Schlussbericht (FERCHAU Automotive GmbH)

Zuwendungsempfänger: Ferchau Automotive GmbH	Förderkennzeichen: 16BZF320A
Vorhabenbezeichnung: SUSTAIN: Schädigungs- und Zustandsanalyse defekter Hochvoltbatterien	
Laufzeit des Vorhabens (= Berichtszeitraum): 01.08.2022 – 31.02.2026	

Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse (im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen), der erreichten Nutzungsergebnisse und gesammelten wesentlichen Erfahrungen.

AP1.a Entwicklung der Nutzungsszenarien:
Durch Workshops mit den Industriepartnern Accurec und Voltavision wurden Nutzungsszenarien an das Diagnosegerät herausgearbeitet und dabei wesentliche Anforderungen identifiziert:
Die Beurteilung der Sicherheit, sowie eine Gefahrenanalyse zur Vermeidung von Bränden und Explosionen gebrauchter Batterien wurde als besonders wichtig erachtet. Die Beurteilung der Qualität von gebrauchten Batteriezellen und Batteriemodulen ist ebenfalls von großer Bedeutung, um ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Effizienz in der weiteren Verwendung der Batterie sicherzustellen. Dabei sollen verschiedene Indikatoren wie der State of Health und der State of Charge untersucht werden können. Außerdem ist die Untersuchung der Li-Ionen-Batterie auf Second-Life Eignung für die Industriepartner ein wichtiger Punkt. Eine umfassende Bewertung der Batterien ist erforderlich, um ihre Eignung für eine Wiederverwendung zu bestimmen. Hierbei spielen Faktoren wie die physikalischen Eigenschaften der Batterien, ihre chemische Zusammensetzung sowie ihre Lebensdauer und Alterung eine entscheidende Rolle.
Die ursprünglichen Ziele des Arbeitspakets wurden erreicht.

AP1.b Schädigungsszenarien
Es wurden Ursachen-Fehlerfolgen-Diagramm für Batteriezellen und Batteriemodule mit Hilfe der Expertise der Rheinischen Hochschule, der Hochschule Aalen und der Hochschule Ingolstadt erstellt, die die verschiedenen Zusammenhänge und Verknüpfungen der Ursachen und Fehlerfolgen einer Batteriezelle aufzeigt. Dabei wurden die Ursachen und Fehlerfolgen gewichtet und die Relevanz und Auftrittswahrscheinlichkeit im Automotive-Sektor berücksichtigt, insbesondere im Hinblick auf die Anwendung einer Traktionsbatterie im Elektrofahrzeug.
Darauf aufbauend wurde Schadenskatalog erstellt. Die Fehlerfolgen und Ursachen klassifiziert, um ihre Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit zu bewerten und abzuschätzen. Anschließend wurde ein Punktesystem erstellt, das zur Bewertung und Gewichtung dieser Fehler dient.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Schädigungsszenarien in Diagrammform:

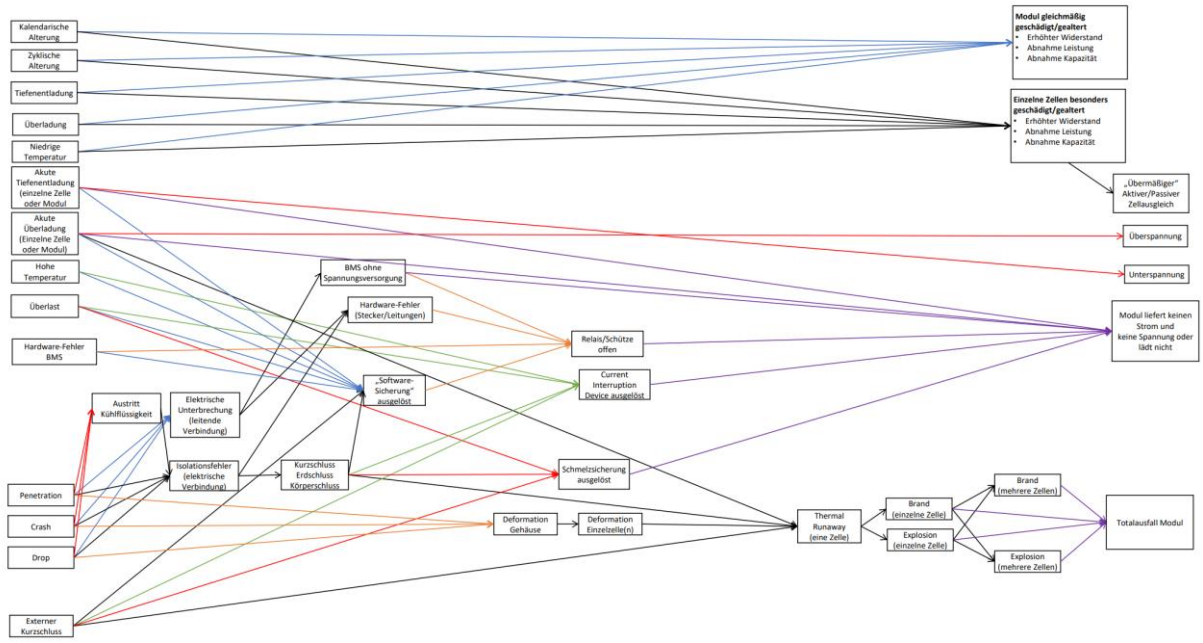


Abbildung: Schädigungsszenarien

Die ursprünglichen Ziele des Arbeitspakets wurden erreicht.

AP1.c Ermittlung von Lösungsansätzen

Auf Basis der Schädigungsszenarien und der Use-Cases/Nutzungsszenarien wurden Systemanforderungen abgeleitet. Diese wurden mit den Konsortialpartner diskutiert und entsprechend überarbeitet. Das Ergebnis ist eine Tabelle mit ca. 100 Anforderungen. Zur Verdeutlichung ist im Folgenden ein Ausschnitt aus der Tabelle dargestellt:

ID	Text	Quelle	Priorität	technische Umset
65	Das Diagnosegerät soll den State of Charge bestimmen.	Accurec FK-1-4, FK-3.2-1GVB	hoch	umsetzbar
66	Das Diagnosegerät soll die Zellchemie bestimmen.	Accurec FK-1-4, FK-3.2-1GVB	hoch	teilweise umsetzbar
67	Das Diagnosegerät soll die Zellchemien LFP, NCA und NCM unterscheiden können.	Accurec FK-5-2	hoch	umsetzbar
67	Das Diagnosegerät soll eine defekte Batterie erkennen.	Accurec FK-1-5	hoch	umsetzbar

Abbildung: Anforderungstabelle

Die Anforderungen wurden nach Priorität und technischer Umsetzbarkeit bewertet.
Eine Systemarchitektur für das Diagnosegerät wurde mit Hilfe der Rheinischen Hochschule und Voltavision hergeleitet. Ein Batteriemodul oder eine Batteriezelle wird über ein Kontaktiersystem an das Diagnosegerät angeschlossen.
Als eine der wichtigsten Mess- und Analysemethoden wurde von der Rheinischen Hochochschule die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) gewählt. Für diese Methode wird ein EIS-Gerät benötigt.
Das EIS-Gerät kommuniziert mit einem Rechner. Der Rechner realisiert die Aufarbeitung von Messergebnissen und deren Interpretation. Es ist eine Wärmebild-Kamera vorgesehen, die kritische Temperaturen während der Analyse erkennen und einen Abbruch der Diagnose aus Sicherheitsgründen auslösen kann. Die ursprünglichen Ziele des Arbeitspakets wurden erreicht.

Der Entwurf für die Architektur des Diagnosegeräts sieht folgendermaßen aus:

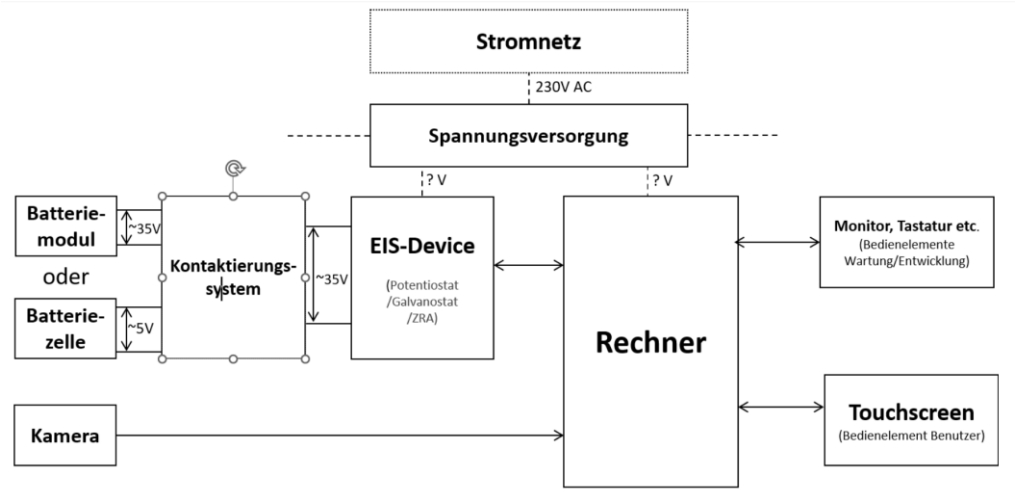


Abbildung: Architektur des Diagnosegeräts

AP4.c Sensorik und Messverfahren, AP4.l Umsetzung des Prototyps, AP4.h Modellbasiertes Software-Design

Vor und während der Messung wird die Temperatur der Module/Zellen berührungslos durch das Diagnosegerät überwacht. Um die empfindliche Messelektronik (Gamry + Toellner) zu schützen, wird vor der Kontaktierung eine initiale Spannungsmessung mit separater robuster Messtechnik vorgenommen. So können Überspannungen, Tiefenentladung und weitere kritische Defekte vor der Kontaktierung und Vermessung erkannt werden. Die notwendige Logik und Automatisierung für Temperatur- und Spannungsmessung wurde entsprechend in der Software des Industrie-PCs implementiert.

AP4.d Hardware, AP4.l Umsetzung des Prototyps

Mit der Software WSCAD wurde ein Schaltplan gezeichnet. Dieser enthält abseits der in der Systemarchitektur gezeigten Komponenten Leitungsschutzschalter, Fehlerstrom-Schutzschalter, Netzteile, 24V- Versorgungen, eine Not-Aus Kette, Lüfter, Temperaturregler, Relais zum Abschalten nicht benötigter Komponenten, Verteilerklemmen, Beckhoff Ein- und Ausgangsklemmen für Einlesen von Knöpfen und die Ansteuerung von Status-LEDs sowie weitere Komponenten.

Die folgende Abbildung zeigt einen Entwurf des mechanischen Aufbaus:

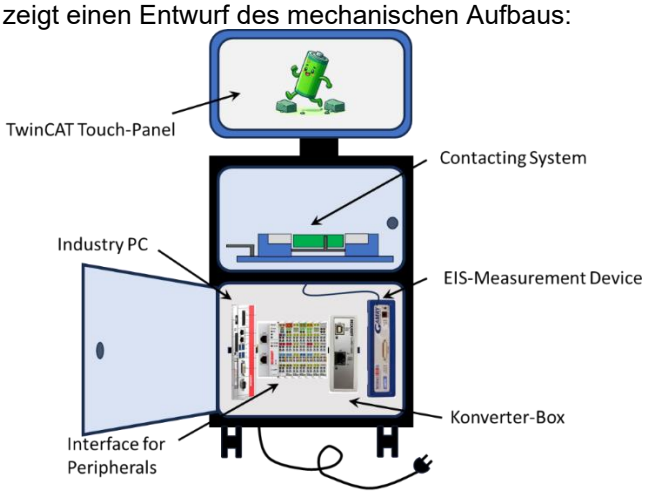


Abbildung: Entwurf des mechanischen Aufbaus

AP4.b Kontaktierungsverfahren

Mit Hilfe von Accurec wurden Lösungen zur Kontaktierung für zylindrische Zellen, prismatische Zellen und Module erarbeitet.

AP4.g Parameteridentifikation für Batterie-Modelle
Wie bei den Themen Modellierung der Schadensbildung sowie den modellbasierten Analyseverfahren aus AP3 wurde auch die Parameteridentifikation für Batterie-Modelle exemplarisch implementiert. Es wurde sich aber im finalen Diagnosegerät auf die Frequenzanalyse und Machine-Learning konzentriert

AP4.h Modellbasiertes Software-Design
Es wurde eine flexible Software-Architektur ausgearbeitet und umgesetzt. Die Software-Architektur wird auf dem Industrie-PC implementiert ist. Als Schnittstellen sind hier der USB-Port zum EIS-Messgerät und ein USB-Port zum Touch-Panel dargestellt. Das EIS-Messgerät bietet mehrere COM-Schnittstellen (Component Object Model) an. Ein COM-Client erzeugt eine COM-Komponente in einem sogenannten COM-Server und die Funktionalität des Objektes über diese Schnittstelle. Der COM-Client ist hierbei als Python-Implementierung umgesetzt. Das Steuerung der einzelnen Services erfolgt über die Python-Applikation, die die HMI-Eingaben über das Touch-Panel auswertet und zu anfragen umwandelt. Näheres zur Python-Anwendung findet sich im Abschnitt „Programmablaufplan der Python-Anwendung“. Das COM-Interface bildet somit die Schnittstelle vom EIS-Messgerät zur Python Anwendung. Das Gegenstück und somit die Kommunikation zur Software TwinCAT bildet das auf dem Ethernet IP Stack aufgesetzte ADS-Protokoll. Die Software integriert die von der Rheinischen Hochschule entwickelten Algorithmen zur Auswertung der Messergebnisse in das Messgerät.

Die folgende Abbildung zeigt die vereinfachte Softwarearchitektur:

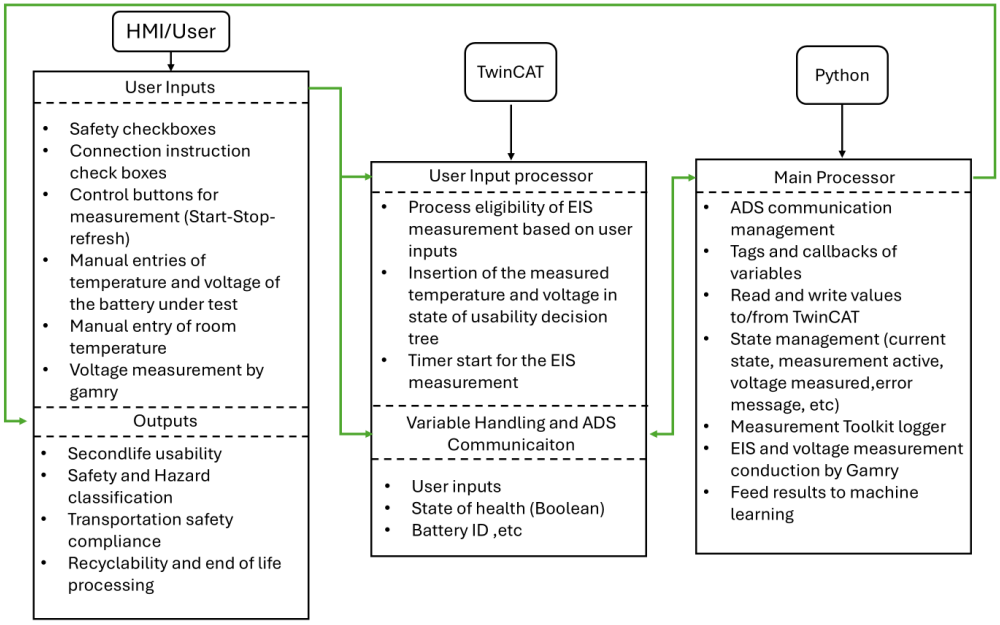


Abbildung: vereinfachte Softwarearchitektur

AP4.h Modellbasiertes Software-Design , AP 4.f Praxistaugliche Bedienkonzepte
Ein Konzept zur Steuerung des Diagnosegeräts über einen Touchscreen wurde hergeleitet und umgesetzt. Dieses Konzept wurde umgesetzt und mehrfach mit dem Feedback der Konsortialpartner überarbeitet. Der Nutzer bedient das Gerät über das HMI, welches mit Beckhoff HMI entwickelt wurde. Hier wurden Funktionen implementiert wie sicherheitsrelevante Checklisten vor der Messung, Start und Anzeige Messungen von Spannung und Temperatur durchführen sowie Anzeige der finalen Diagnoseergebnisse.
Die HMI-Oberfläche ist für größtmögliche Benutzerfreundlichkeit konzipiert. Sie ermöglicht es dem Benutzer, mit dem System zu interagieren, indem klare Anweisungen angezeigt werden. Nachdem der Benutzer die Messung gestartet hat, zeigt das HMI Echtzeit-Updates an, einschließlich des Messstatus, der Spannungswerte und etwaiger erkannter Fehler. Die endgültigen Ergebnisse der Analyse, einschließlich der Wiederverwendbarkeit der Batterie, der Sicherheitsklassifikation und der Recyclingfähigkeit, werden dem Benutzer in einem klaren und einfach verständlichen Format angezeigt. Die folgenden Darstellungen zeigen beispielhaft das Anzeigen des finalen Diagnoseergebnisses auf dem HMI.

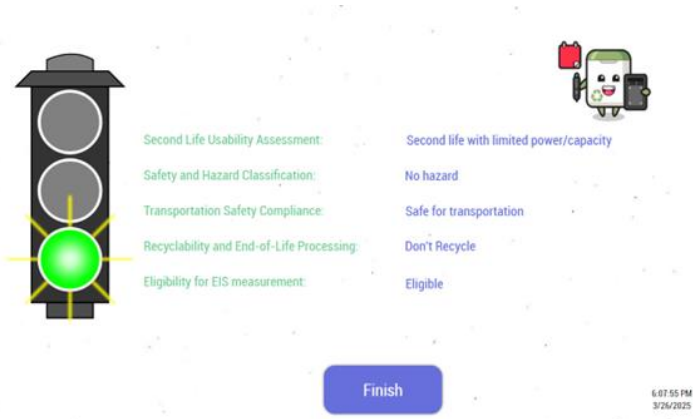


Abbildung: finales Diagenoseergebnis auf HMI

Die ursprünglichen Ziele des Arbeitspakets wurden erreicht. Das Diagnosegerät ist in der Lage, Batterien zu kontaktieren, die Vermessung über den Touchscreen zu starten und die Messergebnisse durch den Algorithmus der Rheinischen Hochschule auszuwerten und anzuzeigen.

Die folgende Abbildung zeigt das finale Diagnosegerät im Betrieb:

Abbildung: finales Diagnosegerät in Betrieb

AP4.i Kommunikation zu Batterie-Packs und Freischaltung der Packs
Zur Kommunikation zu Batterie-Packs wurde Vorarbeit geleistet. Im Projektverlauf wurde sich jedoch auf Batteriezellen und Batteriemodule konzentriert. Momentan könnten Batterie-Packs nur durch Zerlegung in Batteriemodule getestet werden.

Ergriffene Maßnahmen zur vorhabenbezogenen Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnisverbreitung

Die vorhabensbezogene Öffentlichkeitsarbeit wurde durch die Rheinische Hochschule und die Hochschule Aalen und die technische Hochschule Ingolstadt in Form der Veröffentlichung von wissenschaftlichen Papern und Präsentationen auf diversen Veranstaltungen durchgeführt.

Fortschreibung des Verwertungsplans

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

Im Projektverlauf konnten bei der Ferchau Automotive GmbH mehrere Mitarbeiter weitere Qualifikation erwerben im zukunftsträchtigen Technologieumfeld Elektromobilität und insbesondere in Bereich der Batterietechnik. Dies stärkt langfristig die Marktstellung der Ferchau Automotive GmbH in Umfeld der Entwicklungsdienstleistung.

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)

Das Diagnosegerät kann gebrauchte Batteriemodule und Zellen mit hoher Zuverlässigkeit analysieren und bewerten. Es ist keine Konkurrenzlösung bekannt, die hinsichtlich Messtechnik und Komplexität des Algorithmus sowie der dahinterliegenden Datenbasis anspruchsvoll ist. Die anschließenden Tests bei Voltavision haben bewiesen, dass es auch praxistauglich ist. Das prototypische Diagnosegerät ist durch den prototypischen Aufbau in der vorliegenden ersten Iteration relativ teuer. Eine Kostenersparnis durch Redesign mit den gesammelten Erkenntnissen würde die Erfolgsaussichten verbessern. Außerdem ist eine Auseinandersetzung mit juristischen Themen sinnvoll, beispielsweise eine Zertifizierung des Geräts und dessen Analyseergebnisse. So könnten als wiederverwendbar identifizierte Module aus dem Recycling auf den Gebrauchtmarkt und in die Nutzung gebracht werden. Hier könnte es auch Schnittmengen mit dem aktuellen Thema Batteriepass geben. Anwendergruppen sind wie zu Projektbeginn definiert weiterhin

- Personen- und Nutzfahrzeuge (OEMs und Zulieferer)
- Flurförderfahrzeuge, Light electric vehicle (Fahrräder, Roller, Segways…)
- Energieversorger
- Produktion von Modulen und Packs
- Servicestellen für batteriebetrieben Anwendungen
- Entsorgungs- und Verwertungsindustrie

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 Ergebnisse fördern die Kreislaufwirtschaft im Bereich Elektromobilität und damit Ressourceneffizienz und Kosteneinsparungen für Unternehmen. Das Projekt kann auch dazu beitragen, neue Arbeitsplätze zu schaffen, insbesondere im Bereich der Entwicklung, Herstellung und Wartung von Analysegeräten sowie im Recyclingbereich. Ein genaues Verständnis des Zustands von defekten Hochvoltbatterien kann die Sicherheit bei Transport, Lagerung und Entsorgung erhöhen und die Effizienz von Recyclingprozessen verbessern.

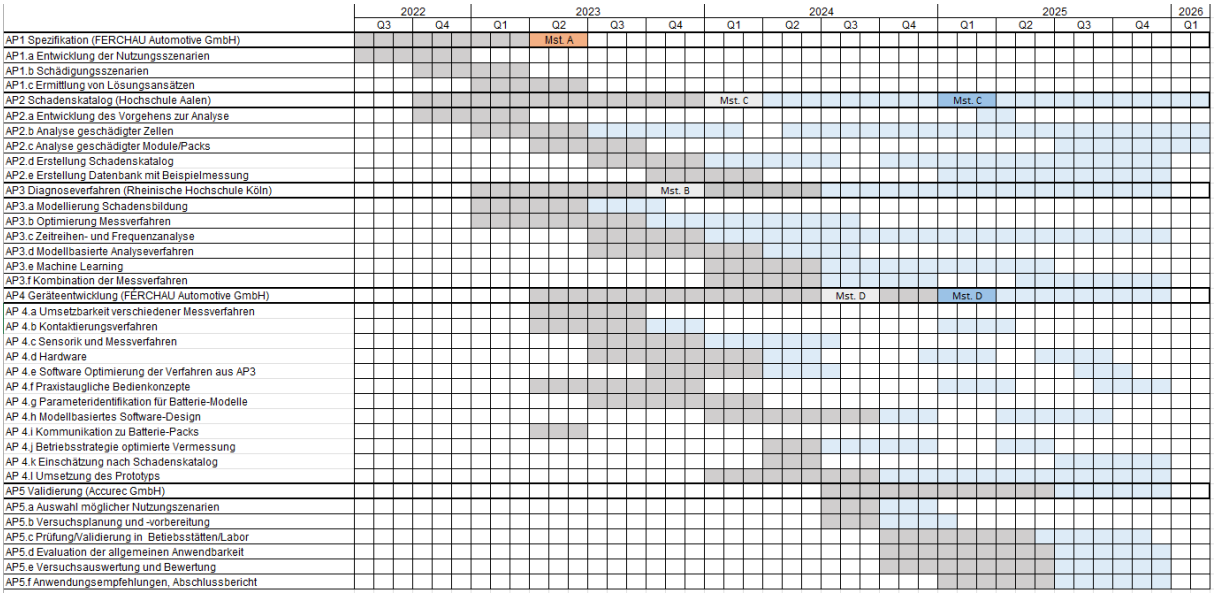
Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse

Eine Kostenersparnis durch Redesign mit den gesammelten Erkenntnissen würde die Erfolgsaussichten verbessern. Außerdem ist eine Auseinandersetzung mit rechtlichen Themen sinnvoll, beispielsweise eine Zertifizierung des Geräts und dessen Analyseergebnisse. Außerdem ist eine Auseinandersetzung mit rechtlichen Themen sinnvoll, beispielsweise eine Zertifizierung des Geräts und dessen Analyseergebnisse.
Die Auswertungs-Algorithmen der Rheinischen Hochschule Köln könnten durch weitere Arbeit mit Hilfe der Verifikation durch bildgebenden Verfahren der Hochschule Aalen einen höheren Reifegrad erlangen.

Haben Arbeiten zu keiner Lösung geführt?

Die nicht-invasive Analyse von Batteriepacks (als Zusammenschaltung von Modulen) war ein sehr hochgestecktes Ziel und kann zum momentanen Zeitpunkt nur durch Demontage des Packs zu Modulen und anschließender Vermessung erreicht werden. Relevante Defekte bei Modulen können erkannt werden. Eine vollumfängliche Analyse mit Bestimmung des State of Health äquivalent zu der Analyse zu Zellen ist momentan nicht möglich.

Vergleich des abgeschlossenen Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben-/Kostenplanung.

Die Arbeits-, Zeit und Ausgaben-/Kostenplanung entspricht der ursprünglichen Planung, mit Ausnahme der kostenneutralen Projektverlängerung um 6 Monate sowie einer Kostenumwidmung. Bei dieser wurden Kosten für technisch bedingt nicht mehr benötigte Softwarelizenzen auf Personalkosten umgewidmet. Die Personalkosten hatten sich durch Mehraufwände bei der Softwareentwicklung erhöht. Siehe hierzu die entsprechenden Anträge auf Verlängerung und Kostenumwidmung.

Der für die kostenneutrage Verlängerung eingereichte angepasste Zeitplan wurde eingehalten: