M-Q-M Analyse-Steckbrief

Circular Storage Systems GmbH, Werk Süd

Aktivität: Demontage-, Prüf- und Remanufacturing-Linie für gebrauchte Lithium-Ionen-Batteriemodule

1. Systemrahmen

Die betrachtete Aktivität umfasst den internen Prozess ab Wareneingang gebrauchter Lithium-Ionen-Batteriemodule über Registrierung, Sicherheitsprüfung, Entladung, Demontage, Diagnose, Klassifizierung, Remanufacturing, Endprüfung, Dokumentation und Übergabe an Second-Life-Produktion oder Recyclingpartner.

Nicht enthalten sind Sammlung beim Kunden, externer Transport zum Werk, Herstellung neuer Batteriezellen, Nutzung der Second-Life-Speicher und stoffliche Aufbereitung beim Recyclingpartner.

Die Linie ist ein offenes Kreislauf-System mit starker Einbettung in OEM-Rücknahme, Gefahrgutlogistik, Second-Life-Produktion, Recycling, Batteriepassdaten, Nachhaltigkeitsreporting und Energiespeicher-Ökosystem.

2. M-Q-M-Kernstruktur

Q3 - Identität, Plan, Zielbild

Der Q3-Kern der Linie ist:

> *Sichere, nachvollziehbare und wirtschaftliche Rückführung gebrauchter Batteriemodule in einen weiteren Nutzungszyklus oder in geordnetes Recycling.*

Zentrale Ziele:

- mindestens 70 % Wiederverwendung als Second-Life-Modul oder Ersatzteilspender bis 2028
- Energieverbrauch unter 8 kWh pro bearbeitetem Modul bis 2027
- 25 % CO2e-Reduktion je freigegebenem Second-Life-Modul bis Ende 2028
- 98 % vollständige digitale Rückverfolgbarkeit und Batteriepassdatensätze
- keine meldepflichtigen Sicherheitsereignisse
- stabile Qualität, regulatorische Konformität und planbarer Durchsatz

Die Linie ist damit nicht nur eine technische Demontageanlage, sondern eine sicherheitspriorisierte Kreislauf- und Entscheidungsaktivität.

Q2 - Ressourcen, Flüsse, Verbräuche

Zentrale Q2-Flüsse sind:

- 90-120 eingehende Module pro Tag im Serienanlauf
- Ziel: 150-180 Module pro Tag im 3-Schicht-Betrieb
- durchschnittliches Modulgewicht ca. 28 kg
- aktueller Energieverbrauch ca. 9-11 kWh je bearbeitetem Modul
- Strom, Druckluft, Lüftung, Absaugung, Klimatisierung, IT und Sicherheitsgrundlast
- BMS-, Prüfstands-, Traceability-, Energie-, CO2- und Batteriepassdaten
- Personalzeit und Fachwissen für HV-Sicherheit, Diagnose, Demontage, QS und Datenmanagement
- Quarantänefläche, Sicherheitsbehälter, Prüfstände, Entladeplätze und thermische Prüfkammern als kapazitätskritische Ressourcen

Besonders relevant sind die Datenflüsse, weil unvollständige OEM-/BMS-Daten direkt zu mehr Quarantäne, Zusatzprüfung, Energieverbrauch und vorsorglicher Recyclingzuführung führen.

Q1 - Transformation, Regelung, Verluste

Der Q1-Kern besteht aus:

- Eingangssicherung
- Quarantäneentscheidung

- BMS-/Historienprüfung
- kontrollierter Entladung
- Demontage
- elektrischer Diagnose
- thermischer Prüfung
- Reinigung und Instandsetzung
- Endprüfung
- Klassifizierung in Second-Life, Ersatzteilspender oder Recycling

Die Prozesslogik ist nichtlinear. Einzelne Schwellenwerte können den gesamten Pfad ändern, etwa Temperaturanstieg, Isolationsfehler, mechanische Beschädigung, unbekannter Ladezustand, fehlende BMS-Historie oder nicht bestandene Endprüfung.

Zentrale Verluste:

- nicht rückspeisbare Entladeenergie als Abwärme
- Grundlasten für Sicherheit, Lüftung, IT und Brandschutz
- Druckluftverluste
- Quarantänewartezeiten
- Rüstzeiten durch Variantenvielfalt
- Wiederholprüfungen und Nacharbeit
- Datenklärungen und Medienbrüche
- vorsorgliche Recyclingentscheidungen bei unsicherer Datenlage

Die wichtigsten Q1-Hebel sind:

1. bessere Vorabdaten und Eingangsklassifizierung
2. energieoptimierte Entlade- und Prüfplanung
3. Reduktion von Varianten-, Rüst- und Demontageaufwand

Q4 - Outputs, Bestände, Wirkungen

Zentrale Outputs sind:

- sicherheitsgeprüfte Second-Life-Batteriemodule
- instandgesetzte Module mit dokumentierter Restkapazität
- Ersatzteilspender
- wiederverwendbare Komponenten
- sortierte Recyclingfraktionen
- Prüfberichte, Sicherheitsfreigaben, Batteriepass-Updates
- Energie- und CO2-Kennzahlen je Modul
- Feedbackdaten an OEMs, After-Sales-Systeme und Digital Twin

Wesentliche Bestände und Puffer:

- Eingangspuffer
- Quarantänebestand
- WIP zwischen Entladung, Demontage, Diagnose und Endprüfung
- freigegebene Second-Life-Module
- Ersatzteilbestand
- Recyclingpuffer
- Datenbestände
- Kapazitätspuffer bei Prüfständen, Entladeplätzen, Prüfkammern und HV-Fachkräften

Positive Wirkungen:

- verlängerte Batterielebensdauer
- Rohstoffschonung
- CO2-Vermeidung gegenüber Neuproduktion
- bessere Sortenreinheit im Recycling
- höhere Transparenz durch Batteriepass- und Prüfdatensätze
- regionale Wertschöpfung und Kompetenzaufbau

Negative potenzielle Wirkungen:

- Gefahrguttransporte
- Energiebedarf und Abwärme
- Sonderabfälle
- Brand- und Thermal-Runaway-Risiken
- Haftungsrisiken bei Fehlklassifikation
- Datenschutz- und Wettbewerbsrisiken bei OEM-/BMS-Daten

3. Digital-Twin-Reife

Digitalisierungsgrad: 4 von 5. Die Linie ist hoch digitalisiert, aber noch nicht vollständig integriert.

Vorhanden sind:

- ERP
- MES
- Traceability-System
- Prüfstandssoftware
- BMS-Datenarchiv
- Energiemanagementsystem
- Qualitätsmanagementsystem
- Batteriepass-/Produktpasssystem im Aufbau
- Shopfloor-, Prüfstands-, Energie-, Qualitäts-, Quarantäne- und Kreislauf-Dashboards

Wichtige Schnittstellen:

- OPC UA
- REST-APIs
- MQTT im Aufbau
- CSV/XML
- SQL-Views
- EDI / Partnerportale
- PDF-/Dokumenten-Workflows

Noch offen:

- vollständige AAS-Struktur
- harmonisierte BMS-Datenformate
- modulgenaue CO2e-Zuordnung
- semantische Harmonisierung zwischen ERP, MES, Prüfständen, Energie, QMS und Batteriepass
- bessere Partnerdatenräume mit OEMs, Recyclingpartnern und Second-Life-Abnehmern

Das passt sehr gut zum Ziel des M-Q-M-Fragebogens, reale Unternehmensaktivitäten systematisch für Energie-, CO2-, Digital-Twin- und Beratungsanwendungen erfassbar zu machen.

4. Zentrale Risiken

Die wichtigsten Risiken sind:

- schwankende Rücklaufmengen
- unsichere Rücklaufqualität
- unvollständige OEM-/BMS-Daten
- Überlastung von Quarantäneflächen
- Engpässe an Entlade- und Prüfständen
- Ausfall thermischer Prüfkammern
- fehlende HV-Fachkräfte
- steigende Energiepreise und Lastspitzen
- regulatorische Änderungen
- sinkende Second-Life-Nachfrage
- verzögerte Recyclingabholungen
- Cybersecurity- und Datenschutzrisiken
- Sicherheitsereignisse mit beschädigten oder instabilen Modulen

Besonders kritisch ist die Kopplung von Datenqualität -> Sicherheitsentscheidung -> Prozesspfad -> Energieverbrauch -> CO2-Wirkung -> Wirtschaftlichkeit.

5. Wichtigste Verbesserungspotenziale

Kurzfristig

- Vorabdatenprüfung vor Anlieferung verbessern
- digitale Pflichtfelder für Eingangsklassifizierung einführen
- tägliches Quarantäne-Review etablieren
- ähnliche Modultypen bündeln
- Entlade- und Prüfzyklen nach PV, Lastspitzen und Prüfstandsauslastung planen
- Druckluft-, Lüftungs- und Standby-Grundlast prüfen
- digitale Schichtübergabe für Sonderfälle standardisieren
- Reklamationen schneller in Prüfregeln zurückführen

Strukturell

- OEM-/BMS-Datenformate standardisieren
- Batteriepass-Pflichtfelder verbindlich machen
- AAS-/Digital-Twin-Datenmodell aufbauen
- modulgenaue Energie- und CO2-Bilanzierung einführen
- Prüf-, Entlade- und Quarantänekapazitäten skalieren
- Demontage und Sichtprüfung teilautomatisieren
- Batteriedesign langfristig stärker auf Circularity ausrichten

6. Vorläufige M-Q-M-Diagnose

Die Linie ist ein sehr geeigneter M-Q-M-Anwendungsfall, weil alle vier Quadranten klar empirisch erfassbar sind:

Quadrant	Befund
Q3	Zielsystem mit Sicherheit, Wiederverwendung, CO2-Reduktion, Batteriepass und Wirtschaftlichkeit klar definiert
Q2	Material-, Energie-, Daten-, Personal- und Sicherheitsflüsse gut beschreibbar
Q1	Regelbasierte, nichtlineare Transformation mit klaren Schwellenwerten und Entscheidungspfaden
Q4	Outputs, Bestände, Wirkungen, Datenprodukte und Kreislaufpotenziale differenziert erfassbar

Die Aktivität eignet sich besonders für einen Green Digital Energy Twin, weil Energie-, CO2-, Prüf-, Sicherheits-, Qualitäts- und Kreislaufdaten bereits weitgehend vorhanden sind. Der größte Mehrwert liegt in der integrierten Simulation von:

- Quarantänebelastung
- Prüfstandsauslastung
- Entlade- und Rückspeisepotenzial
- Lastspitzen
- PV-/Grünstrom-Nutzung
- Wiederverwendungsquote
- CO2e je Modul
- Recyclingpfaden
- Batteriepass-Datenqualität

Der Fragebogen erfüllt damit seine Funktion als Diagnose- und Entscheidungswerkzeug für systemische Optimierung, Beratung, Simulation und Digital-Twin-Anbindung.