengearbeitet und entwickelt.



Volkswagen

Seite 4

## 2. Eingehende Darstellung

### 2.1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

**AP1:** In den ersten 6 Projektmonaten wurden die Zuwendungen wie geplant verwendet und es wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Konzept für Analyse und Entladung
- Bewertung von Entlademethoden
- Einbringen von Stoffdaten und Daten zu Demontage in das Projekt

Die entsprechenden nach GVB beschriebenen UAPs:

UAP 1.1: Entwicklung intelligenter Eingangskontrollen für Batteriesysteme und -module und Abgleich von bestehenden Analysemethoden sowie -prozessen zur Bestimmung des Gesundheitszustandes von HV-Batterien (Viscom, IWF, Volkswagen, elenia) [M 1- 12]

UAP 1.3: Entwicklung und Erprobung einer recyclinggerechten Entladestrategie für die sichere Demontage von Batteriesystemen und -modulen (Volkswagen) [M 3 - 18]

UAP 1.5: Projektierung und Aufbau von Demontageschritten für Batteriemodule (Volkswagen, IWF bei OHLF) [M 1 - 12]

**AP2:** Im Zeitraum vom 01.01.2022 bis zum 30.06.2022 wurden die Vorbereitungen zum Einfahren der Prozesstechnik auf die Zielmaterialströme (Schwarzmasse und Elektrolyt) in den Fokus gestellt.

In dem oben genannten Zeitraum wurden bereits drei Proben der Schwarzmasse aus der Pilotanlage in entsprechend dafür vorgesehenen Gebinden mit 2 x 25 kg und 1 x 20 kg an das IME der RWTH Aachen zur nachgeschalteten Pyrolyse verschickt. Da es sich bei der Schwarzmasse um einen gefährlichen Abfall handelt, wurde der gesamte Prozess vom Abfallbeauftragten des Salzgitter-Standortes begleitet.

Die entsprechenden nach GVB beschriebenen UAPs:

UAP 2.7: Rückgewinnung und Bereitstellung von Elektrolytkomponenten aus Vakuumtrocknung in Menge und Konfiguration für AP4 (Volkswagen) (M1 – M24)

UAP 2.8: Bereitstellung benötigter Aktivmaterialien in Menge und Konfiguration für AP3 (Volkswagen) (M1 – M24)

**AP7:** Im Zeitraum vom 01.01.2022 bis zum 30.06.2022 wurde Zellchemie definiert, Materialfreigabe aller Zellbestandteile bekommen, Zusatzvereinbarung von InEs/Elenia unterschrieben. Außerdem hat Volkswagen AG Zellfertigung begonnen und die Abstimmung mit AP9 bezüglich der Ökobilanz aufgenommen.

Die entsprechenden nach GVB beschriebenen UAPs:

UAP 7.1: Definition Zellchemie und Testen von geeigneten Prozessparametern zur Elektrodenherstellung (M1-M3)



Volkswagen

Seite 5

UAP 7.2: Herstellung eines Zellreferenzsystems für einen Vergleich mit Primärmaterial (M3-M9)

Durch den Teilwiderruf und den damit verbundenen Ausstieg der Volkswagen AG aus dem HVBatCycle Projekt nach 6 Projektmonaten, konnten nicht alle angestrebten Ziele im geplanten Zeitraum erreicht werden. Für das Referenzsystem wurden 20 der 50 geplanten Single-Layer-Pouch Zellen hergestellt. Von den geplanten 50 Multi-Layer-Pouchzellen wurden in den ersten 6 Projektmonaten keine Zellen hergestellt.

## **2.2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind im Verwendungsnachweis Dokument aufgeführt.

## **2.3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

**AP1:** Die Arbeiten waren notwendig und effektiv, um die Situation zu klären und das Entlade- und Analysekonzept zu erstellen. Dadurch legt diese Arbeit die Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte.

**AP2:** Die durchgeführten Arbeiten, insbesondere die notwendigen Sicherheitsanforderungen an Personal und Umwelt, wurden mithilfe der jeweiligen spezialisierten und bestellten Beauftragten durchgeführt. Entsprechend der Anforderungen an Sicherheit und Umwelt sind die geleisteten Arbeiten als ebenso notwendig auch angemessen einzustufen.

**AP7:** Die Zellchemie wurde von der Volkswagen AG festgelegt und es wurden dreißig Zellen hergestellt. Bei der Herstellung der Zellen wurden die Sicherheitsanforderungen für Personal und Umwelt berücksichtigt und die notwendigen Spezialisten hinzugezogen. Die Arbeiten waren notwendig, um für spätere Messungen von Zellen aus Sekundärmaterial ein Referenzsystem zu haben und eine Beurteilung des Recyclingprozess durchführen zu können. Ohne diesen Schritt ist eine angemessene Beurteilung des Recyclingkreislaufes nicht.

## **2.4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

**AP1:** Die Ergebnisse im AP1 sind zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt zu erwarten und zu bewerten. Die Ergebnisse werden von TU BS IWF verwendet und wurden von Volkswagen AG nicht verwendet.

**AP2:** Die geleisteten organisatorischen Vorbereitungen sind notwendig und für alle weiteren Handlungen, die in Verbindung mit dem Materialtransport der Pilotanlage stehen unabdingbar.

**AP7:** Die Arbeiten waren notwendig, um für spätere Messungen von Zellen aus Sekundärmaterial ein Referenzsystem zu haben und eine Beurteilung des Recyclingprozess durchführen zu können. Ein geeignetes Materialsystem und die dazu gehörigen Prozessparameter für die Elektrodenfertigung wurde ermittelt.



**Volkswagen**

Seite 6

**2.5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

**AP1:** Es sind in diesem Zeitraum keine Fortschritte auf diesem Gebiet bekannt geworden.

**AP2:** Der geleistete Fortschritt wurden zu jederzeit offen in Richtung aller Projektpartner und dem Projektträger kommuniziert.

**AP7:** Der geleistete Fortschritt wurden zu jederzeit offen in Richtung aller Projektpartner und dem Projektträger kommuniziert.

**2.6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.**

**AP1:** Es sind keine Veröffentlichungen geplant oder erfolgt.

**AP2:** Aufgrund dessen, dass es sich größtenteils um organisatorische und vorbereitende Schritte handelt, steht kein direkter Bezug zu einer Veröffentlichung der Ergebnisse dar.

**AP7:** Es sind keine Veröffentlichungen geplant oder erfolgt.

**3. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt**

**AP1:** Aufgrund des Teilwiederrufes konnten die Lösungen nicht bewertet werden und sollten weiterverfolgt werden.

**AP2:** Alle vorbereitenden Maßnahmen (bspw. Schulung des Personals, Einfahren der Anlagentechnik) werden im Verlaufe des Projektes zu einer bzw. mehreren Lösungen und Ergebnissen führen. Aufgrund des zu berichtenden Zeithorizontes von nur sechs Monaten können hier natürlich noch nicht alle Ergebnisse erreicht und ausgeführt worden sein.

**AP7:** Die geleistete Arbeit werden im Verlaufe des Projektes zu einer bzw. mehreren Lösungen und Ergebnissen führen. Aufgrund des zu berichtenden Zeithorizontes von nur sechs Monaten können die Reste Unterarbeitspakete (UAP 7.2-UAP 7.6) nicht ausgeführt worden sein.

**4. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z. B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)**

**AP1, AP2 und AP7:** Es bestehen keine Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.

**5. die Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung**

**Materialkosten:** Es sind in den 6 Projektmonaten keine Materialkosten angefallen.

**Personalkosten:** Es wurden 41.886,29 € an Personalkosten erzeugt und abgerechnet.

**AP0-MS1:** Gemeinsamer Workshop zur Projektorganisation



**Volkswagen**

Seite 7

- Kick-off Treffen hat im Februar 2022 stattgefunden.