Teil I: Öffentliche Kurzzusammenfassung

zum Förderprojekt „ZinCycle – Entwicklung einer rohstoffoptimierten, recyclefähigen und wiederaufladbaren Zink-Luft-Batterie für stationäre Anwendungen“

Zuwendungsempfänger:	EurA AG
Förderkennzeichen:	03XP0493F
Projektlaufzeit:	01.09.2022 bis 31.08.2025
Projektleitung:	Dr. Denise Ott
Autor:	Daniel Habermeier

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter dem Förderkennzeichen 03XP0481F gefördert.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Im Rahmen des Projekts ZinCycle wurden die Bestandteile des Zink Luft Stacks zunächst auf Komponentenebene mittels Ökobilanz - Screening Analysen detailliert untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurden Submodelle entwickelt, die anschließend zu einem Gesamtmodell zusammengeführt wurden, um Aussagen auf Stackebene ableiten zu können. Ziel war es, die Umweltwirkungen der einzelnen Komponenten zu quantifizieren und daraus Optimierungsansätze abzuleiten. Zusätzlich wurden im Projektverlauf verschiedene Ausführungsalternativen bewertet, um den Projektpartnern fundierte Entscheidungshilfen für die Weiterentwicklung der Zink-Luft-Batterie bereitzustellen.

Anode und Glasbeschichtung

Für die Anode lagen unterschiedliche Ausführungen mit und ohne Glasbeschichtung vor, die in den Demonstratoren eingesetzt wurden. Ohne Glasbeschichtung besteht der Slurry überwiegend aus Zinkpulver und Elektrolyt, wobei das Zinkpulver die Umweltwirkungen der Anode klar dominiert. Durch die zusätzliche Glasbeschichtung entstehen weitere Aufwände auf der Herstellungsseite. In den Screening Analysen zeigte sich, dass die zunächst eingesetzten Bismuth Gläser sehr hohe Umweltwirkungen verursachen. Im Projektverlauf wurden daher Alternativen untersucht. Eine Reduktion des Bismuth Anteils führte zu ersten Einsparungen. Alternativen wie Sol Gel Verfahren senken zwar die Ergebnisse in der Kategorie Climate Change, erhöhen jedoch andere Wirkungskategorien deutlich. Die zuletzt genutzten Gläser auf Phosphor Basis zeigten im Vergleich zu den ursprünglichen Varianten klare ökologische Vorteile und sind daher, neben der verbesserten Performance, auch aus Umweltsicht zu empfehlen. Die spätere Stack Analyse unter Einbezug der performancebedingten Vorteile zeigte zudem, dass die zusätzlichen Impacts der Glasintegration durch die verbesserte Performance kompensiert werden, sodass sich geringere LCA-Ergebnisse pro kWh über den gesamten Lebenszyklus ergeben. Damit kann die Glasbeschichtung insgesamt als empfehlenswert bewertet werden.

Membran Elektroden Einheit (MEA)

Die MEA setzt sich aus der Luft Elektrode sowie der von Rhenotherm aufgebrachten Beschichtung zusammen. Auf Ebene der Luft Elektrode wurden als zentrale Hot Spots vor allem der Binder PTFE und der Silberoxid Katalysator identifiziert. Der Einsatz alternativer Binder wie PVDF oder PP sowie alternativer Katalysatoren wie Manganoxid zeigt ein hohes Einsparpotenzial und könnte die ökologische Verträglichkeit der Luft Elektrode deutlich verbessern. Im Projektverlauf wurde die eingesetzte Silberoxidmenge bereits deutlich reduziert, um den Einfluss zu begrenzen. Die Alternativen benötigen allerdings weiterhin Entwicklungsarbeit, bevor sie stacktauglich eingesetzt werden können. Sollte dies künftig aus Performancesicht möglich sein, ist ihr Einsatz aus ökologischer Sicht klar zu empfehlen. Für die Beschichtung der Luft Elektrode wurden zwei Polymervarianten betrachtet. Das fluorfreie PVB zeigte dabei deutlich niedrigere Umweltwirkungen in den untersuchten Kategorien und kann daher eindeutig empfohlen werden. Insgesamt trägt die MEA auf Cradle-to-gate Ebene relevant zu den Umweltwirkungen des Stacks bei. Die untersuchten Alternativen bieten somit konkrete Ansatzpunkte, die Umweltwirkungen der MEA weiter zu reduzieren.

Stromabnehmer, Compound und Massenoptimierung

Der betrachtete Stromabnehmer Compound verursacht aufgrund hoher Kupfer- und Grafitanteile bislang erhebliche Umweltwirkungen. Eine Reduktion des Grafitgehalts konnte

diese bereits verringern, dennoch bleibt eine Rückgewinnung der Bestandteile zur weiteren Reduktion empfehlenswert. Generell wird im Demonstratorbau noch mit hohen, nicht massenoptimierten Mengen an Gehäuse und Stromabnehmern gearbeitet. Dadurch ist der Stromabnehmer, sowohl in der Kupfer- als auch in der Compound Variante, als deutlicher Hot Spot auf Stackebene zu identifizieren. Auch die eingesetzte Menge des 3D Druck Harzes liegt möglicherweise über der final notwendigen Menge und trägt entsprechend zu den Herstellungsimpacts bei. Eine künftige Massenreduktion dieser Komponenten würde die Cradle-to-gate Ergebnisse deutlich verbessern.

Recycling und Nettoergebnisse

Die hohen Massen des Stromabnehmers führen im Recyclingmodell zu hohen erzielbaren Gutschriften. Kupfer beziehungsweise Compound erreichen im LCA-Modell die größten Credits, gefolgt von Abschlussplatten und Schrauben, die aufgrund der Schraubverbindungen zerstörungsfrei demontiert und zurückgewonnen werden können. Da Zink im Vergleich einen geringeren ökologischen Fußabdruck aufweist, übersteigen die Gutschriften der genannten Komponenten die Gutschriften aus der Zinkrückgewinnung. Der im LCA-Modell berücksichtigte Recyclingweg ist insgesamt in der Lage, große Teile des Stacks zurückzugewinnen und damit die Gesamtergebnisse signifikant zu reduzieren. Insbesondere Beiträge aus Katalysator, Kupfer und Grafit können durch deren Rückgewinnung deutlich gesenkt werden. Die Nettoergebnisse werden daher vor allem durch die nicht oder nur eingeschränkt rückgewinnbaren Bestandteile dominiert. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Ökobilanzierung des Recyclings auf mehreren Annahmen basiert und damit eine Potenzialanalyse darstellt, da Energieverbräuche und Rückgewinnungsraten aus hochskalierten Labortests oder Berechnungen abgeleitet wurden. Dennoch kann das Recyclingkonzept als vielversprechend bewertet werden.

Vergleich mit Referenzsystem

Abschließend wurden die Ergebnisse des Zink Luft Stacks mit einer Referenz LFP-Batterie verglichen. Auf Basis der bisher erreichten Performancedaten erzielt das Zink Luft System noch keine konkurrenzfähigen Ergebnisse gegenüber der LFP-Referenz. Hauptgrund ist die deutlich geringere Zyklenzahl. Szenarien mit Annahmen vergleichbarer Leistungswerte wie bei LFP zeigen jedoch, dass perspektivisch ähnliche Ergebnisse möglich sind und unterstreichen damit das Potenzial von Zink Luft Batterien als Alternative zu lithiumbasierten Systemen. Wenn die Performance in den kommenden Entwicklungsschritten weiter optimiert werden kann, zeigt die Zink Luft Batterie damit ein klares Potenzial, als echte Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien zu gelten.