

Explosionsschutz als Herausforderung für portable IT-Endgeräte

Marius Losch¹, Annika Stein¹, Thomas Horn¹, Frank Lienesch¹

¹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Fachbereich 3.6 Explosionssgeschützte Sensorik und Messtechnik, Braunschweig

Die Umsetzung der digitalen Transformation im Zuge Industrie 4.0 macht auch im Bereich der Prozesstechnik den Einsatz portabler IT-Endgeräte notwendig. Dabei werden an die Produkte hohe Anforderungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit, der Zuverlässigkeit und des Explosionsschutzes gestellt. Im Zuge des Forschungsprojektes sollen in Kooperation mit der NAMUR² Studien zur Beurteilung von Schutzkonzepten durchgeführt werden.

Dazu wurde eine erste Gefährdungsbeurteilung der wirksamen Zündquellen port. IT-Endgeräte durchgeführt. Zur Erlangung von Kenntnissen über den Stand der Technik zum Explosionsschutz diente eine Marktstudie. Hier wurden besondere Herausforderungen für Hersteller explosionsgeschützter port. IT-Endgeräte identifiziert. In Zuge der Marktstudie fand eine erste Bewertung der verwendeten Schutzkonzepte statt.

Als Schwerpunkt erfolgte eine Darstellung der Lithium-Ionen-Technologie. Für diese Energiespeicher konnte aufgrund unzureichender verfügbarer Daten noch keine abschließende Gefährdungsbeurteilung erfolgen. Es wurden erste Konzepte für einen Batterieprüfstand entwickelt und teilweise umgesetzt, um über experimentelle Versuche die Basis für eine Bewertung der Zündgefahr schaffen zu können.

1 Einleitung

Die Umsetzung der digitalen Transformation (Industrie 4.0) eröffnet innerhalb der chemischen Prozessindustrie neue Möglichkeiten zur Kosteneinsparung und Erhöhung der Anlageneffizienz. Der notwendige und hohe Digitalisierungsgrad macht u.a. den Einsatz geeigneter Geräte der Informationstechnik (portable IT-Endgeräte), wie beispielsweise Tablets oder Smartphones, für das Anlagenpersonal unerlässlich.

Einsatzmöglichkeiten für port. IT-Endgeräte innerhalb der Prozessindustrie ergeben sich beispielsweise im Bereich der Prozessführung, der Wartung, Instandhaltung und Inspektion von Anlagen und Anlagenteilen. Vor Ort Geräte zu identifizieren und parametrieren, Informationen wie Spezifikationen und Wartungsanleitungen abzurufen oder in Echtzeit Prozessdaten zu visualisieren, bieten Vorteile.

Die innerhalb eines explosionsgefährdeten Bereiches eingesetzte Technik sollte sich entsprechend den Vorstellungen der Betreiber in Bezug auf die Leistungsfähigkeit auf dem Niveau der aktuellen „Konsumer“-Elektronik bewegen. Gleichzeitig sind zusätzlich erhöhte sicherheitstechnische Anforderungen für die im Feld eingesetzten explosionsgeschützten Geräte zu erfüllen.

Als Energiespeicher wird für port. IT-Endgeräte i.d.R. auf sekundäre Batterien (Lithium-Ionen-Technologie) zurückgegriffen. Die speicherbare elektrische Energie stellt zusammen

² Internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie

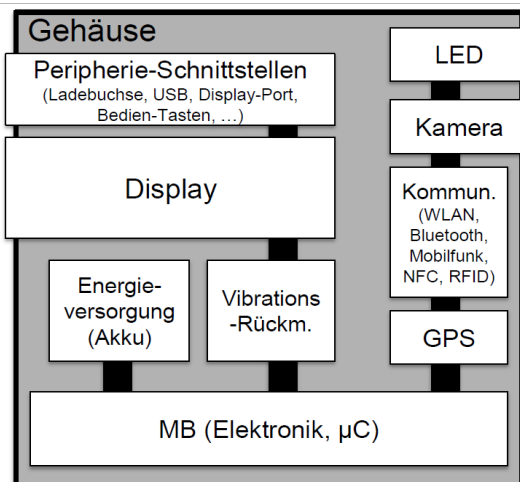
mit der materiellen Brandlast im Fehlerfall eine potentielle Zündgefahr dar. Um das mögliche Gefährdungspotential dieser Technologie in den Regelwerken des Ex-Schutzes eingehender zu beschreiben, sind Studien für eine umfassende Gefährdungsbeurteilung notwendig.

Im Zuge einer Zusammenarbeit mit der NAMUR beschäftigt sich das Forschungsprojekt mit der Frage, wie die Anforderungen zur Leistungsfähigkeit und Sicherheit praktisch umgesetzt werden können, um port. IT-Endgeräte für den Markt des Ex-Schutzes zu qualifizieren. Da in dieser Veröffentlichung nicht detailliert auf alle Zündrisiken der verschiedenen Module eingegangen werden kann, erfolgt als Schwerpunkt zunächst eine eingehende Betrachtung der Batterien bzw. Zellen.

2 Zündgefahren

Tablets und Smartphones stellen komplexe elektronische Geräte mit verschiedenen Funktionsmodulen (Abbildung 1) dar, die eine Vielzahl von potentiellen Zündquellen beinhalten können [1]. Potentielle Zündquellen wie Ausgleichsströme, Blitzschlag, ionisierende Strahlung, Ultraschall und adiabate Kompression können bei der Verwendung port. IT-Endgeräte ausgeschlossen werden.

Wirksame Zündquellen elektrischer Geräte können grundsätzlich in Form von heißen Oberflächen und elektrischen Funken auftreten. Die Kommunikationsmodule (Mobilfunk, WiFi, NFC, etc.) emittieren elektromagnetische Strahlung, deren Energie z.B. in leitfähigen Konstruktionen absorbiert und in thermische Energie umgewandelt werden kann. Die



Energiespeicher port. IT-Endgeräte werden z.Z. vornehmlich durch Lithium-Ionen-Akkus bereitgestellt. Hier sind potentielle Zündquellen in Form unkontrollierter exothermer Reaktionen bis zur Ausbildung von Flammen und heißen Gasen denkbar (Kapitel 4). Bei metallischen Gehäusen können mechanisch erzeugte Schlag- oder Reibfunken auftreten. Bei von außen erreichbaren Kunststoffteilen besteht die Gefahr der elektrostatischen Aufladung mit anschließender Entladung an beispielsweise geerdeten Metallteilen.

Abbildung 1: Funktionsmodule eines port. IT-Endgerätes (schematisch)

Der Zündgefahr durch mechanisch erzeugte Funken und elektrostatische Entladungen wird i.d.R. durch die Verwendung geeigneter Gehäusewerkstoffe begegnet (vgl. [2]). Zündgefahren durch Hochleistungsleuchtdioden (engl. power LED) können durch Schutz vor optischer Strahlung „op is“ bewertet werden [3]. Nach heutigem Stand sind jedoch divergent abstrahlende LEDs, die nicht in einer Matrixanordnung aufgeführt sind, z.B. zur Anzeige eines Gerätestatus oder als Hintergrundbeleuchtung für Flüssigkristallanzeigen (LCD), vom Anwendungsbereich dieses Standards ausgeschlossen. Des Weiteren sind LEDs für die Unterstützung der Kamera Funktion nicht als port. Handleuchte zu betrachten [4]. Ein Explosionsschutzkonzept ist demnach im Wesentlichen auf die Vermeidung der verbleibenden wirksamen Zündquellen fokussiert (vgl. Tabelle 1).

3 Stand der Technik zum Explosionsschutz

Hersteller port. IT-Endgeräte für die Prozessindustrie stehen vor der Herausforderung, Produkte zu entwickeln, die hinsichtlich der Aspekte Funktionalität und Ergonomie auf dem Niveau des Konsumerbereiches liegen. Weiterer Produkthanforderungen werden beim industriellen Einsatz darüber hinaus an sicherheitstechnische Merkmale und die Zuverlässigkeit gestellt.

Um Erkenntnisse zum Stand der Technik explosionsgeschützter port. IT-Endgeräte zu erlangen, wurde eine Marktstudie über z.Z. erhältliche Produkte durchgeführt. Dabei wurden exemplarisch 14 Tablets und 21 Smartphones für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen identifiziert (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3).

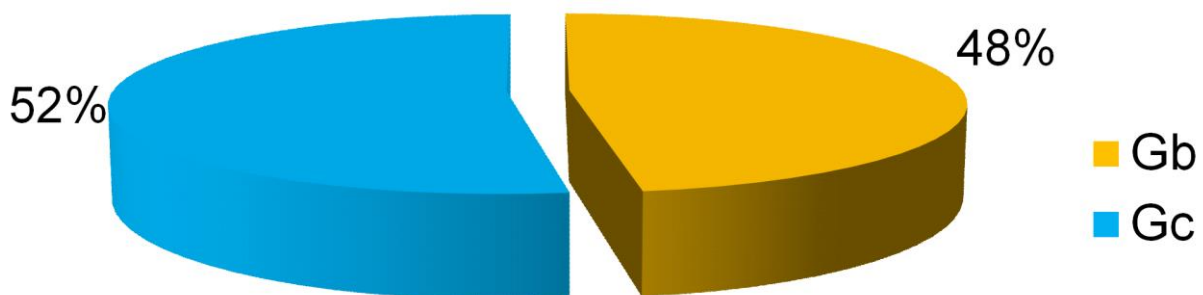


Abbildung 2: Identifizierte Geräteschutz-niveaus (EPL) für Smartphones

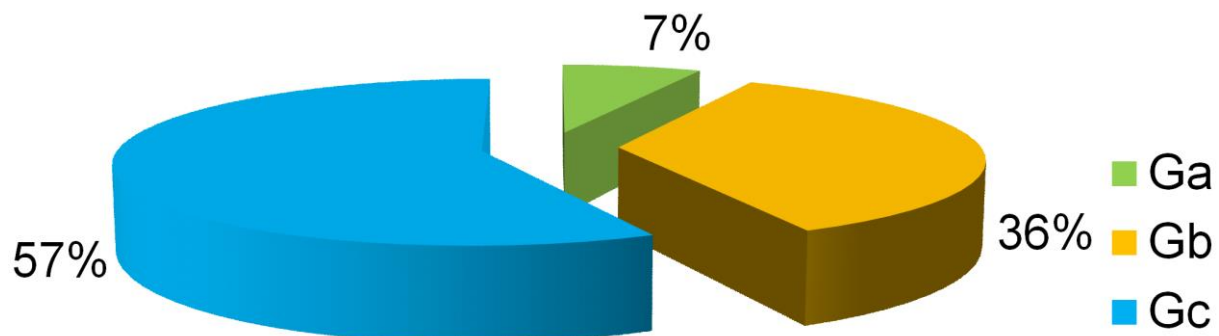


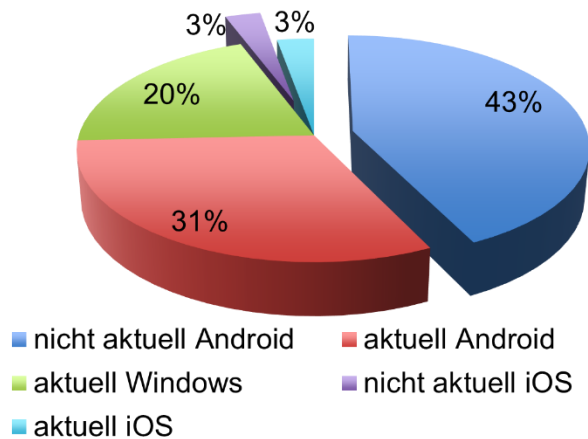
Abbildung 3: Identifizierte Geräteschutz-niveaus (EPL) für Tablet-PCs

Die Explosionsschutzkonzepte binden ausschließlich etablierte Zündschutzarten des sekundären elektrischen Explosionsschutzes gemäß [2] ein. Ziel eines Explosionsschutzkonzeptes ist es, das Auftreten jeder identifizierten Zündquelle zu verhindern. Bei Anwendung der Zündschutzarten wird das angestrebte Geräteschutz-niveaus durch die Minimierung der Auftrittswahrscheinlichkeit wirksamer Zündquellen erreicht.

Die Zündquellen aus Tabelle 1 können prinzipiell durch Maßnahmen der Zündschutzart Eigensicherheit [7] verhindert werden. Vorteile bietet die Anwendung dieser Zündschutzart durch einen reduzierten mechanisch-konstruktiven Aufwand und die hohe internationale Marktakzeptanz. Die Anwendung der Eigensicherheit erfordert jedoch zahlreiche Modifikationen des Schaltungslayouts, die bis auf die Bauteilebene reichen können.

Grundsätzlich gilt, dass Produkte des Konsumer-Bereiches die Basis für explosionsgeschützten port. IT-Endgeräte darstellen. Die Entwicklung und Umsetzung eines Explosionsschutzkonzeptes stellt für die Hersteller folglich eine besondere Herausforderung dar. Neben den „kurzen Lebensdauern“ von Konsumer-Geräten im Vergleich zu

explosionsgeschützten Geräten, die sich an die Anlagenlebensdauer innerhalb der Prozessindustrie orientieren, bedeutet die Einhaltung und Umsetzung von Ex-Anforderungen einen hohen zeitlichen Aufwand. Zudem ist das Marktvolumen für explosionsgeschützte port. IT-Endgeräte verhältnismäßig klein, so dass führende Hersteller von Tablets oder Smartphones aus dem Konsumerbereich kein Interesse an deren Entwicklung zeigen.



Die Betreiber legen besonderen Wert auf ein vom Softwarehersteller unterstütztes Betriebssystem. Regelmäßige Aktualisierungen sind Voraussetzung für eine ausreichende IT-Sicherheit. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass bei der Hälfte der identifizierten port. IT-Endgeräte bereits veraltete Betriebssysteme vorlagen (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Übersicht verwendeter Betriebssysteme

Da die Akzeptanz durch den Endanwender maßgeblich von der Aktualität der Geräte abhängt, bedeutet dies für den Hersteller zwangsläufig eine erhebliche Reduzierung der Entwicklungszeit. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, zunächst nach Möglichkeiten zu suchen, den Modifikationsaufwand durch die Zündschutzart Eigensicherheit zu verringern. Hier kann die Zündschutzart Druckfeste Kapselung „d“ [5] einen Beitrag leisten, durch die die Zündquellen im Inneren des Gehäuses unwirksam gemacht werden können. Die Herausforderung ist hier maßgeblich konstruktiver Art und verspricht eine höhere universelle Anwendbarkeit. Ein gänzlicher Verzicht auf die Eigensicherheit ist bei diesem Schutzkonzept jedoch nicht möglich, da z.B. eigensichere Kommunikationsschnittstellen benötigt werden und der emittierten elektromagnetischen Strahlung nicht durch die Zündschutzart Druckfeste Kapselung begegnet werden kann (vgl. Tabelle 1). Nachteile können sich hinsichtlich ergonomischer Merkmale ergeben, da mit einer Erhöhung der Masse und der Geräteabmessungen zu rechnen ist. Port. IT-Endgeräte, welche die Zündschutzart Druckfeste Kapselung „d“ einbinden, sind bereits kommerziell verfügbar. Eine Aussage, ob dieses Konzept die Entwicklungszeit ausreichend reduziert, ist zurzeit noch nicht möglich.

Ähnlich der Druckfesten Kapselung „d“ könnte auch ein Schutzprinzip auf Basis der Überdruckkapselung „p“ [6] eine Option darstellen. Gegenüber der druckfesten Bauweise werden an das Gehäuse geringere Anforderungen an die mechanische Festigkeit gestellt, was die Erfüllung der ergonomischen Anforderungen erleichtern kann. Für die elektromagnetische Strahlung und aus dem Gehäuse herausgeführte elektrische Schnittstellen stellt das Konzept der Überdruckkapselung jedoch keinen geeigneten Schutz dar.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Zündquellen und Zündschutzarten

Art der potentiellen Zündquellen	Zündschutzarten
Heiße Oberflächen	„I“ „d“ „p“ „e“ „m“ „q“ „o“
Elektrische Funken	„I“ „d“ „p“ „e“ „m“ „q“ „o“
Exotherme Reaktionen, Flammen/heiße Gase	„I“ „d“ „p“ „e“ „q“
Elektromagnetische Strahlung	„I“ -

4 Verwendung von Batterien/Zellen im Explosionsschutz

Eine Zündrisiko entsteht durch die neuartigen Batterietypen mit hohen und steigenden Energiedichten. Aufgrund der steigenden Nutzung und der zunehmenden Batterievarianten respektive Möglichkeiten in port. IT-Endgeräten findet momentan eine Überarbeitung der Bewertung statt. Die potentiellen Risiken sowie deren Bewertung sollen hier diskutiert werden.

4.1 Normative Anforderungen

Die Anforderungen an explosionsgeschützte elektrische Geräte werden in der Normenreihe EN 60079 und folgende, abhängig von der Zündschutzart, festgelegt. EN 60079-0 Kapitel 23 [2] beschreibt die Geräte, die Zellen und Batterien enthalten und unterteilt in Tabelle 6 (Primärzellen) und 7 (Sekundärzellen). Allerdings wird derzeit noch keine IEC-Norm für die Bewertung von Lithiumzellen aufgeführt und auch kein konkretes Aktivmaterial genannt, sodass eine auf die Lithium-Ionen-Batterie zugeschnittene Untersuchung nach Norm schwierig ist. Im Kapitel 23 wird auch die Zusammenschaltung der Zellen zu einer Batterie geregelt, wobei eine Batterie nur aus Zellen desselben Typs, mit derselben Nennkapazität und vom selben Hersteller bestehen muss. Die Zellen dürfen innerhalb der Batterie nur in Reihe verschaltet sein. Der letzte Aspekt wird in der [7] im Kapitel 7.4 jedoch wieder entkräftet: *„Entgegen 23.1 von EN 60079-0 dürfen Zellen und Batterien in eigensicheren Betriebsmitteln parallel geschaltet werden, vorausgesetzt, dass die Eigensicherheit nicht beeinträchtigt wird.“*

Die Zellspannung für die Prüfungen ist ebenfalls der [2] Tabelle 7 zu entnehmen. Sind für die Zellen keine Daten vorhanden, muss nach [7] Kapitel 10.5 die Leerlaufspannung mittels der vom Hersteller angegebenen Nennspannung bestimmt werden. Falls der Hersteller keine Angaben zum Innenwiderstand (Kapitel 10.5.3) macht, kann *„[...]der ungünstigste Wert des Kurzschlussstromes aus der Prüfung von 10 Prüflingen der Zelle/Batterie zusammen mit der in der Prüfung erhaltenen Spitzenleerlaufspannung der Zelle/Batterie nach 7.4.3 verwendet werden, um den Innenwiderstand zu bestimmen.“*[7]

Für Zellen port. IT-Geräte im explosionsgefährdeten Bereich soll gelten, dass diese innerhalb des explosionsgefährdeten Bereich weder geladen noch gewechselt werden dürfen, darunter wird auch verstanden, dass die Fallprüfung der Geräte *„[...]nicht zum Auswerfen oder zur Trennung der Zellen von dem Betriebsmittel führt[...]“*. Gilt diese Anforderung, so *„[...]braucht die Funkenzündentladung an den Anschlussklemmen einer Einzelzelle nicht geprüft werden, sofern*

- *Die Einzelzelle eine Spitzenleerlaufspannung von weniger als 4,5 V liefert und*
- *Das Produkt der Höchstspannung und des Übergangstromes an den Anschlussklemmen der Zelle 33 W nicht überschreitet.“*[7]

Für die Temperaturmessung müssen die strombegrenzenden Bauteile nach Kapitel 10.5.3 b) während der Prüfung kurzgeschlossen sein. Die maximale Temperatur wird auf dem

Gehäuse der Zelle gemessen, wobei dieses ein Bestandteil des eigentlichen Zellgehäuses sein muss.

4.2 Aufbau und Betriebseigenschaften von Lithium-Ionen Zellen

Die sekundären Lithium-Ionen-Zellen bestehen aus einer positiven Elektrode, die als Kathode bezeichnet wird, und einer negativen Elektrode, der Anode. Zwischen der Kathode und der Anode ist der Elektrolyt, der zum Ionentransport zwischen den Elektroden dient. Der Separator isoliert die Elektroden voneinander, sodass über dem Elektrolyten keine Elektronen fließen können.

Beim ersten Laden der Zelle, reagiert das Graphit der Anode mit dem Elektrolyten und bildet eine „Solid Elektrolyte Interphase“ Schicht (SEI) aus. Diese Schicht schützt die Graphitstruktur gegen eine weitere Reaktion und einhergehende Einlagerung des Elektrolyten. Dies würde ein Volumenanstieg und einen Aufbruch der Schichten zu Folge haben. Jedoch schließt die SEI Schicht nicht 100 % die Nebenreaktion aus und somit wird die Lebensdauer der Zelle begrenzt.[8]

Beim Laden kommt es zu der Interkalation, bei der die Lithium-Ionen, die aus dem Kathodenmaterial gelöst werden, sich in der Graphitschicht der Anode einlagern. Bei dem Entladen werden die Lithium-Ionen wieder freigegeben und wandern durch den Elektrolyten zurück zur Kathode. Die dabei freigewordenen Elektronen fließen über die Ableiter der Elektroden durch den Verbraucher. Als Kathodenmaterial wird derzeit häufig Lithium-Kobaltoxid (LCO) oder Lithium-Magnesium-Kobaltoxid (NMC) mit Graphitanode verwendet, welche einer Leerlaufspannung von ca. 4,2 ... 4,35 Volt besitzen.

4.3 Gefährdungspotential von Lithium-Ionen Zellen im Explosionsschutz

Im Explosionsschutz werden die Bewertungen der Geräte in Abhängigkeit des Verwendungsbereichs vorgenommen. Für die Zone 2 gilt das Gerät als „sicher“ im normalen Betrieb, Zone 1 auch bei vorhersehbaren Fehlern und in der Zone 0 sogar für seltene Fehler. Die Abbildung 5 zeigt eine mögliche Eingruppierung potentieller Fehler.

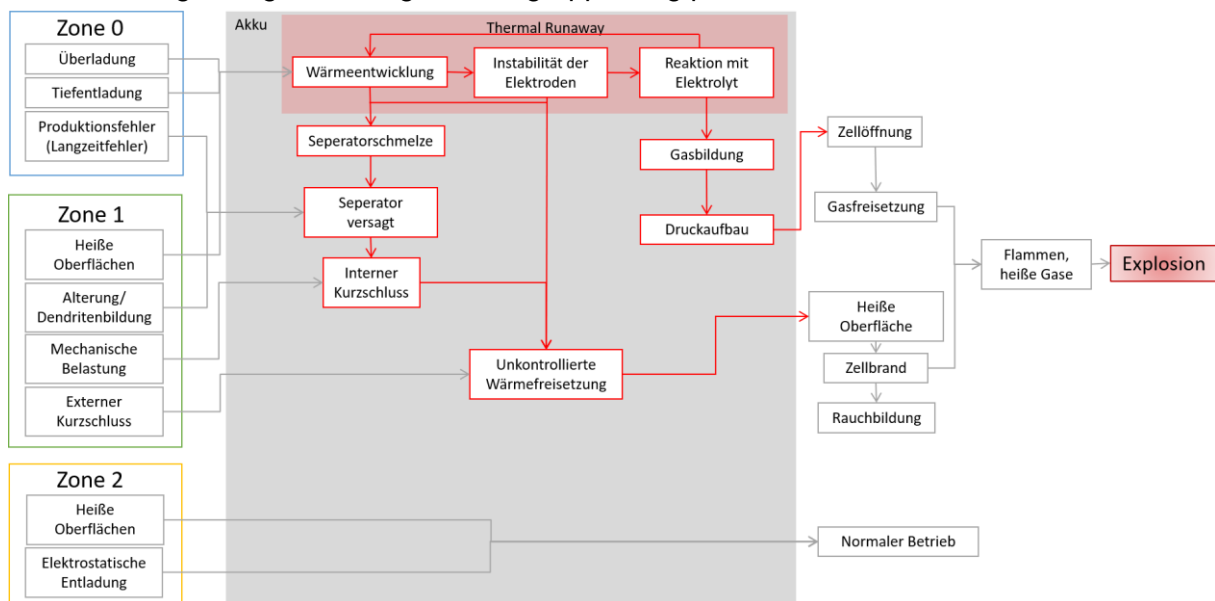


Abbildung 5: Mögliche Eingruppierung potentieller Fehler

Als seltene Fehler können insbesondere die kritischen Zustände der Über- und Tiefentladung angesehen werden. Das Batteriemanagementsystem (BMS) übernimmt die

Überwachung des Lade- und Entladevorgangs und verhindert diese Zustände. Ein Ausfall des BMS kann mittels Selbstdiagnose detektiert und die notwendigen Sicherheitsschritte (z.B. Betriebsmittel abschalten) eingeleitet werden. Nichtsdestotrotz sollte das Laden in der explosionsfähigen Atmosphäre vermieden werden. Auch die Produktionsfehler mit Langzeitauswirkungen sind ebenfalls seltene Fehler. Durch hochwertige Qualitätsüberprüfung der Hersteller kann dieser Fehler minimiert werden. Anforderungen an Lithium-Ionen-Zellen sind in IEC 62133-2 enthalten und sollten auch für Ex-Geräte angewendet werden.

Zu den vorhersehbaren Fehler gehören die mechanische Belastung, z.B. Fall des Geräts, heiße Oberflächen, z.B. auf die das port. IT-Gerät gelegt werden könnte, Alterung und die damit verbundenen Dendritenbildung oder ein externer Kurzschluss, der durch die Elektronik ausgelöst werden kann.

Im normalen Betrieb wird sich die Lithium-Ionen-Batterie erwärmen, z.B. um 20 K. Dieser Aspekt ist wichtig bei der Bewertung der Temperaturklasse im Bezug auf den Umgebungstemperaturbereich. Die Batterie wird bei einer zu hohen Betriebstemperatur geschädigt. Beim üblichen Gebrauch eines port. Geräts müssen elektrostatische Auf-/Entladungen vermieden werden.

Chemische Gefährdung/Sicherheit:

Die Komponenten des Elektrolyten haben durch ihren niedrigen Siedepunkt und der hohen Brennbarkeit ein hohes Gefahrenpotential. Außerdem tragen die thermische Zersetzung des Leitsalzes und der Lösemittel ebenfalls zu einem Sicherheitsrisiko bei.

Bei der Anode finden exotherme Reaktionen statt, die bei einer erhöhten Temperatur der Zelle eigenständig ablaufen können. Dazu gehören die Zersetzung der SEI-Schicht mit dem Binder, die Reaktion des interkalierten Lithiums und dem Elektrolyten sowie zwischen dem Binder und den Zersetzungsprodukten aus den anderen Zersetzungsreaktionen.

Das Kathodenmaterial wird beim Laden delithiiert und verliert damit an Stabilität. LCO ist sehr anfällig gegen Überladung. Bereits bei geringer Überladung kommt es zu erheblichen Kapazitätsverlusten. Bei starker Überladung fällt der Kristall zusammen. Bei der Zersetzung des Aktivmaterials erfolgt eine Freigabe von Sauerstoff, die zu einer starken exothermen Oxidation und bis zum Zellbrand führen kann. Ein solcher Brand kann durch die eigene Sauerstofffreigabe der Zelle nur schwer gelöscht werden. Dieser Prozess ist maßgeblich für den Thermal Runaway verantwortlich.

Die chemische Sicherheitsbetrachtung muss hinsichtlich der thermischen Instabilität und der Zersetzungsreaktionen und daraus folgende weiteren Reaktionen erfolgen.[8]

Elektrische Gefährdung/Sicherheit:

Für die elektrische Sicherheit einer Zelle/Batterie müssen grundsätzlich folgenden Gefährdungen ausgeschlossen werden:

- Elektrische Funken
- Überhitzung durch Schädigung der Isolationen
- externe Kurzschlüsse
- Zu hohe Ströme bei Ladung und Entladung
- Überladung und -entladung

Bei diesen Vorgängen beginnt die Zersetzung der Zellkomponenten und es kommt zu einer Erhöhung der Zelltemperatur. Die Temperaturerhöhung führt zur weiteren Zersetzung der Komponenten und kann den Separator, der aus Polyolefinmembranen (Polyethylen, Polypropylen) besteht, schmelzen. Es kommt zu einem internen Kurzschluss, der weitere Reaktionen und Wärme freisetzen kann.[8]

4.4 Sicherer Betrieb und Überwachung von Batterien und Zellen

Der sichere Betrieb von Li-Ionen Zellen erfordert eine Überwachung des Betriebszustandes, um die wesentliche Gefährdung der Havarie zu minimieren (siehe 4.3). Derartige Anforderungen sind nicht in den Normen für den Explosionsschutz explizit festgelegt. Li-Ionen Zellen können nur in einem definierten Spannungsbereich betrieben werden, um ein Über- oder Unterladen der Zelle zu vermeiden. Aufgrund des geringen Innenwiderstandes von Li-Ionen Zellen kann ein sehr hoher Strom fließen, der ein Vielfaches der Betriebsstromes betragen kann. Die Lebensdauer/Alterung einer Zelle ist von Faktoren wie Temperatur oder Überlast abhängig. In der Abbildung 6 werden die Betriebsbereiche der Spannung und des Stroms an einer 5Ah Lithium-Ionen-Batterie gezeigt.[9]

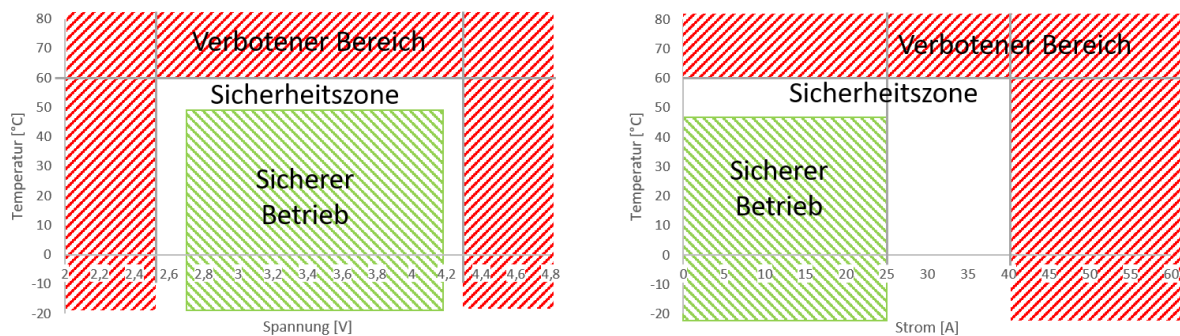


Abbildung 6: Spannungs- und Stromgrenzen einer Lithium-Ionen-Batterie

Für die Überwachung der Parameter für den sicheren Betriebszustand der Zelle ist das Batteriemangement (BMS) verantwortlich, welches die Spannungs- und Stromwerte der Zelle sowie die Temperaturentwicklung überwacht. Das BMS ist Bestandteil eines jeden Mobiltelefons oder Tablets. Eine Beurteilung dieser Sicherheitseinrichtung für den sicheren Betrieb des explosionsgeschützten Gerätes ist erforderlich.

4.5 Prüfung von Li-Ionen Zellen

Zur Erstellung eines geeigneten Sicherheitskonzeptes für die Verwendung der port. IT-Endgeräte in explosionsgeschützten Bereichen muss das Verhalten der Zellen verstanden werden. Daher untersucht die PTB die elektrischen Eigenschaften und Parameter der Lithium-Ionen-Batterie im normalen Betrieb und im Fehlerfall. Es soll ermittelt werden, wie sich ein Thermal Runaway detektieren lassen kann. Dabei müssen die Änderungen der Parameter vor dem Eintreffen des Prozesses analysiert werden. Außerdem muss eine Aussage über die Reproduzierbarkeit des Verhaltens der Zelle getroffen werden. Der Thermal Runaway kann z.B. durch einen externen Kurzschluss, der sich als interner Kurzschluss nachbildet, ausgelöst werden.

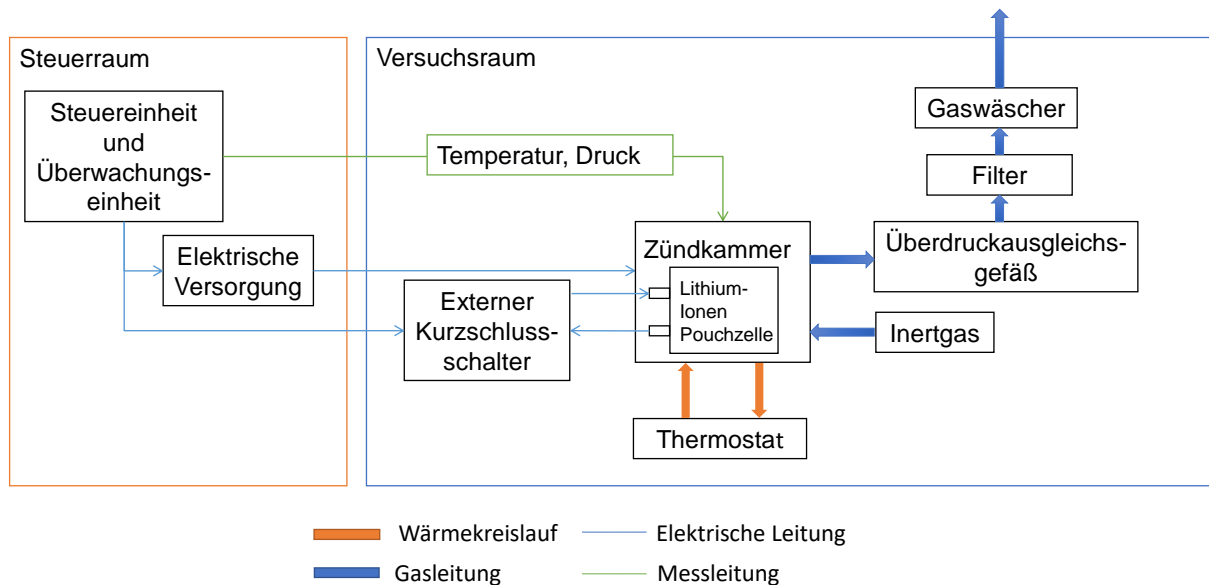


Abbildung 7: Schematische Darstellung des geplanten Batterieteststands

Der Teststand muss so präpariert sein, dass im Falle eines Thermal Runaway keine Gefahr für Mitarbeiter und Umgebung besteht. So dürfen keine giftigen Gase in die Umluft gelangen und keine Gefahr von herumfliegenden Teilen ausgehen.

Hier beispielhaft wurde eine 4350 mAh Lithiumzelle einem 3 mΩ Kurzschlussstest (EN 60079-11) unterzogen. Bei einem State of Charge (SOC) von 100 % wurde die Zelle extern kurzgeschlossen. Zur Temperaturmessung wurden neun Typ K Thermoelemente an die Zelle angebracht.

Abbildung 8 zeigt den Verlauf der Temperatur und in Abbildung 9 sind die Strom- und Spannungskurve abgebildet.

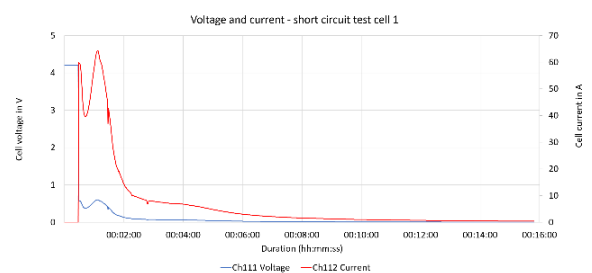
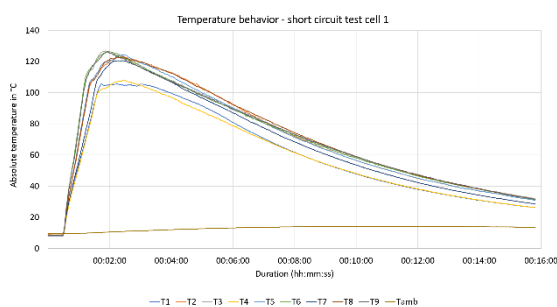


Abbildung 8: Temperaturverlauf während des Kurzschlussstests

Kurzschlussstests

Abbildung 9: Spannungs- und Stromverlauf während des Kurzschlussstests

Zu erkennen ist, dass innerhalb der ersten zwei Minuten ein Temperaturanstieg um ca. 120 K auf eine Temperatur von 130 °C stattfindet. In dieser Zeit wird auch der maximale Kurzschlussstrom von 65 A gemessen. Die erreichten Temperaturwerte führten nicht zum Zellbrand (Thermal Runaway). Der in der Norm festgelegte Widerstand von 3 mΩ scheint für Lithiumzellen zu hoch zu sein.

5 Bewertung von Schutzkonzepten

Die potentielle Zündgefahr port. IT-Endgeräte ist aufgrund der zahlreichen vorhandenen Zündquellenarten als hoch einzuschätzen (Kapitel 2). Bei Anwendung etablierter Zündschutzarten ist zur Erreichung des angestrebten Schutzniveaus die vollumfängliche Erfüllung deren Anforderungen notwendig und gerechtfertigt. Belastbare Argumente für eine Verringerung des technisch-konstruktiven Aufwands zur Verkürzung der Entwicklungszeiten konnten bisher nicht gefunden werden. Kapitel 4 gibt zudem Anlass, die Anwendbarkeit der Zündschutzarten auf die Li-Ionen-Technologie durch weitere Studien neu zu beurteilen.

Die Intention, port. IT-Endgeräte für den Betrieb in Zone 0 bzw. 20 zu qualifizieren, ist aus sicherheitstechnischer Sicht zumindest fraglich. Vor dem Hintergrund der Notwendigkeit Li-Ionen-Zellen innerhalb ihrer bestimmungsgemäßen Parameter zu betreiben, ist zudem die Beanspruchung von Temperaturklasse T6 (max. 85 °C) nicht nachvollziehbar (vgl. Kapitel 4). Trotz des Umstandes, dass Geräte aus dem Konsumerbereich als Basis für die Entwicklungen dienen, liegt die volle Produkthaftung beim Hersteller des explosionsgeschützten Produktes.

Ein auf den Anwendungsbereich port. IT-Endgeräte adaptiertes Explosionsschutzkonzept ist grundsätzlich denkbar. Um innerhalb des Ex-Schutzes eine Akzeptanz von neuartigen Schutzkonzepten auf internationaler Ebene zu erreichen, ist die Einspeisung in international Standards unerlässlich. Seitens der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) sind bereits Aktivitäten zu verzeichnen, die sich speziell mit dem Thema der explosionsgeschützten port. IT-Endgeräten beschäftigen [10],[11]. Es erscheint möglich, z.B. Schutzfunktionen des Basisproduktes (z.B. BMS) oder organisatorische Maßnahmen zur Risikominderung in ein Ex-Schutzkonzept mit einzubeziehen. Diese Ansätze sind jedoch hinsichtlich des Erreichens eines adäquaten Geräteschutzniveaus zu beurteilen.

6 Zusammenfassung

Der Einzug der Informationstechnik (IT) im Zuge von „Industrie 4.0“ in die Prozesstechnik macht den Einsatz von port. IT-Endgeräten notwendig. Dabei bestehen hohe Geräteanforderungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Die innerhalb einer Marktrecherche untersuchten Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen entsprachen nur bedingt den Anforderungen der Endanwender, gemessen an den Maßstäben des Konsumer-Bereiches.

In den nächsten Schritten des Forschungsprojektes werden systematisch die Zündrisiken der typischen Module von port. IT-Endgeräten untersucht werden. Zusammenfassend lassen sich bei der Gegenüberstellung der am Markt zur Verfügung stehenden port. IT-Endgeräte grundsätzliche Überlegungen ableiten:

- Geräte für die Zone 0 sind sowohl technisch als auch durch die Nutzung einer Person in der Zone 0 zu hinterfragen
- Geräte mit der Temperaturklasse T6 (max. 85 °C) in der Zone 1 vertragen sich nicht mit der Verwendung von Li-Ionen Zellen (Kapitel 4)
- Durch die Verwendung der Zündschutzart „Eigensicherheit“ muss eine Modifikation der Elektronik vorgenommen werden, womit üblicherweise die Haftung (Kennzeichnung) des Originalherstellers erlischt. Der Modifizierer übernimmt dann die alleinige Verantwortung

Die Anwendung der typischen Zündschutzarten führt zu einer aufwendigen Bewertung der Geräte, da die Bewertung den Anforderungen an stationäre Geräte entstammen. Momentan wird in internationalen IEC-Arbeitskreisen versucht, geeignete Bewertungsmaßstäbe zu formulieren, ohne dass es sicherheitstechnische Abstriche gibt. Insbesondere muss die individuelle Handhabung durch den Endanwender hinreichend bewertet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] VDE: DIN EN 1127-1, Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik, Oktober 2011
- [2] VDE: DIN EN 60079-0, Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 0: Allgemeine Anforderungen, April 2013
- [3] VDE: DIN EN 60079-28, Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 28: Schutz von Geräten und Übertragungssystemen, die mit optischer Strahlung arbeiten, April 2014
- [4] IEC: ExTAG/540/CD Draft ExTAG Decision Sheet – Smartphone or tablet containing a LED to support a camera function, Dezember 2018
- [5] VDE: DIN EN 60079-1, Geräteschutz durch druckfeste Kapselung „d“ – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Oktober 2015
- [6] VDE: DIN EN 60079-2, Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 2: Geräteschutz durch Überdruckkapselung „p“, Juni 2015
- [7] VDE: DIN EN 60079-11, Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit „i“, Juni 2012
- [8] R. Korthauer (Hrsg.); S. Leuthner; K. Vuoritehto; M. Fleischhammer; h. Döring; H. Sattler, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Springer-Verlag Berlin, 2013
- [9] Kokam: SLPB (Superior Lithium Polymer Battery) Technical Specification, Mai 2010
- [10] IEC / Technical Committee TC 31 “Equipment for explosive Atmospheres” / Ad-hoc working Group AG 49 “Portable and personal equipment”
- [11] IEC / Technical Committee TC 31 “Equipment for explosive Atmospheres” / Subcommittee SC 31J / Working Group WG 2 “Portable and personal equipment”