MAKING IDEAS
PERFORM

SICHERHEIT IN BATTERIEFERTIGUNGSANLAGEN

SICK Sensor Intelligence.
EDAG PRODUCTION SOLUTIONS

Kurze Vorstellung:

Ulrich Hochrein

- Elektroinstallateur
- Studium Elektroingenieur, elektrische Energietechnik (FH Darmstadt)
- Ca. 12 Jahre HW/SW/Inbetriebnahme von Rohbauschweißanlagen
- Sicherheitsingenieur (Dekra Freiburg)
- Leiter der Sicherheitstechnischen Dienstleistungen bei EDAG PRODUCTION SOLUTIONS

Kurze Vorstellung: EDAG / EDAG-PS:

8.900 Mitarbeiter

19 Länder

70 Standorte weltweit

Umsatz: 844 Mio €

EDAG

LEISTUNGEN | BRANCHEN | INNOVATION | KARRIERE | EDAG GROUP | TECH INSIGHTS | NACHHALTIGKEIT

Leistungen

DE | EN

FAHRZEUGENTWICKLUNG

- GESAMTFAHRZEUGENTWICKLUNG
- ENERGIESYSTEME UND ANTRIEBSSTRANG
- DESIGN STUDIO
- MODULENTWICKLUNG
- FUNKTIONSENTWICKLUNG
- TESTING / CAE
- QUALITÄTSMANAGEMENT
- PRÜFTECHNIK
- VERSUCHS- UND FAHRZEUGBAU
- AFTER-SALES-LÖSUNGEN

SOFTWARE & DIGITALISIERUNG

- CONNECTED SERVICES
- MOBILITY SOFTWARE
- SMART CITY & SMART REGION
- SMART FACTORY

ELEKTRIK / ELEKTRONIK (E/E)

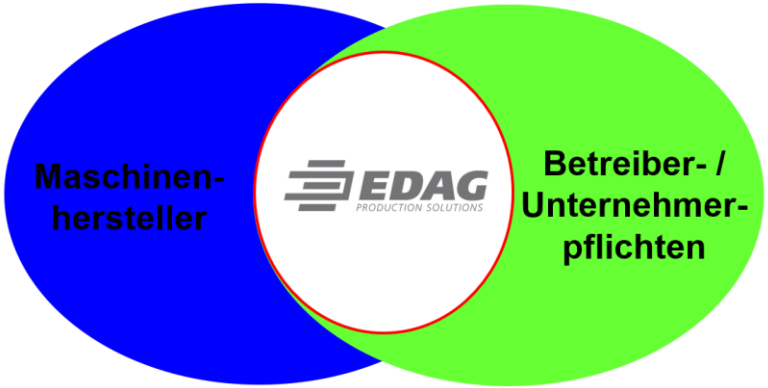
- VEHICLE ELECTRICS & ELECTRONICS
- COMFORT & BODY SYSTEMS
- AUTONOMOUS DRIVE & SAFETY
- CONNECTIVITY & USER EXPERIENCE
- FUNKTIONALE SICHERHEIT
- AUTOMOTIVE CYBERSECURITY
- PROZESS- UND PRODUKTDATENMANAGEMENT
- PROCESS CONSULTING
- PLATTFORMEN – PRODUKTE – LÖSUNGEN

PRODUKTIONSLÖSUNGEN EDAG PRODUCTION SOLUTIONS

- PROJEKTMANAGEMENT
- MACHBARKEITSANALYSEN
- PRODUKTIONSPLANUNG
- ANLAGENENGINEERING UND KONSTRUKTION
- ANLAGENREALISIERUNG UND VORRICHTUNGSTECHNIK
- MATERIALFLUSSSIMULATION
- FABRIKAUTOMATION
- PRODUKTIONSOPTIMIERUNG
- SICHERHEITSTECHNISCHE DIENSTLEISTUNGEN & SEMINARE
- QUALITÄTSSICHERUNG
- REFERENZEN

Kurze Vorstellung:

Sicherheitstechnische Dienstleistungen



www.edag.com/de/safety
ulrich.hochrein@edag-ps.com

Batterie

Der Begriff „Batterie“ ist aus dem Sprachgebrauch des Militärs entnommen, hier bedeutet es eine Zusammenstellung mehrerer Geschütze.

Quelle: Wikepedia

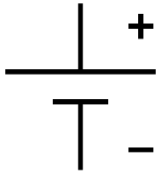
Quelle: Wikepedia

Analog dazu, wurde eine Zusammenschaltung mehrerer galvanischer Zellen mit diesem Begriff belegt.

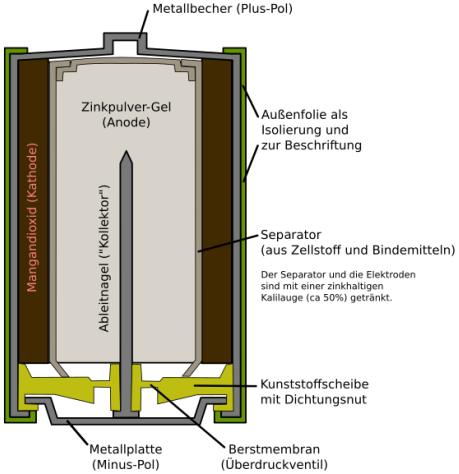
Ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts verwendete man den Begriff „Batterie“ auch für einzelne Primär- oder Sekundärzellen.

Batterie

Elektrisches Schaltzeichen:



Aufbau eine Alkali-Mangan Zelle



Warum Lithium-Ionen Batterien?

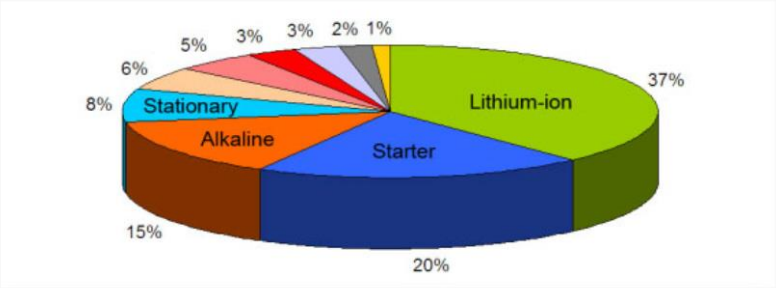
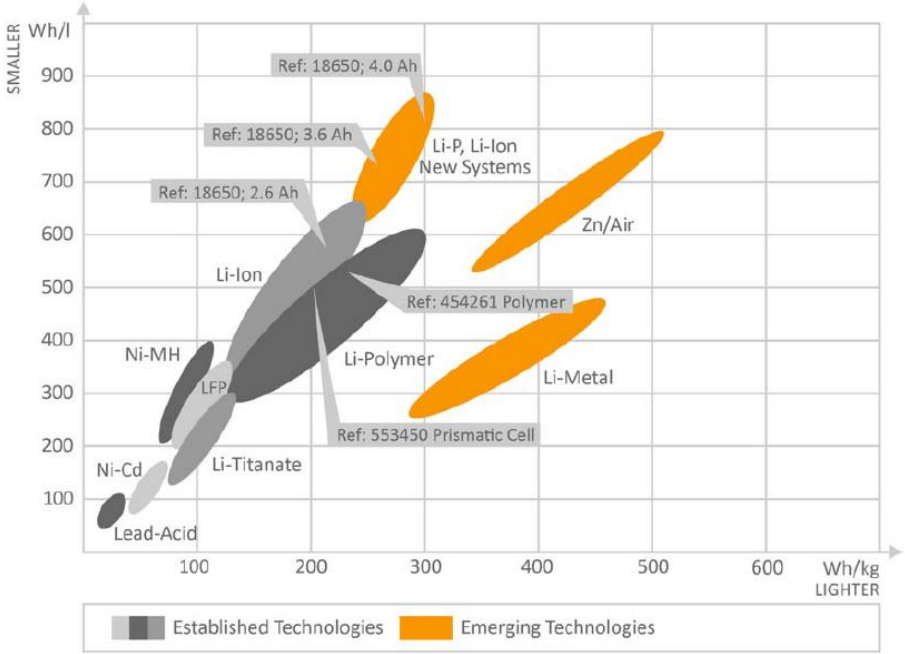


Figure 1: Revenue contributions by different battery chemistries.

37% – Lithium-ion
20% – Lead acid, starter battery
15% – Alkaline, primary
8% – Lead acid, stationary
6% – Zinc-carbon, primary
5% – Lead acid, deep-cycle
3% – Nickel-metal-hydride
3% – Lithium, primary
2% – Nickel-cadmium
1% – Other

Quelle: *Frost & Sullivan (2009)*

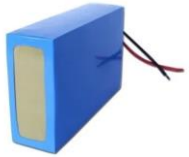


Quelle: Kompendium: Li-Ionen-Batterien

Grundlagen Batterietechnik, Bauarten

Rundzellen

Prismatische Zellen



Pouchzelle (Coffee bag)

Batteriesysteme

Quelle: Audi

Quelle: BMZ

Quelle: BYD

Quelle: MAN, LKW-Batterie

Nachteile Lithium-Ionen Batterien?

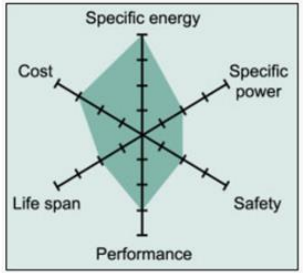
Lithium-Ionen-Speicher mit verschiedenen Kathodenmaterialien

Kriterien	LCO	LMO	NMC	NCA	LFP
Name	Lithium-Cobalt-Oxid	Lithium-Mangan-Oxid	Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid	Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid	Lithium-Eisen-Phosphat
Umwelt	Gesundheitsrisiko aufgrund des Schwermetalls Cobalt	Ungiftig/ geringe Umwelteinwirkungen	Gesundheitsrisiko aufgrund der Schwermetalle Cobalt und Nickel	Gesundheitsrisiko aufgrund der Schwermetalle Cobalt und Nickel	Ungiftig/ geringe Umwelteinwirkungen
Sicherheit	Hohes Sicherheitsrisiko bei hohen Temperaturen und Überbelastung	Relativ hohe Sicherheit und chemische Stabilität	Erhöhtes Sicherheitsrisiko	Sicherheitsrisiko durch Überladung (thermische Überhitzung)	Relativ hohe Sicherheit und chemische Stabilität
Lebensdauer[c)] [Zyklen]	300 - 1.000	1.000 - 2.000	500 - 2.000	500 - 1.000	1.000 - 8.000/ 10.000[b]
Chemische Formel	$LiCoO_2$	$LiMn_2O_4$	$Li(NiCoMn)O_2$	$LiNiCoAlO_2$	$LiFePo_4$

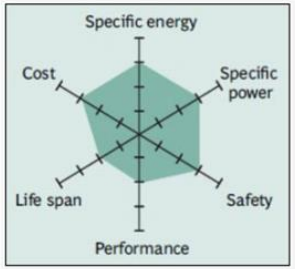
Sicherheitstechnisch kritisch

Sicherheitstechnisch unkritisch

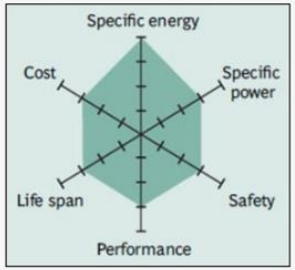
Li-Ion typische Batteriespezifika



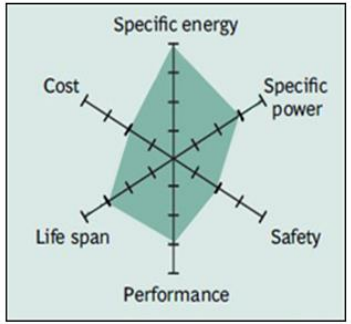
Lithium Cobalt Oxide($LiCoO_2$) — LCO



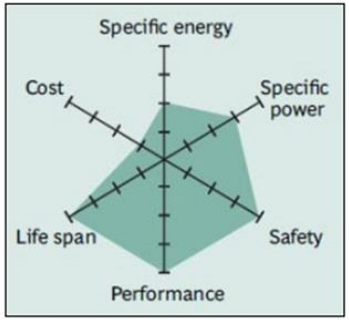
Lithium Manganese Oxide (LiMn2O4) — LMO



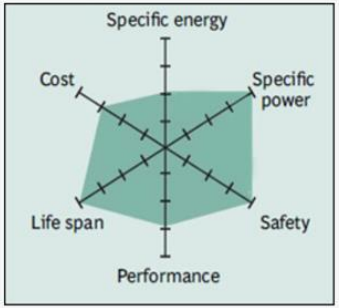
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ($LiNiMnCoO_2$) — NMC



Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO2) — NCA



Lithium Titanate (Li2TiO3) — LTO



Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$) — LFP

Quelle: Battery University

Gefahren die von Batterien ausgehen

Video: Adriel Monostori

Paris 29.04.2022: „Bluebus 5SE“ in Flammen

Gefahren die von Batterien ausgehen

Elektrische Gefahren → **Kurzschlussvorgänge**
→ **Spannungseinwirkung auf den Körper**

Brand- und Explosionsgefahren

Elektrolyte, Grafit, Wasserstoff/Knallgas, tw. wird bei Verbrennung eigener Sauerstoff erzeugt

Substanzgefahren

Schwermetalle Cobalt, Mangan, Nickel, Fluorwasserstoff / Flusssäure, Phosphorwasserstoff/Phosphin

Einige Gefahren sind nur für seltene anzunehmende, abnormale Zustände anzusetzen, während andere permanent, auch ohne besondere Bedingungen vorhanden sind.

Weiterhin unterscheiden sich die Gefahren in der Größe ihres Schadensausmaß und ihres „Wirkradius“. Grundsätzlich sind Personenschäden und hohe wirtschaftliche Schäden anzusetzen.

Bei den nachfolgenden Betrachtungen wird sich auf die Produktionsumgebung der Batteriefertigung und die batteriespezifischen Gefahren konzentriert.

Natürlich, sind neben den batteriespezifischen Gefahren, die üblichen Gefahren in der Produktionstechnik vorhanden, die über die bekannten Strategien der Maschinensicherheit abzudecken sind.

Gefahren die von Batterien ausgehen

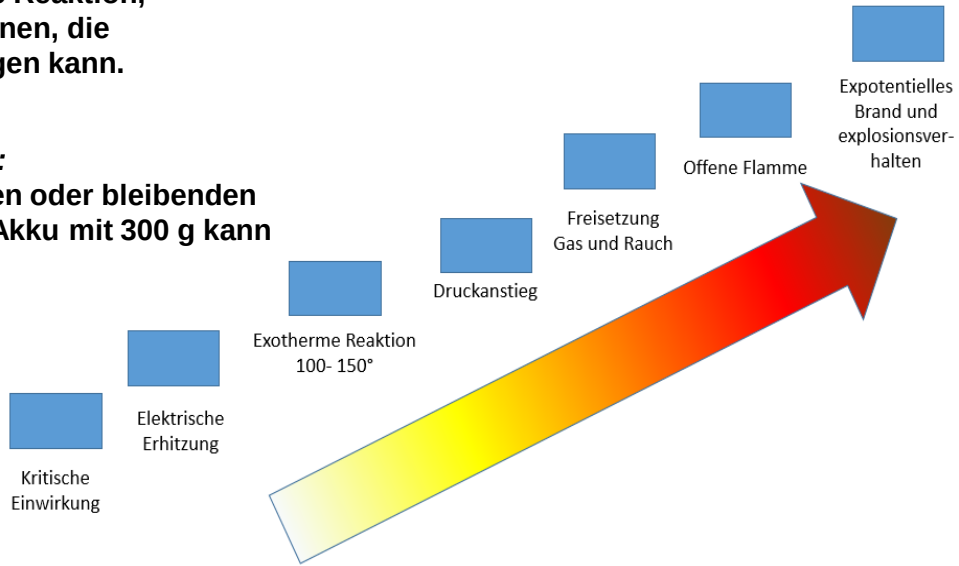
Brand und Explosionsgefahren

Die chemischen Stoffe in der Batteriezelle sind zum Teil reaktiv, toxisch und feuergefährlich. Mit der zusätzlich sehr hohen Energiedichte, ergibt sie ein hohes Risikopotential. Unter bestimmten Einflüssen kann die Batteriezelle in einen unkontrollierten Zustand des „Thermischen Durchgehens“ oder „Thermal Runaway“ kommen.

Dies ist eine sich selbst verstärkende, exotherme chemische Reaktion, wobei schnell, sehr hohe Temperaturen erreicht werden können, die sogar chemisch eingelagertes Lithium zur Entzündung bringen kann.

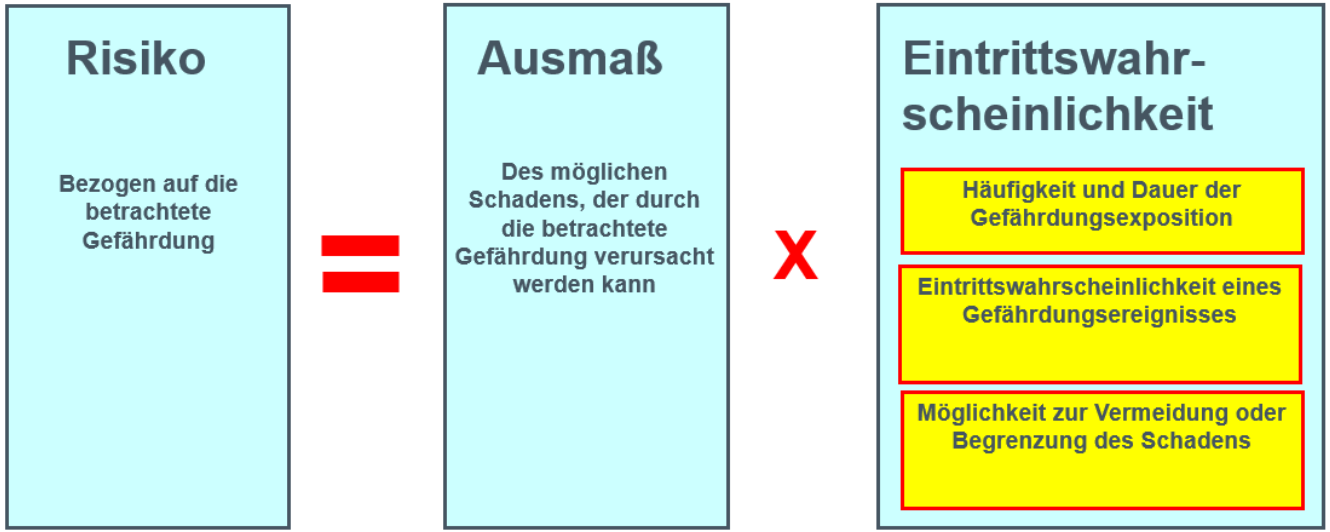
„Giftige Substanzen“ z.B. *Fluorwasserstoff / Flusssäure (HF):* Gesundheitlichen Beschwerden ab 1,4 ppm, bzw. zu schweren oder bleibenden gesundheitlichen Schäden ab 30 ppm (IDLH). Ein Notebook-Akku mit 300 g kann ca. 15.000 m³ Raumluft über die Grenzwerte belasten.
(**Immediately Dangerous to Life and Health*)

Batterien können dann 7 bis 11 mehr Energie frei setzen, als die elektrische gespeicherte Energie!



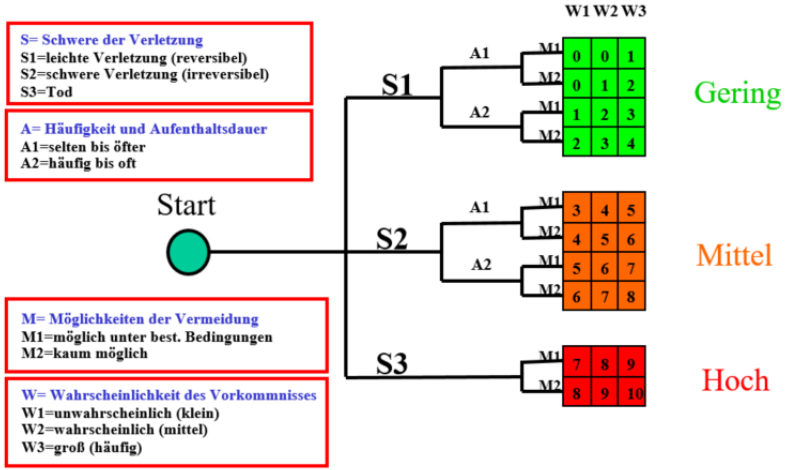
Risikobewertung

In der Maschinensicherheit, im Arbeitsschutz und auch in anderen Bereichen wie Katastrophenschutz wird das Risiko für eine Gefährdung über die Parameter Schadensausmaß, Expositionsdauer, Möglichkeiten zur Vermeidung und Eintrittswahrscheinlichkeit definiert.

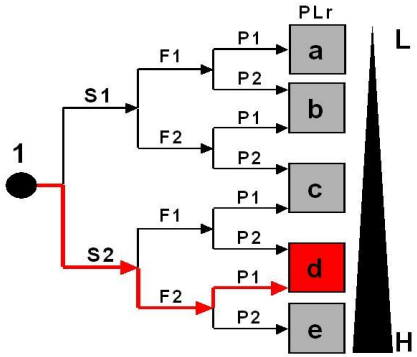


Risikobewertung

Geeigneter Risikograph für allgemeine Maschinensicherheit



Risikograph für Reduzierung Risiko durch sichere Steuerungstechnik, EN ISO 13849-1:2015



S= Schwere der Verletzung

S1=leichte Verletzung (reversibel)

S2=schwere Verletzung (irreversibel)

F= Häufigkeit und Aufenthaltsdauer

F1=selten bis öfter

F2=häufig bis oft

M= Möglichkeiten der Vermeidung

M1=möglich unter best. Bedingungen

M2=kaum möglich

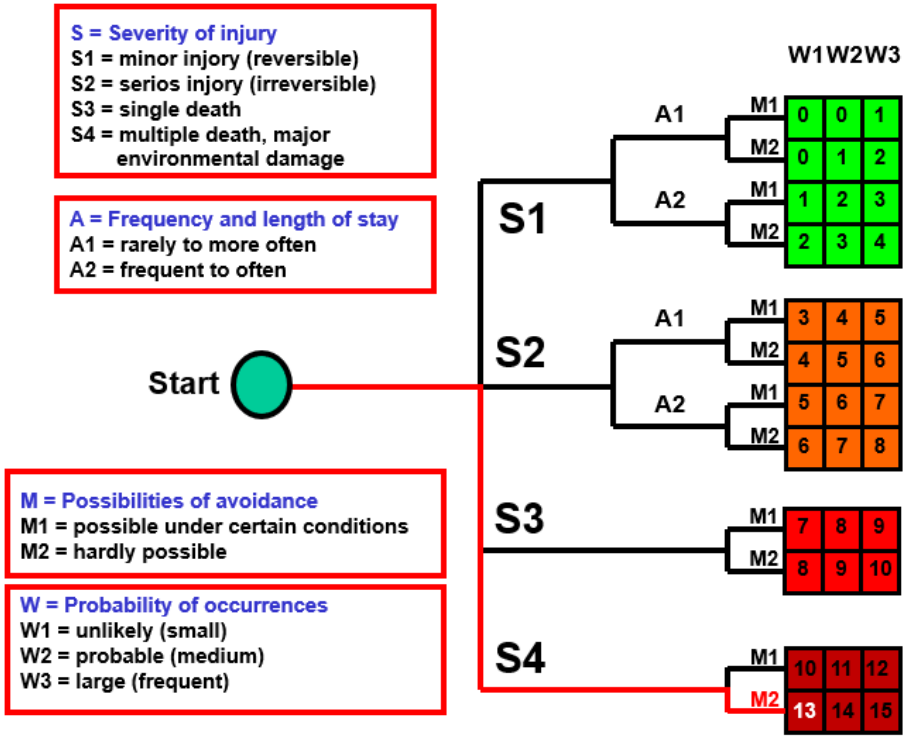
Für lokale Gefährdungsauswirkungen ausreichend!

Schärfung Risikobewertung auf Batterieelemente

Für „nicht mehr lokale Gefährdungsauswirkungen“,, ist der Risikograph der Maschinensicherheit nicht mehr ausreichend!

Für mehrere Tote oder sehr große Umweltauswirkungen, sollte der Risikograph mit S4 erweitert werden.

Langfristige Kontamination von Werkshalle, Werksgelände, Boden, Luft und Gewässer.



Schärfung Risikobewertung, „Batterieelemente in der Produktion“

Neben der Anpassung der Risikographen, sollten ebenso die anderen relevanten Parameter für das „Batterieprodukt“ in der Produktionsumgebung genauer differenziert werden.

S

Index für die Bewertung Schadenspotential für Zelle / Stack / Modul
(Brand- und Explosionspotential Gas- und Staubmengen)

Kriterien

Einzelzelle

Zellstack

Modul

F

Index für die Bewertung Kritikalität der Fertigungsprozesse für Zelle / Stack / Modul
(Servoachsen, Roboter, programmierbare Steuerungen, Gefahren Stoßen, zu hoher Druck, Wärmeeinbringung, …)

Kriterien

- Einfacher Transport Lineartransport
- Einfaches Handling (Wenden / Zentrieren)
- Herabfallen von Zellen
- Wärmeeintrag oder Schweißvorgänge in der Nähen von Batteriezellen
- Direktes Handling oder Bearbeitung mit Roboter von Batteriezellen
- Direktes Handling oder Bearbeitung über Linearservoachsen von Batteriezellen
- Fügeprozesse mit Krafteinwirkungen auf der Batteriezellen

E

Index für die Bewertung Empfindlichkeit der Zelle / Stack / Modul in der Produktionsumgebung
(Einzelzelle / Stack / geschütztes Modul)

Kriterien

- ungeschützte Zelle
- geschützte Zelle in Transportverpackung
- geschützte Zelle in WPC
- Stack mit GFK-Schutz
- Batteriemodul im Alugehäuse

H

Index für die Bewertung Handlungsmöglichkeiten im Havariefall
(Erkennbarkeit, Zeitverhalten, Zugänglichkeit, Transportmöglichkeit, …

Kriterien

- schnelle Zugänglichkeit und
- Isolation der Zelle möglich
- direkte Erkennbarkeit abnormaler Zustand der Zelle
- Abnormaler Zustand der Zelle genau diagnostizierbar
- Zustand der Zelle ohne Zeitverzug diagnostizierbar

Risiko = S x (F+E+H)

Schärfung Risikobewertung, „Batterieelemente in der Produktion"

Parameter „S" - Schadensausmaß und „F" – Kritikalität von technischen Prozessen

S

Index für die Bewertung Schadenspotential für Zelle / Stack / Modul
(Brand- und Explosionspotential Gas- und Staubmengen)

Einzelzelle	**1**
Zellstack	**2**
Modul	**3**
Batteriesystem	**4**

F

Index für die Bewertung Kritikalität der Fertigungsprozesse für Zelle / Stack / Modul
(Servoachsen, Roboter, programmierbare Steuerungen, Gefahren Stoßen, zu hoher Druck, Wärmeeinbringung, ...)

Einfacher Lineartransport von Zellen	1
Einfaches Handling (Wenden / Zentrieren) von Zellen	2
Wärmeeintrag oder Schweißvorgänge in der Nähe von Batteriezellen	3
Herabfallen von Batteriezellen	4
Fügeprozesse mit Krafteinwirkungen auf die Batteriezellen	3
Direktes Handling oder Bearbeitung über Linearservoachsen von Batteriezellen	3
Direktes Handling oder Bearbeitung mit Roboter von Batteriezellen	4

Schärfung Risikobewertung, „Batterieelemente in der Produktion"

Parameter „E" – Empfindlichkeit des Batterieelementes und „H"-Handlungsmöglichkeiten

E

Index für die Bewertung Empfindlichkeit der Zelle / Stack / Modul in der Produktionsumgebung
(Einzelzelle / Stack / geschütztes Modul)

Batteriemodul im Alugehäuse	1
Stack mit GFK-Schutz	2
Zelle in Transportverpackung	2
Zelle / Stack in WPC	4
ungeschützte Zelle / Stack	6

H

Index für die Bewertung Handlungsmöglichkeiten im Havariefall
(Erkennbarkeit, Zeitverhalten, Zugänglichkeit, Transportmöglichkeit, …

direkte Erkennbarkeit abnormaler Zustand der Zelle oder abnormaler Zustand der Zelle diagnostizierbar (z.B. durch Sensoren) und schnelle Zugänglichkeit und Isolation der Zelle in Havariebox möglich < 60 s	1
direkte Erkennbarkeit abnormaler Zustand der Zelle oder abnormaler Zustand der Zelle diagnostizierbar (z.B. durch Sensoren) und schnelle Zugänglichkeit und Isolation der Zelle in Havariebox möglich < 120 s	4
direkte Erkennbarkeit abnormaler Zustand der Zelle oder abnormaler Zustand der Zelle diagnostizierbar (z.B. durch Sensoren) und schnelle Zugänglichkeit und Isolation der Zelle in Havariebox möglich >120 s	6

Schärfung Risikobewertung, „Batterieelemente in der Produktion“

Risikovisualisierung für „Batteriezellen und einem thermischen Durchgehen“

Schwere der Schäden	F + E + H				
	R = 3–9	R = 10-18	R = 18- 26	R = 27-34	R = 35-48
Modul 3 x	Mittel	hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch
Zellstack 2 x	gering	Mittel	hoch	Sehr hoch	Sehr hoch
Zelle 1 x	gering	Mittel	Mittel	hoch	Sehr hoch

Risiko = S x (F+E+H)

Rangfolge der Maßnahmen in Batteriefertigungsanlagen

Rangfolge der Maßnahmen für die Batteriefertigungsanlagen:

1

Rangfolge 1: Schädigung von aktiven Batterieelemente verhindern !!!

Die Schädigung von Batteriezellen, Stack, Modulen und Batteriesysteme durch die Produktionstechnik ist zu verhindern. Hierzu ist die Produktionstechnik entsprechend zu gestalten.

- **Inhärent wirkende Prinzipien anwenden**
- **Schutzmaßnahmen umsetzen, wenn Fehlerzustände von Produktionsbetriebsmitteln Batteriekomponenten gefährden können**

2

Rangfolge 2: Geschädigte Batterieelemente schnell identifizieren

Hierzu sind in den relevanten Produktions- und Prüfstationen Temperaturmesssysteme / Gassensoren verbaut. Diese stoßen das automatische Ausschleusen der auffälligen Batteriekomponenten an und alarmieren Havarie Beauftragte und Anlagenführer.
(-> technische Maßnahmen und Betriebsorganisation)

3

Rangfolge 3: Geschädigte Batterieelemente schnell isolieren

Automatisiertes ausschleusen auffälliger Batterieelemente aus den Produktionsstationen in Havarie Boxen. Anschließendes ausfördern der Havarie Boxen aus dem Produktionsbereich mit Flurförderzeugen, in den außenstehenden Flut-Container. Falls das automatisierte Ausschleusen nicht funktioniert, müssen die Batterieelemente manuell oder mit Handlings Geraten in die Havarie Box gebracht werden. Hierfür sind die Anlagentechnik und die Organisation speziell auszulegen und Personal zu trainieren.

Rangfolge der Maßnahmen in Batteriefertigungsanlagen

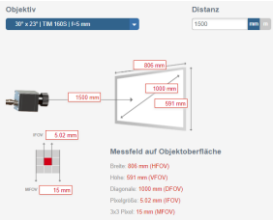
Rangfolge der Maßnahmen für die Batteriefertigungsanlagen:

Rangfolge 4: Thermisches Durchgehen verhindern und Havarie Folgen reduzieren

4

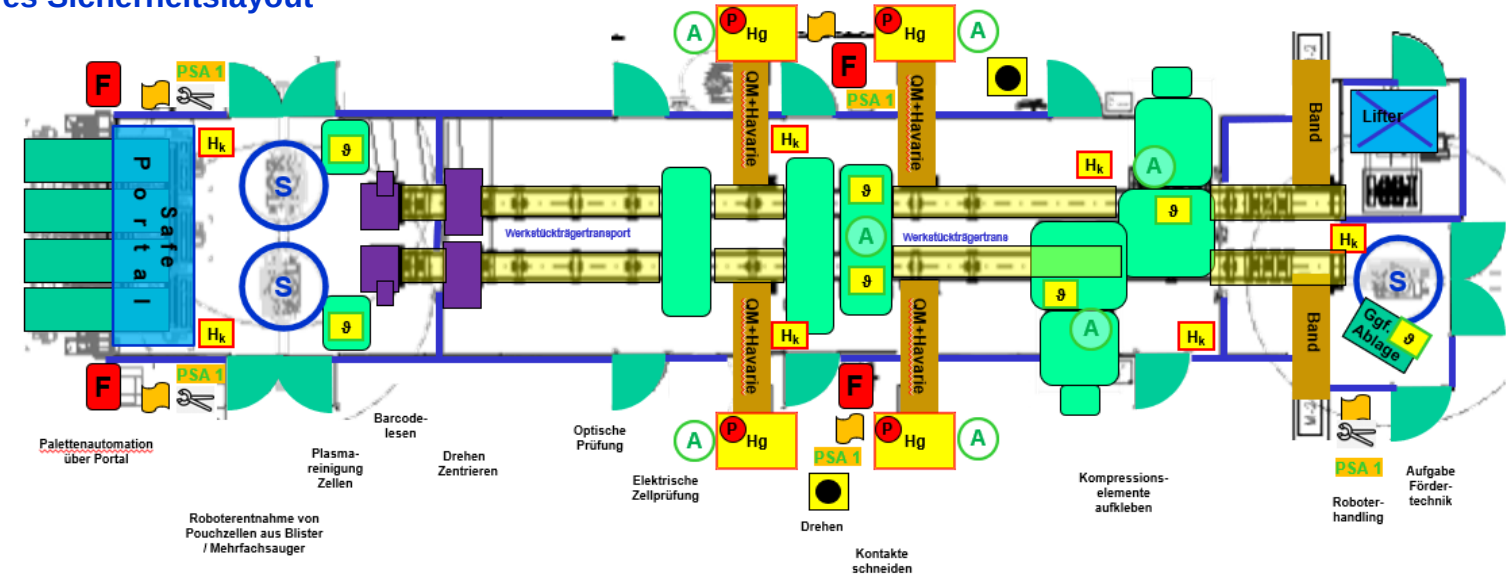
Für den Havariefall mit „Thermischen Durchgehen“ von Batteriezellen, Stack und Modulen sind folgende Aktionen durchzuführen

- **Alarm „Halle evakuieren“ auslösen und Halle evakuieren**
- **Externe Feuerwehr rufen**
- **ggf. „Freifahren der Stationen“ um guten Zugang an die Batteriekomponenten zu bekommen.**
- **Löschen mit speziellen Feuerlöschern**
- **Anwenden der Löschdecken und Aerosol Löschpatronen**
- **Versuch die havarierten Batterieelemente in die Havarie Box zu verbringen**



Beispiel, Sicherheitslayout einer Batteriefertigungsanlage

Fiktives Sicherheitslayout



Legende:

- H_k Havariebox klein
- Löschdecke
- PSA 1 Schutzausrüstung 1
- Griffzange
- Hg Havariebox groß
- ϑ Thermogra-phiesensor
- FS FS-Portal
- S Saferoboter
- Havarie button
- A Absaugung
- F Feuerlöscher
- P Löschpatrone

Betriebsorganisation, spezielle Mitarbeiterqualifizierungen

Speziell ausgebildete Mitarbeiter in der Batteriemontage

Die konkrete Betriebsorganisation ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten und Randbedingungen!

Neben den üblichen Mitarbeitern ist für die Batteriefertigungen Personal notwendig, das für spezielle Themen und kritische Situationen besonders qualifiziert und trainiert ist.

- **Notfall-Logistiker**
- **Havarie-Beauftragter**
- **HV-Beauftragter**
- **Instandhaltung**
- **(Anlagenführer)**

Diese Mitarbeiter sind besonders zu schulen und sensibilisieren!

Da für die speziellen Einsatzfälle im Kontext Havarie eine schnelle Reaktionszeit wichtig ist, ist für ausreichend Mobilität zu sorgen (Fahrrad, Roller, Elektrokarren, …)

Betriebsorganisation, spezielle Mitarbeiterqualifizierungen

Alarmsystem und Evaluierung

Voralarm „Bereitschaft Halle Evakuieren“ und der Alarm „Halle Evakuieren“

System zur Anwesenheitskontrolle

Es muss zu jedem Zeitpunkt bekannt sein, wer sich in der Produktion befindet und wer im Evakuierungsfall die Batteriemodulmontage nicht verlassen hat.
Hierzu sind an den Halleneingängen, Hallenausgängen und Notfallsammelplätzen Erfassungssystem zu installieren. Empfohlen werden berührungslose Erfassungssysteme, z.B. Kartenleser.

Einbindung einer externen Feuerwehr

Empfehlung zur Installation einer internen Feuerwehr (falls nicht schon vorhanden)

Betriebsorganisation, spezielle Mitarbeiterqualifizierungen

Mitarbeitersensibilisierung und Unterweisung

Zum einen sind das neben den vielen produktionstechnischen Gegebenheiten, die Sensibilisierung auf die besonderen Gefahren durch die Batteriezellen, Stacks und Batteriemodule. Hier sind alle Gefahren in allen Betriebsbereichen und Tätigkeitsbereichen zu thematisieren.

Unterweisungen für alle Mitarbeiter

Unterwiesen müssen alle Einflüsse, die für aktive Batterieelemente in kritische Situationen führen können und die für den sicheren Betrieb in der Batteriefertigung notwendig sind:

- **Gefährdungen durch elektrische Kurzschlüsse**
- **Gefährdungen durch die Hochvoltebene**
- **Gefährdungen durch ausgelaufene Elektrolyte**
- **Gefährdungen durch mechanische Einwirkungen auf Batteriezellen, Stacks und Module**
- **Beschreibung zu thermischem Durchgehen von Batteriezellen, Stacks und Module**
- **Brand und Explosionsgefahren**
- **Rauch und Gasentwicklung**
- **Unterweisung und Sensibilisierung auf die Alarmsignale „Vorwarnung“ und „Halle evakuieren“**