

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil 1 – Kurzbericht (max. 2 Seiten)

Vorhabenbezeichnung: greenBattNutzung – Begleitprojekt Batterielebenszyklus	
Zuwendungsempfänger: Technische Universität Braunschweig - Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) und Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP)	Förderkennzeichen 03XP0302A
Projektleiter*in Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann (TUBS IWF) Prof. Dr. Thomas Spengler (TUBS AIP)	Laufzeit 01.09.2020 - 31.08.2024

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die übergeordnete Zielsetzung des Vorhabens „greenBattNutzung“ ist es, einheitliche Referenzen und Standards für die Clusterprojekte zu schaffen und die Daten, Methoden und Werkzeuge aus den Projekten zusammenzuführen. Darüber hinaus wird eine Gesamtsystembewertung die ökologischen, wirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Aspekte verschiedener End-of-Use/End-of-Life Optionen für Batterien gegenüberstellen und darauf basierend werden Handlungsempfehlungen an relevante Stakeholder gegeben. Aus den übergeordneten Zielen des Begleitprojekts lassen sich die partnerspezifischen Ziele wie folgt ableiten:

Das Kernziel des Teilvorhabens ist die Erarbeitung, die (Weiter-)Entwicklung und die Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen für ein systematisches Technologiemonitoring und -roadmapping im Themenschwerpunkt Recycling & Green Battery sowie für die ökologische, wirtschaftliche und sozio-ökonomische Bewertung verschiedener Recyclingoptionen. Die Kopplung von Werkzeugen aus den Clustern Batterienutzungskonzepte sowie Recycling & Green Battery soll die integrierte Bewertung von End-of-Use/End-of-Life Optionen für Batterien ermöglichen. Aufbauend auf der Anwendung dieser gekoppelten Werkzeuge soll eine Bewertung von End-of-Use/End-of-Life Optionen für Batterien hinsichtlich der wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Auswirkungen erfolgen. Mit Hilfe der erzielten Ergebnisse kann schließlich die Ableitung politischer Handlungsempfehlungen hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Anforderungen des Recyclings gelingen. Durch das seitens des IWF vorgenommene Clustermanagement soll darüber hinaus die Vernetzung unterschiedlicher Forschungseinrichtungen gestärkt und ein optimaler Ergebnistransfer im Clusternetzwerk zur Erreichung der Clusterziele ermöglicht werden. Zentral ist hierbei die Entwicklung und Gestaltung einer Plattform für den effizienten Daten- und Dokumentenaustausch in der Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus einschließlich definierter Schnittstellen und Rechte für (externe) Partner. Die Organisation und Durchführung verschiedener Industrie-/Workshops sowie die Entwicklung von Schulungskonzepten für die ökologische Bewertung von Recyclingverfahren

sollen den Wissens- und Technologietransfer sowohl in die Industrie als auch in Wissenschaft und Forschung ermöglichen.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt begleitete über die Projekt- und Clusterlaufzeit hinweg kontinuierlich die Clusterprojekte. Mit Beginn der Clusterphase wurden Konzepte zu den Clusterveranstaltungen (AP 5), Vorlagen (z.B. Corporate Design; AP 6) und eine Daten- und Austauschplattform (AP 2.1) erstellt und den Clusterprojekten zur Verfügung gestellt. Diese bildeten die Grundlagen für einen geordneten und einheitlichen Auftritt und Austausch innerhalb und außerhalb des Clusters. Anschließend erfolgte die Analyse von bestehenden Forschungen im Bereich des Batterierecyclings, v.a. den angewendeten Bewertungsmethoden, welche die Grundlage für das Technologiemonitoring und -roadmapping (AP 1), die Referenzprozesskette und das Bewertungswerkzeug (AP 2), stellte. Parallel zur Entwicklung des Bewertungswerkzeuges wurde die Gesamtsystembewertung konzeptioniert (AP 1,2), entwickelt und umgesetzt. Weiterhin wurde ab 2023 mit der Zusammentragung der aus den Projekten und dem Cluster kommenden Handlungsempfehlungen begonnen, welche Anfang 2025 in einem Policy Report zusammengestellt wurden. Eine stets parallellaufende Hauptaufgabe des Begleitprojekts war es, kontinuierlich das Cluster zu managen, d.h. Clusterveranstaltungen zu organisieren, durchzuführen und Öffentlichkeitsarbeit (z.B. auf Konferenzen, per Social Media und der Webseite) zu betreiben. Zuletzt erfolgte die Koordinierung der Projektabschlussvideos.

3. Wesentliche Ergebnisse

Im Begleitprojekt „greenBattNutzung“ wurde der Fokus auf die Schaffung eines Rahmens für die Clusterarbeit gelegt. Hierfür wurden im Rahmen des Clustermanagements ein einheitliches Auftreten des Clusters (z.B. Corporate Design) und Clusterveranstaltungen (drei Querschnittsinitiativtreffen, vier Clustertreffen), sowie Veranstaltungen für den Industrietransfer (Managementkreissitzungen, zwei Industrietage, diverse Industriedialoge) organisiert und durchgeführt. Dies stärkte die Vernetzung zwischen den Clustern greenBatt und BattNutzung, ihren Partnern sowie der Industrie. Zusätzlich wurde der Wissens- und Technologietransfer über die Öffentlichkeitsarbeit (z.B. LinkedIn) und die Erstellung eines Schulungskonzeptes gefördert, sodass die Clusterergebnisse nachhaltig in der Industrie und Wissenschaft der Batterielandschaft Deutschland Anwendung finden können. Für den nachhaltigen Wissensaustausch gehörte auch die Erstellung einer Daten- und Austauschplattform über Kadi4Mat und Gitlab, welche die Sammlung und den Austausch von Daten, Methoden sowie open-source Werkzeugen innerhalb der Cluster ermöglichte und diese auch zukünftig erreichbar macht. Zusätzlich zum Clustermanagement wurden, basierend auf einem vom Begleitprojekt erstellten Technologiemonitoring und -roadmapping, einheitliche Referenzen (z.B. Referenzbatterierecyclingprozess) und Standards für die Bewertung von Batterierecyclingprozessen erstellt. Diese wurden in einem Werkzeug für die ökologische, wirtschaftliche und sozio-ökonomische Bewertung des Referenzprozesses sowie einer Gesamtsystembewertung umgesetzt, sodass diese als Vergleichsanwendung für weitere Prozessinnovationen im Bereich des Batterierecyclings und der Nachnutzungskonzepte herangezogen werden können. Zusätzlich wurden auf den Clusterprojektergebnissen basierende Handlungsempfehlungen zusammengetragen, in einem Policy Report formuliert und an Stakeholder aus Politik, Wirtschaft und Forschung übergeben. Diese Empfehlungen beinhalten zukünftige Entscheidungen über die Fokussierung des Batterierecycling in der Gesetzgebung, dem Ausbau in der Industrie und der Weiterführung in der Forschung.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil 2 – Eingehende Darstellung (max. 20 Seiten)

Vorhabenbezeichnung: greenBattNutzung – Begleitprojekt Batterielebenszyklus	
Zuwendungsempfänger: Technische Universität Braunschweig - Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) und Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP)	Förderkennzeichen 03XP0302A
Projektleiter*in Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann (TUBS IWF) Prof. Dr. Thomas Spengler (TUBS AIP)	Laufzeit 01.09.2020 - 31.08.2024

1. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse des Teilvorhabens

Die nachfolgenden Arbeiten wurden durch die TU Braunschweig, dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) und dem Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP), durchgeführt.

AP 1: Monitoring und Szenarientwicklung

Ziel des AP 1 war die Schaffung von Referenzen für die Forschungscluster und Konzeption einer übergreifenden Systembewertung.

UAP 1.1: Technologiemonitoring und -roadmapping

Das IWF unterstützte hier die Arbeiten zur Erstellung der Übersichten zu Forschungen zu Batterierecycling. Zuerst wurde hierbei die Erstellung eines Excel-basierten Technologiemonitoring-Werkzeugs zum Batterierecycling unterstützt. Es erfolgte eine gemeinsame Erarbeitung von Kriterien für eine Monitoring-Tabelle der Technologieentwicklung für Recycling-Prozessketten mit dem IKTS und IME, wobei sich das IWF, basierend auf einer fortlaufenden Sichtung von Ökobilanz-Studien (Life Cycle Assessment, LCA) des Batterierecyclings auf die benötigten Material- und Energieströme fokussierte. Weiterhin wurde die Sammlung und Auswertung von LCA Studien zum Batterierecycling für die Entwicklung der in AP 2 durchgeführten ökologischen Bewertung genutzt, zudem wurde ein einheitliches Vorgehen (z.B. durch Nutzung einer Taxonomie) bei der ökologischen Bewertung zur Abstimmung im Konsortium und mit den Clusterprojekten (z.B. beim Workshop beim Forschungsfeldtreffen) erstellt und eingesetzt. Parallel wurde eine Übersicht über die in der Clusterarbeit anfallenden Projekte und deren KPIs geschaffen.

Für eine automatisierte Fortführung des vom IKTS erstellten systematischen Technologiemonitorings wurden Analysen von KI-Ansätzen (z.B. Erstellung einer Anforderungsliste, Tests) durchgeführt und ein Konzept für die Umsetzung entwickelt, welches jedoch aufgrund der

Komplexität eines KI-Prototypen als im Projekt nicht umsetzbar bewertet wurde. Jedoch konnten durch die Analysen neben Anforderungen auch anfallende Probleme für die Verwendung von KI (z.B. Falschaussagen und Mangel an korrekter Interpretation und Zuordnung) zusammengetragen werden, welche in zukünftigen Forschungen zum automatisierter Literaturrecherche weiterverwendet werden können.

UAP 1.2: Nachnutzungs- und Recyclingszenarien:

In dem vom AIP geleiteten UAP 1.2 wurden Nachnutzungs- und Recyclingszenarien erarbeitet, die als qualitative und quantitative Grundlage für eine umfassende Bewertung des Batterielebenszyklus dienen. Die Arbeiten gliederten sich in zwei eng verknüpfte Bestandteile. Erstens wurde in Zusammenarbeit mit dem Cluster-Projekt SIMTEGRAL und dem Graduiertenkolleg „CircularLIB“ ein umfassendes systemdynamisches Simulationsmodell für die Nachhaltigkeitsbewertung der europäischen zirkulären Batterieproduktion entwickelt (Ginster et al. 2024¹). Dabei wurde erstmals das Life Cycle Assessment in eine systemdynamische Simulation integriert. Dies ermöglicht es, umfassende Rahmenbedingungen, wie länderspezifisches Nutzungsverhalten, länderspezifische und zeitveränderliche Energiemixe oder variierende gesetzliche Rahmenbedingungen innerhalb der Nachhaltigkeitsbewertung zu berücksichtigen. Zweitens wurden die umfassenden Erkenntnisse aus dieser Arbeit in statische Szenarien für die Gesamtsystembewertung überführt. Die wichtigsten Rahmenbedingungen umfassen den Energiemix, Strom- und Materialpreise sowie Höhe und Auslastung der installierten Kapazitäten.

Das IWF unterstützte das AIP bei der Entwicklung der Szenarien durch Einbringen von Erkenntnissen aus dem Technologiemonitoring und -roadmapping (UAP 1.1) sowie durch Einbringen von Aspekten und Parametern für die Umweltbewertung. Dahingehend organisierten und führten das IWF und das AIP den Workshop zum Thema „Unsicherheiten und Szenarien in der Gesamtsystembewertung“ im Rahmen des Vernetzungstreffens in Aachen im Juni 2022 durch. Weiterhin erfolgte durch das IWF die Implementierung der Energiemixszenarien und deren ökologische Bewertung.

UAP 1.3: Ableitung von Bewertungsparametern:

Im vom IWF und AIP geleiteten UAP 1.3 wurde eine einheitliche Grundlage für die Bewertung verschiedener Nachnutzungs- und Recyclingoptionen geschaffen, welche als Basis für die nachfolgenden Bewertungen in den einzelnen Clusterprojekten sowie für die Gesamtsystembewertung genutzt wurde. Dafür wurden zuerst basierend auf Rechercheergebnissen benötigte Parameter und Kennzahlen für die ökonomische und ökologische Bewertung erfasst und daraus Referenzparameter festgelegt. Hierzu gehört die Definition der Referenzprozesskette für das Batterierecycling mit ihren einzelnen Teilschritten (s. Abbildung 1), die Referenzbatterie und die Parameter der Bewertungsmethodik (Life Cycle Assessment und Life Cycle Costing), welche den Clusterprojekten vorgestellt und zur Verfügung gestellt wurde (s. Zwischenbericht 2023). Der Referenzprozess dient als Basis für den Vergleich entwickelter Projektinnovationen. Als Referenzprozess wurde hierfür ein Batterierecyclingprozess für 10.000 t Altbatterien für die Referenzbatterie des Typs NMC111 bis zur Rückgewinnung der Bestandteile des Aktivmaterials mit hochwertiger („battery-grade“) Qualität sowie weiterer Komponenten der Batterie betrachtet. Um einen Vergleich mit allen im greenBatt-Cluster vorliegenden Projekten zu

¹ Ginster, R.; Blömeke, S.; Popien, J.-L.; Scheller, C.; Cerdas, F.; Herrmann, C.; Spengler, T. S. (2024): Circular Battery Production in the EU: Insights from integrating Life Cycle Assessment into System Dynamics Modeling on Recycled Content and Environmental Impacts Journal of Industrial Ecology, 28, 5, S. 1165-1182 <https://doi.org/10.1111/jiec.13527>.

schaffen, umfassen die Systemgrenzen alle Projektinnovationen betreffenden Prozessschritte. Betrachtet werden somit die Demontage bis auf Modulebene, gefolgt von der Pyrolyse jener Module, sowie der mechanischen Aufbereitung bis hin zur Schwarzmasse und weiteren Fraktionen. Weiterhin werden die Pyrometallurgie, in welcher Schwarzmasse zu Schlacke und Legierung umgewandelt wird, sowie die Hydrometallurgie, welche diese jeweils bis auf die Batterie-Rohstoffe behandelt, untersucht. Die Abgas- und Abwasserbehandlungen sowie teilweise die Abfallbehandlung spezifischer Materialien werden einbezogen.

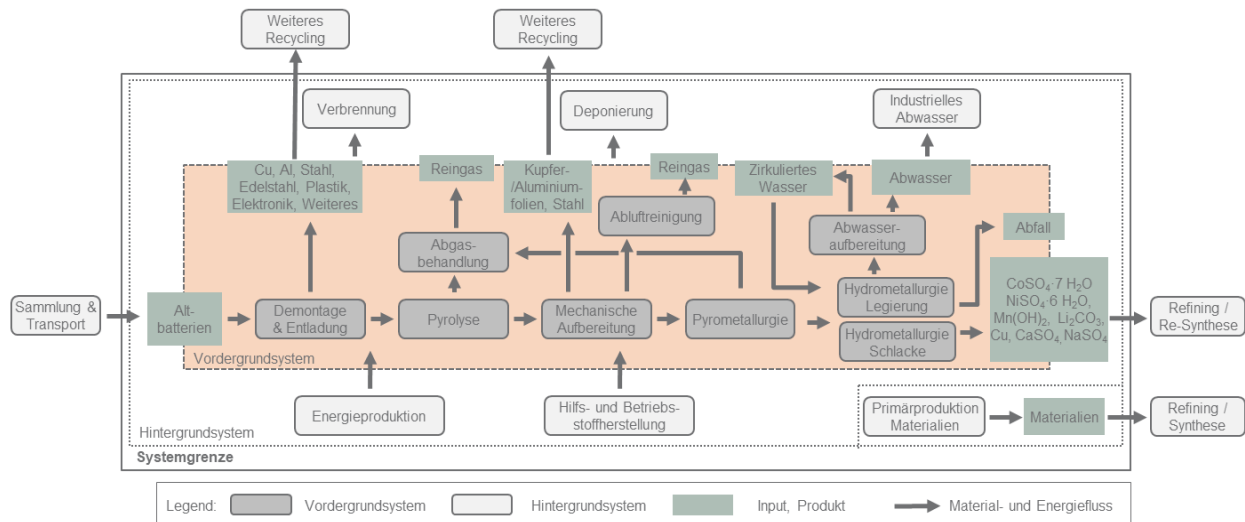


Abbildung 1: Systemgrenzen des Batterierecycling-Referenzprozesses

Zur Schaffung der Bewertungsgrundlage wurden weiterhin die Bewertungsparameter (z.B. Allokation „Avoided burden“), die Wirkungskategorien (Treibhauseffekt, Versauerung, Ressourcenbeanspruchung, Feinstaubbildung, Photochemische Oxidantienbildung) und Kennzahlen für die ökologische und ökonomische Bewertung, wie z.B. Material- und Energieströme und -preise, Personalbedarf und Investitionen, vorgestellt, diskutiert und definiert. Die Definitionen jeglicher Referenzstrukturen und -parameter basierte auf Absprachen und der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und den Clusterprojekten, z.B. während der Workshops beim Forschungsfeldtreffen 2022 sowie mehreren Projektworkshops mit u.a. dem Öko-Institut (Vergleich AP 3.1), sodass eine einheitliche und für alle Projekte beteiligte Grundlage gegeben ist.

UAP 1.4: Konzeption der Gesamtsystembewertung:

Im vom IWF und AIP geleiteten UAP 1.4 wurden aufbauend auf dem Forschungsfeldtreffen 2022 sowie den Regelterminen zu AP 1 und 2 des Begleitprojekts ein Gesamtkonzept für die ganzheitliche Bewertung von Nachnutzungs- und Recyclingoptionen entwickelt. Hierbei wurden aufbauend auf den Arbeiten aus UAP 1.3 und der Zusammenarbeit mit den Clusterprojekten und Projektpartnern zuerst die Anforderungen der Gesamtsystembewertung, wie die Ziele, Adressaten und Systemgrenzen der Bewertung definiert. Abbildung 2 zeigt die Rahmenbedingungen, die Systemdefinition und betrachteten ökonomischen, ökologischen und technischen Bewertungskriterien. Basierend auf den Arbeiten der UAP 1.1 – 1.3, wurde das Konzept und die Methodik für die ökologische und ökonomische Bewertung des Referenzrecyclingprozesses der Referenzbatterie (greenBatt-spezifisch) in Anlehnung an Blömeke et al. (2022)² entwickelt. In mehreren Workshops und den Regelterminen mit dem Öko-Institut wurden die

² Blömeke, S., Scheller, C., Cerdas, F., Thies, C., Hachenberger, R., Gonter, M., Herrmann, C., Spengler, T.(2022): Material and energy flow analysis for environmental and economic impact assessment of industrial recycling routes for lithium-ion traction batteries, Journal of Cleaner Production, Volume 377, 2022, 134344, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134344>.

Bewertungsmethoden der LCA und LCC festgelegt (u.a. einschließlich Festlegung der funktionalen Einheit). Das Konzept wurde in AP 2 softwareseitig umgesetzt. Zur Abfrage von Parametern und Inhalten (wie z.B. Material- und Energieströme), welche für die Durchführung der konzipierten Bewertung nötig sind, wurde den Clusterprojekten und Projektpartnern eine Vorlage als Excel-Tabelle zur Verfügung gestellt.

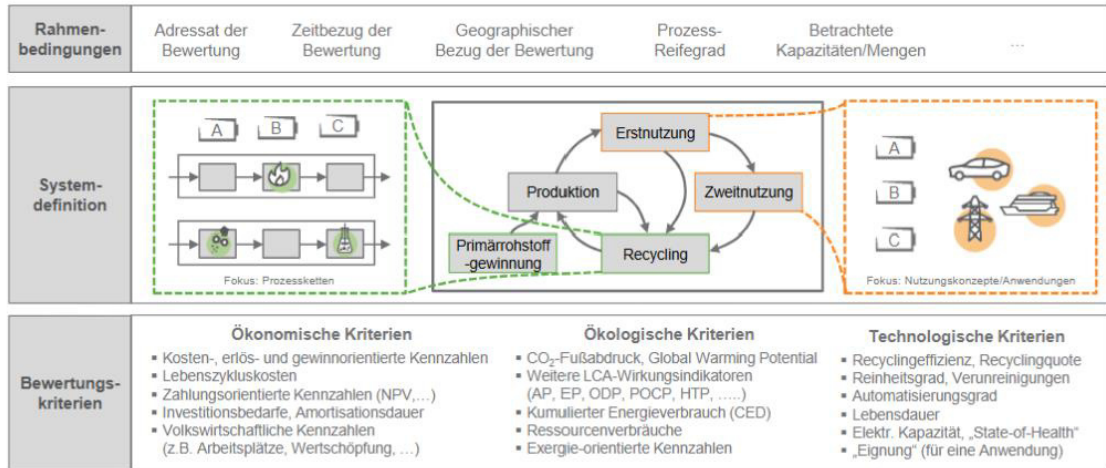


Abbildung 2: Konzept der Gesamtsystembewertung von greenBattNutzung mit den Rahmenbedingungen, Systemdefinitionen und Bewertungskriterien

Die Gesamtbewertung basiert auf der Kopplung aller im Begleitprojekt entwickelten und jeweils einer Batterielebensphase zugewiesenen und von verschiedenen Partnern entwickelten Einzelwerkzeuge (z.B. Simulationssoftware des ISIT, TUM, ISEA; s. Abbildung 3). Hierfür wurde zusammen mit dem ISEA, der TUM und dem ISIT in regelmäßigen Treffen die Kopplung konzipiert und die dafür nötige Umgebung (Dockerfiles auf dem GitLab Server) angelegt. Darauf können alle Einzelwerkzeuge abgelegt und durch Schnittstellen gekoppelt werden. Die hierbei je Werkzeug ausgegebenen Ergebnisse fügen sich schlussendlich zu einer Gesamtsystembewertung zusammen und können ausgegeben werden. Das IWF war hier für die Ver- und Bewertung der ökologischen Parameter (Global Warming Potential (GWP) in CO₂-Äquivalenzen) zuständig. Das AIP war für die ökonomische Bewertung zuständig, wobei das Konzept und die Methodik für die Investitions- und Kostenplanung aus dem Batterierecycling auf die Gesamtsystembewertung übertragen wurde.

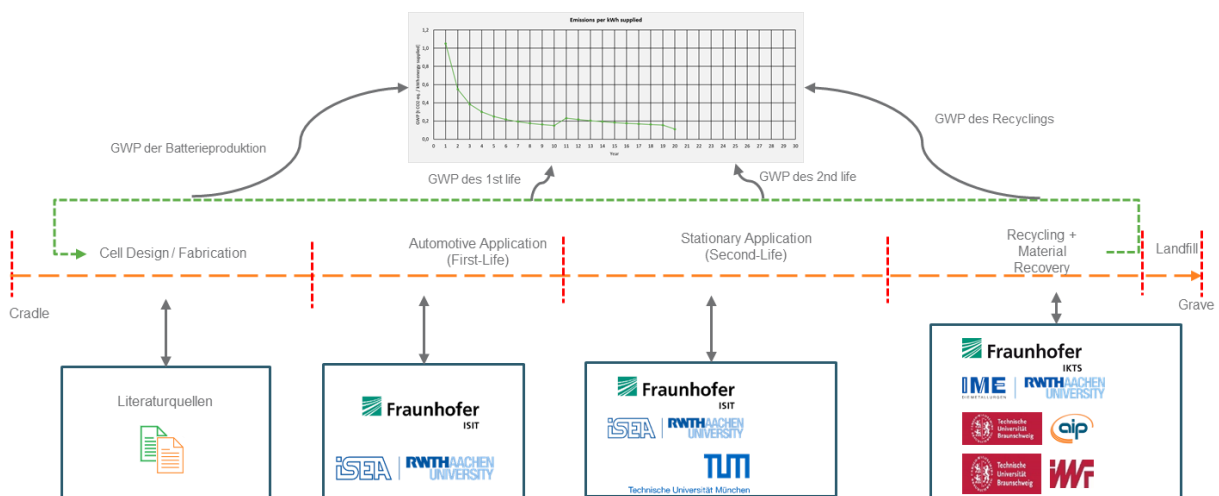


Abbildung 3: Konzept der Gesamtsystembewertung des Batterielebenszyklus durch Kopplung der Einzelwerkzeuge des Begleitprojekts

AP 2: Werkzeugentwicklung und szenarienbasierte Bewertung

Im vom IWF co-geleiteten AP 2 wurde die Entwicklung von Werkzeugen für die Durchführung der Gesamtbewertung der verschiedenen End-of-Life-Optionen für Batterien angestrebt. Das IWF und AIP erstellten hierfür ein open-source Werkzeug für die ökologische und ökonomische Bewertung des Batterierecycling-Referenzprozesses und führten diese Bewertung durch.

UAP 2.1: Daten-, Dokumentenaustausch- und Publikationsplattform:

Im UAP 2.1. wurde durch das IWF zuerst ein Konzept für den effizienten Daten- und Dokumentenaustausch in der Querschnittsinitiative erstellt und anschließend in einer Datenbank umgesetzt. Abbildung 4 zeigt das Zusammenspiel der entwickelten Lösungen. Basierend auf den während eines Workshops beim Cluster-Kick-off in 2021 erfassten Anforderungen und dem Austausch mit weiteren Batterieclustern wurde Kadi4Mat als Datenaustauschplattform und GitLab als Verwaltungs- und Toolaustausch-Software ausgewählt. Die gemeinsame Verwaltung der Zugangsberechtigungen und Nutzerrollen erfolgt über einen LDAP-Server. Die kombinierte Lösung wurde im August 2021 auf dem Server des IWF implementiert und fortlaufend weiterentwickelt. Der Server wird weiterhin durch das IWF administriert, sodass die Daten auch nach dem Clusterende weiter verfügbar und für die weitere Forschung nutzbar sind. Zusammen mit dem ISEA wurde ein Metadatenschema für die Datenaustauschplattform entwickelt, in Austausch mit den Clusterprojekten (z.B. während des Clustertreffens 11/2021) diskutiert und fortwährend überarbeitet. Ebenso wurden Schnittstellen der Modellverknüpfungen identifiziert und in der Plattformentwicklung berücksichtigt.

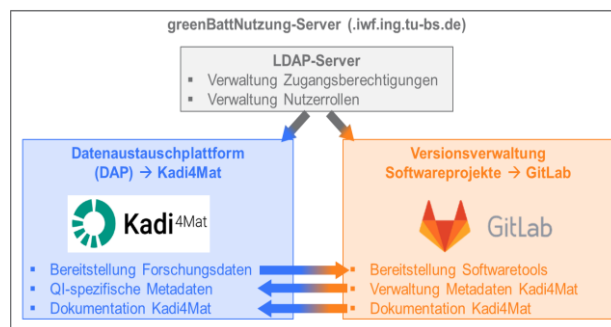


Abbildung 4: Konzept für den effizienten Daten- und Dokumentenaustausch in der Querschnittsinitiative

Die Austauschplattform wurde während des Clustertreffens im November 2021 durch das IWF und ISEA vorgestellt und mit den Clusterprojekten diskutiert, sodass Anmerkungen in der Weiterentwicklung mitberücksichtigt wurden.

UAP 2.2: Weiter-Entwicklung und Integration von Open Source Werkzeugen zur Gesamtbewertung des Batterie- und Zellebenszyklus:

Das IWF und AIP entwickelten in diesem UAP ein Excel-basiertes Open Source Werkzeug für die Bewertung von Recyclingoptionen, welches mit den weiteren im Rahmen der Clusteraktivitäten entwickelten Werkzeugen gekoppelt wurde. Die eigenständige Neuentwicklung des Werkzeugs ermöglicht es, direkt auf die vom IKTS und IME eingehenden Daten der Material- und Energieströme (MEFA) einzugehen und diese transparent darzustellen. Die Transparenz in der Nutzung von Daten und Bewertungsparametern und Berechnungen ist in dem Werkzeug von besonderer Priorität, um sich von bestehenden Werkzeugen und Arbeiten abzugrenzen und eine Bewertungsgrundlage und ein Werkzeug für einen Vergleich zu schaffen. Das AIP

fokussierte die ökonomische und das IWF die ökologische Bewertung. Es wurden die Material- und Energieströme sowie Prozessparameter (z.B. Maschinenkapazität) für den Referenzprozess durch das IKTS und IME ermittelt und vom IWF und AIP für die in UAP 1.2 und UAP 1.3 festgelegten Parametern (z.B. Durchsatz von 10.000 t Batterien/Jahr) berechnet und in das Bewertungstool überführt. Abbildung 5 zeigt die Nutzeroberfläche des Excel-Werkzeugs mit den Einstellparametern (oben) sowie den daraus resultierenden Bewertungen (unten).

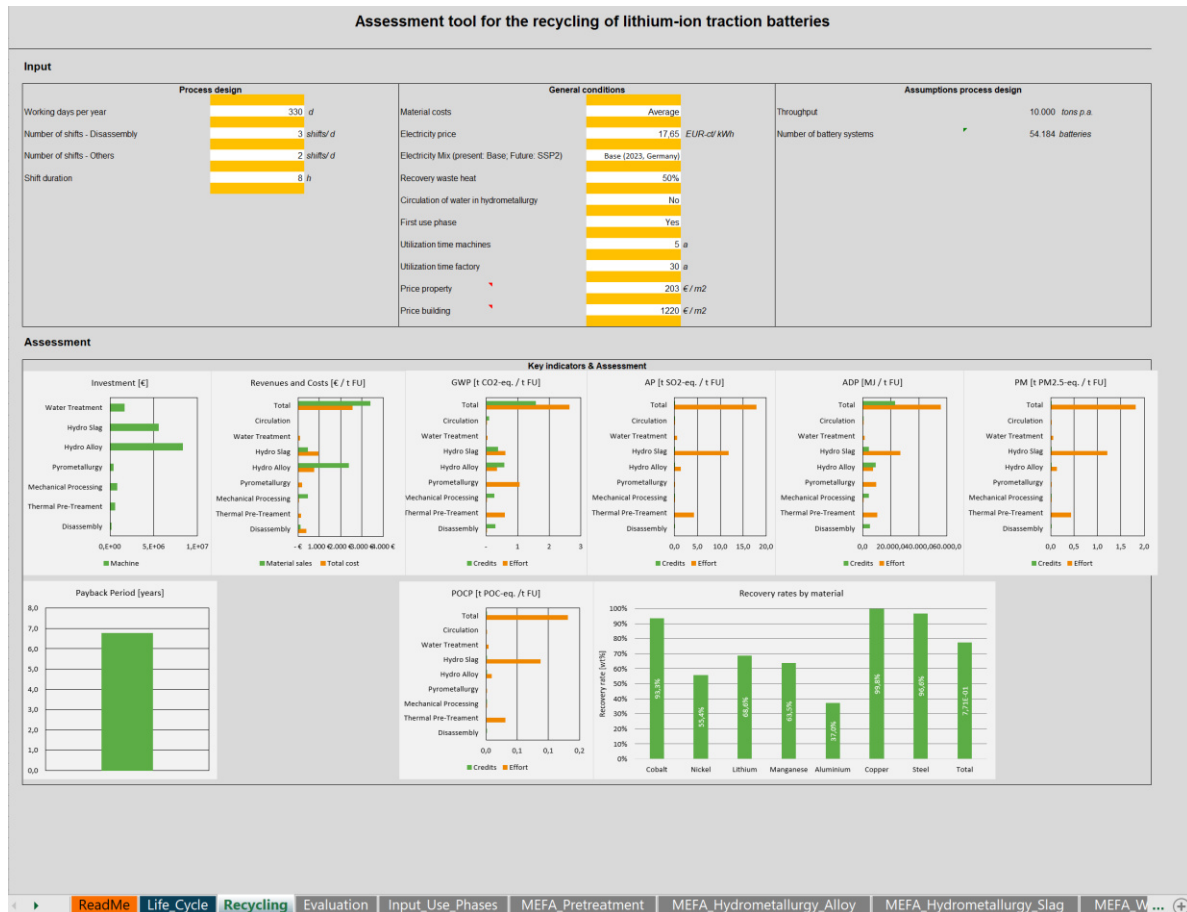


Abbildung 5: Deckblatt des Werkzeugs für die ökologische und ökonomische Bewertung des Referenzprozesses des Batterierecyclings (adaptierbare Werte in den oberen Zeilen, Auswertungen in den Diagrammen)

Das Werkzeug unterstützt mittels Implementierung von LCA- und LCC-Berechnungen die ökologische und ökonomische Bewertung. Hierzu wurden durch das IWF open-source verfügbare Datensätze zu den ökologischen Auswirkungen der eingebrachten und entstehenden Materialien/Produkte hinterlegt. Das Werkzeug berechnet in der Folge u.a., wie stark der Klimawandel, die Versauerung, die Abiotische Ressourcenbeanspruchung, die Feinstaubbildung und das Photochemische Oxidantienbildung durch den betrachteten Recyclingprozess potentiell beeinflusst werden können. Die ökonomische Betrachtung umfasst u.a. notwendige Investitionen, Einzahlungen und Auszahlungen sowie die Amortisationszeit. Die Ergebnisse werden durch geeignete Diagramme visualisiert.

Getroffene Annahmen, Berechnungen und Quellen wurden im Werkzeug detailliert dokumentiert, sodass eine Nachvollziehbarkeit der Berechnungen und Transparenz gegeben sind. Einige v.a. Betriebsparameter (wie z.B. die Schichtanzahl oder die Materialpreise) können adaptiert werden, sodass der Referenzprozess vom Nutzer angepasst werden kann.

Im Werkzeug sind auch die Schnittstellen zu den Werkzeugen der TUM, des ISEA und des Fraunhofer ISIT beziehend auf die Themen des BattNutzungs-Clusters gegeben (s. Abbildung 3). Die vom IKTS und IME entwickelten Excel-Berechnungsgrundlagen wurden direkt in das Werkzeug des IWF und AIP überführt. Auch die in UAP 1.2 vom AIP und IWF entwickelten Szenarien wurden mit in das Werkzeug eingebracht und die Zusammensetzung der Referenzbatterie aus dem Werkzeug des ISEA sowie unterschiedliche Strommix-Szenarien hinterlegt. Aufbauend auf der Kopplung der Werkzeuge der Projektpartner in UAP 1.4 erfolgte zusammen mit dem ISEA, dem ISIT und der TUM die Implementierung der Werkzeuge und der programmiertechnischen in z.B. Python umgesetzten Schnittstellen in Docker.

UAP 2.3: Bewertung von Nachnutzungs- und Recyclingwegen aus Lebenszyklussicht:

Im vom IWF co-geleiteten UAP 2.3 wurden die verschiedenen Recyclingoptionen basierend auf dem in UAP 1.4 erarbeiteten Konzept und mithilfe der in UAP 2.2 entwickelten Werkzeuge bewertet und die Ergebnisse gegenübergestellt.

Hierfür wurde zuerst das in UAP 2.2 entwickelte Werkzeug für die Bewertung des Batterierecycling-Referenzprozesses genutzt. Die ökologische Bewertung erfolgt mittels Einsatzes der Methode der Ökobilanzierung. Diese umfasst die Schritte: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen, Erstellung der Sachbilanz, d.h. Quantifizierung der Referenzprozesskette des Batterierecyclings, Wirkungsabschätzung zur Bewertung der Referenzprozesskette sowie die Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse. Die ökonomische Bewertung erfolgt mittels des Life Cycle Costings (kurz LCC). U.a. können einzelne Hot-Spots in der Prozesskette abgelesen sowie Aussagen für die ökologischen Gutschriften und Erlöse für rückgewonnene Sekundärmaterialien getroffen werden. So zeigt die Bewertung beispielsweise auf, dass die Pyrometallurgie sowie Lithiumrückgewinnung aufgrund des hohen Energiebedarfs als Hotspots zu den ökologischen Auswirkungen beitragen. Dementsprechend sind Innovationen in diesen Prozessschritten zur Reduktion der Umweltauswirkungen besonders relevant. Weiterhin wird deutlich, welche Recyclingraten mit diesem Verfahren erzielt werden und welche der rückgewonnenen Stoffe besonders hohe ökologische und ökonomische Gutschriften (wie z.B. Nickelsulfat) erzielen. Für das Recycling von 10 000 t/a im Referenzprozess werden 2,6 t CO₂-eq/t Batterie erzeugt und es entstehen Erlöse von ca. 3.380 €/t. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Rückgewinnungsraten des Referenzprozesses in Abhängigkeit eingestellter Input-Parameter (Einstellungen s. Abbildung 5).

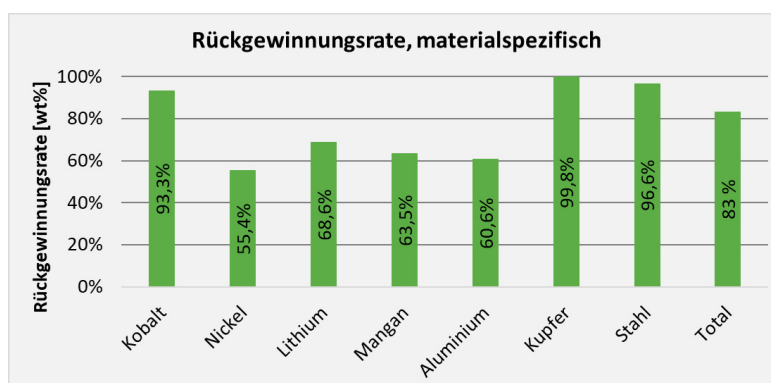


Abbildung 6: Rückgewinnungsraten der Referenzprozessroute (Exemplarisch)

Durch die Veränderung der Betriebsparameter (z.B. Anzahl der Schichten oder Strommix) kann aufgezeigt werden, welche Veränderungen der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen mit diesen Veränderungen einhergehen.

Recyclingprozesspfade wurde ein einheitliches Konzept entwickelt (s. Abbildung 8). Eine einheitliche Auswertung der Prozessdaten und LCAs war aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit (z.B. durch wenig LCAs, geringe Prozessmaßstäbe und unvollständige Datenaufnahme) nicht möglich, sodass individuelle Betrachtungen für die Projekte vorgenommen wurden. Basierend auf den verfügbaren Quellen (z.B. zur Verfügung gestellter LCAs und Interviews (s. AP 4)) wurden die wichtigsten Informationen und Kernaussagen zur ökologischen Nachhaltigkeit und den Clusterinnovationen zusammengefasst. Anschließend wurde untersucht, inwiefern die projektspezifischen Recyclingpfade mit der Referenzprozesskette hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen verglichen werden können. Hierbei stellte sich heraus, dass die Vergleichbarkeit aufgrund der unterschiedlichen Bewertungsmethoden, verschiedenen Skalen und Reifegrade der untersuchten Prozesse sowie Systemgrenzen nur bedingt gegeben war. Eine Integration der Ergebnisse in das Open Source Bewertungswerkzeug war daher nicht möglich. Vergleichbare Untersuchungsgegenstände, wie Demontagezeiten und Materialpreise, wurden jedoch mit der Gesamtsystembewertung verglichen und validiert. Die aus dem Vergleich entstandenen Informationen flossen als Handlungsempfehlung in den Policy Report ein.

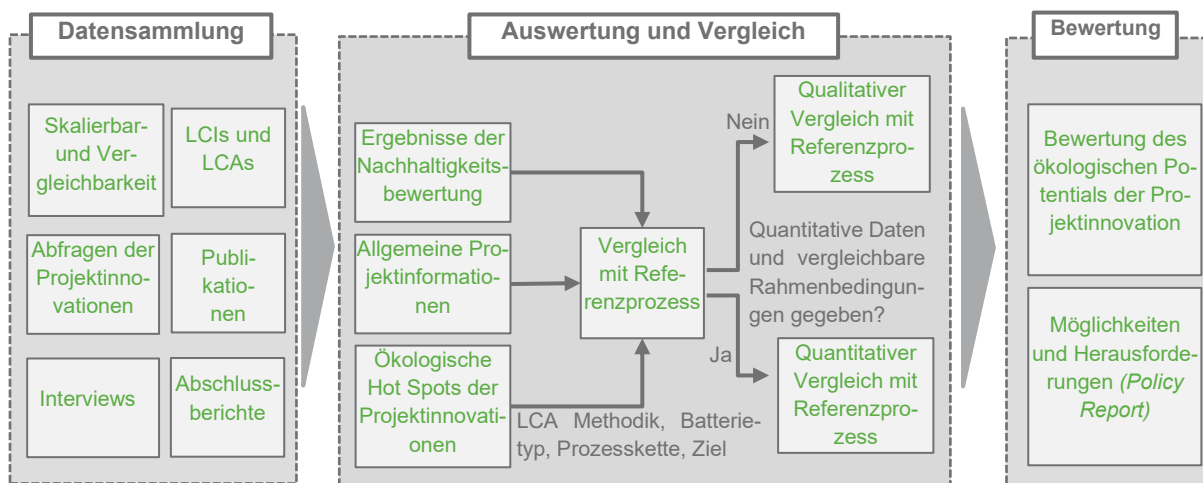


Abbildung 8: Konzept zur Bewertung der Clusterprojekte

Auf Basis der qualitativen Bewertung konnte aufgezeigt werden, dass alle Projekte Innovationen in ihrem Untersuchungsgebiet erzielen. So wurden Neuentwicklungen oder Optimierungen von Prozessschritten wie z.B. dem Direkten Recycling oder der Grafit-Rückgewinnung geschaffen, welche mit deutlichen Reduktionen von ökologischen Umweltauswirkungen durch Energie- und Materialeinsparungen einhergehen. Die zumeist im Labor- oder Pilotmaßstab untersuchten Prozesse wurden auf Skalierbarkeit untersucht, wobei für einige Prozesse bereits eine Skalierung auf Industriemaßstab als machbar erachtet wurden. Auch methodische Innovationen (wie z.B. Simulationen) wurden in den Projekten erfolgreich entwickelt, sodass neue Bewertungen des Batterie-Lebenszyklus und der Wertschöpfungskette (z.B. dem Einfluss von Skalierung, Sekundärmaterialien und der zukünftigen Prognosen zur Verfügbarkeit von Rohstoffen) möglich waren.

AP 3: Ergebnis-/ Technologietransfer

Das Ziel des AP 3 ist der Wissens- und Technologietransfer sowohl in die Industrie als auch in Wissenschaft und Forschung mittels Workshops Schulungen und Publikationen.

UAP 3.1: Konzeptionierung und Durchführung von Industrieworkshops für den Ergebnistransfer:

In UAP 3.1 fungierte das IWF als Leiter und initiierte zusammen mit dem ISEA und weiteren Batteriekompetenzclustern das Konzept der Industrietage und Industriedialoge zur Kommunikation der Clusterergebnisse an die Industrie. Industriedialoge dienen dem Austausch mit der Industrie auf v.a. Konferenzen. Die Einreichung von Konferenzbeiträgen wurde in den Clustern empfohlen und beworben. Weiterhin wurde durch die Etablierung eines Messestandes auf Konferenzen wie der Kraftwerk Batterie oder der International Battery Production Conference die Querschnittsinitiative in Gänze präsentiert und Interessenten auf Cluster-Konferenzbeiträgen aufmerksam gemacht.

Die Industrietage wurden explizit durch das Cluster organisiert und richteten sich auf die direkte Vermittlung der Clusterergebnisse an Industriepartner und -interessierte. In 2023 wurde die Reihe der digitalen Industrietage je Forschungsfeld und in 2024 ein Präsenz-Industrietag durchgeführt. Hierbei wurden die Clusterfortschritte dargestellt (z.B. durch Vorträge zu den Projektergebnissen) und ein Raum zur Diskussion geschaffen, z.B. durch Poster-Sessions, digitale Break-Out-Sessions oder Workshops mit den Cluster- und Industrieteilnehmenden. V.a. die Workshops zu den Transfermöglichkeiten von Projektergebnissen in die Industrie ermöglichten einen direkten Austausch und die Verbreitung der Clusterarbeit. Das IWF organisierte hierbei zusammen mit anderen Projektpartnern die digitalen Industrietage und führte den Industrietag zum Forschungsfeld Life Cycle Design & Engineering (LCD&E) durch.

Zusätzlich wurden Workshops innerhalb des Clusters und des Begleitprojekts durchgeführt (s. Tabelle 1). Die Ergebnisse des Industrieaustauschs und der Workshops wurde mit in die Clusterarbeit einbezogen, sodass die Clusterprojekte von der Industrienähe profitierten und ihre Arbeiten um z.B. industrielle Erfahrungen erweitern und auf die Bedarfe anpassen konnten.

Tabelle 1: Vom IWF und AIP organisierte und durchgeführte Seminare und Workshops

Art	Inhalt	Datum	Ort	Organisator	Teilnehmer	Titel
Seminar	Schulung bei Kraftwerk Batterie „Green Batteries through Computational LCE“	28.03.22	digital	IWF, AIP	IWF, AIP	https://battery-power.eu/en/green-batteries-through-computational-life-cycle-engineering/
Workshop	Workshop beim 2. QI	28.-30.06.22	Aachen	AIP, ISIT	AIP, IWF	Unsicherheiten und Szenarien in der Gesamtsystembewertung
Interne Workshops greenBatt-Nutzung	Forschungsaustausch mit BatMix	27.04., 29.6., 25.10.22	digital, Aachen, Braunschweig	AIP	AIP	Marktszenarien
	Workshop mit Öko-Institut	17.05.22	Dresden	Co-Orga IWF	AIP, IWF	Review und Handlungsempfehlungen
	Workshop mit Öko-Institut	30.08.22	Darmstadt	Co-Orga AIP, IWF	AIP, IWF	Review und Handlungsempfehlungen
	Workshop mit Öko-Institut	24.02.23	digital	IWF, AIP	IWF, AIP	Gesamtsystembewertung und Referenzprozesskette

UAP 3.2: Erstellung und Durchführung von Schulungskonzepten:

Im Rahmen des UAP 3.2. wurde durch das IWF ein Konzept zur Vermittlung der ökologischen Bewertung von Recyclingverfahren für die Industrie entwickelt (s. Abbildung 9). Hierfür wurde

eine theoretische Einführung in die Anwendung von ökologischen Bewertungsmethoden (LCA) und die Nutzung von digitalen Werkzeugen für das Life Cycle Engineering entwickelt und auf der Konferenz Kraftwerk Batterie 2023 als Online-Seminar für die Konferenzteilnehmenden (vorwiegend Industrie) unter dem Motto „Green Batteries through Computational LCE“ durch das IWF gehalten. Diese Schulung wurde adaptiert und u.a. auch in Schulklassen und für Studierende (z.B. Vortrag Change.ING) gehalten, um das Anwendungsgebiet zu erweitern. Weiterhin wurde das Interesse der Industrie durch diverse Netzwerkveranstaltungen (s. AP 5) und Führungen durch die BatteryLabFactory der TU Braunschweig (u.a. ab 2023 im CircularLab) abgefragt und dabei das Thema der LCAs im Batterierecycling z.B. anhand des in DiRectiON entwickelten Dashboards nähergebracht.

Neben dem theoretischen Teil umfasst das Schulungskonzept auch die praktische Anwendung. Hierfür wurde das in AP 2 entwickelten Werkzeug zur ökologischen Bewertung des Batterierecyclings als Schulungswerkzeug mit eingebunden. Beide Teile (Theorie und Anwendung) werden zukünftig in die neu entstehende Lernfabrik Batterie (LEBAZ, Förderkennzeichen 03XP0479) eingebunden. Die Nutzung des Werkzeuges bietet Schulungsteilnehmenden (v.a. aus der Industrie) die Möglichkeit, ökologische und ökonomische Bewertungen anhand der Referenzprozesskette zu erlernen und deren Hintergründe zu verstehen sowie Auswirkungen von z.B. Parameteränderungen zu untersuchen. Die Einbindung in die Umgebung der Lernfabrik erweitert hierbei den Blick von der Theorie auf die Praxis, da z.B. die in der Referenzprozesskette betrachtete mechanische Behandlung vor Ort eingebunden werden kann. Die Umsetzung erfolgt nach der Eröffnung der Lernfabrik Batterie voraussichtlich im Herbst 2025.

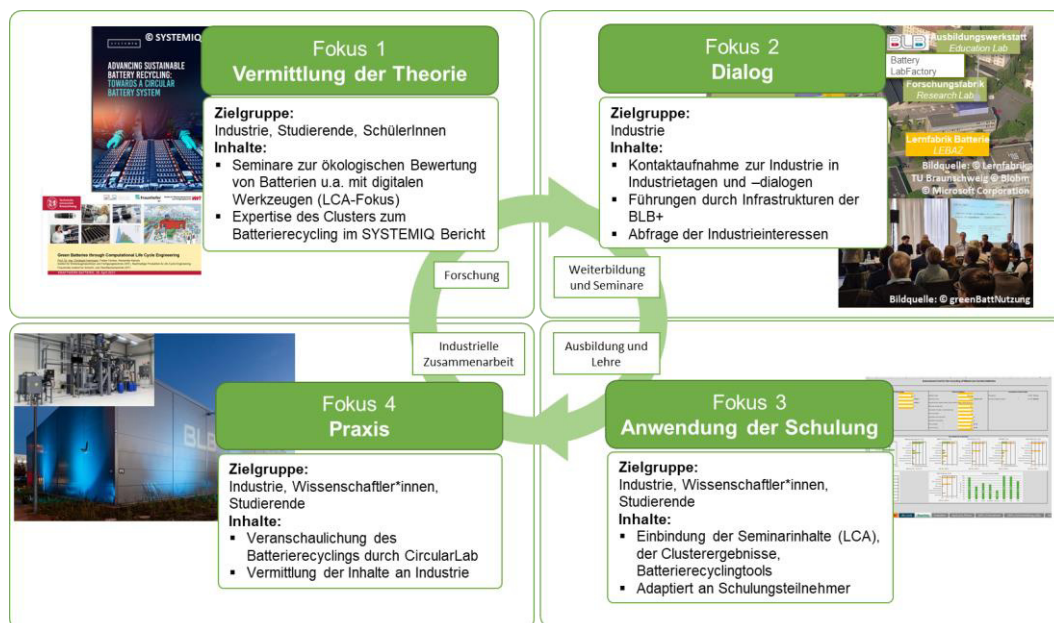


Abbildung 9: Schulungskonzept

Zu den Interessensgebieten der Industrie gehörten v.a. die Digitalisierung des Lebenszyklus, des allgemeinen Verständnisses des Batterierecyclings, gesetzliche Voraussetzungen (z.B. Batterieverordnung) und die Landschaft des Batterierecyclings. Die Interessenten der Industrie kamen aus diversen Bereichen (z.B. Batterierecycler, Metallverarbeiter, Diagnostik und Anlagenfabrikanten, Unternehmensberatungen). Zusätzlich gehörten auch weitere Verwertungs-

konzepte (wie z.B. die Weiternutzung von Batterien im 2nd-Life) oder die Produktion von Batterien zu deren Interessensgebieten, sodass der Kontakt und Verweis zu anderen Projekten und Clustern (z.B. BattNutzung, ProZell, InZePro) hergestellt wurde.

UAP 3.3: Entwicklung und Überwachung eines Publikationsplans:

In UAP 3.3. unterstützte das IWF die Überwachung des Publikationsplans durch den UAP-Leiter ISEA mit vorbereitenden Maßnahmen (z.B. Kadi4Mat, Workshops) und regelmäßigen Absprachen. Hierfür wurden zuletzt z.B. in Vorbereitung des abschließenden Querschnittsinitiativetreffens im Januar 2024 von den Clusterprojekten eine aktualisierte Liste der Publikationen und Aufzählung u.a. der Abschlussarbeiten angefordert und ausgewertet.

AP 4: Review und Handlungsempfehlungen

Ziel des AP 4 ist die Vermittlung der Ergebnisse der Clusterprojekte an die Politik für das Einbeziehen bei zukünftigen Entscheidungen. Geleitet wurde das AP 4 vom Öko-Institut.

UAP 4.1: Erstellung eines neutralen Reviews:

Das IWF unterhielt regelmäßige Absprachen sowie Workshops mit dem Öko-Institut und den Projektpartnern, um die Parameter und Rahmenbedingungen der Bewertung (vgl. AP 2) abzustimmen. Die getroffenen Annahmen und das Vorgehen für die Bewertung des Batterierecycling-Referenzprozesses wurden mit dem Öko-Institut diskutiert und kritisch betrachtet. Das methodische Vorgehen der Bewertungen wurde somit abgestimmt. Der regelmäßige Austausch fand digital statt und es fanden zwei Präsenztreffen im Rahmen von Workshops statt.

Weiterhin wurde eine Datensammlung der im Cluster durchgeführten Bewertungen verfolgt. Hierfür wurde eine Vorlage zur Datenabfrage den Projektleitungen bereitgestellt, in welche die in den Prozessinnovationen und -untersuchungen anfallenden Material- und Energieströme sowie Prozessparameter eingetragen werden konnten. Aufgrund einer nur geringen Anzahl an Rückmeldungen, teilweise aufgrund geringer Maßstäbe (z.B. Laboruntersuchungen und eingeschränkter Möglichkeit zur Datenaufnahme z.B. zum Energieverbrauch) oder einer allgemeinen unvollständigen Datenaufnahme in den Projekten konnten nur wenige Daten aus den Clusterprojekten gesammelt werden. Bei Clusterprojekten, welche selbstständig Life Cycle Assessments in ihren Arbeitspaketen verankert haben und bereits durchgeführt haben, konnten die ökologischen Bewertungen gesichtet und, soweit möglich und sinnvoll, zusammengetragen werden (z.B. ecoLiga, Action). Eine einheitliche Auswertung der Prozessdaten und Ökobilanzen war aufgrund der in AP 2 bereits geschilderten Rahmenbedingungen nicht möglich, sodass individuelle Betrachtungen der Projekte vorgenommen wurden (Vergleich s. Abb 8).

Um Aussagen zu der ökologischen Nachhaltigkeit der Clusterprojekte treffen zu können, wurden vom IWF Interviews mit den Projektleitenden des Clusters durchgeführt, sodass qualitative Kernaussagen zu den ökologischen und ökonomischen Auswirkungen, Chancen und Risiken gesammelt und dem Öko-Institut zur Verfügung gestellt wurden.

UAP 4.2: Erstellung politischer Handlungsempfehlungen und Überführung in einen Policy Report:

Im UAP 4.2 wurden vom AIP und IWF politische Handlungsempfehlungen an das Recycling formuliert, wobei die wirtschaftlichen Aspekte durch das AIP und die ökologischen Aspekte durch das IWF fokussiert wurden. Die Handlungsempfehlungen ergaben sich zum einen aus

den Arbeiten in AP 1 und 2, zum anderen aus den Abfragen und der Analyse der Erkenntnisse aus den Clusterprojekten. Weiterhin wurden die Handlungsempfehlungen der Clusterprojekte an die Wirtschaft und die Politik durch die in UAP 4.1. genannten Interviews ergänzt und dem Öko-Institut zur Verfügung gestellt. Die wesentlichen Handlungsempfehlungen aus der wirtschaftlichen Perspektive sind:

- Anpassung der Recycling- und Sekundärmaterialeinsatzquoten zur Abbildung der realen Rückläuferzahlen und Vermeidung von Fehlanreizen, welche eine Nachnutzung zu den Gunsten des Recyclings verhindern
- Ausschluss des Produktionsausschusses aus der Recyclingquote zur Vermeidung von Fehlanreizen, wodurch der Produktionsausschuss nicht reduziert wird, um Sekundärmaterialeinsatzquoten zu erfüllen
- Strengere Regularien hinsichtlich des Designs for Recycling zur Reduzierung der Aufwände im Recycling
- Einführung Rückgewinnungsquoten für weitere Materialien in Abhängigkeit der ökologischen Sinnhaftigkeit (z.B. Graphit und Aluminium)
- Anreize für zirkuläre Batterieproduktion zum Realisieren großer Investitionsprojekte

Die wesentlichen Handlungsempfehlungen der ökologischen Perspektive sind:

- Erweiterung der gesetzlich festgelegten Recyclingeffizienzen um weitere Materialien, wie z.B. Graphit und Aluminium
- Klarere Definition der Recyclingquoten der Gesetzgebung inkl. Definition des Ausschusses (s. ökonomische Handlungsempfehlungen)
- Materialspezifische Anpassung der Recyclingrouten in Abhängigkeit vom Inputmaterial (Batteriezusammensetzung) und des angezielten rückzugewinnenden Materials erhöhen die Ausbeute und mindern die ökologischen Auswirkungen durch den unnötigen Einsatz von z.B. Chemikalien und Produktionsschritten
- Standardisierung und genormte Vorgaben zum Batteriedesign erleichtert die Demontage und somit auch das Recycling, fördert die Recyclingrate und -effizienz und mindern ökologische Auswirkungen
- Erhöhung der Datentransparenz (z.B. Daten der Batteriezusammensetzung im Batteriepass) erleichtern das Recycling und fördern somit die Recyclingrate und das materialspezifische Recycling

UAP 4.3: Zusammentragung, Validierung und Bereitstellung des entwickelten Instrumentariums:

Das vom IWF geleitete UAP 4.3. dient der Sammlung der im Cluster und im Begleitprojekt entwickelten Open-Source Werkzeuge. Hierfür wurde die in AP 2 entwickelten Datenaustauschplattform Kadi4Mat und Gitlab genutzt. Die Clusterprojekte erhielten hier die Möglichkeit ihre entwickelten open source Tools zu speichern und untereinander auszutauschen und für weitere Anwendungsgebiete zur Verfügung zu stellen. Zusammen mit dem ISEA wurde in GitLab die Struktur für die in AP 2 aufgebauten Tools erstellt und das vom IWF erstellte Tool eingebracht. Die Projekte wurden auf Empfehlung und Vorbereitung durch das IWF vom Projektträger im Rahmen der Erstellung der Abschlussberichte zur Ablage der Daten und Werkzeuge in Kadi4Mat und GitLab aufgefordert. Somit wurde eine zentrale Speicherung der Werkzeuge ermöglicht und die im Cluster entwickelten Werkzeug abgelegt.

AP 5: Operatives Clustermanagement:

Das vom IWF geleitete AP5 hat das Ziel der Sicherstellung und Organisation des Informationsaustausches zwischen allen Beteiligten der Cluster. Hierfür wurden verschiedene Formate erstellt und umgesetzt, wie z.B. Clustertreffen, Querschnittsinitiativtreffen und die Einbindung eines Managementkreises sowie die Vernetzung auf externen Veranstaltungen, wie z.B. auf Konferenzen.

UAP 5.1: Organisation interner und externer Veranstaltungen zur Netzwerkbildung:

Das vom IWF geleitete UAP hat den Hauptgedanken der breiten Vernetzung des Clusters mit der Industrie und der Forschungslandschaft sowie innerhalb des Clusters. Dafür wurden verschiedene Formate entwickelt, umgesetzt und durchgeführt (s. Abbildung 10 und Tabelle 2). Zusätzlich gehörten zum Clustermanagement auch die Verbreitung der in AP 6 entwickelten Vorlagen für ein einheitliches Auftreten und die Kommunikation der Cluster-betreffenden Maßnahmen und Informationen.

Innerhalb der Cluster fanden folgende Veranstaltungen statt:

- Querschnittsinitiativ-Treffen (QI): Clusterübergreifende digitale oder Präsenz-Vernetzungsveranstaltung der beiden Cluster greenBatt und BattNutzung mit z.B. Vorstellung der Projektergebnisse, Postersessions, Teaservideos
- Clustertreffen (CT) greenBatt: Clusterspezifische digitale/Präsenz-Vernetzungsveranstaltung mit Projektvorstellungen, Workshops und Managementkreissitzungen
- Forschungsfeldtreffen (FFT): Digitale Treffen der spezifischen Projekte der Forschungsfelder für einen Austausch und ein Zusammenführen der methodischen Fragestellungen und Schaffung einer Wissensbasis

Zu den weiteren Kommunikationsformen gehörten:

- Begleitung der Kick-off Termine der Clusterprojekte
- Erstellung einer Vernetzungsmatrix für den Informationsaustausch der Projekte
- Forschungsaustausch mit einzelnen Projekten
- Rundmails zu Cluster-betreffenden Maßnahmen und Informationen (z.B. Terminverkündigung, Rahmenbedingungen der Clustertreffen und Abschlussvideos, Hinweis auf Förderungen oder Veranstaltungen, Abfragen von Projektzwischenständen und Ankündigungen des Projektträgers)
- Initiierung, Koordinierung der Abschlussvideos und Erstellung des einleitenden Begleitprojektvideos anstelle eines weiteren Clusterabschlusstreffens

Außerhalb der Cluster fanden folgende Veranstaltungen statt:

- Austausch mit der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle (FFB)
- Industrietage (IT), s. AP 3.1
- Industriedialoge (ID), s. AP 3.1

Zu den weiteren Kommunikationen außerhalb des Clusters gehören:

- Netzwerken auf Konferenzen
- Vorstellung der Cluster in zahlreichen Netzwerken mit starker Industriebeteiligung (z.B. KLiB, REWIMET)
- Bilateraler Austausch des IWF mit Industriepartnern und -vertretern
- Austausch mit internationalen Firmen und Forschungseinrichtungen (z.B. GreenDealings, University of Tokyo, A*Star, Advanced Remanufacturing Center Singapore etc.)

Die Repräsentation und Vernetzung ist vor allem zur Steigerung der (inter-)nationalen Sichtbarkeit des Clusters und der Batterie- und Forschungslandschaft Deutschland relevant. Hierdurch wird Deutschlands Bestreben und Relevanz im Sektor der Batterie und v.a. des Batterierecyclings vergrößert und eine Erschließung neuer Kooperationen und Synergien wird vereinfacht. Dies dient dem Transfer des im Cluster generierten Wissens und dessen Verbreitung in der Industrie.

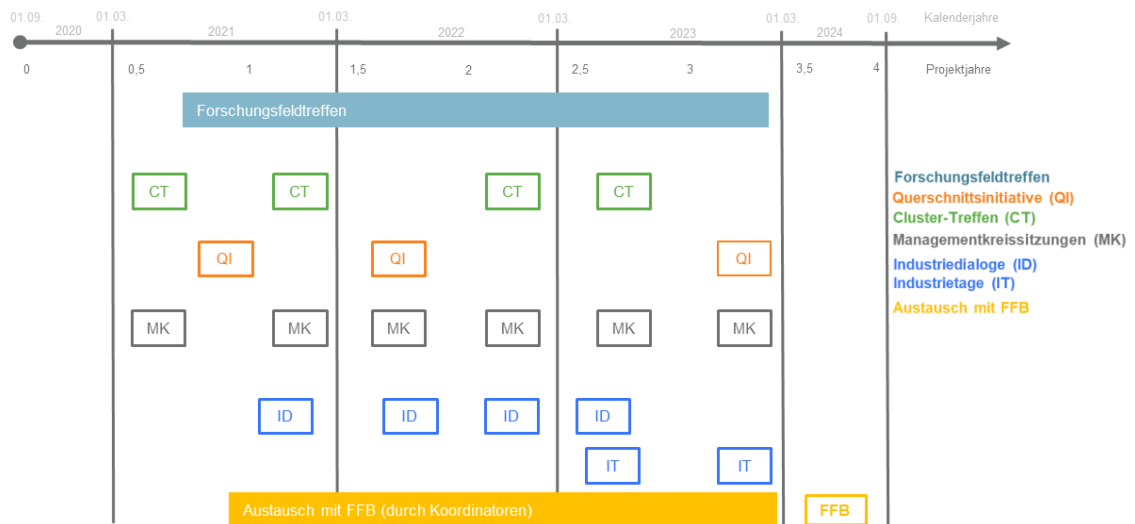


Abbildung 10: Veranstaltungskalender in der Querschnittsinitiative und im Cluster greenBatt

UAP 5.2: Kommunikation und Integration des Managementkreises:

Weiterhin wurden unter der Leitung vom IWF der Austausch und die Treffen des Managementkreises (MK) organisiert. Hierfür wurden Abstimmungen des MK mit dem Projektträger und dem Begleitprojekt organisiert und durchgeführt. Der Managementkreis tagte v.a. angekoppelt an die Querschnittsinitiativen- und Clustertreffen, teilweise organisiert vom IWF. Hierbei wurden die Zwischenstände und Fortschritte der Clusterprojekte besprochen und bewertet. Die Vorbereitungen und Nachbereitungen der Treffen wurden vom jeweiligen Organisator durchgeführt und die Bewertungen aufbereitet an die Projektleitenden übermittelt, sodass das Feedback in die weitere Projekt- und Clusterarbeit eingepflegt werden konnte. Zusätzlich erhielten die Clusterprojekte eine Übersicht über Ihre zugeordneten Industriepaten, sodass die aktive Vernetzung dieser unterstützt wurde.

Tabelle 2: Veranstaltungskalender und Verantwortlichkeiten in der Querschnittsinitiative und im Cluster greenBatt

	Veranstaltung	Datum	Ort	Organisator	Teilnahme	Inhalte
QI	1. QI	16.06.2021	Digital	Co-Orga IWF	AIP, IWF	Inkl. Projektvorstellungen, Teaservideos, Posterräume, Vernetzungslandkarte
	2. QI, Part 1	22.-23.3.2022	Digital im März	RWTH, IWF	AIP, IWF	Inkl. MK, Poster-Pitches
	2. QI, Part 2	28.-30.06.2022	Aachen	Lead: RWTH, Co-Orga: IWF, IKTS	IWF, IKTS	Inkl. Workshops
	3.QI/ Abschluss-	18.-19.1.2024	Dresden	Lead: IKTS + Co-Orga IWF, ISEA	IKTS, IWF,	
CT green-Batt	Kick-off/1.CT	03.-04.03.2021	digital	Lead: IWF, ISEA	AIP, IWF	Inkl. MK, Workshop Datenaustauschplattform durch IWF und ISEA
	2. CT	09.-10.11.2021	digital	Lead: IWF, IKTS, (ISEA ?)	AIP, IWF	Inkl. Projektvorträge, MK, Workshop zu Kadi4Mat (durch IWF)

	3. CT	25.-26.10.22	Braunschweig	Lead: IWF; Workshop: AIP	AIP, IWF	Inkl. Workshop zur Gesamtsystembewertung (durch AIP), MK
	4. CT	03.-04.05.2023	Aachen	Lead: IME; IWF: Orga Begleitprojekt- Workshop	AIP, IWF	Inkl. MK, Workshops (World cafe für Forschungsfelder)
FFB	Austausch mit FFB	13.08.2024		IWF, IKTS	IWF, IKTS	Austausch FFB und greenBattNutzung
FFT	1. FFT LCD&E	08.06.2021	digital	Lead: IWF	AIP, IWF	
	FFT: LCD&E	24.02.2022	Dig.	Lead: AIP & IWF	AIP, IWF	Thema: Overall system evaluation/ Gesamtsystembewertung
ID	IBPC 2022	1.-2.11.2021	BS	Co-Orga IWF, ISEA	IWF, ISEA, IKTS	Vortrag, Messestand
	Kraftwerk Batterie 2022	28.-29.03.2022	Münster	Co-Orga IWF	IWF	Messestand greenBattNutzung
	IBPC 2023	07.-09.11.2023		IWF	IWF	Messestand greenBattNutzung
	Kraftwerk Batterie 2024	01.04.2024		IWF, ISEA	ISEA, IKTS	Messestand greenBattNutzung
	IBPC 2024	x.x.2024		IWF	IKTS, IWF	Poster zu greenBattNutzung
IT	Digitale Industrietage: Industrietag LCD&E	01.03.2023	Digital	Lead: IWF	IWF, AIP	Inkl. Keynote, Projektergebnisvorstellung, Diskussionsrunde
	Digitale Industrietage	13.04.2023		IKTS		IWF: Organisation des Industrietages, Öffentlichkeitsarbeit, Erstellung der Flyer & des Miro-Templates
	Industrietag vor Abschlussstreffen	17.01.2024	Dresden	Lead: IKTS, Unterstützung des Begleitprojektes	alle	Inkl. Projektvorstellungen, Poster, Podiumsdiskussion
MK	2. QI	23.03.2022	digital	ISEA		
	3. QI/Abchlussstreffen	19.01.2024	Dresden	IWF, IKTS		
	1. CT	04.03.2021	digital	IWF		
	2. CT	10.11.2021	digital	IWF		
	3. CT	05.04.2023	Aachen/München	IWF		
	4. CT	04.05.2023	Aachen	IWF		

AP 6: Öffentlichkeitsarbeit

Das Ziel des vom ISEA geleiteten AP 6 ist die Repräsentation des Clusters in der Öffentlichkeit und die Kontaktpflege zu Industrie- und Forschungspartnern. Dazu gehörte die Erstellung einer Kommunikationsstrategie und deren Umsetzung.

UAP 6.1: Entwicklung einer Kommunikationsstrategie und Austausch mit Medien:

Das IWF unterstützte hierbei bei der Entwicklung der Kommunikationsstrategie, in welcher folgende Inhalte und Teilaufgaben festgelegt wurden. Diese können in diverse Kategorien unterteilt werden und beinhalteten folgende Aufgaben:

- Einheitliche Außendarstellung der Clusterprojekte: Erstellung von Vorlagen zur Nutzung für die Öffentlichkeitsarbeit, Konferenzen und Veranstaltungen (z.B. Clustertreffen)
- Clusterwebseite: Vermittlung der Clusterstruktur und -Inhalte, Vorstellung der Partner und Ankündigung von Veranstaltungen

- LinkedIn: Vernetzung von Clusterpartner und Industrie; Veröffentlichung und Verteilung von Publikationen, Projektergebnissen und Veranstaltungen
- Presseinformationen zum Cluster
- Vorstellung des Clusters greenBatt durch Vorträge, Poster, Messestände und Austauschveranstaltungen und -treffen (s. Tabelle 3)
- Koordination und Erstellung von Abschlussvideos zu Projektergebnissen

UAP 6.2: Projektkommunikation:

Zur erfolgreichen Vertretung und Kommunikation der Clusterarbeit wurden vom Begleitprojekt mit Unterstützung des IWF entsprechend der Kommunikationsstrategie folgende Aktivitäten durchgeführt:

- Außendarstellung und Vorlagen für Clusterprojekte:
 - Logos
 - Übersichtsgrafiken (z.B. Partner-Landkarte, Projektschema, Clusterstruktur)
 - Vorlagen für Poster und Präsentationen
 - Vorstellung
 - Handreichung für Pressearbeit
 - Anlegen eines Presse- und Veranstaltungsspiegels
- Clusterwebsite
 - Konzeptionierung und Entwicklung
 - Erstellung einer Website (zusammen mit IKTS)
 - Einpflegen und Aktualisieren der Inhalte
 - Vorstellung der Clusterpartner und -struktur
 - Einpflegen von Projektinhalten und Abschlussvideos
 - Ankündigung von Neuigkeiten und Veranstaltungen
- LinkedIn
 - Erstellung einer Seite
 - Einpflegen und Aktualisieren der Inhalte
 - Teilen von Veröffentlichungen und Projektergebnissen
 - Vernetzung mit Interessierten und Clusterpartnern
 - Ankündigung von Veranstaltungen
 - Veröffentlichung der Abschlussvideos
 - > 1200 Follower
- Presseinformationen
 - Pressespiegel
 - Presseevent auf Konferenz
 - 23 Pressemitteilungen zum Clusterstart
- Abschlussvideos: Erstellung eines einheitlichen Designs und Veröffentlichung der Videos
- Vorstellung des Clusters greenBatt durch Vorträge, Poster, Messestände und Austauschveranstaltungen und -treffen (s. Tabelle 3)

Tabelle 3: Austauschveranstaltungen zum Cluster greenBatt, organisiert und durchgeführt durch das IWF

Lfd. Nr.	Austauschpartner	Inhalt/Titel Vortrag	Ort	Datum
1	Autohersteller	Austausch zum greenBatt Cluster und Batterierecycling	IWF, Braunschweig	31.01.2022
2	Indische Batterie-recycler	Vorstellung des Clusters und der Forschungsinhalte	IWF, Braunschweig	19.09.2024
3	Japanischer Truck-Hersteller	Vorstellung des Clusters und der Forschungsinhalte	IWF, Braunschweig	19.09.2024
4	Unternehmensberatung	Austausch zum Batterierecycling und Cluster	IWF, Braunschweig	11.06.2024
5	Forschungsprojektes "Green-Dealings"	Competence Cluster Recycling & Green Battery – Closing material loops and engineering sustainable battery life cycles	IWF, Braunschweig	01.11.2023
6	Batterierecycler	Vorstellung des Clusters und der Forschungsinhalte	IWF, Braunschweig	22.08.2023
7	Batterierecycler	Vorstellung des Clusters und der Forschungsinhalte	Digital	05.07.2023
8	Hannover Messe 2024	Vernetzung mit Industriepartnern (zB Battery Pass, Automotive Agentur Niedersachsen)	Hannover Messe	22.04.2024
9	Batterieforum 2024	Netzwerken, Vertretung Cluster	Batterieforum, Berlin	21.-23.01.2025
10	Battery Recycling Conference	Netzwerken, Vertretung Cluster	Battery Recycling Conference, Frankfurt am Main	26.-27.06.2024
11	Presseevent IBPC	Netzwerken, Vertretung Cluster	IBPC, Braunschweig	07.11.2024

Somit wurden über die ganze Laufzeit der Cluster die Ergebnisse und Fortschritte der Industrie und anderen Forschungseinrichtungen berichtet, vermittelt und interne und externe Partner über aktuelle Themen frühzeitig informiert und eingebunden.

3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die im Projektzeitraum (01.09.2020 - 31.08.2024) entstandenen Aufwendungen den Plankosten aus dem Projektantrag gegenübergestellt und für die einzelnen Positionen aufgeschlüsselt.

Tabelle 4: Zahlenmäßiger Nachweis der entstandenen Aufwendungen gegenüber den Plankosten

Pos.	Bezeichnung	Projektantrag	Ist-Ausgaben	Differenz Soll ↔ Ist
812	Wiss. Mitarbeitende 40 MM	498.022,35	521.918,40	-23.896,05
822	HiWi	27.105,00	25.119,76	1.985,24
831	Gegenstände	1.249,50	1.249,50	0,00
835	Vergabe von Aufträgen	2.302,65	2.302,65	0,00
843	Verwaltungsausgaben	15.920,00	10.358,79	5.561,21
846	Reisekosten 844-845	28.270,50	14.434,33	13.836,17
Gesamt		572.870,00	575.383,43	-2.513,43

Personalkosten: Die wichtigsten Positionen belaufen sich auf Personalmittel von wissenschaftlichen Mitarbeitenden, gefolgt im größeren Abstand von HilfswissenschaftlerInnen. Aufgrund einer zwischenzeitlichen Unterbesetzung konnten die Personalmittel des IWF in der Laufzeitverlängerung eingesetzt werden. Für das AIP fiel eine Aufstockung der Personalmittel an.

Reisekosten: Weiterhin wurden Reisemittel für die Teilnahme an Clusterveranstaltungen und der Teilnahme im Rahmen von AP 5 und 6 zur Öffentlichkeitsarbeit und Teilnahme an Konferenzen benötigt. Aufgrund von Corona wurden bis 2022 viele Veranstaltungen digital durchgeführt, sodass hier weniger Ausgaben als geplant entstanden, welche somit v.a. für z.B. Zwecke der Digitalisierung (z.B. Server, Online-Meeting Software) umgewidmet und genutzt wurden.

Verwaltungskosten: Für die Organisation der Veranstaltungen (z.B. Clustertreffen, Projekttreffen, Industriedialog) wurden Finanzmittel genutzt. Weiterhin wurden Logos und ein Corporate Design von einer professionellen Firma entwickelt.

Abweichungen: Es wurden Finanzmittel für den Kauf eines Servers für die in AP 1 und 2 aufgebaute Datenaustauschplattform sowie für die professionelle Anfertigung und Unterstützung bei der Erstellung der Abschlussvideos benötigt, welche durch eine Mittelumwidmung aus den Reisekosten ermöglicht wurde.

4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Begleitprojekt unterstützte das Cluster greenBatt sowie die Querschnittsinitiative während der dreijährigen Laufzeit. Die Cluster erhielten dabei im Kreis der Batterierecycling-Akteure große Aufmerksamkeit und auch der Managementkreis bescheinigte dem Projekt eine erfolgreiche Vernetzung sowohl innerhalb des Clusters als auch mit externen Akteuren. Dadurch wurden die Projektpartner enger in das Cluster und die übergeordnete Zielsetzung einer ganzheitlichen Erfassung, Analyse und Bewertung des Batterierecyclings sowie der Grünen Batterie eingebunden. Durch vielfältige Veranstaltungen konnten die Projektergebnisse unmittelbar mit der Industrie diskutiert und deren Interessen sowie Rückmeldungen gezielt berücksichtigt werden. Trotz des vorwiegend auf Labor- und Pilotmaßstab ausgerichteten Projektstatus in dieser Clusterphase gelang es, die Industrie frühzeitig in den Entwicklungsprozess einzubinden.

In den Projekten konnten wesentliche Errungenschaften und Ergebnisse erzielt werden, sowohl innovative Prozesse zum Batterierecycling im Bereich Demontage, thermische und mechanische Vorbehandlung, Pyrometallurgie, Hydrometallurgie sowie des direkten Recyclings hervorbrachte. Es wurden Verfahren entwickelt, welche das Potential haben, Recyclingraten zu verbessern, Material- und Energieeinsätze während der Prozessierung und die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen zu verringern. Weiterhin wurden Methoden entwickelt und exemplarisch angewendet, welche die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen ermitteln sowie Marktentwicklungen simulieren und bewerten.

Durch das Begleitprojekt wurden die Forschungsdaten und Veröffentlichungen in einer Datenaustauschplattform gebündelt und somit einen nachhaltigen Verbleib dieser ermöglicht. Weiterhin wurden die zentralen Kernaussagen und Ergebnisse in einem Policy Report gebündelt, um wesentliche Handlungsempfehlungen an die Politik heranzutragen und sie gleichzeitig durch die breite Veröffentlichung von Ergebnissen auch der Wirtschaft und Forschung für die zukünftige Ausrichtung des Batterierecyclings zugänglich zu machen. Somit kann die Politik die Empfehlungen beispielsweise für eine Anpassung der Batterierichtlinien aufgreifen und auf Grundlage von Expertenmeinungen weiterentwickeln. Die Industrie, insbesondere im Bereich des Batterielebenszyklus, erhält durch grundlegende Informationen zu Themen wie der zukünftigen Materialverfügbarkeit und der Effizienz verschiedener Batterierecyclingprozesse die Möglichkeit, geeignete Verfahren auszuwählen und in ihre Prozesse zu integrieren.

Hierzu dient nicht nur der Policy Report sondern auch der LinkedIn Kanal, die Website und v.a. auch die Abschlussvideos, welche die Kernergebnisse der Projekte festhielten und den weiteren Kontakt mit den Clustermitarbeitenden als Experten ermöglichen. Die Abschlussvideos und die LinkedIn-Seite werden weiterhin, auch nach Clusterende, auf LinkedIn besucht und aufgerufen. Alle Videos wurden mehrere Hundertmal angeschaut, einige Videos erreichte sogar tausend Aufrufe.

5. Während der Laufzeit bekannt gewordene, relevante Ergebnisse Dritter

Die hohe Dynamik in der Forschungslandschaft Batterie hat sich während der dreijährigen Projektlaufzeit positiv auf die Clusterarbeit ausgewirkt. Neue Projekte und Initiativen ergänzten die bestehenden Aktivitäten und trugen durch zusätzlichen Austausch von Wissen und Ressourcen zur thematischen Vertiefung bei. Es wurden während der Projektlaufzeit keine die Projektarbeit deutlich beeinflussenden Veröffentlichungen aus den genannten Projekten bekannt. Weiterhin wurden bislang ebenso noch keine relevanten Ergebnisse registriert, die sich auf das Projektergebnis auswirken würden. Die nachfolgenden FE-Vorhaben verfolgen ähnliche bzw. teilweise ergänzende Ziele wie das Cluster:

- Das Schweizer Projekt CircuBAT (<https://circubat.ch/>) verfolgt das Ziel, den Kreis zwischen Produktion, Anwendung und Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus der Mobilität zu schließen.
- Mit Fragestellungen im Bereich nachhaltige Batteriekreisläufe beschäftigt sich ebenfalls das 2021 gestartete Graduiertenkolleg CircularLIB (<https://www.tu-braunschweig.de/en/circularlib>).
- Weiterhin ist das vom National Renewable Energy Laboratory entwickelte Model „Lithium-Ion Battery Resource Assessment Model“ (LIBRA) und deren Forschung zur Lithium-Ionen-Batterierecycling Wertschöpfungsketten interessant hinsichtlich eines z.B. Vergleichs mit den USA (<https://www.nrel.gov/transportation/battery-recycling-supply-chain-analysis.html>).
- Weitere Projekte sind das „ReUse“ EU-geförderte Projekt (<https://battery2030.eu/battery2030/projects/reuse/>) oder das Projekt „REVITALISE“ (<https://revitalise-project.eu/>) beschäftigen sich mit der innovativen und nachhaltigen Gestaltung des Batterierecyclings diverser Prozessrouten in Verbundprojekten mit europäischen Forschungseinrichtungen sowie Industriepartnern.
- Der Sonderforschungsbereich „Kreislauffabrik für das ewige Produkt“ (<https://www.sfb1574.kit.edu/index.php>) zielt darauf ab, Produkte unendlich lang weiternutzen zu können.

Für die Gestaltung des Werkzeugs in AP 2 und für den Vergleich der Referenzprozesskette wurden die Erkenntnisse der folgenden Veröffentlichung genutzt:

- Blömeke, S., Scheller, C., Cerdas, F., Thies, C., Hachenberger, R., Gonter, M., Herrmann, C., Spengler, T.: Material and energy flow analysis for environmental and economic impact assessment of industrial recycling routes for lithium-ion traction batteries, *Journal of Cleaner Production*, Volume 377, 2022, 134344, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134344>.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Fachartikel und -vorträge

Lfd. Nr.	Autoren	Titel	Journal, Issue, Page	Volume,	DOI	Persistent ID (Kadi4Mat)	Datum
1	Proff, M.; Kononova, N.; Kishita, Y.; Uhlig, E.; Scheller, C.; Mennenga, M.; Herrmann, C.; Spengler, T. S.	Resilient and sustainable supply chains and factories: A workshop-based approach for the analysis of the mutual influencing factors	Procedia CIRP (accepted for publication)		tbd	Tbd	Accepted 10.01.2025
2	Ginster, R.; Blömeke, S.; Popien, J.-L.; Scheller, C.; Cerdas, F.; Herrmann, C.; Spengler, T. S.	Circular Battery Production in the EU: Insights from integrating Life Cycle Assessment into System Dynamics Modeling on Recycled Content and Environmental Impacts	Journal of Industrial Ecology, 28, 5, S. 1165-1182		https://doi.org/10.1111/jiec.13527	2670	16.07.2024
3	Scheller, C.; Kishita, Y.; Blömeke, S.; Thies, C.; Schmidt, K.; Mennenga, M.; Herrmann, C.; Spengler, T. S.	Designing robust transformation toward a sustainable circular battery production	Procedia CIRP, 116, S. 408-413		10.1016/j.procir.2023.02.069	2958	18.04.2023
4	Thies, C.	Towards sustainable supply chains for electric mobility	Supply Management Research, S. 45-61		10.1007/978-3-658-35449-7_3	2959	05.10.2021
5	Michaelis, A., Herrmann, C., Friedrich, B.	Traktionsbatterien im Kreislauf – Einblicke in das Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt)	E-Mobility Magazin 2022			2960	2022
6	Herrmann, C., Mennenga, M., Kaluza, A., Friedrich, B., Rombach, E., Michaelis, A., Partsch, M., Wolf, C.	Nachhaltiges Recycling von Traktionsbatterien – Forschungsansätze im Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt)	Industrie 4.0 Management 38 (2022)		DOI: 10.30844/I40M_22-1_12-16	2961	Februar 2022
7	Kishita, Y., Boks, C., Proff, M., Uhlig, E., Mennenga, M. et al.	Towards Sustainable Circular EV Battery Value Chains: A Review and Comparative Analysis Between Germany, Norway, and Japan	2024 Electronics Goes Green 2024+ (EGG), Berlin, Germany, 2024, pp. 1-9,		doi: 10.23919/EGG62010.2024.10631196.	2962	18.06.2024
8	Uhlig, E., Scheller, C., Kishita, Y., Kononova, N., Proff, M., Spengler, T., Mennenga, M.	Framework for Analyzing the Influencing Factors on Battery Circulation Systems	32nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering 2025		tbd	Tbd	Accepted 08.12.2024

Konferenzbeitrag

Lfd. Nr.	Autoren	Titel	Typ (Poster, Präsentation)	Konferenz/Tagung	Persistent ID (Kadi4Mat)	Datum
1	Scheller, C.	Designing robust transformation toward a sustainable circular battery production	Vortrag	30th CIRP Life Cycle Engineering Conference	2958	15.03.2023
2	Herrmann, C.,	Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) - Stoffkreisläufe schließen und nachhaltige Batterielebenszyklen systematisch gestalten	Vortrag	Innovationsforum Harz 2021	Vergleichbar zu 2963	29.04.2021

3	Mennenga, M., Uhlig, E.	Competence Cluster Recycling & Green Battery	Poster	International Battery Production Conference 2024	2964	08.11.2024
4	Scheller, C.	Closed-loop production planning incorporating ecoefficiency using the example of circular battery production in Europe	Vortrag	4th Conference of the EURO Working Group on Sustainable Supply Chains	2967	01.07.2023
5	Herrmann, C., Spengler, T.	Towards sustainable battery production systems and supply chains (Keynote)	Vortrag	IBPC 2022	2965	07.11.2022
6	Scheller, C.	Resilient production planning in closed-loop supply chains for lithium-ion batteries	Vortrag	IBPC 2022	2966	07.11.2022
7	Herrmann, C.,	Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) - Stoffkreisläufe schließen und nachhaltige Batterielebenszyklen systematisch gestalten	Vortrag	Berliner Recycling- und Sekundärrohstoffkonferenz 2021	2963	16.03.2021

Weitere Vorträge und Beiträge

Lfd. Nr.	Autoren, Prä-sentatoren	Titel	Typ (Beitrag, Vortrag)	Veranstaltung	Datum
1	Herrmann, C., Mennenga, M.	Challenges and Approach to Battery Circular Economy Automotive Manufacturer in Europe & weitere Vorstellung des Clusters im Rahmen der Kooperationsbildung	Vortrag und Austausch	TU9 Delegation in Singapur	03.-04.07.2024
2	Uhlig, E.	Präsentation LCA - Batterien und Batterierecycling vor Studentinnen	Seminar/Vortrag vor Studentinnen	ChangeING	03.05.2024
3	Herrmann, C.,	Ganzheitliches LCE für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft	Vortrag und Austausch	Jubiläum der Stiftung GRS Batterien	12.10.2023
4	Blömeke, S., Hippmann, S.	Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) - Stoffkreisläufe schließen und nachhaltige Batterielebenszyklen systematisch gestalten	Vortrag	DaNa Workshop	11.01.2023
5	Thies, C.,	Strategien für nachhaltige und resiliente Lieferketten für Lithium-Ionen-Batterien	Vortrag	Innovationsforum Harz 2022	05.05.2022
6	Thies, C.	Recycling von Traktionsbatterien für eine ressourcenschonende Elektromobilität	Vortrag	VDE Young Net Ringvorlesung Earth 2250	17.03.2022
7	Herrmann, C.,	Circular Battery Production	Vortrag und Austausch	Special Interest Group Meeting: Precision Engineering for Sustainable Energy Systems EUSPEN	13.10.2021
8	Herrmann, C.,	Vortrag greenBatt: Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) - Stoffkreisläufe schließen und nachhaltige Batterielebenszyklen systematisch gestalten	Vortrag und Austausch	KLiB Gesprächsrunde Nachhaltigkeit/Recycling	29.06.2021
9	Kwade, A., Herrmann, C.	Nachaltige Produktion heutiger und zukünftiger Batteriegenerationen mit zirkulärer Wertschöpfung von Produktionsabfall und EoL Batterien	Vortrag und Austausch	REWIMET Symposium 2021	25.06.2021
10	Herrmann, C.,	Vortrag greenBatt: Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) - Stoffkreisläufe schließen und nachhaltige Batterielebenszyklen systematisch gestalten	Vortrag und Austausch	KLiB Deutsch – franz. Industrietag	12.05.2021
11	SYSTEMIQ	Advancing sustainable battery recycling: towards a circular battery system	Studie, Bericht, Expertise und Review		Nov 2023
12	Mennenga, M., Uhlig, E.	Competence Cluster Recycling & Green Battery	Poster	Eröffnung CircularLab	07.11.2023